

8404464



THE UNITED STATES OF AMERICA

TO ALL TO WHOM THESE PRESENTS SHALL COME:

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE

United States Patent and Trademark Office

August 15, 2023

**THIS IS TO CERTIFY THAT ANNEXED IS A TRUE COPY FROM THE
RECORDS OF THIS OFFICE OF THE FILE WRAPPER AND CONTENTS
OF:**

APPLICATION NUMBER: 16/031,201

FILING DATE: *July 10, 2018*

PATENT NUMBER: 10755409

ISSUE DATE: *August 25, 2020*



Certified by

Kathi

Performing the Functions and Duties of the
Under Secretary of Commerce
for Intellectual Property
and Director of the United States
Patent and Trademark Office

ALIGN – EXHIBIT 1004

0001

Preliminary Amendment
Amendment dated: July 10, 2018

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Philippe SALAH et al.
Filing Date : Herewith
Title : METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Customer No. : 108676
Docket No : N&P-51425

Mail Stop Amendment
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria VA 22313-1450

Preliminary Amendment

Sir:

Prior to examination please amend the above identified application as follows:

Amendments to the Abstract begin on page 2 of this paper.

Remarks / Arguments begin on page 3 of this paper.

Preliminary Amendment
Amendment dated: July 10, 2018

IN THE ABSTRACT

Please replace the Abstract with the enclosed new Abstract enclosed herewith on a separate page.

Preliminary Amendment
Amendment dated: July 10, 2018

REMARKS/ARGUMENTS

If there are any fees resulting from this communication, please charge same to our Deposit Account No. 505088, our Order No. N&P-51425.

Respectfully submitted,
Cooper Legal Group

By: /Ronald M. Kachmarik/
Ronald M. Kachmarik, Reg. No. 34512

6505 Rockside Road
Suite 330
Cleveland Ohio 44131
(216) 654-0090
July 10, 2018

Abstract

A method for acquiring an image of a dental arch of a patient. Activation of an image acquisition apparatus so as to acquire an analysis image of the arch. Analysis of the analysis image by a deep learning device trained by a learning base. Determination, for the analysis image, as a function of the results of the analysis, of a value for an image attribute. Comparison of the image attribute value with a setpoint. Sending of an information message as a function of the comparison, the information message being related to the quality of the image acquired and/or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch and/or to the setting of the acquisition apparatus and/or to the opening of the mouth and/or to the wearing of a dental appliance.

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

I, Charles Edward SITCH BA,

Managing Director of RWS Group Ltd UK Translation Division, of Europa House, Chiltern Park, Chiltern Hill, Chalfont St Peter, Buckinghamshire, United Kingdom, declare;

1. That I am a citizen of the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland.
2. That the translator responsible for the attached translation is well acquainted with the French and English languages.
3. That the attached is, to the best of RWS Group Ltd knowledge and belief, a true translation into the English language of the accompanying copy of the specification filed with the application for a patent in France on July 21, 2017 under the number FR17/56,947
4. That I believe that all statements made herein of my own knowledge are true and that all statements made on information and belief are true; and further that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment, or both, under Section 1001 of Title 18 of the United States Code and that such willful false statements may jeopardize the validity of the patent application in the United States of America or any patent issuing thereon.

Date: June 26, 2018



C. E. SITCH

Managing Director – UK Translation Division
For and on behalf of RWS Group Ltd

METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Technical field

The present invention relates to the field of dental arch image analysis.

5 State of the art

The most recent orthodontic treatments use images to assess the therapeutic situations. This assessment is conventionally performed by an orthodontist, which requires the patient to transmit these images to the orthodontist, even to make an appointment.

10 There is an ongoing need for a method simplifying the analysis of the images of dental arches of patients.

One aim of the invention is to address this need.

Summary of the invention

15 The invention proposes a method for analyzing an image, called “analysis image”, of a dental arch of a patient, a method in which the analysis image is submitted to a deep learning device, preferably a neural network, in order to determine at least one value of a tooth attribute relating to a tooth represented on the analysis image, and/or at least one value of an image attribute relating to the analysis image.

Analysis by tooth

20 The invention proposes in particular a method for detailed analysis of an image called “analysis image” of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- 1) creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or “historical images”, each historical image comprising one or more zones each representing a tooth, or “historical tooth zones”, to each of which, for at least one tooth attribute, a tooth attribute value is assigned;
- 25 2) training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;

- 3) submission of the analysis image to said at least one deep learning device for it to determine at least one probability relating to an attribute value of at least one tooth represented on a zone representing, at least partially, said tooth in the analysis image, or "analysis tooth zone";
- 5 4) determination, as a function of said probability, of the presence of a tooth of said arch at a position represented by said analysis tooth zone, and of the attribute value of said tooth.

A first deep learning device, preferably a neural network, may in particular be implemented to assess a probability relating to the presence, at a location of said analysis image, of an
10 analysis tooth zone.

A second deep learning device, preferably a neural network, may in particular be implemented to assess a probability relating to the type of tooth represented in an analysis tooth zone.

As will be seen in more detail hereinafter in the description, a detailed analysis method
15 according to the invention advantageously makes it possible to immediately recognize the content of the analysis image.

The analysis image may advantageously be classified automatically. It may also be used immediately by a computer program.

The invention relies on the use of a deep learning device, preferably a neural network, the
20 performance of which is directly linked to the richness of the learning base. There is therefore also a need for a method that makes it possible to rapidly enrich the learning base.

The invention therefore relates also to a method for enriching a learning base, notably intended for the implementation of a detailed analysis method according to the invention, said enrichment method comprising the following steps:

- 25 A) at an "updated" instant, production of a model of a dental arch of a patient, or "updated reference model", and segmentation of the updated reference model so as to produce, for each tooth, a "tooth model", and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
- 30 B) preferably less than 6 months, preferably less than 2 months, preferably less than 1 month, preferably less than a fortnight, preferably less than 1 week, preferably less than 1 day before or after the updated instant, preferably substantially at the updated instant, acquisition of at least one, preferably at least three, preferably at least ten,

preferably at least one hundred images of said arch, or “updated images” in respective real acquisition conditions;

- 5 C) for each updated image, search for virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions, and acquisition of said reference image;
- 10 D) identification, in the reference image, of at least one zone representing a tooth model, or “reference tooth zone”, and, by comparison of the updated image and of the reference image, determination, in the updated image, of a zone representing said tooth model, or “updated tooth zone”;
- E) assignment, to said updated tooth zone, of the tooth attribute value or values of said tooth model;
- F) addition of the updated image enriched with a description of said updated tooth zone and its tooth attribute value or values, or “historical image”, in the learning base.

- 15 In particular, each execution of the method described in WO 2016/066651 preferably generates more than three, more than ten, preferably more than one hundred updated images which, by an automated processing by means of the updated reference model, may produce as many historical images.

In a particular embodiment, the method for enriching a learning base comprises, in place of
20 the steps A) to C), the following steps:

- A') at an initial instant, production of a model of a dental arch of a patient, or “initial reference model”, and segmentation of the initial reference model so as to produce, for each tooth, a “tooth model”, and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
- 25 B') at an updated instant, for example spaced apart by more than a fortnight, preferably more than a month, even more than two months from the initial instant, acquisition of at least one, preferably at least three, preferably at least ten, preferably at least one hundred images of said arch, or “updated images”, in respective real acquisition conditions;
- 30 C') for each updated image, search, by deformation of the initial reference model, for an updated reference model and virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions.

This method advantageously makes it possible, after generation of the initial reference model, preferably by means of a scanner, to enrich the learning base at different updated instants, without it being necessary to perform a new scan, and therefore without the patient having to go to the orthodontist. He or she may in fact acquire the updated images him or herself, as described in WO 2016/066651.

A single orthodontic treatment may thus lead to the production of hundreds of historical images.

The invention relates also to a method for training a deep learning device, preferably a neural network, comprising an enrichment of a learning base according to the invention, then the use of said learning base to train the deep learning device.

Global analysis

The detailed analysis method described above advantageously allows for a fine analysis of the analysis image, the situation of each being preferably assessed.

Alternatively, the deep learning device may be used globally, the learning base containing historical images whose description provides a global attribute value for the image. In other words, the value of the image attribute relates to the whole image and not to part of the image. The attribute is not then a “tooth” attribute, but is an “image” attribute. For example, this image attribute may define whether, in light of the image as a whole or of a part of the image, the dental situation “is pathological” or “is not pathological”, without each tooth being examined. The image attribute also makes it possible to detect, for example, whether the mouth is open or closed, or, more generally, whether the image is suitable for a subsequent treatment, for example whether it makes it possible to monitor the occlusion.

The image attribute may in particular relate to

- a position and/or an orientation and/or a calibration of an acquisition apparatus used to acquire said analysis image, and/or
- a quality of the analysis image, and in particular relating to the brightness, to the contrast or to the sharpness of the analysis image, and/or
- the content of the analysis image, for example to the representation of the arches, of the tongue, of the mouth, of the lips, of the jaws, of the gums, of one or more teeth or of a dental, preferably orthodontic, appliance.

When the image attribute refers to the content of the image, the description of the historical images of the learning base specifies a characteristic of this content. For example, it may specify the position of the tongue (for example “retracted”) or the opening of the mouth of the patient (for example mouth open or closed) or the presence of a representation of a dental, preferably orthodontic, appliance and/or of its condition (for example appliance intact, broken or damaged).

A tooth attribute value may be used to define a value for an image attribute. For example, if a value of a tooth attribute is “tooth decayed”, the value of an image attribute may be “unsatisfactory dental situation”.

10 The image attribute may in particular relate to a therapeutic situation.

The invention proposes a method for global analysis of an analysis image of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- 15 1') creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or “historical images”, each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or “image attribute value”;
- 2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- 20 3') submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value, and determination, as a function of said probability, of a value for said image attribute for the analysis image.

The image attribute may in particular relate to the orientation of the acquisition apparatus upon the acquisition of the analysis image. It may for example take the values “front photo”, “left photo” and “right photo”.

25 The image attribute may also relate to the quality of the image. It may for example take the values “insufficient contrast” and “acceptable contrast”.

The image attribute may also relate to the dental situation of the patient, for example relate to the presence of decay or to the condition of a dental, preferably orthodontic, appliance worn by the patient (“degraded” or “in good condition” for example) or to the suitability of the dental, preferably orthodontic, appliance to the treatment of the patient (for example “unsuitable” or “suitable”).

The image attribute may also relate to the “presence” or “absence” of a dental, preferably orthodontic, appliance, or to the state of opening of the mouth (“mouth open”, “mouth closed” for example).

As will be seen in more detail hereinafter in the description, a global image analysis method according to the invention advantageously makes it possible to immediately and globally assess the content of the analysis image. In particular, it is possible to globally assess a dental situation and, for example, deduce therefrom the need to consult an orthodontist.

Definitions

A “patient” is a person for whom a method according to the invention is implemented, independently of whether or not this person is following an orthodontic treatment.

“Orthodontist” should be understood to mean any person qualified to provide dental care services, which also includes a dentist.

A “dental part”, in particular “orthodontic part”, should be understood to mean all or part of a dental, in particular orthodontic, appliance.

An orthodontic part may in particular be an orthodontic aligner. Such an aligner extends in such a way as to follow the successive teeth of the arch on which it is fixed. It defines a generally “U” shaped channel, the shape of which is determined to ensure the fixing of the aligner onto the teeth, but also as a function of a desired target positioning for the teeth. More specifically, the shape is determined in such a way that, when the aligner is in its service position, it exerts stresses tending to move the teeth being treated to their target positioning, or to hold the teeth in this target positioning.

The “service position” is the position in which the dental or orthodontic part is worn by the patient.

“Model” should be understood to be a digital three-dimensional model. An arrangement of tooth models is therefore a model.

“Image” should be understood to be an image in two dimensions, like a photograph or an image taken from a film. An image is formed by pixels.

A “reference image” is a view of a “reference” model.

“Image of an arch” or “model of an arch” should be understood to be a representation of all or part of said arch. Such a representation is preferably in colors.

The “acquisition conditions” of an image specify position and the orientation in space of an acquisition apparatus acquiring this image in relation to the teeth of the patient (real acquisition conditions) or to a model of teeth of the patient (virtual acquisition conditions), and preferably the calibration of this acquisition apparatus. Acquisition conditions are said
 5 to be “virtual” when they correspond to a simulation in which the acquisition apparatus would be in said acquisition conditions (theoretical positioning and preferably calibration of the acquisition apparatus) relative to a model.

In virtual conditions of acquisition of a reference image, the acquisition apparatus may be also qualified as “virtual”. The reference image is in fact acquired by a hypothetical
 10 acquisition apparatus, having the characteristics of the “real” acquisition apparatus used for the acquisition of the real images, and in particular of the updated images.

The “calibration” of an acquisition apparatus is made up of all the values of the calibration parameters. A “calibration parameter” is a parameter intrinsic to the acquisition apparatus (unlike its position and orientation) whose value influences the image acquired. Preferably,
 15 the calibration parameters are chosen from the group formed by the diaphragm aperture, the exposure time, the focal distance and the sensitivity.

A “discriminating information item” is a characteristic feature which may be extracted from an image (*“image feature”*), conventionally by computer processing of this image.

A discriminating information item may exhibit a variable number of values. For example, a
 20 contour feature may be equal to 1 or 0 depending on whether a pixel belongs or does not belong to a contour. A brightness feature may take a large number of values. The processing of the image makes it possible to extract and quantify the discriminating information item.

The discriminating information item may be represented in the form of a “map”. A map is thus the result of a processing of an image in order to reveal the discriminating information
 25 item, for example the contour of the teeth and of the gums.

“Match” or “fit” between two objects designates a measurement of the difference between these two objects. A match is maximal (*“best fit”*) when it results from an optimization making it possible to minimize said difference.

An object modified to obtain a maximum match may be qualified as “optimal” object.

Two images or “views” which exhibit a maximal match represent substantially at least one same tooth, in the same way. In other words, the representations of the tooth on these two images may be substantially superimposed.

5 The search for a reference image exhibiting a maximal match with an updated image is performed by searching for the virtual acquisition conditions of the reference image exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions of the updated image.

By extension, a model exhibits a maximal match with an image when this model has been chosen from several models because it allows a view exhibiting a maximal match with said image and/or when this image has been chosen from several images because it exhibits a
10 maximal match with a view of said model.

In particular, an updated image is in maximal match with a reference model when a view of this reference model provides a reference image showing a maximal match with the updated image.

15 The comparison between two images results preferably from the comparison of two corresponding maps. “Distance” is used conventionally to denote a measurement of the difference between two maps or between two images.

The “metaheuristic” methods are known optimization methods. They are preferably chosen from the group formed by

- 20 – evolutionary algorithms, preferably chosen from: evolution strategies, genetic algorithms, differential evolution algorithms, distribution estimation algorithms, artificial immunity systems, shuffled complex evolution path recomposition, simulated annealing, ant colony algorithms, particular swarm optimization algorithms, search with taboos, and the GRASP method;
- the kangaroo algorithm,
- 25 – the Fletcher and Powell method,
- the sound effects method,
- stochastic tunneling,
- random-restart hill climbing,
- the cross-entropy method, and
- 30 – the hybrid methods between the abovementioned metaheuristic methods.

“Description” of an image denotes information particularly relating to the definition of the tooth zones of this image and to the tooth attribute values which are associated with them,

and/or relating to an image attribute value of said image. The number of possible values for a tooth attribute or an image attribute is unlimited.

A “historical” image is an image of a dental arch enriched with a description. The tooth zones of a historical image are qualified as “historical tooth zones”.

- 5 “Comprising” or “including” or “exhibiting” should be interpreted without restriction, unless indicated otherwise.

Brief description of the figures

Other features and advantages of the invention will become more apparent on reading the following detailed description and studying the attached drawing in which:

- 10 - figure 1 represents, schematically, the different steps of a method for detailed analysis of an image, according to the invention;
- figure 2 represents, schematically, the different steps of a method for enriching a learning base, according to the invention;
- figure 3 represents, schematically, the different steps of a variant of a method for
15 enriching a learning base, according to the invention;
- figure 4 represents, schematically, the different steps of a method for global analysis of an image, according to the invention;
- figure 5 represents, schematically, the different steps of a step C) of a method for enriching a learning base, according to the invention;
- 20 - figures 6 and 18 represent, schematically, the different steps of a method for modeling the dental arch of a patient, according to the invention;
- figure 7 represents, schematically, the different steps of a method for assessing a dental situation of a patient, according to the invention;
- figure 8 represents, schematically, the different steps of a method for acquiring an
25 image of a dental arch of a patient, according to the invention;
- figure 9 represents, schematically, the different steps of a method for assessing the shape of an orthodontic aligner of a patient, according to the invention;
- figure 10 represents an example of a reference image of an initial reference model;
- figure 11 (11a-11d) illustrates a way of processing to determine the tooth models in an
30 initial reference model, as described in WO 2016 066651;

- figure 12 (12a-12d) illustrates the acquisition of an image by means of a retractor, an operation of cropping of this image, and the processing of an updated image making it possible to determine the contour of the teeth, as described in WO 2016 066651;
- figure 13 schematically illustrates the relative position of registration marks 12 of a retractor 10 on updated images 14₁ and 14₂, according to the directions of observation represented by broken lines;
- figures 14 and 15 represent an orthodontic aligner, in perspective and plan views, respectively;
- figure 16 illustrates the step e) described in WO 2016 066651;
- figure 17 illustrates an enrichment method according to the invention.

Detailed description

A detailed analysis method according to the invention requires the creation of a learning base. This creation preferably implements a method comprising the steps A) to F), or, in one embodiment, in place of the steps A) to C), preferably the steps A') to C').

First main embodiment of the enrichment method

The step A) is intended for the production of an updated reference model modeling an arch of the patient. It preferably comprises one or more of the features of the step a) of WO 2016 066651, incorporated by reference, to produce an initial reference model.

The updated reference model is preferably created with a 3D scanner. Such a so-called “3D” model may be observed from any angle. An observation of the model, from a determined angle and distance, is called a “view” or “reference image”.

Figure 11a is an example of reference image.

The updated reference model may be prepared from measurements performed on the teeth of the patient or on a molding of his or her teeth, for example a plaster molding.

For each tooth, from the updated reference model, a model of said tooth, or “tooth model”, is defined (figure 11d). This operation, known per se, is called “segmentation” of the updated reference model.

In the updated reference model, a tooth model is preferably delimited by a gingival margin which may be broken down into an interior gingival margin (of the side of the interior of the

mouth relative to the tooth), an exterior gingival margin (oriented toward the outside of the mouth relative to the tooth) and two lateral gingival margins.

One or more tooth attributes are associated with the tooth models as a function of the teeth that they model.

- 5 The tooth attribute is preferably chosen from a tooth number, a tooth type, a tooth shape parameter, for example a tooth width, in particular a mesio-palatine width, a thickness, a crown height, an index of mesial and distal deflection of the incisive margin, or a level of abrasion, a tooth appearance parameter, in particular a translucency index or a color parameter, a parameter relating to the condition of the tooth, for example “abraded”,
 10 “broken”, “decayed” or “fitted” (that is to say in contact with a dental, preferably orthodontic, appliance), an age for the patient, or a combination of these attributes. A tooth attribute is preferably an attribute which only relates to the tooth modeled by the tooth model.

A tooth attribute value may be assigned to each tooth attribute of a particular tooth model.

- For example, the “tooth type” tooth attribute will have the value “incisor”, “canine” or
 15 “molar” depending on whether the tooth model is that of an incisor, of a canine or of a molar, respectively.

- The assignment of the tooth attribute values to the tooth models may be manual or, at least partly, automatic. For example, if the value of a tooth attribute is identical whatever the tooth model, such as for the “age of the patient” tooth attribute, it may be sufficient to assign a
 20 value to one tooth model to determine the value of this attribute for the other tooth models.

Similarly, the tooth numbers are conventionally assigned according to a standard rule. It is therefore sufficient to know this rule and the number of a tooth modeled by a tooth model to calculate the numbers of the other tooth models.

- In a preferred embodiment, the shape of a particular tooth model is analyzed so as to define
 25 its tooth attribute value, for example its number. This shape recognition is preferably performed by means of a deep learning device, preferably a neural network. Preferably, a library of historical tooth models is created, each historical tooth model having a value for the tooth attribute, as described hereinbelow (step a)), the deep learning device is trained with views of the historical tooth models of this library, then one or more views of the
 30 particular tooth model are analyzed with the trained deep learning device, so as to determine the tooth attribute value of said particular tooth model.

The allocation of the tooth attribute values may then be performed totally without human intervention.

The step B) is intended for the acquisition of one or preferably several updated images.

The step B) preferably comprises one or more of the features of the step b) of
5 WO 2016 066651.

The acquisition of the updated images is performed by means of an image acquisition apparatus, preferably chosen from a cellphone, a so-called “connected” camera, a so-called “smart” watch, a tablet or a personal computer, fixed or portable, comprising an image acquisition system such as a webcam or a camera. Preferably, the image acquisition
10 apparatus is a cellphone.

Also preferably, the image acquisition apparatus is separated from the dental arch by more than 5 cm, more than 8 cm, even more than 10 cm, which avoids the condensation of steam on the optic of the image acquisition apparatus and facilitates the focusing. Furthermore, preferably, the image acquisition apparatus, in particular the cellphone, has no specific optic
15 for the acquisition of the updated images, which is notably possible because of the separation of the dental arch during the acquisition.

Preferably, an updated image is a photograph or an image extracted from a film. It is preferably in color, preferably in real colors.

Preferably, the acquisition of the updated image or images is performed by the patient,
20 preferably without the use of a support which is bearing on the ground and is immobilizing the image acquisition apparatus, and in particular without tripod.

In one embodiment, the triggering of the acquisition is automatic, that is to say without the action of an operator, as soon as the acquisition conditions are approved by the image acquisition apparatus, in particular when the image acquisition apparatus has determined that
25 it observes a dental arch and/or a retractor and that the conditions of observation are satisfactory (sharpness, brightness, even dimensions of the representation of the dental arch and/or of the retractor).

The time interval between the steps A) and B) is as short as possible in order for the teeth not to be substantially displaced between the production of the updated model and the
30 acquisition of the updated images. Reference images matching with the updated images may then be acquired by observing the updated reference model.

Preferably, a dental retractor 10 is used in the step B), as represented in figure 12a. The retractor conventionally comprises a support provided with a rim extending around an opening and arranged in such a way that the lips of the patient may rest thereon leaving the teeth of the patient apparent through said opening.

- 5 **In the step C)**, the updated reference model is explored to find, for each updated image, a reference image exhibiting a maximal match with the updated image.

The step C) may comprise one or more of the features of the steps c), d) and e) of WO 2016 066651, in as much as they concern such an exploration.

- For each updated image, a set of virtual acquisition conditions approximating the real
10 acquisition conditions upon the acquisition of said updated image is preferably determined, roughly. In other words, the position of the image acquisition apparatus is estimated in relation to the teeth at the moment when it took the updated image (position of the acquisition apparatus in space and orientation of this apparatus). This rough assessment advantageously makes it possible to limit the number of tests on virtual acquisition conditions in subsequent
15 operations, and therefore makes it possible to considerably speed up these operations.

To perform this rough assessment, one or more heuristic rules are preferably used. For example, preferably, virtual acquisition conditions likely to be tested in subsequent operations, the conditions which correspond to a position of the image acquisition apparatus behind the teeth or at a distance from the teeth greater than 1 m, are excluded.

- 20 In a preferred embodiment, as illustrated in figure 13, registration marks are used that are represented on the updated image, and in particular registration marks 12 of the retractor, to determine a region of the space that is substantially conical delimiting virtual acquisition conditions likely to be tested in subsequent operations, or “test cone”.

- More specifically, at least three registration marks 12 are preferably positioned non-aligned
25 on the retractor 10, and their relative positions on the retractor are accurately measured.

The registration marks are then marked on the updated image, as described previously. Simple trigonometric calculations make it possible to determine approximately the direction from which the updated image was taken.

- Next, for each updated image, a reference image is sought that exhibits a maximum match
30 with the updated image. This search is preferably performed by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

Preferably, at any instant before the step C4), the updated image is analyzed so as to produce an updated map representing, at least partially, a discriminating information item. The updated map therefore represents the discriminating information item in the reference frame of the updated image.

- 5 The discriminating information item is preferably chosen from the group consisting of a contour information item, a color information item, a density information item, a distance information item, a brightness information item, a saturation information item, information on reflections and combinations of these information items.

A person skilled in the art knows how to process an updated image to reveal the
10 discriminating information item.

For example, figure 12d is an updated map relating to the contour of the teeth obtained from the updated image of figure 12b.

Said search comprises the following steps:

- 15 C1) determination of virtual acquisition conditions “to be tested”;
- C2) production of a reference image of the updated reference model in said virtual acquisition conditions to be tested;
- C3) processing of the reference image to produce at least one reference map representing, at least partially, the discriminating information item;
- 20 C4) comparison of the updated and reference maps so as to determine a value for an assessment function, said value for the assessment function depending on the differences between said updated and reference maps and corresponding to a decision to continue or stop the search for virtual acquisition conditions approximating said real
- 25 acquisition conditions with greater accuracy than said virtual acquisition conditions to be tested determined in the last occurrence of the step C1);
- C5) if said value for the assessment function corresponds to a decision to continue said search, modification of the virtual acquisition
- 30 conditions to be tested, then return to the step C2).

The step C1) begins with a determination of the virtual acquisition conditions to be tested, that is to say a virtual position and orientation likely to correspond to the real position and

orientation of the acquisition apparatus upon the capture of the updated image, but also, preferably, a virtual calibration likely to correspond to the real calibration of the acquisition apparatus upon the capture of the updated image.

5 The first virtual acquisition conditions to be tested are preferably virtual acquisition conditions assessed roughly, as described previously.

In the step C2), the image acquisition apparatus is then virtually configured in the virtual acquisition conditions to be tested in order to acquire a reference image of the updated reference model in these virtual acquisition conditions to be tested. The reference image therefore corresponds to the image that the image acquisition apparatus would have taken if
10 it had been placed, relative to the updated reference model, and optionally calibrated, in the virtual acquisition conditions to be tested.

If the updated image was taken substantially at the same moment as the updated reference model was created by a scan of the teeth of the patient, the position of the teeth on the updated image is substantially identical to that in the updated reference model. If the virtual
15 acquisition conditions to be tested are exactly the real acquisition conditions, the reference image may therefore be exactly superimposed on the updated image. The differences between the updated image and the reference image result from errors in the assessment of the virtual acquisition conditions to be tested, if they do not correspond exactly to the real acquisition conditions.

20 **In the step C3),** the reference image is processed as the updated image so as to produce, from the reference image, a reference map representing the discriminating information item (figures 11a and 11b). A person skilled in the art knows how to process a reference image to reveal the discriminating information item.

25 **In the step C4),** the updated and reference maps, both relating to the same discriminating information item, are compared and the difference or “distance” between these two maps is assessed by means of a score. For example, if the discriminating information item is the contour of the teeth, the mean distance between the points of the contour of the teeth which appears on the reference image and the points of the corresponding contour which appears
30 on the updated image may be compared, the score being all the higher when this distance is small.

The score may for example be a correlation coefficient.

Preferably, the virtual acquisition conditions comprise the calibration parameters of the acquisition apparatus. The score is that much higher when the values of the calibration parameters tested are close to the calibration parameter values of the acquisition apparatus used upon the acquisition of the updated image. For example, if the diaphragm aperture
 5 tested is far from that of the acquisition apparatus used upon the acquisition of the updated image, the reference image shows fuzzy regions and sharp regions which do not correspond to the fuzzy regions and to the sharp regions of the updated image. If the discriminating information item is the contour of the teeth, the updated and reference maps will not therefore represent the same contours and the score will be low.

10 The score is then assessed by means of an assessment function. The assessment function makes it possible to decide whether the cycling on the steps C1) to C5) must be continued or stopped. The assessment function may for example be equal to 0 if the cycling must be stopped or be equal to 1 if the cycling must continue.

The value of the assessment function may depend on the score achieved. For example, a
 15 decision may be made to continue the cycling if the score does not exceed a threshold. For example, if an exact match between the updated and reference images leads to a score of 100%, the threshold may be, for example, 95%. Obviously, the higher the threshold, the better will be the accuracy of the assessment of the virtual acquisition conditions if the score manages to exceed this threshold.

20 The value of the assessment function may also depend on scores obtained with virtual acquisition conditions tested previously.

The value of the assessment function may also depend on random parameters and/or on the number of cycles already performed.

In particular, it is possible, despite the repetition of the cycles, not to manage to find virtual
 25 acquisition conditions which are sufficiently close to the real acquisition conditions for the score to reach said threshold. The assessment function may then lead to the decision to exit the cycle even through the best score obtained has not reached said threshold. This decision may result, for example, from a number of cycles greater than a predetermined maximum number.

30 A random parameter in the assessment function may also authorize the continuation of tests of new virtual acquisition conditions, even though the score appears satisfactory.

The assessment functions conventionally used in the metaheuristic optimization, preferably evolutionist, methods, particularly in the simulated annealing methods, may be used for the assessment function.

In the step C5), if the value of the assessment function indicates a decision to continue the cycling, the virtual acquisition conditions to be tested are modified and the cycling recommences on the steps C1) to C5), consisting in producing a reference image and a reference map, in comparing the reference map with the updated map to determine a score, then in taking a decision as a function of this score.

The modification of the virtual acquisition conditions to be tested corresponds to a virtual displacement in space and/or to a modification of the orientation and/or, preferably, to a modification of the calibration of the acquisition apparatus. This modification may be random, preferably such that the new virtual acquisition conditions to be tested still belong to the set determined upon the rough assessment. The modification is preferably guided by heuristic rules, for example by favoring the modifications which, according to an analysis of the preceding scores obtained, appear most favorable for increasing the score.

The cycling is continued until the value of the assessment function indicates a decision to cease this cycling and to continue to the step D), for example if the score reaches or exceeds said threshold.

The optimization of the virtual acquisition conditions is preferably performed by using a metaheuristic, preferably evolutionist, method, preferably a simulated annealing algorithm. Such an algorithm is well known for nonlinear optimization.

If the cycling has been exited without a satisfactory score having been able to be obtained, for example without the score having been able to reach said threshold, the method may be stopped (failure situation) or a new step C) may be launched, with a new discriminating information item and/or with a new updated image. The method may also be continued with the virtual acquisition conditions corresponding to the best score reached. A warning may be emitted in order to inform the user of the error on the result.

If the cycling has been exited when a satisfactory score has been able to be obtained, for example because the score has reached, even exceeded said threshold, the virtual acquisition conditions correspond substantially to the real acquisition conditions of the updated image.

Preferably, the virtual acquisition conditions comprise the calibration parameters of the acquisition apparatus. The method thus makes it possible to assess the values of these parameters without it being necessary to know the nature of the acquisition apparatus or its setting. The acquisition of the updated images may therefore be performed without any particular precautions, for example by the patient him or herself by means of his or her
5 cellphone.

In addition, the search for the real calibration is performed by comparing an updated image with views of a reference model in virtual acquisition conditions to be tested. Advantageously, it does not require the updated image to show a standard calibration gauge,
10 that is to say a gauge whose characteristics are accurately known making it possible to determine the calibration of the acquisition apparatus.

The step C) therefore culminates in the determination of virtual acquisition conditions exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions. The reference image therefore exhibits a maximal match with the updated image, that is to say that these two
15 images may substantially be superimposed.

In one embodiment, said search of the virtual acquisition conditions in the step C) is performed by using a metaheuristic, preferably evolutionist, method, preferably a simulated annealing algorithm.

In the step D), the reference tooth zones are identified on the reference image and they are
20 transferred to the updated image to define corresponding updated tooth zones.

In particular, the reference image is a view of the updated reference model segmented into tooth models. The limits of the representation of each tooth model on the reference image, or “reference tooth zone”, may therefore be identified.

The superimposition of the updated and reference images then makes it possible to transfer
25 the limits of the reference tooth zones to the updated image, and thus define the updated tooth zones. Since the reference image exhibits a maximal match with the updated image, the updated tooth zones therefore substantially define the limits of the tooth models represented on the reference image.

In the step E), each updated tooth zone is assigned the tooth attribute value or values of the
30 tooth model which corresponds to it.

In particular, the reference image is a view of the updated reference model in which the tooth models have been assigned respective tooth attribute values for at least one tooth attribute, for example a tooth number. Each reference tooth zone may therefore inherit the tooth attribute value of the tooth model that it represents. Each updated tooth zone may then inherit
 5 the tooth attribute value of the reference tooth zone which allowed it to be defined.

At the end of the step E), an updated image and a description of the updated image is therefore obtained that defines one or more updated tooth zones and, for each of these zones, a tooth attribute value for at least one tooth attribute, for example a tooth number.

The updated image enriched with its description is called “historical image”.

10 Figure 17a shows an example of updated image (acquired in the step B)) being analyzed in order to determine the contours of the teeth. Figure 17b shows the reference image exhibiting a maximal match with the updated image (resulting from the step C)). The numbers of the teeth are displayed on the corresponding teeth. Figure 17c illustrates the transfer of the tooth numbers to the updated tooth zones (step D) and E)).

15 **In the step F)**, the historical image is added to the learning base.

The steps A) to F) are preferably performed for more than 1000, more than 5000, or more than 10 000 different patients, or “historical patients”.

As now clearly emerges, the invention provides a method that is particularly effective for creating a learning base.

20 The invention relates also to a method for training a deep learning device, preferably a neural network, said method comprising an enrichment of a learning base according to a method comprising steps A) to F) so as to acquire a plurality of historical images, then the use of said learning base to train said deep learning device.

Second main embodiment of the enrichment method

25 The invention is not however limited to the embodiments described above.

In particular, the updated reference model is not necessarily the direct result of a scan of the arch of the patient. The updated reference model may in particular be a model obtained by deformation of an initial reference model which is itself resulting directly from such a scan.

The method then comprises, preferably, in place of the steps A) to C), the steps A') to C').

The step A') is identical to the step A). In the step A'), the reference model generated is however intended to be modified. It is therefore qualified as "initial reference model", and not as "updated reference model", as according to the step A).

The initial reference model may in particular be generated at an initial instant preceding an active orthodontic treatment, for example less than 6 months, less than 3 months, or less than 1 month before the start of the treatment. The steps B') to C') may then be implemented to track the trend of the treatment between the initial instant and the updated instant of the step B').

The initial instant may alternatively be an instant at the end of active orthodontic treatment, for example less than 6 months, less than 3 months, or less than 1 month after the end of the treatment. The steps B') to C') may then be implemented to monitor the appearance of any recurrence.

The step B') is identical to the step B). In the step B'), the updated images are however also intended to guide the modification of the initial reference model to define the updated reference model, in the step C').

The time interval between the steps A') and B') is not limited, since, as explained hereinbelow, the initial reference model will be deformed to obtain an updated reference model with maximal match with the updated images. The time interval between the steps A') and B') may for example be greater than 1 week, than 2 weeks, than 1 month, than 2 months or more than 6 months.

The step C') is more complex than the step C) since the search for a reference image exhibiting a maximal match with an updated image is not limited to searching for the optimal virtual acquisition conditions. It also includes a search for an updated reference model, that is to say a reference model in which the teeth have substantially the same position as on the updated image.

The step C') preferably comprises one or more of the features of the steps c), d) and e) of WO 2016 066651, and in particular of the step e) illustrated in figure 16.

The objective is to modify the initial reference model until an updated reference model is obtained which exhibits a maximal match with the updated image. Ideally, the updated reference model is therefore a model of the arch from which the updated image would have been able to be taken if this model had been the arch itself.

A succession of reference models “to be tested” is therefore tested, the choice of a reference model to be tested preferably being dependent on the level of correspondence of the reference models “to be tested” previously tested with the updated image.

Preferably, the search comprises, for an updated image,

- 5 – a first optimization operation making it possible to search, in a reference model to be tested determined from the initial reference model, for virtual acquisition conditions best corresponding to the real acquisition conditions of the updated image, and
- a second optimization operation making it possible to search, by testing a plurality of said reference models to be tested, for the reference model best corresponding to the
- 10 positioning of the teeth of the patient upon the acquisition of the updated image.

Preferably, a first optimization operation is performed for each test of a reference model to be tested during the second optimization operation.

- 15 Preferably, the first optimization operation and/or the second optimization operation, preferably the first optimization operation and the second optimization operation, implement a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably a simulated annealing.

The step C') therefore culminates in the determination

- of an updated reference model exhibiting a maximal match with the updated image, and
- virtual acquisition conditions exhibiting a maximal match with the real acquisition
- 20 conditions.

A method comprising the steps A') to C') may advantageously be implemented in the context of an active or passive orthodontic treatment, or, more generally, to track any changes to the teeth.

- 25 In the different methods according to the invention, the enrichment of the learning base does not necessarily result from an enrichment method according to the invention.

- In one embodiment, the learning base is created by an operator. The latter thus analyzes thousands of analysis images. For the learning base to be able to be used for the implementation of a detailed analysis method, it determines the tooth zones, then assigns them tooth attribute values. For the learning base to be able to be used for the implementation
- 30 of a global analysis method, it assigns image attribute values to each image. It may thus form historical images.

Detailed image analysis method

The method for detailed analysis of an “analysis image” of a dental arch of a patient according to the invention comprises the steps 1) to 4).

5 Preferably, the analysis image, preferably a photograph or an image extracted from a film, preferably in color, preferably in real color, is acquired with an image acquisition apparatus, preferably a cellphone, separated from the dental arch by more than 5 cm, more than 8 cm, even more than 10 cm, and which, preferably, has no other specific optic.

10 Preferably, the analysis image represents several teeth, preferably more than 2, more than 3, more than 4 or more than 5 teeth of the patient. Figure 12a or figure 12b could be examples of analysis images. The arrangement of the teeth is realistic, i.e. it corresponds to the arrangement which is observed by the image acquisition apparatus when it has acquired the analysis image.

15 Preferably, the acquisition of the analysis image is performed by the patient, preferably without the use of a support which is bearing on the ground and is immobilizing the image acquisition apparatus, and in particular without tripod.

20 In one embodiment, the triggering of the acquisition of the analysis image is automatic, that is to say without the action of an operator, as soon as the acquisition conditions are approved by the image acquisition apparatus, in particular when the image acquisition apparatus has determined that it observes a dental arch and/or a retractor and that the observation conditions are satisfactory (sharpness, brightness, even dimensions of the representation of the dental arch and/or of the retractor).

25 **In the step 1)**, a learning base is created comprising more than 1000, preferably more than 5000, preferably more than 10 000, preferably more than 30 000, preferably more than 50 000, preferably more than 100 000 historical images. The greater the number of historical images, the better the analysis performed by the method.

Preferably, a learning base is used that is enriched according to an enrichment method according to the invention.

The learning base may however be constructed according to other methods, for example be created manually. To create a historical image of the learning base, an operator, preferably

an orthodontist, identifies one or more “historical” tooth zones on an image, called then assigns, to each identified historical tooth zone, a value for at least one tooth attribute.

In step 2), a deep learning device, preferably a neural network, is trained with the learning base.

- 5 A “neural network” or “artificial neural network” is a set of algorithms well known to a person skilled in the art.

The neural network may in particular be chosen from:

- the networks specializing in the classification of images, called “CNN” (“convolutional neural network”), for example
 - 10 – AlexNet (2012)
 - ZF Net (2013)
 - VGG Net (2014)
 - GoogleNet (2015)
 - Microsoft ResNet (2015)
 - 15 – Caffe: BAIR Reference CaffeNet, BAIR AlexNet
 - Torch: VGG_CNN_S, VGG_CNN_M, VGG_CNN_M_2048, VGG_CNN_M_1024, VGG_CNN_M_128, VGG_CNN_F, VGG_ILSVRC-2014 16-layer, VGG_ILSVRC-2014 19-layer, Network-in-Network (Imagenet & CIFAR-10)
 - Google: Inception (V3, V4).
- 20 – The networks specializing in the location and detection of objects in an image, the object detection network, for example:
 - R-CNN (2013)
 - SSD (Single Shot MultiBox Detector: Object Detection network), Faster R-CNN (Faster Region-based Convolutional Network method: Object Detection
 - 25 network)
 - Faster R-CNN (2015)
 - SSD (2015).

The above list is not limiting

- In the step 2), the deep learning device is preferably trained by a learning process called
- 30 “*deep learning*”. By presenting, as input for the deep learning device, historical images (images + descriptions), the deep learning device progressively learns to recognize *patterns*

on an image, and to associate them with tooth zones and with tooth attribute values, for example tooth numbers.

In the step 3), the image that is to be analyzed, or “analysis image”, is submitted to the deep learning device.

- 5 Through its training in the step 2), the deep learning device is capable of analyzing the analysis image and of recognizing said patterns therein. It may in particular determine a probability relating to:
- the presence, at a location in said analysis image, of a zone representing, at least partially, a tooth, or “analysis tooth zone”,
 - 10 – the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone.

For example, it is capable of determining that there is a 95% chance that a form of the analysis image represents an incisor.

Preferably, the deep learning device analyses all the analysis image and determines probabilities for all the analysis tooth zones that it has identified.

- 15 **In the step 4)**, the results of the preceding step are analyzed to determine the teeth represented on the analysis image.

When the learning base comprises more than 10 000 historical images, the step 3) gives particularly satisfactory results. In particular, such a learning base makes it possible to establish a probability threshold such that, if a probability associated with an analysis tooth zone and with a tooth attribute value for this analysis tooth zone exceeds said threshold, the analysis tooth zone effectively represents a tooth having said tooth attribute value.

20

The step 4) thus leads to the definition of an analysis image enriched with a description defining the analysis tooth zones and, for each analysis tooth zone, the values of the attributes of the tooth represented by the analysis tooth zone.

25

Global image analysis method

The method for global analysis of an updated image of a dental arch of a patient according to the invention comprises the steps 1') to 3').

The method is similar to the detailed analysis method described above, apart from the fact that, according to the global analysis, it is not necessary to analyze the individual situation

30

of each tooth. The analysis is global to all the image. In other words, the deep learning device determines the value of an “image” attribute without having to previously determine tooth attribute values.

For example, the deep learning device may conclude that, “globally”, the dental situation is
 5 “satisfactory” or “unsatisfactory”, without determining the tooth potentially at the origin of the dissatisfaction.

The step 1’) is similar to the step 1). The historical images however include a description specifying an image attribute value for each image.

The step 2’) is similar to the step 2).

10 **In the step 3’)**, the analysis image is submitted to the deep learning device.

Through its training in the step 2’), the deep learning device is capable of analyzing the analysis image and of recognizing said patterns therein. Based on these patterns, it may in particular determine a probability relating to the value of the image attribute considered.

15 Application to the modeling of a dental arch

A detailed analysis method according to the invention is in particular useful for modeling a dental arch, notably for establishing a remote diagnostic.

It is desirable for each to regularly check his or her dentition, particularly in order to check that the position of his or her teeth is not changing for the worse. In an orthodontic treatment,
 20 this change for the worse may in particular lead to the treatment being modified. After an orthodontic treatment, a change for the worse, called “recurrence”, may lead to a repeat of a treatment. Finally, more generally and independently of any treatment, each may want to track any displacements of his or her teeth.

Conventionally, the checks are performed by an orthodontist who has appropriate apparatus.
 25 These checks are therefore costly. Furthermore, the appointments are restrictive. Finally, some people are apprehensive of a visit to an orthodontist and will fail to make an appointment for a simple check or to assess the feasibility of an orthodontic treatment.

US 2009/0291417 describes a method making it possible to create, then modify, three-dimensional models, particularly for the manufacture of orthodontic appliances.

WO 2016 066651 describes a method for checking the positioning and/or the shape and/or the appearance of teeth of a patient. This method comprises a step of creation of an initial reference model of the teeth, at an initial instant, preferably with a 3D scanner, then, at a subsequent instant, or “updated instant”, for example six months after the initial instant, the
 5 creation of an updated reference model, by deformation of the initial reference model. This deformation is performed in such a way that the updated reference model allows observation substantially identical to images of the teeth acquired at the updated instant, in particular to photos or images from a video taken by the patient him or herself, with no particular precautions, called “updated images”.

10 The updated images are therefore used to modify the initial, very accurate, reference model. The updated reference model which results from the deformation of the initial reference model, guided by the analysis of the updated images, is therefore also very accurate.

The method described in WO 2016/66651 does however require an appointment with the orthodontist in order to create the initial reference model. This appointment constitutes a
 15 brake to prevention. In effect, a patient will not necessarily consult an orthodontist if he or she does not perceive the need therefor. In other words, the method is often implemented only if a malocclusion is found and has to be corrected.

There is therefore a need for a method that addresses this problem, by facilitating prevention.

One aim of the invention is to address this need.

20 To this end, the invention proposes a method for modeling a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- a) creation of a historical library comprising more than 1000 tooth models, called “historical tooth models”, and assignment to each historical tooth model of a value for at least one tooth attribute, or “tooth attribute value”;
- 25 b) analysis of at least one “analysis image” of the dental arch according to a detailed analysis method according to the invention, so as to determine at least one analysis tooth zone and at least one tooth attribute value associated with said analysis tooth zone;
- c) for each analysis tooth zone determined in the preceding step, search, in the historical
 30 library, for a historical tooth model exhibiting a maximum proximity with the analysis image or with the analysis tooth zone, or “optimal tooth model”;

- d) arrangement of all the optimal tooth models so as to create a model which exhibits a maximal match with the updated image, or “assembled model”;
- e) optionally, replacement of at least one optimal tooth model by another historical tooth model and repeat of the step d) so as to maximize the match between the assembled model and the analysis image;
- f) optionally, repeat of the step b) with another analysis image and, in the step d) and/or e), search for a maximal match with all the analysis images used.

The invention thus makes it possible, from a simple analysis image, for example a photograph taken by means of a cellphone, to reconstruct, with a good reliability, a dental arch in the form of an assembled model. In particular, the analysis image may be acquired as described here above at step 1).

Obviously, the analysis of a single analysis image is insufficient to generate an assembled model which accurately corresponds to the arrangement of the teeth of the patient. Such an accuracy is however not generally essential for performing a first diagnosis of the dental situation of the patient.

Moreover, the accuracy of the assembled model may be increased if several analysis images are processed.

The steps b) to c) are preferably implemented for several analysis images and, in the steps d) and e), the optimal tooth models and an assembled model are searched so as to obtain a maximal match in light of all the analysis images (step f)).

The invention also relates to a method for assessing a dental situation of a patient, comprising the following steps:

- i) creation of an assembled model according to a modeling method according to the invention;
- ii) transmission of the assembled model to a recipient, preferably an orthodontist and/or a computer;
- iii) analysis of the orthodontic situation of the patient, by the recipient, from the assembled model;
- iv) preferably, informing of the patient of the orthodontic situation, preferably, via his or her cellphone.

The patient may therefore very easily ask an orthodontist to check his or her dental situation, without even having to travel, by simply transmitting one or preferably several photos of his or her teeth.

A modeling method is now described in detail.

- 5 **In the step a),** a historical library 20 (figure 18) is created comprising more than 1000, preferably more than 5000, preferably more than 10 000 historical tooth models 22. The greater the number of historical tooth models, the more accurate the assembled model.

10 A historical tooth model can in particular be obtained from a model of a dental arch of a “historical” patient obtained with a scanner. This arch model may be segmented in order to isolate the representations of the teeth, as in figure 11d. Each of these representations, exhibiting a specific gray shade in figure 11d, can constitute a historical tooth model.

Preferably, the library is enriched with the tooth models resulting from the implementation of the method described in WO 2016 066651 or of the step A) or A') described above.

15 One or several tooth attributes, in particular chosen from the list supplied above, are associated with the tooth models. A tooth attribute value is assigned to each tooth attribute of a particular tooth model, as described previously (see the description of the step A)). For example, a tooth model is that of an “incisor”, “greatly worn”, and whose color parameters are, in the color system $L^*a^*b^*$ according to the standard NF ISO 7724, “ $a^*=2$ ”, “ $b^*=1$ ” and “ $L^*=58$ ”.

20 The historical library therefore contains historical tooth models and associated attribute values which facilitate the search in the step c). In figure 18, only historical tooth models 22 representing molars have been represented in the historical library 20.

25 In the step b), an analysis image is acquired, as described above for the step B), before analyzing it. In particular, the analysis image is preferably a photo or an image from a film, preferably with a cellphone.

The analysis image can be acquired at any moment after the step a), for example more than one week, more than one month or more than six months after the step a).

The analysis image is analyzed according to a detailed analysis method according to the invention. The optional features of this method are also optional in the step b).

On completion of the step b), an analysis image is obtained that is enriched with a description providing, for each analysis tooth zone, a tooth attribute value for at least one tooth attribute, for example a tooth number.

In the step c), a search is carried out in the historical library, for each analysis tooth zone
 5 determined in the preceding step, for a historical tooth model exhibiting a maximal proximity with the analysis tooth zone. This tooth model is qualified as “optimal tooth model”.

The “proximity” is a measurement of one or more differences between the historical tooth model and the analysis tooth zone. These differences may include a difference in shape, but also other differences like a difference in translucency or in color. The maximal proximity
 10 may be searched for by successively minimizing several differences, or by minimizing a combination of these differences, for example a weighted sum of these differences.

The “proximity” is therefore a broader concept than “match”, the match measuring only a shape-related proximity.

The assessment of the proximity of a historical tooth model with an analysis tooth zone
 15 preferably comprises a comparison of at least one value of a tooth attribute of the analysis tooth zone with the value of this attribute for the historical tooth model. Such an assessment is advantageously very rapid.

For example, if the description of the analysis tooth zone provides a value for the type or the number of the tooth, the thickness of the tooth represented and/or the height of its crown
 20 and/or its mesio palatine width and/or the mesial and distal deflection index of its incisal edge, this value may be compared to the value of the corresponding attribute of each of the historical tooth models.

Preferably, a historical tooth model is sought that has, for at least one tooth attribute, the same value as said analysis tooth zone. The tooth attribute may in particular relate to the
 25 tooth type or to the tooth number. In other words, the historical tooth models are filtered to examine in more detail only those which relate to the same type of tooth as the tooth represented on the analysis tooth zone.

Alternatively or, preferably, in addition to this comparison of the attribute values, the shape of the tooth represented on the analysis tooth zone may be compared to the shape of a
 30 historical tooth model to be assessed, preferably by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

To this end, the historical tooth model to be assessed is observed from different angles. Each view thus obtained is compared with the analysis image, preferably with the analysis tooth zone, so as to establish a “distance” between this view and said analysis image or, preferably, said analysis tooth zone. The distance thus measures the difference between the view and
 5 the analysis tooth zone.

The distance may be determined after a processing of the view and of the analysis image or, preferably, of the analysis tooth zone, so as to reveal, on corresponding maps, one and the same discriminating information item, for example a contour information item, as described above in the step C3) or in WO 2016 066651.

10 For each historical tooth model tested, a view is thus determined which provides a minimal distance with the analysis image or with the analysis tooth zone. Each historical tooth model examined is thus associated with a particular minimal distance, which measures its proximity of shape with the analysis tooth zone.

The optimal historical tooth model is the one which, in light of the comparison or
 15 comparisons performed, is considered to be closest to the analysis tooth zone.

The minimal distances obtained for the different tooth models tested are then compared and, to define the optimal tooth model, the one which exhibits the smallest minimal distance is retained. The optimal tooth model therefore exhibits a maximal match with the analysis image.

20 The search for the maximal match is preferably performed by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

In a preferred embodiment, a first assessment of the historical tooth models by comparison of the values of at least one tooth attribute, for example the tooth number, with the corresponding values of the analysis tooth zone, then a second assessment by comparison of
 25 shape are performed in succession. The first, rapid assessment, advantageously makes it possible to filter the historical tooth models in order to submit only the historical tooth models retained by the first assessment to the second, slower assessment.

For example, if an analysis tooth zone represents a tooth number 15, the first assessment makes it possible to retain only the tooth models modeling teeth number 15. During the
 30 second assessment, a search is conducted, among all the historical tooth models modeling

teeth number 15, for the historical tooth model whose shape most approximates that of the tooth represented.

More preferably, several first assessments are performed before performing the second assessment. For example, the first assessments make it possible to filter the historical tooth
5 models so as to retain only the tooth models modeling teeth number 15 and which exhibit a crown height of between 8 and 8.5 mm.

On completion of the step c), an optimal tooth model has thus been associated with each of the analysis tooth zones.

For example, in figure 18, the historical tooth model 22₁ can be observed so as to strongly
10 resemble an analysis zone identified on the analysis image. It is considered as optimal for this analysis zone.

In the step d), an assembled model is created by arranging the optimal tooth models.

According to one embodiment, at the start of the step d), a first rough arrangement is created, that is to say that a rough model is produced by assembling optimal tooth models.

15 To establish the first rough arrangement, the optimal tooth models can be oriented so that their optimal directions of observation are all parallel, the optimal direction of observation of a tooth model being the direction in which said tooth model exhibits a maximum match with the analysis image.

The first rough arrangement may be also established by considering the tooth attribute values
20 of the optimal tooth models. For example, if the tooth numbers of optimal tooth models are those of the canines and of the incisors, these tooth models may be arranged according to an arc 24 (figure 18) corresponding conventionally to the region of the arch which bears these types of teeth.

The shape of this arc may be refined as a function of other tooth attribute values.

25 The order of the optimal tooth models is that of the corresponding analysis tooth zones.

Moreover, the minimal distance associated with an optimal tooth model results from an observation of the tooth model according to an “optimal” observation direction. In other words, it is probably substantially from this direction that the tooth that this model models is also observed in the analysis image. All the optimal tooth models are thus preferably
30 oriented in such a way that their respective optimal observation directions are all parallel.

It is thus possible to define a first arrangement of the optimal tooth models.

Preferably, the first arrangement of the optimal tooth models is then modified iteratively, so as to exhibit a maximal match with the analysis image.

To assess an arrangement, it is observed according to different angles. Each view thus
 5 obtained is compared with the analysis image so as to establish a “distance” between this view and said analysis image. The distance thus measures the difference between the view and the analysis image.

The distance may be determined after a processing of the view and of the analysis image so as to reveal, on one of the corresponding maps, a discriminating information item, for
 10 example a contour information item, as described above in the step C3) or in WO 2016 066651.

For each arrangement examined, a view is thus determined that provides a minimal distance with the analysis image. Each arrangement examined is thus associated with a minimal distance.

15 The minimal distances obtained for the different arrangements tested are then compared and, to define the optimal arrangement, the one which exhibits the smallest minimal distance is retained. The optimal arrangement thus exhibits a maximal match with the analysis image.

The search for the maximal match is performed preferably by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

20 On completion of the step d), an optimal arrangement of the optimal tooth models, that is to say the assembled model 26, is obtained.

In the optional step e), one or more optimal tooth models are replaced by other tooth models, then there is a return to the step d) so as to maximize the match between the assembled model and the analysis image.

25 It is in fact possible for an optimal tooth model, in the “optimal” arrangement, to no longer exhibit a maximal match with the analysis image. In particular, the tooth model might have been observed in an “optimal” direction which provided a view exhibiting a minimal distance with the analysis image (reason why it was considered as optimal), but, in the optimal arrangement, it is no longer oriented according to the optimal direction.

A new search for an assembled model may therefore be performed by modifying the tooth models, for example by replacing the optimal tooth models with close tooth models.

The search for the tooth models to be tested is preferably performed by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

5 In the preferred embodiment, the method therefore implements a double optimization, on the tooth models and on the arrangement of the tooth models, the assembled model being the arrangement of a set of tooth models which provides the minimal distance with the analysis image, by considering all the possible tooth models and all the possible arrangements.

10 **In the optional and preferred step f)**, the method implements several analysis images of the arch of the patient, preferably more than 3, more than 5, more than 10, more than 50, preferably more than 100 analysis images. The assembled model is thus more complete. More preferably, the method implements an optimization such that the assembled model obtained is optimal in light of all of the analysis images. In other words, the assembled model
15 is preferably the one which maximizes the match with all of the analysis images.

In the preferred embodiment, the method therefore implements a double or, preferably a triple optimization, on the tooth models on the one hand, on the arrangement of the tooth models and/or on a plurality of analysis images on the other hand, the assembled model being the arrangement of a set of tooth models which provides the mean minimal distance,
20 over all of the analysis images, by considering all the possible tooth models and, preferably, all the possible arrangements.

According to one embodiment, in the step d) and/or e) and/or f), a metaheuristic, preferably evolutionist, method, preferably by simulated annealing, is used.

25 As now clearly appears, the invention thus makes it possible to construct an assembled dental arch model from simple analysis images, for example photographs taken by means of a cellphone. Obviously, the accuracy of the assembled model does not reach that of a scan. In some applications, for example to perform a first diagnosis of the dental situation of the patient, such an accuracy is not however essential.

The assembled model may therefore be used to analyze the orthodontic situation of the
30 patient, according to the steps ii) to iv).

In the step ii), the assembled model is sent to an orthodontist and/or to a computer provided with diagnostic software.

In one embodiment, the assembled model is sent accompanied by a questionnaire filled out by the patient in order to improve the quality of the analysis in the step iv).

- 5 **In the step iii)**, the orthodontist and/or the computer examines the assembled model. Unlike an updated image, the assembled model allows an observation from any angle. The analysis is advantageously more accurate.

10 **In the step iv)**, the orthodontist and/or the computer informs the patient, for example by sending him or her a message on his or her telephone. This message may in particular inform the patient of an unfavorable situation and urge him or her to make an appointment with the orthodontist.

The orthodontist may also compare the assembled model with assembled models received previously for the same patient. The analysis thereof advantageously makes it possible to assess the trend of the situation. The message may thus inform the patient of an unfavorable change of his or her situation, which improves the prevention.

15

The assembled model may also be compared with one or more models obtained by scanning of the teeth or from a molding of the teeth of the patient, or with an updated reference model resulting from the implementation of a method described in WO 2016 066651.

20 Application to embedded monitoring

An image analysis according to the invention is also useful for guiding the acquisition of an image of a dental arch, in particular for establishing a remote diagnosis.

In particular, WO 2016/066651 describes a method in which an initial reference model is deformed so as to obtain an updated reference model allowing the acquisition of reference images exhibiting a maximal match with the “updated” images of the arch acquired at the updated instant.

25

The reference images are therefore views of the updated reference model, observed in virtual acquisition conditions which are the closest possible matches with the real acquisition conditions implemented to acquire the updated images of the arch of the patient.

The search for these virtual acquisition conditions is preferably performed by means of metaheuristic methods.

To speed up this search, WO 2016/066651 recommends performing a first rough assessment of the real acquisition conditions. For example, conditions which would correspond to a position of the acquisition apparatus at a distance from the teeth greater than 1 meter are excluded from the search.

There is however an ongoing need to speed up the execution of the method described in WO 2016/066651, and in particular, to search, more rapidly, for the virtual acquisition conditions exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions implemented to acquire an updated image of the arch of the patient.

One aim of the invention is to at least partially address this problem.

The invention proposes a method for acquiring an image of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- a') activation of an image acquisition apparatus so as to acquire an image, called "analysis image", of said arch;
- b') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably a neural network, trained by means of a learning base, preferably according to a detailed analysis method according to the invention, so as to identify at least one analysis tooth zone representing a tooth on said analysis image, and to determine at least one tooth attribute value for said analysis tooth zone, or according to a global analysis method according to the invention;
- c') determination, for the analysis image, of a value for an image attribute, said value being a function of said tooth attribute value if a detailed analysis method according to the invention has been implemented in the preceding step;
- d') optionally, comparison of said image attribute value with an instruction;
- e') sending of an information message as a function of said comparison.

In one embodiment, in the step b'), all said analysis tooth zones are identified, and at least one tooth attribute value is determined for each analysis tooth zone, and, in the step c'), the value for the image attribute is determined as a function of said tooth attribute values.

In one embodiment, the step b') comprises the following steps:

- 1) preferably before the step a'), creation of a learning base comprising more than 1 000 dental arch images, or "historical images", each historical image comprising one or more zones each representing a tooth, or "historical tooth zones", to each of which, for said tooth attribute, a tooth attribute value is assigned;
- 2) training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- 3) submission of the analysis image to the deep learning device so that it determines at least one probability relating to:
 - the presence, at a location in said analysis image, of a zone representing, at least partially, a tooth, or "analysis tooth zone",
 - the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone,
- 4) determination, as a function of said probability, of the presence of a tooth at a position represented by said analysis tooth zone, and of the attribute value of said tooth.

In one embodiment, the step b') comprises the following steps:

- 1') creation of a learning base comprising more than 1 000 dental arch images, or "historical images", each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or "image attribute value";
- 2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- 3') submission of the analysis image to the deep learning device so that it determines, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value.

In one embodiment, to create a historical image of the learning base, an operator, preferably an orthodontist,

- identifies one more "historical" tooth zones on an image, then assigns each identified historical tooth zone a value for at least one tooth attribute, and/or
- assigns an image a value for at least one tooth attribute.

In one embodiment, the information message is sent by the acquisition apparatus.

As will be seen in more detail hereinafter in the description, an acquisition method according to the invention therefore makes it possible to check whether an analysis image respects an instruction and, if it does not respect the instruction, to guide the operator in order for him or her to acquire a new analysis image. The method therefore allows an “embedded
5 monitoring”, preferably in the image acquisition apparatus.

In particular, to implement the method of WO 2016/066651, there may be a desire to acquire updated images from different acquisition directions, for example a front image, a right image and a left image. These updated images, acquired in succession, may be classified accordingly. The search for the virtual acquisition conditions exhibiting a maximal match
10 with the real acquisition conditions is speeded up thereby.

In effect, the search may begin from virtual acquisition conditions in which the virtual acquisition apparatus is in front, to the left or to the right of the updated reference model, depending on whether the updated image considered is classified as a front, left or right image, respectively.

15 The operator, generally the patient, may however make a mistake in the acquisition of the updated images. In particular, he or she may forget to take an updated image, for example the front view, or invert two updated images. Typically, the operator may take an image on the right whereas a left image is expected from him or her.

This inversion of the updated images may considerably slow down their processing. For
20 example, if the updated image is assumed to be an image taken on the left but it was in error taken on the right, said search for the optimal virtual acquisition conditions, that is to say those exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions, will begin from a starting point offering a left view of the reference model, whereas the optimal virtual acquisition conditions correspond to a right view. The search will therefore be considerably
25 slowed down thereby.

By virtue of the invention, each updated image is an analysis image which may be analyzed and checked, preferably in real time.

For example, the acquisition method makes it possible to determine that the updated image has been “taken on the right” and compare this image attribute value with the instruction
30 which had been given to the operator to take the updated image on the left. Since the attribute value of the updated image (image taken on the right) does not correspond to the instruction

(acquire an updated image on the left), the acquisition apparatus may immediately alert the operator in order for him or her to modify the acquisition direction.

An acquisition method is now described in detail.

5 **In the step a')**, the operator activates the image acquisition apparatus so as to acquire an analysis image.

In one embodiment, the operator triggers the acquisition apparatus so as to store the analysis image, preferably takes a photo or video of his or her teeth, preferably by means of a cellphone equipped with a camera.

10 The step a') may be performed like the acquisition of the updated images in the step B) described above.

In another embodiment, the analysis image is not stored. In particular, the analysis image may be the image which, in real time, appears on the screen of the cellphone of the operator, generally the patient.

15 In a first embodiment, **in the step b')**, the analysis image is analyzed according to a detailed analysis method according to the invention. This analysis preferably leads to the assignment of a tooth attribute value to each identified analysis tooth zone, for example to assigning a tooth number to each of the analysis tooth zones.

20 **In the step c')**, an attribute value of the analysis image is determined as a function of the tooth attribute values. The attribute value of the analysis image may relate to its general orientation and may for example take one of the following three values: "right photo", "left photo" and "front photo". The attribute value of the analysis image may also be the list of the tooth numbers represented, for example, "16, 17 and 18". The attribute value of the analysis image may also be, for example, the "presence" or "absence" of a dental, preferably orthodontic, appliance, or the state of opening of the mouth ("mouth open", "mouth closed").

25 In another embodiment, a global analysis method according to the invention is implemented in the step b'). Advantageously, such a method makes it possible to directly obtain a value for an image attribute, without having to determine values for a tooth attribute. It is therefore advantageously more rapid. The information resulting from a global analysis may however be less accurate than that resulting from a detailed analysis.

30 The steps a') to c') thus make it possible to characterize the analysis image.

The characterization of the analysis image makes it possible to guide the operator if the analysis image does not correspond to the expected image, for example because its quality is insufficient or because it does not represent the desired teeth.

In the step d'), the image attribute value of the analysis image is compared with an instruction.

For example, if the instruction was to acquire a right image and the image attribute value is "take on the left", the comparison leads to the conclusion that the image acquired is "unsatisfactory".

In the step e'), a message is sent to the operator, preferably by the acquisition apparatus.

Preferably, the information message relates to the quality of the image acquired and/or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch and/or to the setting of the acquisition apparatus and/or to the opening of the mouth and/or to the wearing of a dental, preferably orthodontic, appliance.

For example, if the image acquired is "unsatisfactory", the acquisition apparatus may emit a light, for example red, and/or ring, and/or generate a voice message, and/or vibrate, and/or display a message on its screen.

For example, if the image has to be acquired while the patient wears his or her dental appliance and this is not the case, the acquisition apparatus may send the message "wear your appliance for this image".

For example, if the image was acquired with the patient not sufficiently opening the mouth or with the mouth closed, the acquisition apparatus may send the message "open your mouth more for this image".

In one embodiment, the steps b') to c') are implemented only if the operator records the analysis image, that is to say he or she presses on the trigger. The message then prompts the operator to acquire a new analysis image. Optionally, the acquisition apparatus deletes the unsatisfactory analysis image.

In one embodiment, the steps b') to c') are implemented permanently when the acquisition apparatus is switched on and the analysis image is an image which appears on a screen of the acquisition apparatus. The acquisition apparatus may thus, for example, emit a red light as long as the analysis image is unsatisfactory, and emit a green light when the analysis

image is satisfactory. Advantageously, the acquisition apparatus then stores only analysis images which are satisfactory.

As now clearly emerges, the invention therefore allows an embedded monitoring upon the acquisition of analysis images. When applied to updated images of the method of
 5 WO 2016/066651, the steps a') to e') make it possible to check that these images do indeed conform to the need, and therefore to considerably speed up the execution of this method.

The steps d') and e') are optional. In one embodiment, the analysis image is only associated with its description, which specifies its image attribute value. This description also makes it possible to considerably speed up the execution of the method of WO 2016/066651 since,
 10 when the analysis image is used as updated image of this method, it makes it possible to approximately determine the real acquisition conditions of this image, by eliminating the risk of a rough error, for example because of a reversal between two images.

The steps d') and e') are however preferred. They make it possible for example to avoid having the operator forget a left image, or take two redundant right images.

15

Application to the monitoring of an orthodontic aligner

Conventionally, at the start of an orthodontic treatment, the orthodontist determines the positioning of the teeth that he or she wants to obtain at a so-called "set-up" instant of the treatment. The set-up may be defined by means of an imprint or from a three-dimensional
 20 scan of the teeth of the patient. The orthodontist then has manufactured, or manufactures, accordingly, an orthodontic appliance suited to this treatment.

The orthodontic appliance may be an orthodontic aligner. An aligner conventionally takes the form of a removable single-piece appliance, conventionally made of a transparent polymer material, which comprises a channel conformed for several teeth of an arch,
 25 generally all the teeth of an arch, to be able to be housed therein.

The form of the channel is adapted to hold the aligner in position on the teeth, while exerting an action of correction of the positioning of certain teeth (figures 14 and 15).

At the start of the treatment, the shapes that the different aligners have to take at different moments of the treatment are conventionally determined, then the set of corresponding
 30 aligners is manufactured. At predetermined instants, the patient changes the aligner.

The treatment by means of aligners is advantageously less stressful for the patient. In particular, the number of appointments with the orthodontist is limited. Furthermore, there is less pain than with a metal orthodontic brace attached to the teeth.

The market for orthodontic aligners is therefore on the increase.

- 5 At regular intervals, the patient goes to the orthodontist for a visual inspection, notably to check whether the displacement of the teeth conforms to the expectations and whether the aligner worn by the patient is still suited to the treatment.

If the orthodontist diagnoses an unsuitability to the treatment, he or she takes a new imprint of the teeth, or, in an equivalent manner, a new three-dimensional scan of the teeth, then
10 orders a new series of aligners configured accordingly. It is considered that, on average, the number of aligners finally manufactured is approximately 45, instead of 20 aligners conventionally provided at the start of the treatment.

The need to have to go to the orthodontist is a constraint for the patient. The trust of the patient in his or her orthodontist may also be affected. The inadequacy may be unsightly.
15 Finally, the result thereof is an additional cost.

The number of inspection visits to the orthodontist must therefore be limited.

There is a need for solutions addressing these problems.

One aim of the invention is to at least partially address this need.

The invention provides a method for assessing the shape of an orthodontic aligner, said
20 method comprising the following steps:

- a") acquisition of at least one image at least partially representing the aligner in a service position in which it is worn by a patient, called "analysis image";
- b") analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably a neural network, trained by means of a learning base, so as to determine a value
25 for at least one tooth attribute of an "analysis tooth zone" of the analysis image, the tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the analysis tooth zone, and the aligner represented on the analysis image, and/or
for an image attribute of the analysis image, the image attribute relating to a separation between at least one tooth represented on the analysis image, and the
30 aligner represented on said analysis image;

c") preferably, assessment of the suitability of the aligner as a function of the value of said tooth or image attribute;

d") preferably, sending of an information message as a function of said assessment.

As will be seen in more detail hereinafter in the description, an assessment method according to the invention considerably simplifies the assessment of the good suitability of the aligner to the treatment, while making this assessment particularly reliable. In particular, the method may be implemented from simple photographs or films, taken with no particular precautions, for example by the patient. The number of appointments with the orthodontist may therefore be limited.

10 Preferably, in the step b''), all said analysis tooth zones are identified, and the value of said tooth attribute is determined for each analysis tooth zone, and, in the step c''), the suitability of the aligner is determined as a function of said tooth attribute values.

15 Preferably, said tooth attribute is chosen from the group formed by a maximal separation along the free edge of the tooth, a mean separation along the free edge of the tooth, and said image attribute is chosen from the group formed by a maximal separation along all of the teeth represented, a mean separation along the free edges of all of the teeth represented, an overall acceptability of the separation of the teeth represented.

The tooth attribute relating to a separation may in particular be the existence of a separation, this attribute being able to take the tooth attribute values "yes" or "no"; or a value measuring the scale of the separation, for example an observed maximal separation or an assessment in relation to a scale.

20 In the step b''), a detailed analysis method according to the invention is preferably implemented, a tooth attribute of each historical tooth zone of each historical image of the learning base relating to a separation between the tooth represented by the historical tooth zone, and an aligner worn by said tooth and represented on said historical image.

25 Preferably, the step b'') comprises the following steps:

b"1) preferably before the step a''), creation of a learning base comprising more than 1000, preferably more than 5000, preferably more than 10 000 images of dental arches, or "historical images", each historical image representing an aligner worn by a "historical" patient and comprising one or more zones each representing a tooth, or "historical tooth zones", to each of which is assigned, for at least one tooth

attribute relating to a separation between the tooth represented by the historical tooth zone considered, and the aligner represented, a tooth attribute value;

b"2) learning of a deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;

5 b"3) submission of the analysis image to the deep learning device for the deep learning device to determine at least one probability relating to

- the presence, at a location of said analysis image, of an analysis tooth zone, and
- the tooth attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone;

10 b"4) determination, as a function of said probability, of the presence of a separation between the aligner and the tooth represented by said analysis tooth zone, and/or of an amplitude of said separation.

The steps b''1) to b''4) may comprise one or more of the features, possibly optional, of the steps 1) to 4) described above, respectively.

15 In one embodiment, in the step b''), a global analysis method according to the invention is implemented, an image attribute of each historical image of the learning base relating to a separation between at least one tooth represented on the historical image, and an aligner worn by said tooth and represented on said historical image.

Preferably, the step b'') comprises the following steps:

20 b"1') creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or "historical images", each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or "image attribute value", relating to a separation between at least one tooth represented on the analysis image, and the aligner represented on said analysis image;

25 b"2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;

30 b"3') submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value, and determination, as a function of said probability, of the presence of a separation between the aligner and the tooth or teeth represented on the analysis image, and/or of an amplitude of said separation.

The steps b''1') to b''3') may comprise one or more of the features, possibly optional, of the steps 1') to 3') described above, respectively.

The method is now described when a detailed analysis is implemented in the step b'').

Prior to the step a''), the learning base must be enriched, preferably according to an enrichment method according to the invention, in order to contain historical images whose description specifies, for each of the historical tooth zones, a value for the tooth attribute
5 relating to the separation.

This information may be input manually. For example, an image representing one or more so-called "historical" tooth zones may be presented to an operator, preferably an orthodontist, and he or she may be asked to identify these historical tooth zones and indicate, for each historical tooth zone, whether there is a separation or not and/or assess the amplitude
10 of this separation.

A historical image may be a photo representing an aligner worn by a historical patient. Alternatively, a historical image may be the result of a processing of an image representing a naked dental arch (that is to say without aligner) and of an image representing the same arch bearing the aligner. The image representing the naked arch may in particular be a view
15 of a model of the arch deformed to obtain a maximal match with the image representing the arch bearing the aligner. Such a processing may in particular be useful for better revealing the outline of the teeth and of the aligner when the teeth are not very visible through the aligner.

In the step a''), the acquisition of the analysis image may be performed like the acquisition
20 of the updated images in the step B) described above.

Preferably, at least one reminder informing the patient of the need to create an analysis image is addressed to the patient. This reminder may be in paper form or, preferably, in electronic form, for example in the form of an email, of an automatic alert from a dedicated mobile device or an SMS. Such a reminder may be sent by the orthodontic practice or laboratory or
25 by the dentist or by the dedicated mobile application of the patient, for example.

The step a'') is performed at the moment when the assessment of the shape of an aligner is desired, for example more than 1 week after the start of the treatment with the aligner.

The analysis image is an image representing the aligner worn by the teeth of the patient.

In the step b''), the analysis image is analyzed according to a detailed analysis method
30 according to the invention.

The deep learning device has been trained by means of a learning base containing historical images whose description specifies, for at least one, preferably each historical tooth zone, a value for a tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the historical tooth zone and the aligner worn by said tooth and represented on said historical image.

The value for this tooth attribute therefore provides an information item relating to the shape of the aligner relative to the shape of the teeth of the patient.

The value for this tooth attribute can be a measurement of the separation, for example a measurement of the maximum separation, or of the mean separation for the tooth represented by the historical tooth zone.

The deep learning device is therefore capable of analyzing the analysis image to determine, preferably for each of the "analysis tooth zones", the existence, even the extent, of a separation of the aligner of the tooth represented on the analysis tooth zone.

In the step c''), an assessment is made, as a function of the results of the preceding step, as to the compatibility the aligner. For example, a search is conducted to see if the separation of the aligner with at least one tooth exceeds an acceptability threshold and, in this case, a decision is made as to the replacement of the aligner by a better suited aligner.

The suitability of the aligner can be assessed in the context of an orthodontic treatment (separation compatible or not with the orthodontic treatment) but also in the context of a non-therapeutic, in particular esthetic, treatment. Aligners can indeed be used to displace teeth for purely esthetic purposes, without this displacement modifying the state of health of the patient. The suitability of the aligner can also be assessed in the context of a research program concerning the effectiveness of the aligner, for example to assess a new material for the aligner, on a human being or on another animal.

In the step d''), an information item relating to the assessment in the preceding step is sent, in particular to the patient and/or the orthodontist.

The orthodontist can then use this information, possibly in combination with additional information, for example the age of the patient or the duration for which the aligner has been worn, to establish a diagnosis and, if necessary, decide on a suitable treatment.

In one embodiment, the method comprises, in the step b''), a global analysis according to the invention. The other steps are unchanged.

The analysis of the analysis image and of the historical images is then performed globally, without identification of the individual situation of each of the teeth represented and the image attribute relates to the image as a whole.

For example, the image attribute relating to the separation may relate to the acceptability of a dental situation, the cause of one or more separations, or relate to the global scale of the separation or separations of the teeth. For example, the value of the image attribute may be “globally acceptable” or “globally unacceptable”. The value of the image attribute can also, for example, be a measurement of the separation, for example a measurement of the maximum separation, or of the mean separation between the teeth represented on the analysis image and the aligner.

As now clearly emerges, a method according to the invention makes it possible, from simple photos or a simple film, to determine whether the aligner is abnormally detached, even, if a detailed analysis was performed in the step b’’), to determine the regions in which the aligner is separated from the teeth and assess the scale of this separation.

The invention also relates to a method for adapting an orthodontic treatment, a method in which a method for assessing the shape of an orthodontic aligner according to the invention is implemented, then, as a function of the result of said assessment, a new aligner is manufactured and/or the patient is counseled, for example for him or her to improve the conditions of use of his or her orthodontic aligner, in particular the positioning and/or the time bands when it should be worn and/or the maintenance of his or her orthodontic aligner, in order to optimize the treatment.

The use of aligners is not limited to therapeutic treatments. In particular, an assessment method may be implemented to assess an aligner exclusively used for esthetic purposes.

The method may also be used to assess other dental, in particular orthodontic, parts or appliances.

Computer program

The invention relates also:

- to a computer program, and in particular a dedicated application for cellphones, comprising program code instructions for the execution of one or more steps of any method according to the invention, when said program is run by a computer,

- to a computer medium on which such a program is stored, for example a memory or a CD-ROM.

Obviously, the invention is not limited to the embodiments described above and represented.

In particular, the patient is not necessarily a human being. A method according to the
5 invention may be used for another animal.

The patient could be alive or dead. He is preferably alive.

The methods of the invention may be used for an orthodontic treatment, but also out of any orthodontic treatment, and even out of any therapeutic treatment.

CLAIMS

1. A method for acquiring an image of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:
- 5 a') activation of an image acquisition apparatus so as to acquire an image, called "analysis image", of said arch;
- b') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably a neural network, trained by means of a learning base;
- c') determination, for the analysis image, as a function of the results of the analysis in the preceding step, of a value for an image attribute;
- 10 d') comparison of said image attribute value with a setpoint;
- e') sending of an information message as a function of said comparison, the information message being related to the quality of the image acquired and/or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch and/or to the setting of the acquisition apparatus and/or to the opening of the mouth and/or to the wearing of a dental, preferably orthodontic, appliance.
- 15
2. The method as claimed in claim 1, in which, in the step b'), at least one analysis tooth zone is identified that represents, at least partially, a tooth on said analysis image, and at least one value of a tooth attribute is determined for said at least one analysis tooth zone, and, in the step c'), the value for the image attribute is determined as a function of said tooth attribute value.
- 20
3. The method as claimed in claim 1, in which, in the step b'), all said analysis tooth zones are identified, and at least one tooth attribute value is determined for each analysis tooth zone, and, in the step c'), the value for the image attribute is determined as a function of said tooth attribute values.
- 25
4. The method as claimed in claim 2, in which the step b') comprises the following steps:
- 1) preferably before the step a'), creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or "historical images", each historical image comprising one or more zones each representing a tooth, or "historical tooth zones", to each of which, for said tooth attribute, a tooth attribute value is assigned;
- 30 2) training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;

- 3) submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine at least one probability relating to:
 - the presence, at a location in said analysis image, of a zone representing, at least partially, a tooth, or “analysis tooth zone”,
 - 5 – the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone,
- 4) determination, as a function of said probability, of the presence of a tooth at a position represented by said analysis tooth zone, and of the attribute value of said tooth.
5. The method as claimed in claim 4, in which said tooth attribute is chosen from a tooth number, a tooth type, a tooth shape parameter, a tooth appearance parameter, a parameter relating to the state of the tooth, an age for the patient, or a combination of these attributes.
- 10 6. The method as claimed in claim 1, in which the step b') comprises the following steps:
 - 1') creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or “historical images”, each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or “image attribute value”;
 - 15 2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
 - 3') submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value.
 - 20
7. The method as claimed in claim 4, in which, in the step 1) or 1'), a learning base is created comprising more than 10 000 historical images.
8. The method as claimed in claim 1, in which the learning base is composed according to the following steps:
 - 25 A) at an “updated” instant, production of a model of a dental arch of a patient, or “updated reference model”, and segmentation of the updated reference model so as to produce, for each tooth, a “tooth model”, and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
 - 30 B) acquisition of at least one image of said arch, or “updated image”, in real acquisition conditions;

- C) for each updated image, search for virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions, and acquisition of said reference image;
 - 5 D) identification, in the reference image, of at least one zone representing a tooth model, or “reference tooth zone” and, by comparison of the updated image and the reference image, determination, in the updated image, of a zone representing said tooth model, or “updated tooth zone”;
 - E) assignment, to said updated tooth zone, of the tooth attribute value of said tooth model;
 - 10 F) addition of the updated image enriched with a description of said updated tooth zone and its tooth attribute value, or “historical image”, in the learning base.
9. The method as claimed in claim 1, in which the learning base is composed according to the following steps:
- 15 A') at an initial instant, production of a model of a dental arch of a patient, or “initial reference model”, and segmentation of the initial reference model so as to produce, for each tooth, a “tooth model”, and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
 - B') at an updated instant, acquisition of at least one image of said arch, or “updated image”;
 - 20 C') search, by deformation of the initial reference model, for an updated reference model and virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions;
 - 25 D) identification, in the reference image, of at least one zone representing a tooth model, or “reference tooth zone” and, by comparison of the updated image and the reference image, determination, in the updated image, of a zone representing said tooth model, or “updated tooth zone”;
 - E) assignment, to said updated tooth zone, of the tooth attribute value of said tooth model;
 - 30 F) addition of the updated image enriched with a description of said updated tooth zone and its tooth attribute value, or “historical image”, in the learning base.

10. The method as claimed in claim 1, in which, to create a historical image of the learning base, an operator, preferably an orthodontist,
 - identifies one or more “historical” tooth zones on an image, called then assigns, to each identified historical tooth zone, a value for at least one tooth attribute, and/or
 - 5 – assigns to an image a value for at least one tooth attribute.
11. The method as claimed in claim 1, in which the acquisition apparatus is a cellphone.
12. The method as claimed in claim 1, in which the information message is sent by the acquisition apparatus.
13. The method as claimed in claim 1, in which said image attribute relates to
 - 10 – a position and/or an orientation and/or a calibration of an acquisition apparatus used to acquire said analysis image, and/or
 - a quality of the analysis image, and in particular relating to the brightness, to the contrast or to the sharpness of the analysis image, and/or
 - the content of the analysis image, in particular to the representation of the arches,
 - 15 of the tongue, of the mouth, of the lips, of the jaws, of the gums, of one or more teeth or of an orthodontic appliance.

ABSTRACT

DENTAL MONITORING

“Method for analyzing an image of a dental arch”

5

A method for acquiring an image of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- a') activation of an image acquisition apparatus so as to acquire an image, called “analysis image”, of said arch;
- 10 b') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably a neural network, trained by means of a learning base;
- c') determination, for the analysis image, as a function of the results of the analysis in the preceding step, of a value for an image attribute;
- d') comparison of said image attribute value with a setpoint;
- 15 e') sending of an information message as a function of said comparison, the information message being related to the quality of the image acquired and/or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch and/or to the setting of the acquisition apparatus and/or to the opening of the mouth and/or to the wearing of a dental, preferably orthodontic, appliance.

20

No figure for the abstract.

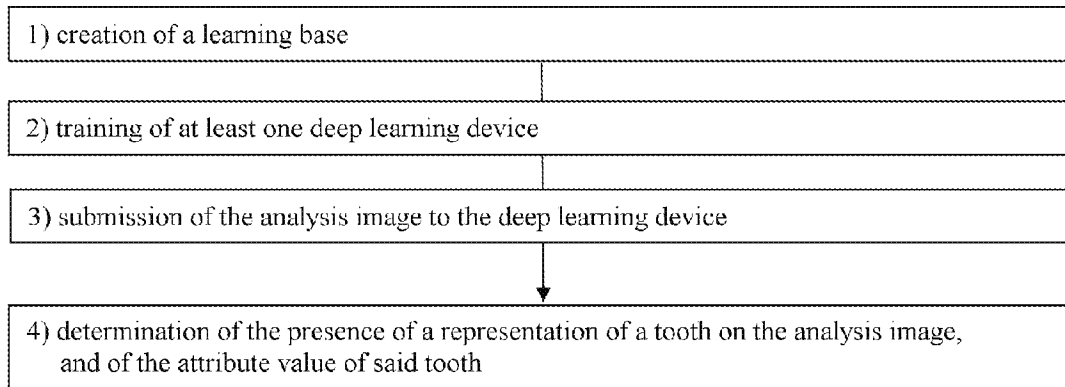


Fig. 1

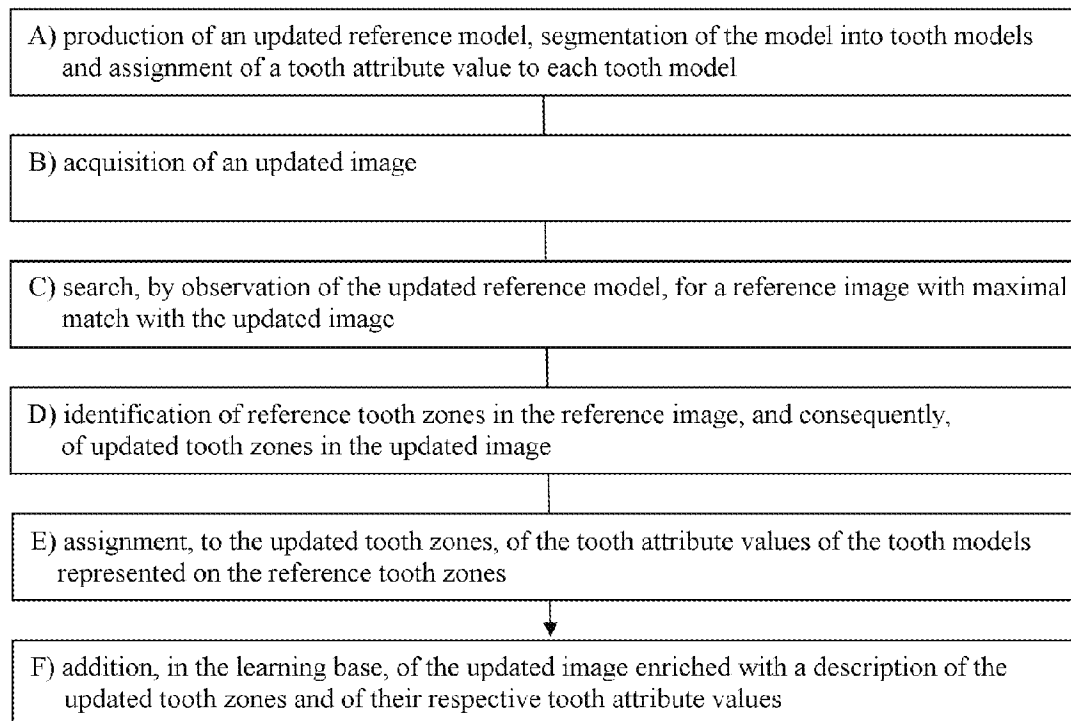


Fig. 2

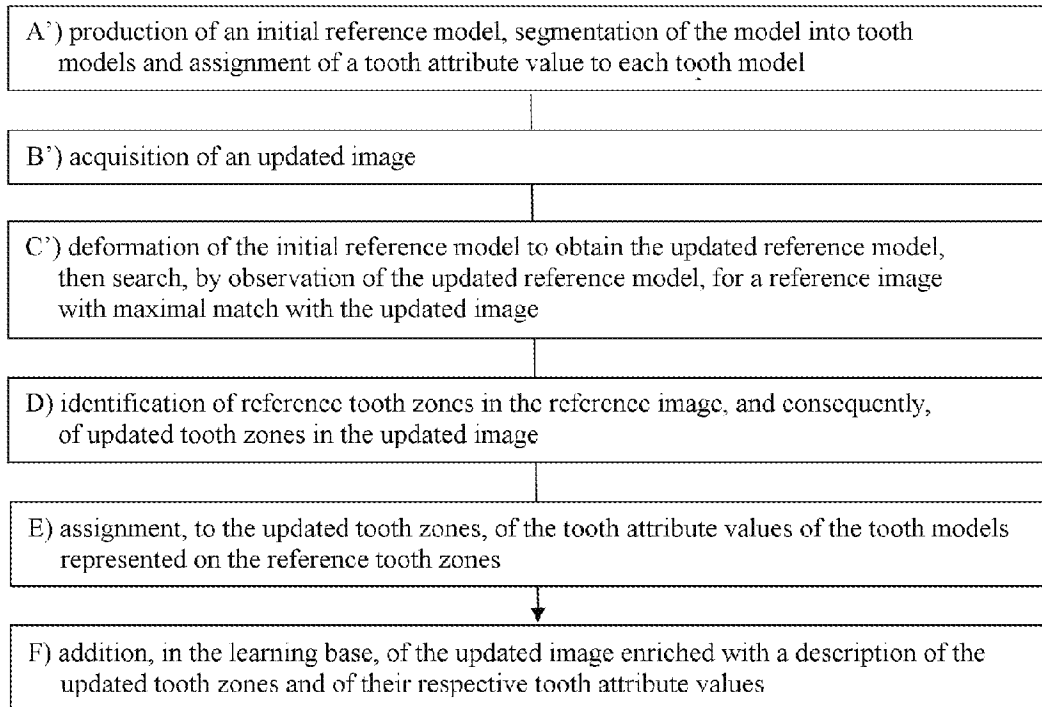


Fig. 3

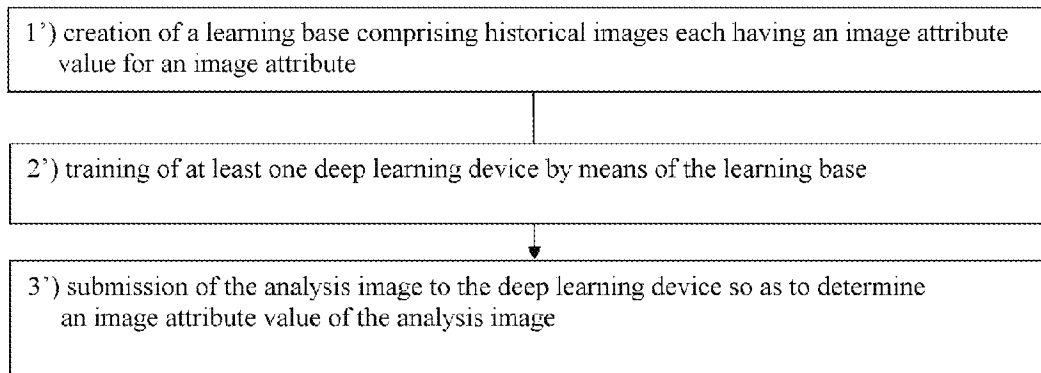


Fig. 4

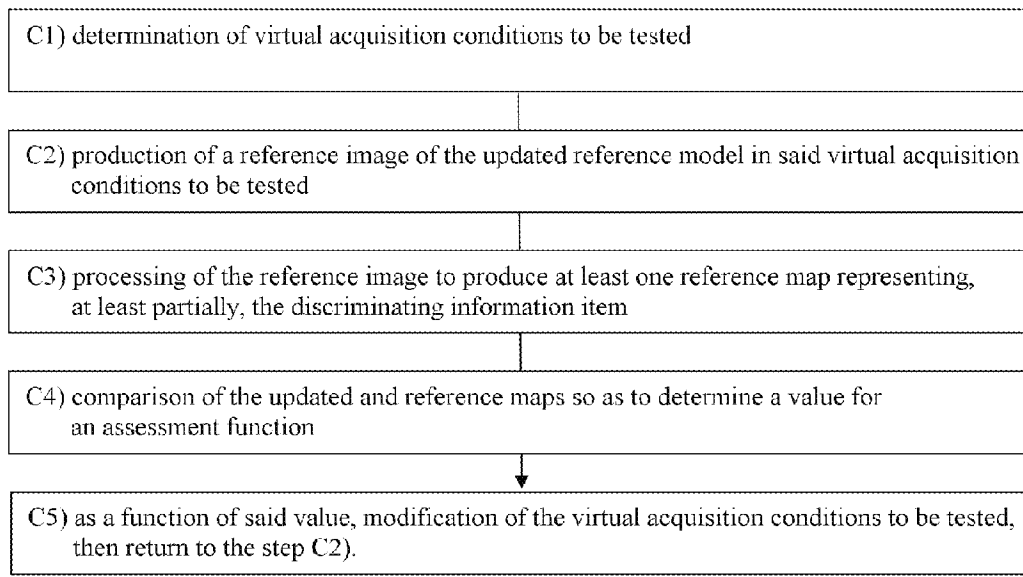


Fig. 5

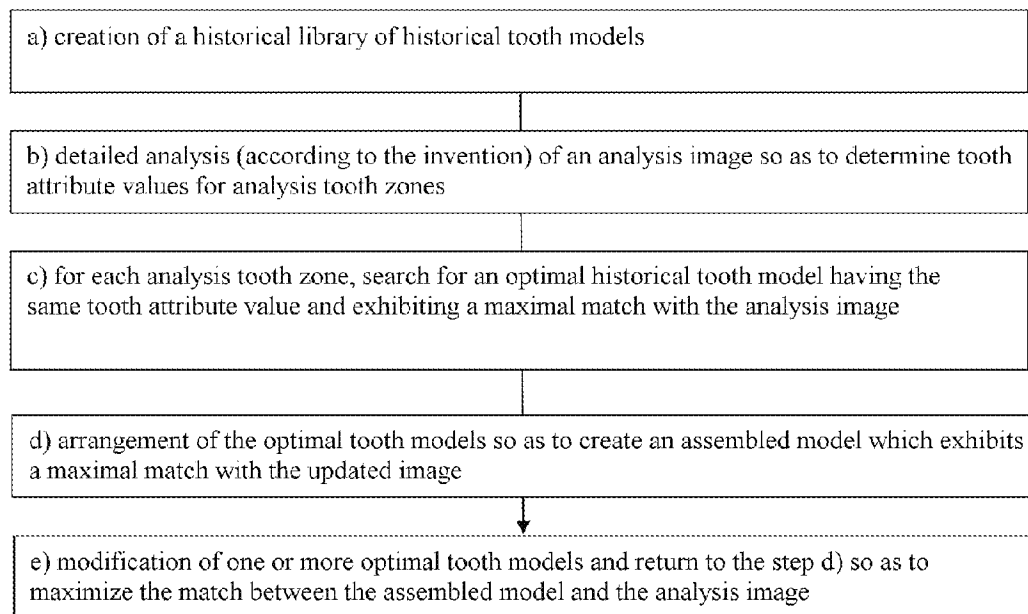


Fig. 6

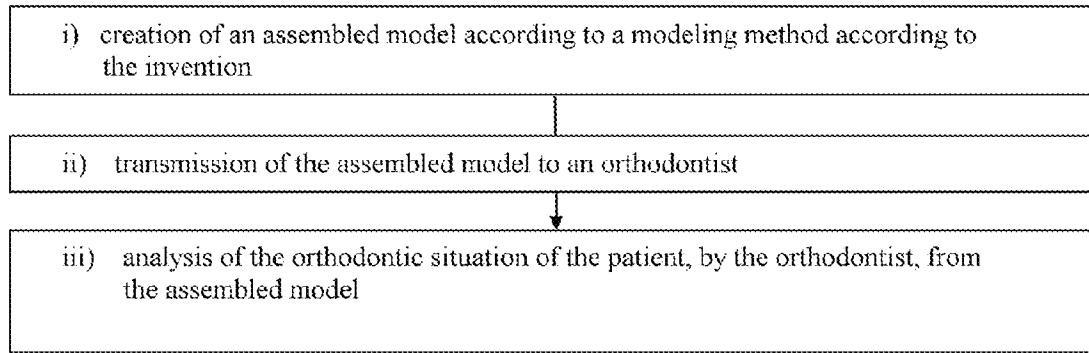


Fig. 7

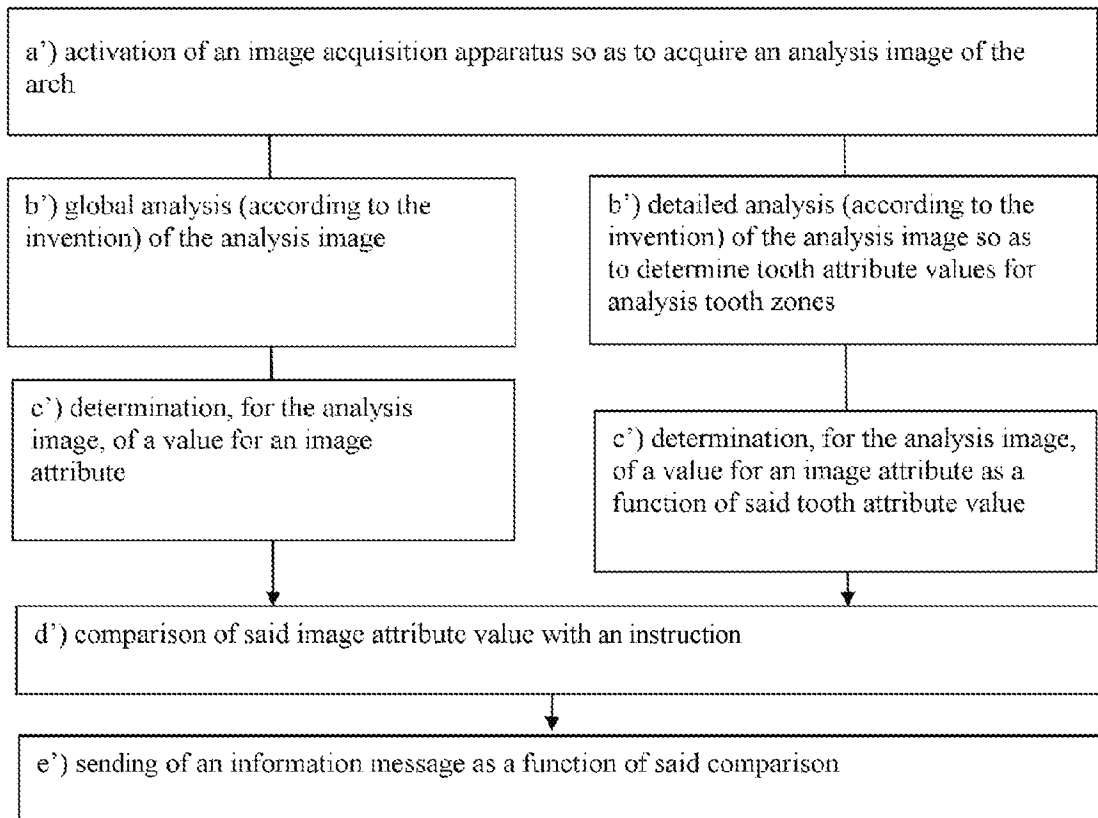


Fig. 8

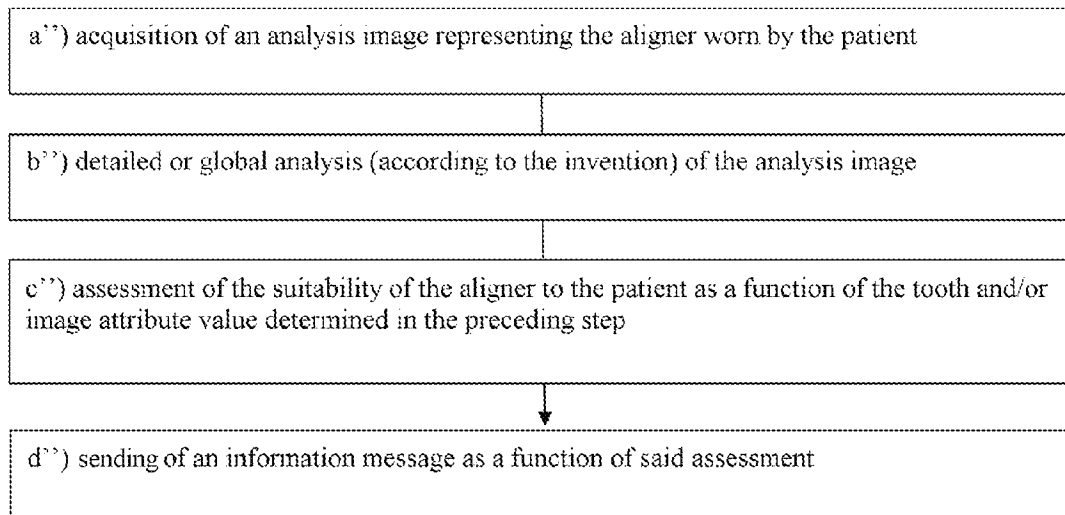


Fig. 9

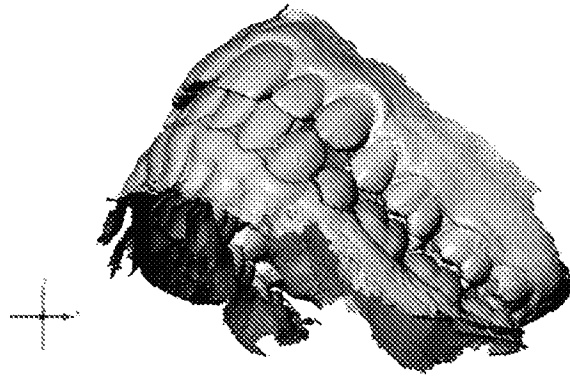


Fig.10

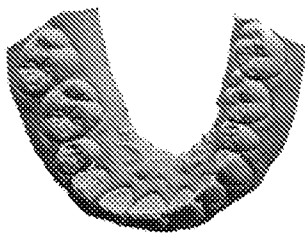


Fig. 11a

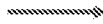
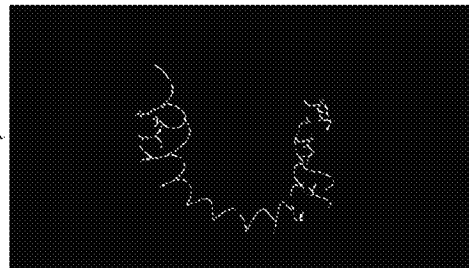


Fig. 11b



Fig. 11c

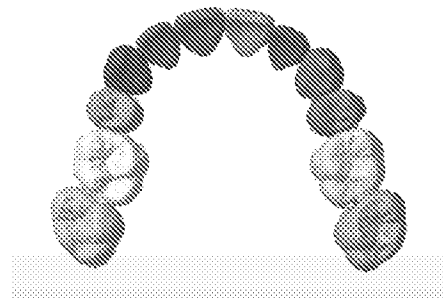


Fig. 11d

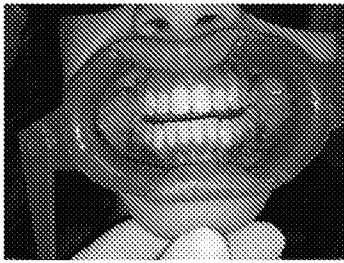


Fig. 12a

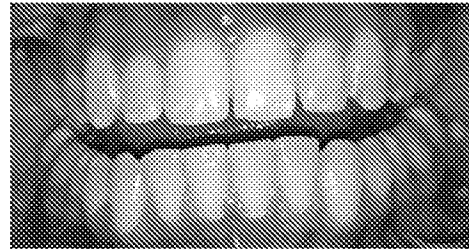


Fig. 12b

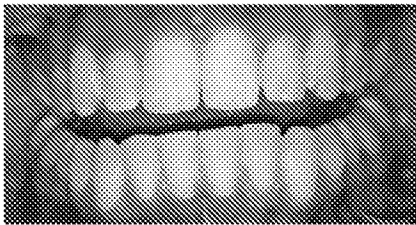


Fig. 12c

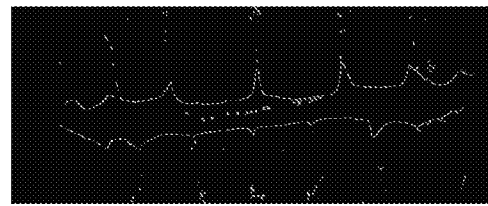


Fig. 12d

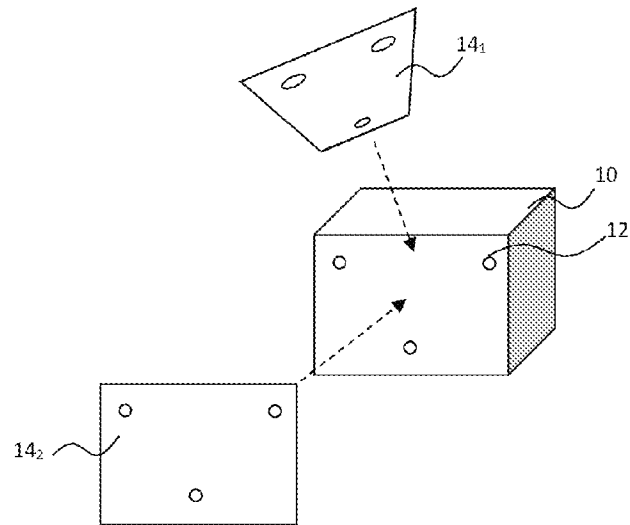


Fig. 13

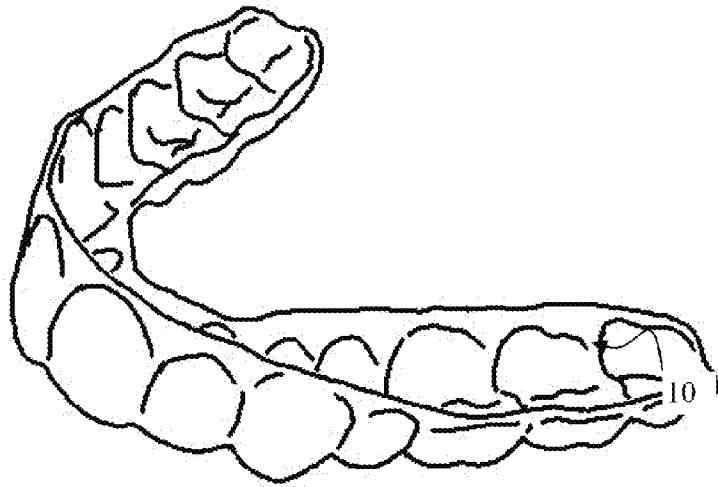


Fig. 14

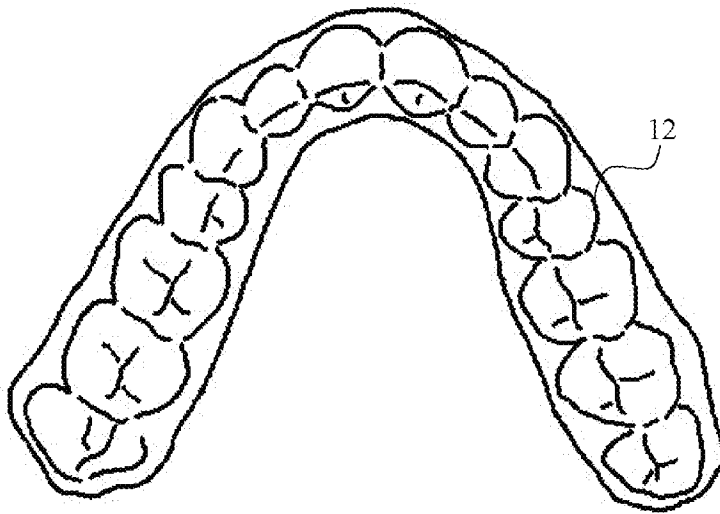


Fig. 15

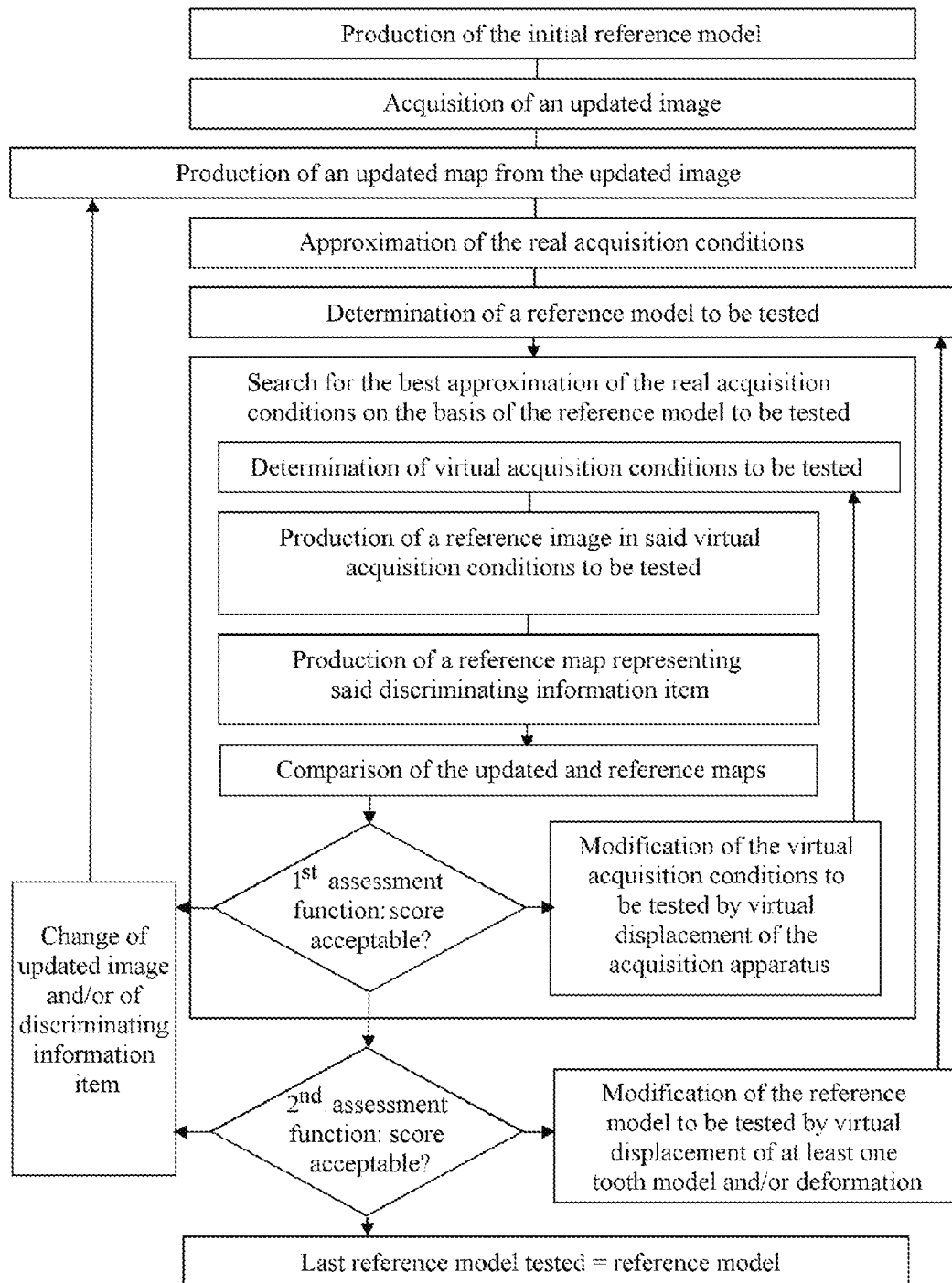


Fig. 16

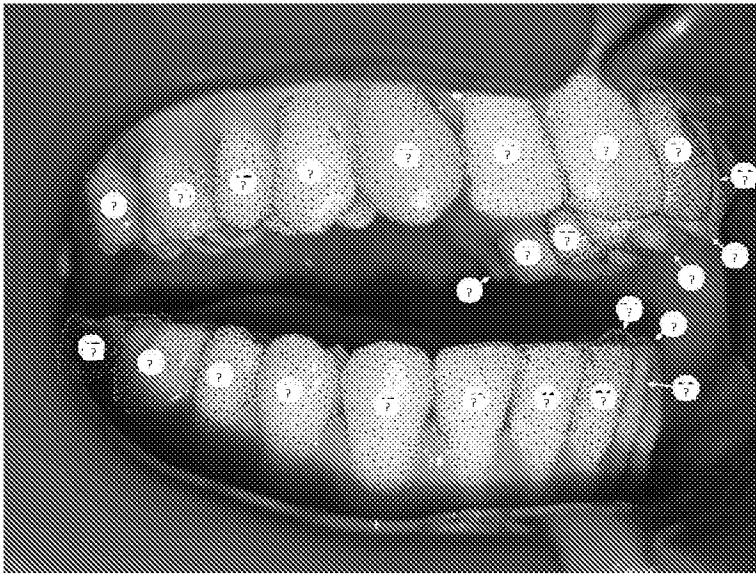


Fig. 17a

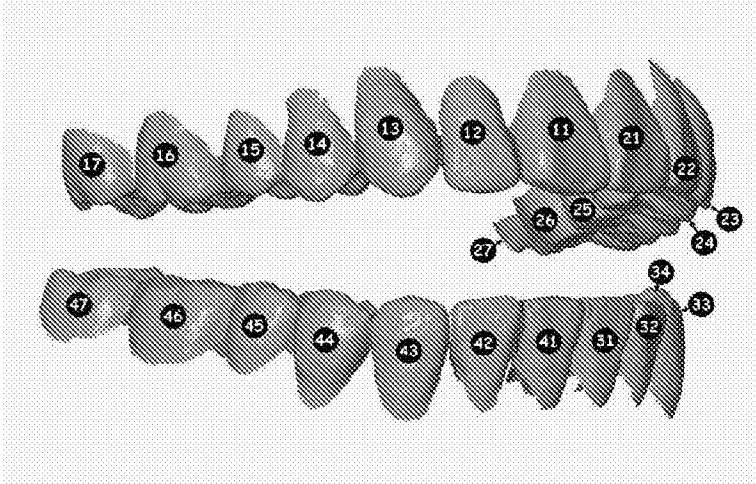


Fig. 17b

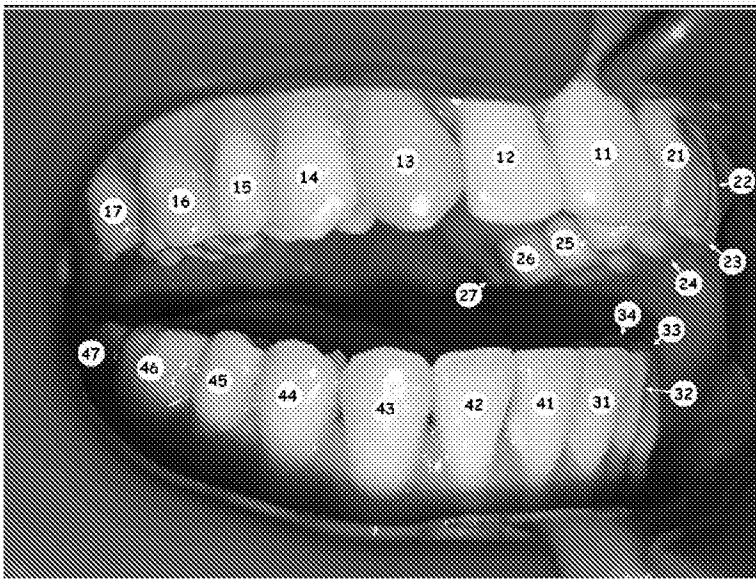


Fig. 17c

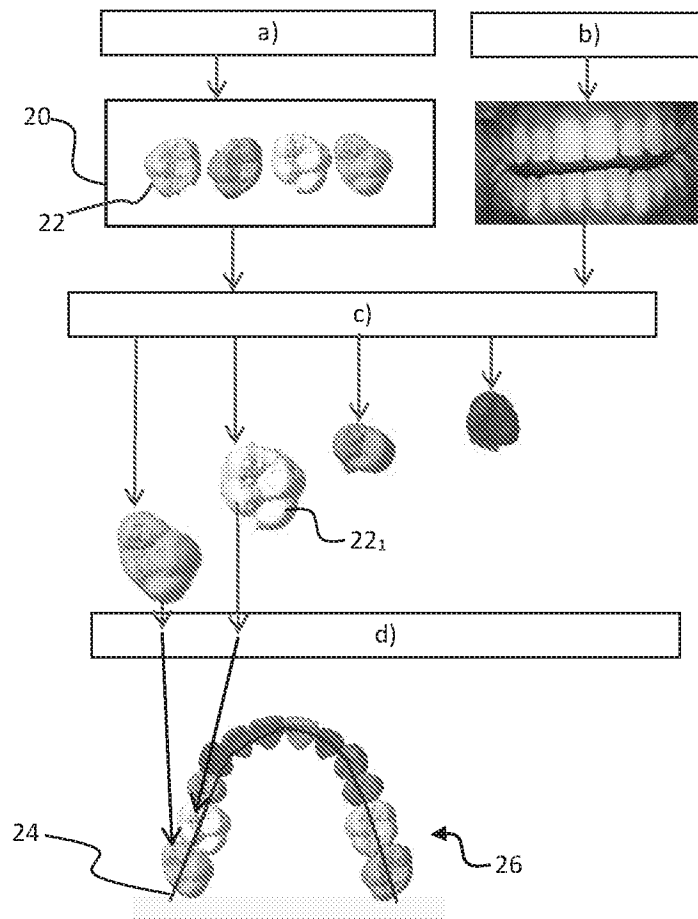


Fig. 18

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)	Application Number		
	Filing Date		
	First Named Inventor	Philippe SALAH	
	Art Unit		
	Examiner Name		
	Attorney Docket Number	N&P-51425	

U.S.PATENTS						
Examiner Initial*	Cite No	Patent Number	Kind Code ¹	Issue Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear
	1	8879813	B1	2014-11-04	Solanki et al.	Col.7, Ln.65-Col.8, Ln.16; Col.33, Ln.65-Col.34, Ln.25; Col.35, Ln.16-Col.37, Ln.15;

If you wish to add additional U.S. Patent citation information please click the Add button.

U.S.PATENT APPLICATION PUBLICATIONS						
Examiner Initial*	Cite No	Publication Number	Kind Code ¹	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear
	1	20080172386	A1	2008-07-17	Ammar et al.	
	2	20170086943	A1	2017-03-30	Mah	
	3	20090191503	A1	2009-07-30	Matov et al.	Corresponds to JP2017-094181
	4	20090291417	A1	2009-11-26	Rubbert et al.	

If you wish to add additional U.S. Published Application citation information please click the Add button.

FOREIGN PATENT DOCUMENTS								
Examiner Initial*	Cite No	Foreign Document Number ³	Country Code ²	Kind Code ⁴	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear	T ⁵

**INFORMATION DISCLOSURE
STATEMENT BY APPLICANT**
(Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number		
Filing Date		
First Named Inventor	Philippe SALAH	
Art Unit		
Examiner Name		
Attorney Docket Number	N&P-51425	

1	2016066651	WO	A1	2016-05-06	Salah et al.		☐
2	2017182654	WO	A1	2017-10-26	Salah et al.		☐
3	3027505	FR	A1	2016-04-29	Salah et al.		☐
4	3010629	FR	A1	2015-03-20	Salah et al.	Entire Document	☐
5	2017094181	JP	A	2017-06-01	Matov et al.	See corresponding US 2009/191503;	☐

If you wish to add additional Foreign Patent Document citation information please click the Add button

NON-PATENT LITERATURE DOCUMENTS

Examiner Initials*	Cite No	Include name of the author (in CAPITAL LETTERS), title of the article (when appropriate), title of the item (book, magazine, journal, serial, symposium, catalog, etc), date, pages(s), volume-issue number(s), publisher, city and/or country where published.	T ^s
	1	Corresponding French Application, Application no.: 1756947, French Search Report, dated January 18, 2018, 2 pages	☐
	2	MIKI YUMA ET AL: "classification of teeth in cone-beam CT using deep convolutional neural network" COMPUTERS IN BIOLOGY AND MEDICINE, NEW YORK, NY, US, vol. 80, 12 November 2016 (2016-11-12), pages 24-29, XP02991G769, ISSN: 0010-4825, DOI:10.1016/J.COMPBIOMED.2016. 11.003,	☐
	3	Young-Jun Yu: "Machine Learning for Dental Image Analysis", Arxiv 29 November 2016 (2016-11-29), XP055430578, Extracted from the Internet: URL:https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.09958.pdf [extracted 2018-03-20];	☐
	4	KELWIN FERNANDEZ ET AL: "Teeth/Palate and Interdental Segmentation Using Artificial Neural Networks", 17 September 2012 (2012-09-17), ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN PATTERN RECOGNITION, SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, BERLIN, HEIDELBERG, PAGE(S) 175 - 185, XP047017215, ISBN: 978-3-642-33211-1;	☐

**INFORMATION DISCLOSURE
STATEMENT BY APPLICANT**
(Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number		
Filing Date		
First Named Inventor	Philippe SALAH	
Art Unit		
Examiner Name		
Attorney Docket Number	N&P-51425	

5	LIN P L ET AL: "An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using teeth region and contour information", PATTERN RECOGNITION, ELSEVIER, GB, vol. 43, no. 4, 1 April 2010 (2010-04-01), pages 1380-1392, XP026870003, ISSN: 0031-3203 [extracted 2009-11-11];	☐
6	Vinicius Tragante ET AL: "Knowledge discovery in panoramic X-rays for postmortem identification", Researchgate, 1 January 2010 (2010-01-01), pages 1-9, XP055462269, Extracted from the Internet; URL:https://www.researchgate.net/profile/Vinicius_Tragante/publication/267821630_Knowledge_discovery_in_panoramic_X-rays_for_postmortem_identification/links/54f479df0cf299c8d9e77caf/Knowledge-discovery-in-panoramic-X-rays-for-postmortem-identification.pdf; [extracted 2018-03-23];	☐
7	Anonymous: "Towards a Smart Healthcare System for Orthodontic and Dental Treatment Smart Healthcare System", 1 January 2016 (2016-01-01), XP055442068, Extracted from the internet URL:http://sc.cmc.osaka-u.ac.jp/wp1/wp-content/uploads/2016/11/sc16_poster_part6.pdf [extracted 2018-01-18]; Entire Document	☐
8	Ben Ali Ramzi ET AL: "Detection and Classification of Dental Caries in X-ray Images Using Deep Neural Networks", Proceedings of ICSEA 2016 : The Eleventh International Conference on Software Engineering Advances, 21 August 2016 (2016-08-21), pages 223-227, XP055442275, New York, Extracted from the Internet, URL:https://pdfs.semanticscholar.org/4536/de69054143f85bb5089a8957f16be1eb0c3a.pdf?ga=2.60511401.567907993.1516282794-945231696.1516282794, [extracted 2018-01-18]; Abstract; Figs.1-3;	☐
9	MIKI YUMA ET AL: "Tooth labeling in cone-beam CT using deep convolutional neural network for forensic identification", PROGRESS IN BIOMEDICAL OPTICS AND IMAGING, SPIE - INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, BELLINGHAM, WA, US, vol. 10134, 3 March 2017 (2017-03-03), pages 101343E-101343E, XP060086665, ISSN: 1605-7422, DOI: 10.1117/12.2254332, ISBN: 978-1-5106-0027-0; Entire Document	☐
10	Young-Jun Yu: "Machine Learning for Dental Image Analysis", 29 November 2016 (2016-11-29), XP055430578, Extracted from the Internet: URL:https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.09958.pdf [extracted 2018-03-22]	☐

If you wish to add additional non-patent literature document citation information please click the Add button

EXAMINER SIGNATURE

Examiner Signature	Date Considered
--------------------	-----------------

*EXAMINER: Initial if reference considered, whether or not citation is in conformance with MPEP 609. Draw line through a citation if not in conformance and not considered. Include copy of this form with next communication to applicant.

¹ See Kind Codes of USPTO Patent Documents at www.USPTO.GOV or MPEP 901.04. ² Enter office that issued the document, by the two-letter code (WIPO Standard ST.3). ³ For Japanese patent documents, the indication of the year of the reign of the Emperor must precede the serial number of the patent document. ⁴ Kind of document by the appropriate symbols as indicated on the document under WIPO Standard ST.16 if possible. ⁵ Applicant is to place a check mark here if English language translation is attached.

**INFORMATION DISCLOSURE
STATEMENT BY APPLICANT**
(Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number	
Filing Date	
First Named Inventor	Philippe SALAH
Art Unit	
Examiner Name	
Attorney Docket Number	N&P-51425

CERTIFICATION STATEMENT

Please see 37 CFR 1.97 and 1.98 to make the appropriate selection(s):

☐ That each item of information contained in the information disclosure statement was first cited in any communication from a foreign patent office in a counterpart foreign application not more than three months prior to the filing of the information disclosure statement. See 37 CFR 1.97(e)(1).

OR

☐ That no item of information contained in the information disclosure statement was cited in a communication from a foreign patent office in a counterpart foreign application, and, to the knowledge of the person signing the certification after making reasonable inquiry, no item of information contained in the information disclosure statement was known to any individual designated in 37 CFR 1.56(c) more than three months prior to the filing of the information disclosure statement. See 37 CFR 1.97(e)(2).

☐ See attached certification statement.

☐ The fee set forth in 37 CFR 1.17 (p) has been submitted herewith.

☒ A certification statement is not submitted herewith.

SIGNATURE

A signature of the applicant or representative is required in accordance with CFR 1.33, 10.18. Please see CFR 1.4(d) for the form of the signature.

Signature	/Ronald M. Kachmarik/	Date (YYYY-MM-DD)	2018-07-10
Name/Print	Ronald M. Kachmarik	Registration Number	34512

This collection of information is required by 37 CFR 1.97 and 1.98. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 1 hour to complete, including gathering, preparing and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. **DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.**

Privacy Act Statement

The Privacy Act of 1974 (P.L. 93-579) requires that you be given certain information in connection with your submission of the attached form related to a patent application or patent. Accordingly, pursuant to the requirements of the Act, please be advised that: (1) the general authority for the collection of this information is 35 U.S.C. 2(b)(2); (2) furnishing of the information solicited is voluntary; and (3) the principal purpose for which the information is used by the U.S. Patent and Trademark Office is to process and/or examine your submission related to a patent application or patent. If you do not furnish the requested information, the U.S. Patent and Trademark Office may not be able to process and/or examine your submission, which may result in termination of proceedings or abandonment of the application or expiration of the patent.

The information provided by you in this form will be subject to the following routine uses:

1. The information on this form will be treated confidentially to the extent allowed under the Freedom of Information Act (5 U.S.C. 552) and the Privacy Act (5 U.S.C. 552a). Records from this system of records may be disclosed to the Department of Justice to determine whether the Freedom of Information Act requires disclosure of these records.
2. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, in the course of presenting evidence to a court, magistrate, or administrative tribunal, including disclosures to opposing counsel in the course of settlement negotiations.
3. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Member of Congress submitting a request involving an individual, to whom the record pertains, when the individual has requested assistance from the Member with respect to the subject matter of the record.
4. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a contractor of the Agency having need for the information in order to perform a contract. Recipients of information shall be required to comply with the requirements of the Privacy Act of 1974, as amended, pursuant to 5 U.S.C. 552a(m).
5. A record related to an International Application filed under the Patent Cooperation Treaty in this system of records may be disclosed, as a routine use, to the International Bureau of the World Intellectual Property Organization, pursuant to the Patent Cooperation Treaty.
6. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to another federal agency for purposes of National Security review (35 U.S.C. 181) and for review pursuant to the Atomic Energy Act (42 U.S.C. 218(c)).
7. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the Administrator, General Services, or his/her designee, during an inspection of records conducted by GSA as part of that agency's responsibility to recommend improvements in records management practices and programs, under authority of 44 U.S.C. 2904 and 2906. Such disclosure shall be made in accordance with the GSA regulations governing inspection of records for this purpose, and any other relevant (i.e., GSA or Commerce) directive. Such disclosure shall not be used to make determinations about individuals.
8. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the public after either publication of the application pursuant to 35 U.S.C. 122(b) or issuance of a patent pursuant to 35 U.S.C. 151. Further, a record may be disclosed, subject to the limitations of 37 CFR 1.14, as a routine use, to the public if the record was filed in an application which became abandoned or in which the proceedings were terminated and which application is referenced by either a published application, an application open to public inspections or an issued patent.
9. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Federal, State, or local law enforcement agency, if the USPTO becomes aware of a violation or potential violation of law or regulation.



INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 844157
FR 1756947

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	Anonymous: "Towards a Smart Healthcare System for Orthodontic and Dental Treatment Smart Healthcare System", 1 janvier 2016 (2016-01-01), XP055442068, Extrait de l'Internet: URL: http://sc.cmc.osaka-u.ac.jp/wp1/wp-content/uploads/2016/11/sc16_poster_part6.pdf [extrait le 2018-01-18]	1,11-13	G06T1/00 G06T7/00 A61C7/00 G06K9/00
A	* le document en entier *	2-10	
X	US 8 879 813 B1 (SOLANKI KAUSHAL MOHANLAL [US] ET AL) 4 novembre 2014 (2014-11-04) * figures 2,17 * * colonne 7, ligne 65 - colonne 8, ligne 16 * * colonne 33, ligne 65 - colonne 34, ligne 25 * * colonne 35, ligne 16 - colonne 37, ligne 15 * ----- -/-	1,11-13	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G06T A61C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
18 janvier 2018		Eveno, Nicolas	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
<p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non écrite P : document interne</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

2

EPO FORM 1568 (2.06.17) (1/06/2018)



INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 844157
FR 1756947

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	Ben Ali Ramzi ET AL: "Detection and Classification of Dental Caries in X-ray Images Using Deep Neural Networks", Proceedings of ICSEA 2016 : The Eleventh International Conference on Software Engineering Advances, 21 août 2016 (2016-08-21), pages 223-227, XP055442275, New York Extrait de l'Internet: URL:https://pdfs.semanticscholar.org/4536/de69054143f85bb5089a8957f16be1eb0c3a.pdf?ga=2.60511401.567907993.1516282794-945231696.1516282794 [extrait le 2018-01-18] * abrégé * * figures 1-3 * * sections III, IV *	1-13	
A	MIKI YUMA ET AL: "Tooth labeling in cone-beam CT using deep convolutional neural network for forensic identification", PROGRESS IN BIOMEDICAL OPTICS AND IMAGING, SPIE - INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, BELLINGHAM, WA, US, vol. 10134, 3 mars 2017 (2017-03-03), pages 101343E-101343E, XP060086665, ISSN: 1605-7422, DOI: 10.1117/12.2254332 ISBN: 978-1-5106-0027-0 * le document en entier *	1-13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	FR 3 010 629 A1 (SALAH PHILIPPE [FR]) 20 mars 2015 (2015-03-20) * le document en entier *	1-13	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
18 janvier 2018		Eveno, Nicolas	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
<p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

2

EPO FORM 1503 12.08 (06/01/14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1756947 FA 844157**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 18-01-2018

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 8879813	B1	04-11-2014	EP	3061063 A1	31-08-2016
			US	8879813 B1	04-11-2014
			US	8885901 B1	11-11-2014
			US	9002085 B1	07-04-2015
			US	9008391 B1	14-04-2015
			US	2015110348 A1	23-04-2015
			US	2015110370 A1	23-04-2015
			US	2017039412 A1	09-02-2017
			US	2017039689 A1	09-02-2017
			WO	2015060897 A1	30-04-2015

FR 3010629	A1	20-03-2015	EP	3046501 A1	27-07-2016
			FR	3010629 A1	20-03-2015
			US	2016228212 A1	11-08-2016
			WO	2015040577 A1	26-03-2015

EPC-FC/581 P.02/25

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No 12/82

Towards a Smart Healthcare System for Orthodontic and Dental Treatment

Motivation

- Increasing demand and costs for healthcare, exacerbated by ageing populations, are serious concerns worldwide.
- A relative shortage of doctors or clinical manpower is also a problem that leads to increase their workload.
- Large amounts of heterogeneous medical data have become available in various healthcare organizations.
 - Electronic Healthcare Records (EHR) are the fundamental resource to support medical practices or help derive healthcare insights.
 - Most of the medical practices are completed by medical professionals backed by their experiences.
 - Clinical researches are conducted by researchers via painstaking designed and costly experiments.

Aim

- This project aims to enhance the medical operation efficiency and improve the quality of healthcare services leveraging high performance computing resources and advanced machine learning technologies.
- It is overburdened for doctors to properly manage a sequence of operations including hearing, diagnosis, surgery, progress checkup, counselling, treatment, etc. for all patients. Especially, doctors spend a lot of time and effort to manually
 - diagnose by looking at massive number of oral and face photo images and x-rays.
 - extract morphological features of face from CT scan and MRI.
 - make plans of orthodontic procedure or treatment for patients.

Smart Healthcare System

- Smart Healthcare System operates *Data Curation and Data Analytics*, supported by *High Performance Computing Resources*.
- Figure 2 illustrates the pipeline for Big healthcare data analysis.
 - Obtained raw EMR data is probably heterogeneous composed of structured data, free-text data (such as doctors' notes), image data (such as MRI images) and sensor data. Hence, data extraction is of great concern for further analysis.
 - Data cleansing is necessary to remove inconsistencies and errors.
 - Data annotation with medical experts' assistance contributes to effectiveness and efficiency of this whole process from acquisition to extraction and cleansing.
 - Data integration is employed to combine various sources of data, such as different hospitals' data for the same patient.
 - Finally, statistical, descriptive and predictive analysis of different types will be performed on processed EMR data.
 - The analysis results are interpreted and visualized, and are used to construct medical knowledge and ontology for better and more accurate analysis.

Example Applications

- The specific objectives are to develop a system that automatically
 - computes Index of Orthodontic Treatment Priority (IOTN), one of the severity measures for malocclusion and jaw abnormality, which determines whether orthodontic treatment is necessary;
 - extracts facial morphological features (e.g., points and measure);
 - generates medical certificates or checkup lists;
 - provides a set of necessary procedure/treatment recommendations; from oral and face photo images and x-rays or cephalogram.

Challenges

- A great amount of interests and motivation in providing effective healthcare services through *Smarter Healthcare Systems*.
- Doctors are required to provide *immediate and accurate diagnoses and proper treatments* for patients.
- The rapidly increasing availability of Big and Complex EHR data is becoming the driving force for the adoption of data-driven approaches to *automate healthcare related tasks*.
- It is also a challenge to achieve *earlier disease detection, more accurate prognosis, faster clinical research advance and the best fit for patient management*.

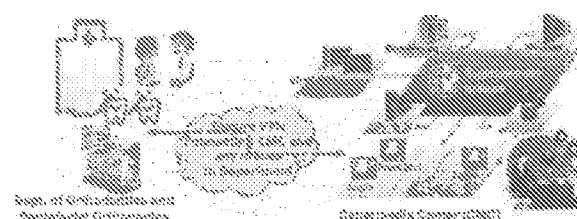


Figure 1. Secure and high performance smart healthcare systems

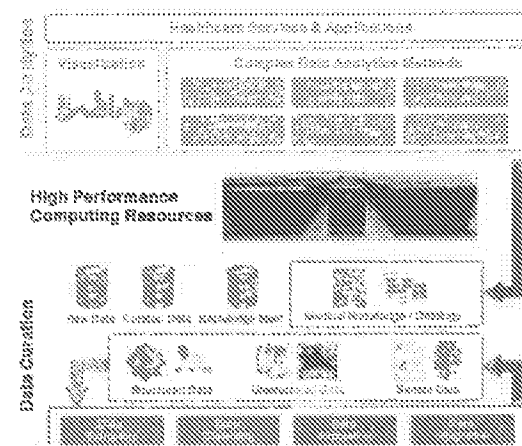


Figure 2. An overview of system architecture

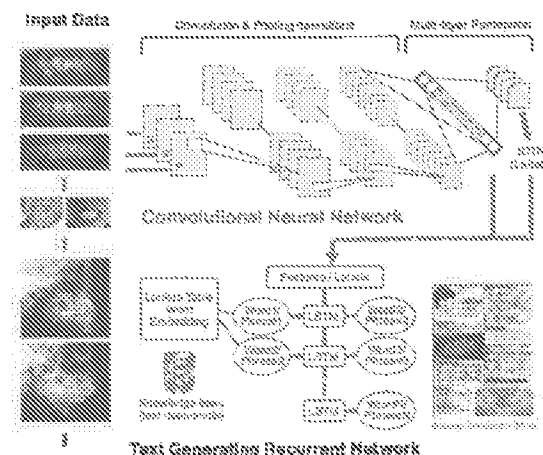


Figure 3. An illustration of example applications

Notice

This translation is machine-generated. It cannot be guaranteed that it is intelligible, accurate, complete, reliable or fit for specific purposes. Critical decisions, such as commercially relevant or financial decisions, should not be based on machine-translation output.

ABSTRACT FR3010629

A method of controlling the positioning of a patient's teeth, said method comprising the steps of: a) modeling a target positioning of said teeth in the form of a target model; b) after a time interval, modeling an updated positioning of said teeth in the form of an updated model; c) comparing said target and updated models

Procédé de contrôle du positionnement de dents d'un patient, ledit procédé comportant les étapes suivantes : a) modélisation d'un positionnement cible desdites dents sous la forme d'un modèle cible; b) après un intervalle de temps, modélisation d'un positionnement actualisé desdites dents sous la forme d'un modèle actualisé; c) comparaison desdits modèles cible et actualisé

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 010 629

(21) N° d'enregistrement national : **13 59038**

(51) Int Cl⁸ : **A 61 C 7/00 (2013.01)**

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 19.09.13.

(30) Priorité :

(71) Demandeur(s) : SALAH PHILIPPE — FR.

(43) Date de mise à la disposition du public de la
demande : 20.03.15 Bulletin 15/12.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

(72) Inventeur(s) : SALAH PHILIPPE, SALAH EMMA-
NUEL et AYACHE WILLIAM.

(60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

(73) Titulaire(s) : SALAH PHILIPPE.

☐ Demande(s) d'extension :

(74) Mandataire(s) : CABINET NONY.

(54) **PROCEDE DE CONTROLE DU POSITIONNEMENT DE DENTS.**

(57) Procédé de contrôle du positionnement de dents d'un
patient, ledit procédé comportant les étapes suivantes :

- a) modélisation d'un positionnement cible desdites
dents sous la forme d'un modèle cible;
- b) après un intervalle de temps, modélisation d'un posi-
tionnement actualisé desdites dents sous la forme d'un mo-
dèle actualisé;
- c) comparaison desdits modèles cible et actualisé

FR 3 010 629 - A1



PROCEDE DE CONTROLE DU POSITIONNEMENT DE DENTS

Domaine technique

La présente invention concerne un procédé de contrôle du positionnement de dents d'un patient et un programme informatique pour la mise en œuvre de ce procédé.

5 Etat de la technique

Après un traitement orthodontique, il est nécessaire que le patient traité fasse régulièrement contrôler sa dentition, notamment afin de vérifier que la position des dents n'évolue pas défavorablement. Cette évolution défavorable est encore appelée « récidence ». Classiquement, le patient se rend donc à intervalles réguliers chez son orthodontiste afin
10 d'effectuer ces contrôles. Il peut également se rendre chez son dentiste, à même de détecter toute imperfection dans le positionnement des dents.

De nombreux patients n'effectuent pas ces visites de contrôle, qui permettraient la détection d'éventuelles situations de récidence. Les dents peuvent ainsi reprendre une position de mal occlusion qui, pour être corrigée, nécessite un nouveau traitement
15 orthodontique, pouvant être aussi important que le traitement initial.

En outre, les visites sont contraignantes pour le patient et constituent un élément de stress pour l'orthodontiste

Un objectif de la présente invention est de répondre, au moins partiellement, aux problèmes susmentionnés.

20 Résumé de l'invention

L'invention fournit un procédé de contrôle du positionnement de dents d'un patient, ledit procédé comportant les étapes suivantes :

- a) modélisation d'un positionnement cible desdites dents sous la forme d'un modèle cible;
- 25 b) après un intervalle de temps, modélisation d'un positionnement actualisé desdites dents sous la forme d'un modèle actualisé;
- c) comparaison desdits modèles cible et actualisé.

Un procédé selon l'invention peut encore comporter une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :

- le modèle cible est un modèle tridimensionnel ;
- le modèle cible fournit une information sur le positionnement des dents avec une erreur inférieure à 5/10 mm, de préférence inférieure à 3/10 mm, de préférence inférieure à 1/10 mm ;
- 5 - l'intervalle de temps est supérieur à 1 mois et/ou est déterminé par le patient ou, de préférence, par un orthodontiste;
- l'étape b) est réalisée à distance de l'étape a), c'est-à-dire dans un lieu différent de celui dans lequel est réalisée l'étape a), en particulier à plus de 50 m, plus de 100 m, plus de 1 km du lieu où est réalisée l'étape a), en particulier hors cabinet
- 10 orthodontique ;
- l'étape b) n'est pas réalisée dans un cabinet dentaire, un cabinet d'orthodontie ou un laboratoire d'orthodontie ;
- on utilise un appareil individuel choisi dans le groupe formé par un téléphone mobile, un appareil photo dit « connecté », une montre dite « intelligente », ou « smartwatch », une tablette numérique, un scanner 3D portable et un ordinateur couplé un système
- 15 d'acquisition d'images, telle une webcam ou un appareil photo numérique, pour mettre en œuvre l'étape b) et/ou l'étape c), de préférence l'étape b) et l'étape c) ;
- le modèle actualisé comporte une vidéo ou une photo des dents du patient, de préférence une photo prise face au patient, une photo prise du côté droit du patient et
- 20 une photo prise du côté gauche du patient ;
- le modèle actualisé comporte une vidéo des dents du patient ;
- l'étape b) est de préférence réalisée par le patient ou un proche du patient, mais peut être réalisée par un dentiste ;
- à l'étape b), une ou plusieurs photos et/ou vidéos des dents du patient sont traitées afin
- 25 de créer un modèle actualisé tridimensionnel ;
- préalablement à l'étape c), de préférence préalablement à l'étape b), le patient ou un professionnel des soins dentaires charge le modèle cible dans ledit appareil individuel ou le met à disposition pour chargement dans ledit appareil individuel ; le patient charge de préférence le modèle cible à partir d'Internet ;
- 30 - à l'étape c), on génère une information dont le contenu dépend de la différence ou "distance" entre les modèles cible et actualisé et, de préférence, on transmet cette information audit patient et/ou à un professionnel des soins dentaires ;

- en fonction de la comparaison à l'étape c), on informe le patient et/ou un professionnel des soins dentaires, de la probable nécessité d'une consultation d'un dentiste ou d'un orthodontiste ;
- l'étape c) de comparaison des modèles est réalisée soit sur un appareil personnel du patient, soit avec un applicatif chez un professionnel des soins dentaires, soit avec un serveur tierce dédié.

L'invention concerne aussi l'utilisation d'un procédé selon l'invention pour

- détecter une récurrence, et/ou
- déterminer une vitesse d'évolution d'un changement de positions des dents, et/ou
- optimiser la date de prise de rendez-vous chez un orthodontiste ou un dentiste, et/ou
- évaluer l'efficacité d'un traitement orthodontique, et/ou
- évaluer l'évolution du positionnement de dents vers un modèle théorique correspondant à un positionnement déterminé des dents, en particulier un positionnement amélioré des dents.

L'invention concerne également un programme d'ordinateur, et en particulier un applicatif spécialisé configuré pour la mise en œuvre de l'étape b) et/ou de l'étape c), de préférence des deux étapes b) et c), un support informatique sur lequel est enregistré un tel programme informatique, par exemple une mémoire ou un CD-ROM, et un appareil personnel, en particulier un téléphone mobile ou une tablette, dans lequel est chargé un tel programme.

L'appareil personnel peut en particulier comporter une module d'acquisition et/ou un module de traitement et/ou un module de comparaison et/ou un module de communication comportant une ou plusieurs des caractéristiques décrites ci-après, de manière à pouvoir exécuter une ou plusieurs des opérations d'un procédé selon l'invention.

L'invention concerne enfin un système comportant

- un professionnel des soins dentaires,
- un patient,

ledit professionnel étant équipé d'un appareil apte à mettre en œuvre l'étape a) d'un procédé selon l'invention, de préférence pour créer un modèle tridimensionnel de la dentition dudit patient,

ledit patient étant équipé d'un appareil personnel, de préférence d'un téléphone mobile, chargé avec un applicatif spécialisé apte à mettre en œuvre des étapes b) et c) d'un procédé selon invention.

Le professionnel peut en particulier être équipé d'un scanner tridimensionnel.

5 **Définitions**

Par « patient », on entend toute personne pour laquelle un procédé est mis en œuvre afin d'en contrôler les dents, que cette personne soit malade ou non.

Par « professionnel des soins dentaires », on entend un dentiste, un orthodontiste ou un laboratoire d'orthodontie.

- 10 Par « dentiste », on entend un dentiste ou un assistant dentaire travaillant sous la responsabilité d'un dentiste.

On appelle "téléphone mobile" un appareil de moins de 500 g, doté d'un capteur lui permettant de capturer des images, capable d'échanger des données avec un autre appareil éloigné de plus de 500 km du téléphone mobile, et capable d'afficher lesdites données, et
15 notamment lesdites images.

Une « tablette » est un ordinateur portable à écran tactile.

Un scanner 3D est un appareil permettant d'obtenir une représentation en trois dimensions d'un objet.

- 20 Par "comprenant un" ou "comportant un", on entend "comportant au moins un", sauf indication contraire.

Brève description des figures

- D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description détaillée qui va suivre et à l'examen du dessin annexé dans lequel la figure 1 et la figure 2 illustrent respectivement un procédé et le contenu d'un téléphone mobile
25 pouvant être utilisé pour la mise en œuvre d'un procédé selon l'invention.

Description détaillée

Un procédé selon l'invention comporte les étapes a) à c) mentionnées ci-dessus.

Sans que cela soit limitatif, le procédé décrit ci-après est mis en œuvre pour contrôler la récurrence après un traitement orthodontique.

A l'étape a), un modèle cible 8 des dents du patient est créé (voir figure 1).

De préférence, le modèle cible est préparé moins de six mois, de préférence moins de trois
5 mois, de préférence encore moins de un mois après la fin du traitement orthodontique, généralement immédiatement après la fin du traitement. Il correspond ainsi à un positionnement sensiblement optimal des dents.

La forme du modèle cible n'est pas limitée. Il peut s'agir en particulier d'un modèle numérique en trois dimensions, mais aussi d'une image, d'une photo en deux dimensions,
10 par exemple une photo panoramique, un film. Dans un mode de réalisation, le modèle cible peut être constitué par une ou plusieurs mesures effectuées sur les dents, par exemple la mesure d'un écartement entre deux dents adjacentes

De préférence, le modèle cible est un modèle numérique à trois dimensions de la dentition du patient, par exemple du type .stl ou .Obj, .DXF 3D, IGES, STEP, VDA, ou Nuages de
15 points. Avantageusement, un tel modèle, dit « 3D », peut être observé selon un angle quelconque.

Le modèle cible peut être préparé à partir de mesures effectuées sur les dents du patient ou sur un modèle physique de ses dents, par exemple un modèle en plâtre.

Le modèle cible est de préférence créé au moyen d'un appareil professionnel 9, par
20 exemple au moyen d'un scanner 3D, de préférence mis en œuvre par un professionnel de la santé, par exemple par un orthodontiste ou un laboratoire d'orthodontie 10. Dans un cabinet d'orthodontie, le patient 12 ou le modèle physique de ses dents peuvent être avantageusement disposés dans une position précise et les moyens d'acquisition peuvent être perfectionnés. Il en résulte un modèle cible très précis.

25 Le modèle cible peut être stocké dans une base de données centralisée, regroupant les modèles cible d'une pluralité de patients. Cette base de données peut être physiquement installée dans un établissement spécialisé. Elle peut être également installée dans un laboratoire ou un cabinet d'orthodontie, ce qui limite les transferts d'informations confidentielles.

Dans un mode de réalisation, le modèle cible, ou une copie du modèle cible, est remis au patient. De préférence, un fichier informatique correspondant au modèle cible est enregistré sur un support amovible, par exemple sur une clé USB ou sur une carte électronique, de préférence sur un téléphone mobile, une tablette ou un ordinateur portable du patient, et en particulier sur l'appareil personnel qui sera utilisé à l'étape b).

A l'étape b), après un intervalle de temps Δt , un modèle actualisé 16 est créé.

L'intervalle de temps Δt peut être prédéterminé. Il peut être constant, quelle que soit l'occurrence du procédé, c'est-à-dire que cet intervalle concerne la première exécution du procédé ou une exécution ultérieure. Il peut être variable, et dépendre par exemple des résultats d'une étape c) antérieure. En particulier, l'intervalle de temps Δt peut être d'autant plus court que cette étape c) a détecté une dérive importante.

Dans un mode de réalisation préféré, l'intervalle de temps Δt est déterminé par l'orthodontiste, en fonction d'un planning des contrôles. En fonction de l'évolution de la position des dents, l'orthodontiste peut modifier ce planning et modifier en conséquence l'intervalle de temps Δt . Dans un mode de réalisation, le procédé de contrôle met en œuvre plusieurs cycles comportant chacun une étape b) et une étape c), les intervalles de temps entre chaque cycle pouvant être identiques ou différents. Les intervalles des temps entre deux cycles successifs peuvent être tous déterminés avant l'exécution du premier cycle pour correspondre à un planning de contrôles élaboré par l'orthodontiste.

L'intervalle de temps Δt peut être également indéterminé et dépendre par exemple de décisions du patient. Par exemple, la création d'un modèle actualisé peut être effectuée à l'occasion d'un rendez-vous chez le dentiste ou à tout moment lorsque le patient le souhaite.

L'intervalle de temps Δt est de préférence déterminé pour correspondre à une évolution potentiellement significative du positionnement des dents. De préférence, la première année après le traitement, l'intervalle de temps Δt est inférieur à trois mois. Après cette première année, l'intervalle de temps Δt est de préférence supérieur à un mois, voire supérieur à six mois ou supérieur à douze mois. En particulier pour la détection d'une dérive des dents, un intervalle de temps compris entre six mois et dix-huit mois est adapté.

De préférence, au moins un rappel informant le patient de la nécessité de créer un modèle actualisé est adressé au patient. Ce rappel peut être sous forme papier ou, de préférence,

sous forme électronique, par exemple sous la forme d'un courriel, d'une alerte automatique de l'applicatif spécialisé mobile ou d'un SMS. Un tel rappel peut être envoyé par le cabinet ou le laboratoire d'orthodontie 10, ou par le dentiste, par exemple.

5 Le modèle actualisé peut être préparé comme le modèle cible ou non. Il peut avoir un format identique ou différent de celui du modèle cible.

De préférence, le modèle actualisé 16 est créé avec un appareil personnel 18 couramment disponible dans le commerce, par exemple un téléphone mobile ou une tablette ou un ordinateur personnel, fixe ou portable, de préférence un appareil photo. Le modèle actualisé 16 peut en particulier être créé par le patient lui-même ou par un de ses proches.

10 A cet effet, un applicatif spécialisé est de préférence chargé dans l'appareil personnel 18. L'appareil personnel pèse de préférence moins de 3 kg, moins de 2 kg, moins de 1 kg, moins de 500 g, de préférence moins de 300 g.

De préférence encore, le modèle actualisé 16 est constitué à partir de, ou est constitué par une photo, en particulier une photo panoramique, ou un film. Dans un mode de réalisation
15 préféré, le modèle actualisé est constitué par au moins une photo, de préférence par au moins trois photos, correspondant à une vue de face, une vue à droite et une vue à gauche des dents du patient. Des photos peuvent être prises soit pour l'arcade supérieure, soit pour l'arcade inférieure, soit pour les deux.

L'appareil personnel fournit de préférence des images en couleurs, et/ou des images
20 infrarouges de la bouche du patient, voire du visage du patient. Les images infrarouges permettent avantageusement de faire apparaître les dents avec un excellent contraste.

Comme représenté sur la figure 2, l'appareil personnel 18 comporte un module d'acquisition 20, ou « de capture », et de préférence un module de traitement 22, de préférence encore un module de comparaison 24, et de préférence un module de
25 communication 25.

De préférence, l'appareil personnel du patient comporte un applicatif spécialisé comportant un ou plusieurs de ces modules, de préférence l'ensemble de ces modules. De préférence encore, cet applicatif gère les rappels et informe le patient de la nécessité de créer un modèle actualisé.

De préférence, l'applicatif spécialisé est chargé dans l'appareil personnel à partir d'un support physique comme une clé USB ou un CD-ROM, ou est téléchargé sur internet ou par voie hertzienne. Dans un mode de réalisation, l'applicatif spécialisé est fourni au patient par le cabinet et/ou le laboratoire d'orthodontie. Il peut en particulier prendre la

5 forme d'un applicatif du type de ceux couramment téléchargés sur les iPhones de la marque Apple® ou les appareils de toutes marques mettant en œuvre les systèmes d'exploitation Android® ou tout autre système d'exploitation.

Le module d'acquisition 20 comporte de préférence un appareil photo ou une caméra vidéo ou infrarouge, que l'utilisateur, par exemple le patient ou un de ses proches,

10 positionne au moyen d'un viseur ou d'un écran, avant de l'actionner.

De préférence, le module d'acquisition 20 comporte des moyens détrompeurs facilitant ce positionnement.

L'utilisateur peut être guidé par des messages écrits et/ou vocaux pour l'acquisition. Par exemple, l'appareil personnel peut annoncer « prenez une photo de face », émettre un

15 signal pour informer l'utilisateur que la photo est acceptable ou qu'au contraire, il doit refaire une photo, annoncer « prenez une photo de droite », de préférence en affichant une flèche pour orienter l'utilisateur, etc. La fin du processus d'acquisition peut être également annoncée par l'appareil. L'appareil peut également aider au positionnement de l'appareil personnel, par exemple par des messages visuels (par exemple par affichage de flèches),

20 et/ou sonores (comme une succession de bips dont la fréquence augmente à mesure que le positionnement de l'appareil s'améliore), et/ou écrits et/ou vocaux (« plus haut », plus bas », etc.).

Les moyens détrompeurs peuvent en particulier comporter des marques de repérage qui apparaissent sur le viseur ou l'écran. Les marques de repérage peuvent par exemple

25 comporter une ligne destinée à être alignée avec la direction générale de la jointure entre les dents supérieures et les dents inférieures lorsque les dents sont serrées par le patient, ou une ligne verticale destinée à être alignée avec la jointure entre les deux incisives supérieures. Les marques de repérage peuvent également faire référence à d'autres parties du patient. Par exemple, elles peuvent être constituées par des marques correspondant à la

30 position des yeux ou prendre la forme d'un contour dans lequel doit être positionné la bouche ou le visage du patient. Dans un mode de réalisation, les marques de repérage

correspondent à un référentiel, par exemple sous la forme d'un écarteur ou d'un dispositif de prise de vue intra-bucal, de préférence remis au patient lors d'un rendez-vous avec son orthodontiste ou dentiste, que le patient doit positionner dans une position prédéterminée lors de l'acquisition. Par exemple, le référentiel peut être destiné à être mordu par le patient.

Dans un mode de réalisation préféré, les moyens détrompeurs sont définis, au moins partiellement, à partir d'informations fournies par le modèle cible. Par exemple, suivant les principes de la « réalité augmentée », tout ou partie du modèle cible, éventuellement retraité, peut être rendu visible sur ledit écran ou ledit viseur lors de l'acquisition.

Le retraitement du modèle cible pour faciliter l'acquisition, ou « retraitement d'acquisition », peut par exemple comprendre la création d'une ou plusieurs images ou d'une vue tridimensionnelle dans laquelle les dents apparaissent en transparence. Il peut aussi comprendre la génération d'images en deux dimensions, notamment à partir d'un modèle cible en trois dimensions, par exemple la génération d'une vue de face, d'une vue de droite et d'une vue de gauche.

Le retraitement d'acquisition peut être effectué, par exemple sur un serveur dédié, de préférence par un professionnel des soins dentaires, en particulier immédiatement après la création du modèle cible. Avantageusement, le professionnel des soins dentaires peut disposer d'une puissance de calcul permettant d'obtenir des moyens détrompeurs perfectionnés. Le retraitement d'acquisition est de préférence effectué par l'appareil personnel, en particulier avec l'applicatif spécialisé.

De préférence, l'information issue du modèle cible et utilisée pour créer les moyens détrompeurs est téléchargée dans l'appareil personnel 18.

De préférence, au moins une partie du modèle cible apparaît en transparence à l'utilisateur lors de l'acquisition. Dans un mode de réalisation, seul le contour des dents apparaît à l'utilisateur. Il est ainsi très facile pour ce dernier de superposer le modèle cible qui apparaît en transparence avec les dents du patient qu'il doit prendre en photo ou filmer. En particulier, lorsque la création du modèle actualisé nécessite de prendre une ou plusieurs photos, de préférence des photos vue de face, vue de droite et vue de gauche, l'écran ou le viseur affiche de préférence une vue correspondante du modèle cible, de préférence une représentation filaire.

Si l'acquisition est faite en vidéo ou en panoramique, un prérendu en temps réel peut être fait pendant l'acquisition. Ce prérendu guidera l'utilisateur sur les zones manquantes et/ou sélectionnera les photos ou les images vidéo les plus nettes ou mieux interpolées pour construire le modèle actualisé.

- 5 De préférence, le **module de traitement 22** est configuré pour transformer l'information acquise par le module d'acquisition, par exemple des photos, en un modèle actualisé pouvant être comparé avec le modèle cible. Le module de traitement 22 peut par exemple traiter les images acquises afin de créer un modèle actualisé numérique, de préférence en trois dimensions.
- 10 De préférence, le module de traitement 22 comporte également des moyens pour affiner les informations acquises. Par exemple, en comparant les informations acquises et des informations issues du modèle cible, il peut détecter des déformations d'une image résultant d'un positionnement inadapté de l'objectif de l'appareil photo, positionné par exemple en contre-plongée. Dans un mode de réalisation, des informations provenant d'un
- 15 ou plusieurs modèles actualisés antérieurs sont utilisées pour affiner les informations acquises.

A l'étape c), une comparaison est effectuée entre le modèle actualisé et le modèle cible.

- Un prétraitement du modèle cible peut être nécessaire à cet effet. Par exemple, lorsque le modèle actualisé comporte de préférence une photo, le module de traitement 22 comporte
- 20 des moyens pour identifier, dans le modèle cible, la vue présentant le plus de similitudes avec ladite photo. Cette vue est alors comparée à ladite photo.

La comparaison entre les modèles cible et actualisé peut être réalisée par 2 types d'algorithme, bien connus :

- Algorithmes de comparaison entre des représentations 2D, telles que des photos :
- 25 Ces algorithmes comparent des photos prises selon le même point de vue et/ou déduites par analyse d'un modèle 3D, notamment pour déterminer une vue de ce modèle correspondant à l'orientation souhaitée.
- Algorithmes de comparaison entre deux modèles tridimensionnels : Un modèle tridimensionnel cible est alors comparé à un modèle actualisé tridimensionnel, par
- 30 exemple obtenu par extrapolation 3D de représentations 2D. Cette comparaison

peut être réalisée automatiquement ou semi-automatiquement par des algorithmes dits « de best-fit 3D » ou manuellement avec des outils d'alignement 3D, notamment par sélection, sur chacun des modèles, de trois points correspondant à des emplacements identiques. En variante, on peut calculer la différence de distance entre des points caractéristiques sur le modèle cible et la distance entre ces mêmes points caractéristiques sur le modèle actualisé. Ces points caractéristiques sont de préférence les pointes cuspidiennes des dents du patient.

De préférence, le modèle cible est chargé dans l'appareil personnel par l'organisme qui l'a créé, ce qui limite les risques de divulgation d'informations personnelles. La comparaison peut alors être effectuée par l'applicatif spécialisé.

La comparaison fournit classiquement une "distance" entre les deux modèles.

Cette distance peut être interprétée directement par le patient, l'orthodontiste ou le dentiste. De préférence, le module de comparaison 24 compare ladite distance avec un seuil d'acceptabilité et fournit une information pratique. En particulier, si la distance est inférieure au seuil d'acceptabilité, l'information pratique peut être qu'aucune action n'est à engager alors que si la distance est supérieure au seuil d'acceptabilité, l'information pratique peut être de prévoir une visite de contrôle chez le dentiste ou chez l'orthodontiste.

Dans un mode de réalisation, le module de comparaison fournit différentes informations pratiques en fonction du positionnement de ladite distance par rapport à plusieurs seuils. Par exemple, lorsque la distance dépasse un seuil critique, l'information pratique peut consister à informer de la nécessité de consulter d'urgence le dentiste ou l'orthodontiste.

Le ou les seuils utilisés par le module de comparaison peuvent être prédéterminé(s). Dans un mode de réalisation, ils sont paramétrables. De préférence, ils peuvent être fixés et modifiés à tout moment, en particulier par un professionnel des soins dentaires.

En fonction de l'information pratique reçue, le patient peut se rendre chez l'orthodontiste ou le dentiste afin de recevoir un traitement thérapeutique ou prophylactique.

De préférence, la mise en œuvre d'une étape c) engendre immédiatement l'engagement d'un nouveau délai pour réaliser de nouvelles étapes b) et c). Avantagusement, le contrôle de la dérive éventuelle des dents est ainsi permanent.

Dans un mode de réalisation, l'information pratique est utilisée pour modifier l'intervalle de temps après lequel le patient devra être averti qu'un nouveau modèle actualisé doit être créé.

- 5 Dans un mode de réalisation, l'appareil individuel permet d'afficher des images, voire une séquence d'images montrant le positionnement des dents à différentes dates. Ces images peuvent être présentées sous la forme d'une animation.

Le module de communication 25 est optionnel, en particulier si, à l'étape a), le modèle cible et l'appliquatif spécialisé ont été chargés dans l'appareil personnel.

- 10 Il permet à l'appareil personnel 18 de recevoir les rappels destinés au patient, mais aussi des informations utiles pour les autres modules, par exemple des informations relatives au modèle cible, notamment pour créer des marques de repérage. Le module de communication 25 permet également de transmettre, si nécessaire, le modèle actualisé et/ou les résultats de la comparaison effectuée à l'étape c), et notamment les informations pratiques, en particulier à un dentiste ou à un orthodontiste.

- 15 Ces informations peuvent être transmises immédiatement ou à des moments prédéterminés. Par exemple les modèles actualisés peuvent être envoyés à l'orthodontiste, notamment sous la forme de rapports, à une fréquence paramétrable.

Le module de communication 25 est de préférence configuré pour transmettre et/ou recevoir des données de manière sécurisée.

- 20 La communication peut être par exemple effectuée, au moins en partie, par la voie hertzienne, de préférence suivant au moins un protocole choisi parmi les protocoles edge, 3G, 4G, udmsa, hpdmsa, bluetooth, et wifi, ou par tout autre protocole, actuel ou futur, adapté aux équipements mobiles ou nomades, par synchronisation filaire avec l'ordinateur personnel, ou par transmission optique.

- 25 Comme cela apparaît clairement à présent, un procédé selon l'invention permet un contrôle précis et efficace de l'évolution du positionnement des dents du patient, sensiblement sans contrainte pour le patient. Le patient peut donc facilement mettre en œuvre ce procédé et le risque de récurrence est donc substantiellement diminué.

- 30 En aucun cas, ce procédé n'intervient dans le maintien des dents dans leur position de fin de traitement. Il ne remplace pas la pose d'une contention de fin de traitement.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits ci-dessus et représentés.

De préférence, le traitement des images acquises et la comparaison sont effectués par le même appareil personnel que celui qui effectue l'acquisition. De préférence encore, le
5 modèle cible est chargé dans cet appareil personnel, de préférence par le cabinet d'orthodontie ou le laboratoire d'orthodontie qui a créé le modèle cible. Avantageusement, on limite ainsi les communications de données confidentielles.

Plusieurs appareils différents peuvent cependant être également mis en œuvre. Par exemple, l'acquisition peut être effectuée avec un téléphone mobile et le traitement et la
10 comparaison par un ordinateur fixe.

Par ailleurs, le traitement des images capturées et/ou la comparaison ne sont pas nécessairement mis en œuvre dans l'appareil personnel. En particulier, un ou plusieurs de ces modules peuvent être mis en œuvre dans un cabinet dentaire, un cabinet orthodontique ou un laboratoire orthodontique. Par exemple, dans un mode de réalisation, l'étape b) peut
15 être mise en œuvre par le dentiste ou l'orthodontiste.

Toutes les caractéristiques relatives à l'appareil personnel décrites ci-dessus peuvent alors être appliquées à l'appareil mis en œuvre par le dentiste ou l'orthodontiste.

Une acquisition par le dentiste ou l'orthodontiste permet avantageusement un bon positionnement du patient, ce qui assure des prises de vues précises et améliore la qualité
20 de la comparaison.

En outre, avantageusement, la sécurité des transferts d'informations relatives au modèle cible ou au modèle actualisé (notamment si la comparaison est effectuée à l'extérieur des locaux du dentiste ou de l'orthodontiste) en est améliorée.

De préférence, le module d'acquisition et/ou le module de traitement et/ou le module de
25 comparaison sont alors intégrés dans l'équipement professionnel du dentiste ou de l'orthodontiste. De préférence encore, l'acquisition est effectuée dans des positions prédéterminées, de préférence de manière automatique, c'est-à-dire sans intervention du dentiste ou de l'orthodontiste.

Pour le dentiste, la mise en œuvre du procédé permet avantageusement de détecter des
30 déplacements imperceptibles à l'œil, par exemple une perte d'expansion, ou des

déplacements des dents par rapport à un modèle cible qui ne correspond pas à un positionnement idéal, mais, par exemple, au meilleur positionnement que le traitement orthodontique a pu produire.

5 Le domaine d'application d'un procédé selon l'invention n'est pas non plus limité à la détection d'une dérive du positionnement des dents afin de prendre ultérieurement des mesures pour contrecarrer cette dérive.

10 Un procédé selon l'invention peut être également utilisé pour contrôler l'évolution de la position des dents indépendamment d'un traitement d'orthodontie, par exemple pour mesurer la vitesse à laquelle les dents bougent. Une telle mesure peut être utile à des fins d'études.

En répétant les étapes b) et c), il est aussi possible d'évaluer la vitesse à laquelle un traitement orthodontique fait évoluer la position des dents, et ainsi de mesurer l'efficacité de ce traitement. Dans ce mode de réalisation, l'étape a) est optionnelle.

15 Un procédé selon l'invention peut par exemple être utilisé pour suivre à distance l'évolution d'un traitement orthodontique, et ainsi optimiser les rendez-vous des patients chez leurs orthodontistes.

Le modèle cible ne correspond pas nécessairement à un positionnement optimal des dents. Un procédé selon l'invention peut ainsi être utilisé dans le cadre d'un traitement orthodontique. En particulier, le modèle cible peut être un modèle théorique que le traitement orthodontique essaie d'atteindre. En mettant en œuvre le procédé, le patient peut
20 ainsi, quand il le souhaite, constater l'évolution du positionnement de ses dents et apprécier le rapprochement du modèle théorique.

Enfin, le patient n'est pas limité à un être humain. En particulier, un procédé selon l'invention peut être utilisé pour un autre animal.

25

REVENDEICATIONS

1. Procédé de contrôle du positionnement de dents d'un patient, ledit procédé comportant les étapes suivantes :
 - 5 a) modélisation d'un positionnement cible desdites dents sous la forme d'un modèle cible;
 - b) après un intervalle de temps, modélisation d'un positionnement actualisé desdites dents sous la forme d'un modèle actualisé;
 - c) comparaison desdits modèles cible et actualisé.
- 10 2. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel le modèle cible est un modèle tridimensionnel.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel à l'étape a), la modélisation est effectuée pour que le modèle cible fournisse une information sur le positionnement des dents avec une erreur inférieure à 1/10 mm.
- 15 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'intervalle de temps est supérieur à 1 mois.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape a) est réalisée au moyen d'un scanner 3D et l'étape b) est réalisée au moyen d'un téléphone mobile ou d'une tablette ou d'un ordinateur personnel.
- 20 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on utilise un appareil individuel choisi dans le groupe formé par un appareil photo connecté, une montre intelligente, une tablette numérique, un scanner 3D portable et un ordinateur couplé un système d'acquisition d'images, telle une webcam ou un appareil photo numérique, pour mettre en œuvre l'étape b) et/ou l'étape c).
- 25 7. Procédé selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel, préalablement à l'étape c), de préférence préalablement à l'étape b), le patient ou un professionnel des soins dentaires charge le modèle cible dans ledit appareil individuel.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le modèle actualisé comporte une vidéo ou une photo des dents du patient, de préférence une photo prise face au patient, une photo prise du côté droit du patient et une photo prise du côté gauche du patient.
- 5 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le modèle actualisé comporte une vidéo des dents du patient.
- 10 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape b), une ou plusieurs photos des dents du patient sont traitées afin de créer un modèle actualisé tridimensionnel.
- 10 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape b), une ou plusieurs vidéos sont traitées afin de créer un modèle actualisé tridimensionnel.
- 15 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape c), on génère une information dont le contenu dépend de la différence entre les modèles cible et actualisé et, de préférence, on transmet cette information audit patient et/ou à un professionnel des soins dentaires.
- 20 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, en fonction de la comparaison à l'étape c), un module de communication d'un appareil personnel du patient informe le patient et/ou un professionnel des soins dentaires, de la probable nécessité d'une consultation d'un dentiste ou d'un orthodontiste.
14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un téléphone mobile ou une tablette ou un ordinateur personnel du patient transmet le modèle actualisé et/ou les résultats de la comparaison effectuée à l'étape c) à un dentiste ou à un orthodontiste.
- 25 15. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape c) de comparaison des modèles est réalisée soit sur un appareil personnel du patient, soit avec un applicatif chez un professionnel des soins dentaires, soit avec un serveur fierce dédié.

16. Utilisation d'un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes pour
- détecter une récurrence, et/ou
 - déterminer une vitesse d'évolution d'un changement de position de dents, et/ou
 - optimiser la date de prise de rendez-vous chez un orthodontiste ou un dentiste, et/ou
 - évaluer l'efficacité d'un traitement orthodontique, et/ou
 - évaluer l'évolution du positionnement de dents vers un modèle théorique correspondant à un positionnement déterminé des dents, en particulier un positionnement amélioré des dents.
17. Programme d'ordinateur, et en particulier applicatif spécialisé pour téléphone mobile, comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution de l'étape b) et/ou de l'étape c) d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 15 lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.
18. Téléphone mobile sur lequel est enregistré un programme informatique selon la revendication immédiatement précédente.
19. Système comportant
- un appareil équipant un professionnel des soins dentaires et apte à mettre en œuvre l'étape a) d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, de préférence pour créer un modèle tridimensionnel de la dentition dudit patient,
 - un appareil personnel équipant un patient, de préférence un téléphone mobile, chargé avec un applicatif spécialisé apte à mettre en œuvre des étapes b) et c) d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 15.

1/1

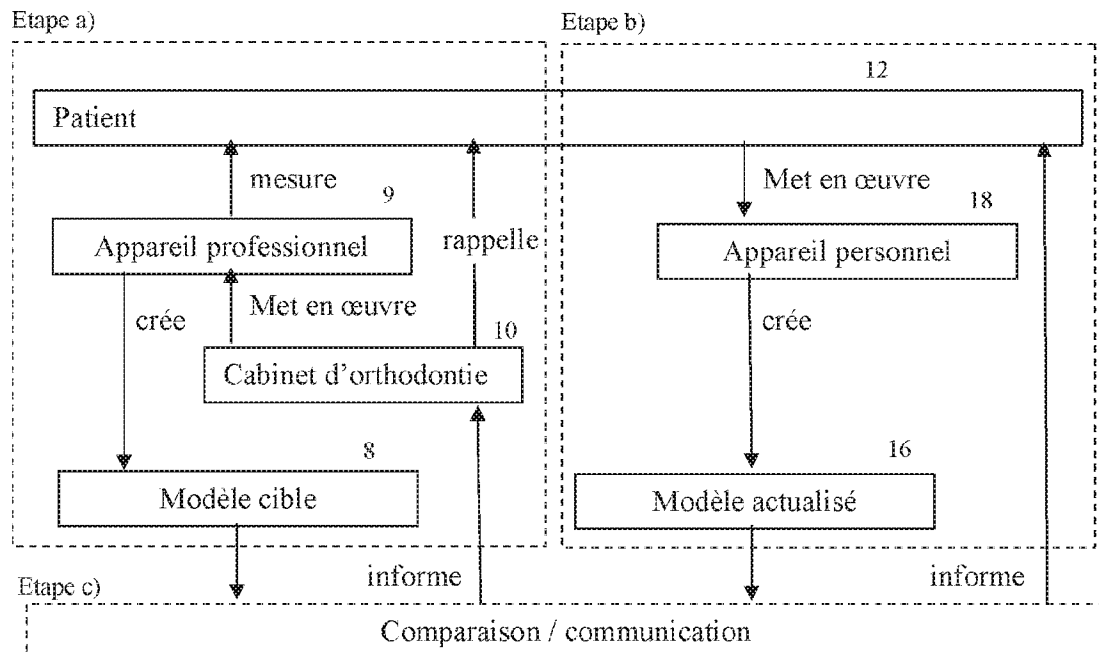


FIG. 1

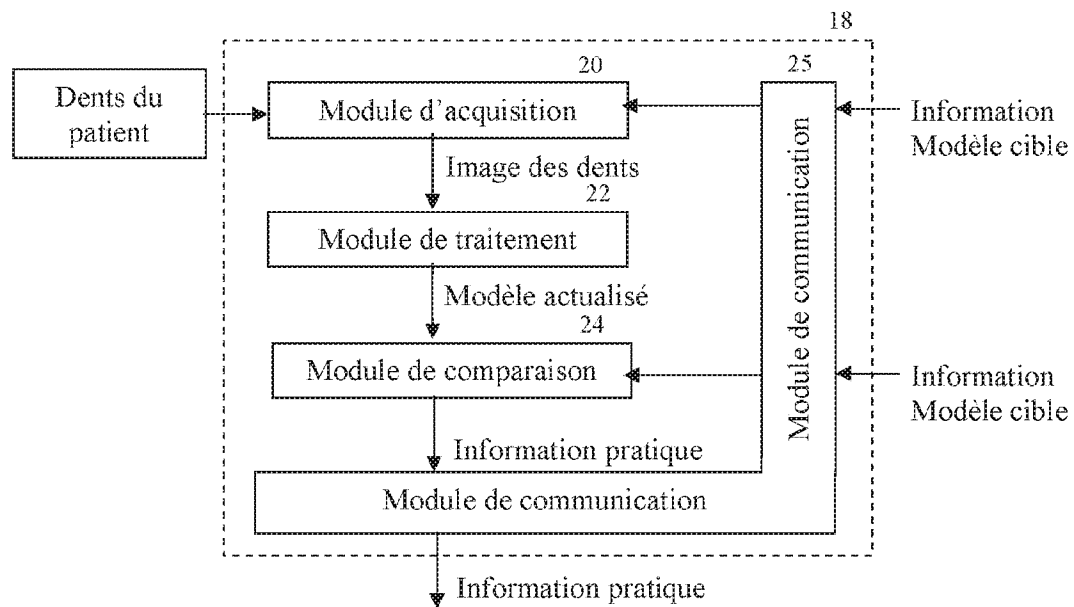


FIG. 2

Notice

This translation is machine-generated. It cannot be guaranteed that it is intelligible, accurate, complete, reliable or fit for specific purposes. Critical decisions, such as commercially relevant or financial decisions, should not be based on machine-translation output.

ABSTRACT FR3027505

The invention relates to a method for controlling the positioning of a patient's teeth, said method comprising the following steps: a) less than 3 months after the end of an orthodontic treatment, realization of an initial reference model of the arches of the patient, and, for each tooth, definition, from the initial reference model, of a tooth model; b) acquiring at least one updated image of said arches, under actual acquisition conditions; c) analyzing each updated image and producing, for each updated image, an updated map relating to discriminant information; d) optionally, determining, for each updated image, coarse virtual acquisition conditions approximating said actual acquisition conditions; e) search, for each updated image, of a final reference model corresponding to the positioning of the teeth during the acquisition of the updated image, and; f) for each tooth model, comparing the positions of said tooth model in the initial reference model and in the reference model obtained at the end of the preceding steps, in order to determine the movement of the teeth between steps a) and b).

L'invention concerne un procédé de contrôle du positionnement de dents d'un patient, ledit procédé comportant les étapes suivantes : a) moins de 3 mois après la fin d'un traitement orthodontique, réalisation d'un modèle de référence initial des arcades du patient, et, pour chaque dent, définition, à partir du modèle de référence initial, d'un modèle de dent ; b) acquisition d'au moins une image actualisée desdites arcades, dans des conditions d'acquisition réelles ; c) analyse de chaque image actualisée et réalisation, pour chaque image actualisée, d'une carte actualisée relative à une information discriminante ; d) optionnellement, détermination, pour chaque image actualisée, de conditions d'acquisition virtuelles grossières approximant lesdites conditions d'acquisition réelles ; e) recherche, pour chaque image actualisée, d'un modèle de référence final correspondant au positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée, et ; f) pour chaque modèle de dent, comparaison des positionnements dudit modèle de dent dans le modèle de référence initial et dans le modèle de référence obtenu à l'issue des étapes précédentes, afin de déterminer le déplacement des dents entre les étapes a) et b).

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①⑪ N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 027 505

②① N° d'enregistrement national : **14 60315**

⑤① Int Cl⁸ : **A 61 C 7/00 (2016.01), G 06 F 19/00**

①⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②② Date de dépôt : 27.10.14.

③⑩ Priorité :

⑦① Demandeur(s) : *H 43 Société par actions simplifiée* —
FR.

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 29.04.16 Bulletin 16/17.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑦② Inventeur(s) : SALAH PHILIPPE, AYACHE
WILLIAM, DEBRAUX LAURENT, GHYSELINCK GUIL-
LAUME et PELLISSARD THOMAS.

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦③ Titulaire(s) : *H 43 Société par actions simplifiée.*

○ Demande(s) d'extension :

⑦④ Mandataire(s) : CABINET NONY.

⑤④ **PROCEDE DE CONTROLE DU POSITIONNEMENT DE DENTS.**

⑤⑦ L'invention concerne un procédé de contrôle du posi-
tionnement de dents d'un patient, ledit procédé comportant
les étapes suivantes :

a) moins de 3 mois après la fin d'un traitement ortho-
dontique, réalisation d'un modèle de référence initial des ar-
cades du patient, et, pour chaque dent, définition, à partir du
modèle de référence initial, d'un modèle de dent;

b) acquisition d'au moins une image actualisée desdites
arcades, dans des conditions d'acquisition réelles;

c) analyse de chaque image actualisée et réalisation,
pour chaque image actualisée, d'une carte actualisée rela-
tive à une information discriminante;

d) optionnellement, détermination, pour chaque image
actualisée, de conditions d'acquisition virtuelles grossières
approximant lesdites conditions d'acquisition réelles;

e) recherche, pour chaque image actualisée, d'un mo-
dèle de référence final correspondant au positionnement
des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée, et;

f) pour chaque modèle de dent, comparaison des posi-
tionnements dudit modèle de dent dans le modèle de réfé-
rence initial et dans le modèle de référence obtenu à l'issue
des étapes précédentes, afin de déterminer le déplacement
des dents entre les étapes a) et b).

FR 3 027 505 - A1



0101

PROCEDE DE CONTROLE DE LA RECIDIVE ORTHODONTIQUE

Domaine technique

La présente invention concerne un procédé de contrôle du positionnement de dents d'un patient et un programme informatique pour la mise en œuvre de ce procédé.

5 Etat de la technique

Il est souhaitable que chacun fasse régulièrement contrôler sa dentition, notamment afin de vérifier que la position de ses dents n'évolue pas défavorablement. Lors d'un traitement orthodontique, cette évolution défavorable peut notamment conduire à modifier le traitement. Après un traitement orthodontique, cette évolution défavorable, appelée
10 « récidive », peut conduire à une reprise d'un traitement. Enfin, de manière plus générale et indépendamment de tout traitement, chacun peut souhaiter suivre les déplacements éventuels de ses dents.

Classiquement, les contrôles sont effectués par un orthodontiste ou un dentiste qui seuls disposent d'un appareillage adapté. Ces contrôles sont donc coûteux. En outre, les visites
15 sont contraignantes.

Un objectif de la présente invention est de répondre, au moins partiellement, aux problèmes susmentionnés.

Résumé de l'invention

L'invention fournit un procédé de contrôle du positionnement de dents d'un patient, ledit
20 procédé comportant les étapes suivantes :

- a) réalisation d'un modèle de référence tridimensionnel numérique des arcades du patient, ou « modèle de référence initial » et, pour chaque dent, définition, à partir du modèle de référence initial, d'un modèle de référence tridimensionnel numérique de ladite dent, ou « modèle de dent » ;
- 25 b) acquisition d'au moins une image bidimensionnelle desdites arcades, dite « image actualisée », dans des conditions d'acquisition réelles ;
- c) analyse de chaque image actualisée et réalisation, pour chaque image actualisée, d'une carte actualisée relative à une information discriminante ;

- d) optionnellement, détermination, pour chaque image actualisée, de conditions d'acquisition virtuelles grossières approximant lesdites conditions d'acquisition réelles ;
- 5 e) recherche, pour chaque image actualisée, d'un modèle de référence final correspondant au positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée, la recherche étant de préférence effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence par recuit simulé, et
- 10 f) pour chaque modèle de dent, comparaison des positionnements dudit modèle de dent dans le modèle de référence initial et dans le modèle de référence obtenu à l'issue des étapes précédentes, dit « modèle de référence final », afin de déterminer le déplacement des dents entre les étapes a) et b).

Comme on le verra plus en détail dans la suite de la description, un procédé selon l'invention permet, à partir d'une simple image des dents, prise sans pré-positionnement précis des dents par rapport à l'appareil d'acquisition d'images, par exemple d'une
15 photographie prise par le patient, d'évaluer avec précision le déplacement des dents depuis la réalisation du modèle de référence initial. Cette évaluation peut en outre être effectuée par un simple ordinateur ou un téléphone mobile.

De préférence, l'étape e) comporte

- une première opération d'optimisation permettant de rechercher des conditions
20 d'acquisition virtuelles correspondant au mieux aux conditions d'acquisition réelles dans un modèle de référence à tester déterminé à partir du modèle de référence initial, et
- une deuxième opération d'optimisation permettant de rechercher, en testant une pluralité de dits modèles de référence à tester, le modèle de référence correspondant au mieux au positionnement des dents du patient lors de l'acquisition de l'image actualisée
25 à l'étape b).

De préférence, une première opération d'optimisation est effectuée pour chaque test d'un modèle de référence à tester lors de la deuxième opération d'optimisation.

De préférence, la première opération d'optimisation et/ou la deuxième opération d'optimisation, de préférence la première opération d'optimisation et la deuxième
30 opération d'optimisation mettent en œuvre une méthode métaheuristique, de préférence un recuit simulé.

De préférence, l'étape e) comporte les étapes suivantes :

- e1) définition du modèle de référence à tester comme étant le modèle de référence initial puis,
- 5 e2) suivant les étapes suivantes, test de conditions d'acquisition virtuelles avec le modèle de référence à tester afin d'approximer finement lesdites conditions d'acquisition réelles ;
 - e21) détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester;
 - e22) réalisation d'une image de référence bidimensionnelle du modèle de référence à tester dans lesdites conditions d'acquisition virtuelles à
10 tester ;
 - e23) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de référence représentant ladite information discriminante ;
 - e24) comparaison des cartes actualisée et de référence de manière à
15 déterminer une valeur pour une première fonction d'évaluation, ladite valeur pour la première fonction d'évaluation dépendant des différences entre lesdites cartes actualisée et de référence et correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche de conditions d'acquisition virtuelles approximant lesdites conditions d'acquisition réelles avec plus d'exactitude que lesdites
20 conditions d'acquisition virtuelles à tester déterminées à la dernière occurrence de l'étape e21) ;
 - e25) si ladite valeur pour la première fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification des conditions d'acquisition virtuelles à tester, puis reprise à l'étape
25 e22) ;
- 30 e3) détermination d'une valeur pour une deuxième fonction d'évaluation, ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation dépendant des différences entre les cartes actualisée et de référence dans les conditions d'acquisition virtuelles approximant au mieux lesdites conditions d'acquisition réelles et résultant de la dernière occurrence de l'étape e2), ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche d'un modèle de référence approximant le positionnement des dents lors de l'acquisition

5 de l'image actualisée avec plus d'exactitude que ledit modèle de référence à tester utilisé à la dernière occurrence de l'étape e2), et si ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification du modèle de référence à tester par déplacement d'un ou plusieurs modèles de dents puis reprise à l'étape e2).

Un procédé selon l'invention peut encore comporter une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :

- à l'étape a), on détermine un plan d'occlusion suivant les opérations suivantes :
 - 10 I. détermination des points du modèle de référence initial qui appartiennent à une arcade et qui sont à une distance de l'autre arcade qui est inférieure à une distance prédéterminée, de préférence à une distance inférieure à 3 mm de l'autre arcade, dits « points de contact » ;
 - 15 II. optionnellement, filtrage d'une partie des points de contact, de préférence de manière que le nombre de points de contact appartenant à l'arcade supérieure soit identique au nombre de points de contact appartenant à l'arcade inférieure, de préférence en éliminant les points d'une arcade les plus éloignés de l'autre arcade ;
 - 20 III. régression linéaire, de préférence par la méthode des moindres carrés, sur l'ensemble des points de contact restant de manière à déterminer le plan d'occlusion ;
- à l'étape a), on effectue les opérations suivantes :
 - 25 i. projection, dans un plan d'occlusion, des points de contact entre les dents des arcades supérieure et inférieure du patient, les points de contact et/ou le plan d'occlusion étant de préférence déterminés, suivant les étapes I à III ;
 - 30 ii. détermination du barycentre des projections desdits points de contact et création d'un référentiel, dans le plan d'occlusion, centré sur ledit barycentre ;
 - iii. détermination, dans ledit référentiel, de la fonction parabolique, présentant le plus grand coefficient de corrélation avec l'ensemble des projections des points de contact ;

- iv. rotation de l'ensemble des projections des points de contact autour du barycentre, et reprise de l'opération précédente *iii* jusqu'à ce que l'ensemble des projections des points de contact ait parcouru un secteur déterminé, de préférence supérieur à 90°, supérieur à 180°, voire d'environ 360° ;
 - v. identification du coefficient de corrélation le plus élevé pour l'ensemble des positions angulaires de l'ensemble des projections des points de contact autour du barycentre, et de l'axe de la fonction parabolique correspondante ;
 - vi. détermination d'un plan longitudinal médian du modèle de référence initial, ledit plan passant par ledit axe et étant perpendiculaire au plan d'occlusion ;
- à l'étape a), on délimite au moins partiellement un modèle de dent en suivant les opérations suivantes :
- i'. détermination, au moins partielle, des bords gingivaux intérieur et extérieur de l'arcade de la dent concernée, de préférence par analyse des variations de l'orientation de la surface du modèle de référence initial ;
 - ii'. projection, dans le plan d'occlusion, des bords gingivaux intérieur et extérieur ;
 - iii'. identification des déformations des projections des bords gingivaux intérieur et extérieur correspondant aux régions interdentaires, les sommets de ces déformations étant appelés « point de rapprochement » (dans une région interdentaire, les deux projections présentent chacune une pointe, les deux pointes pointant sensiblement l'une vers l'autre, l'extrémité d'une pointe étant un point de rapprochement) ;
 - iv'. détermination du plus court chemin, à la surface du modèle de référence initial, entre deux points de rapprochement de bords gingivaux intérieur et extérieur, respectivement, d'une région interdentaire, de préférence par une méthode métaheuristique, de préférence par recuit simulé, ledit plus court chemin délimitant au moins partiellement un modèle de dent ;
- une image actualisée est acquise moins de 7 jours après l'étape a), puis les étapes c) à f) sont mises en œuvre à partir de cette image actualisée ;

- à l'étape b), on utilise un appareil d'acquisition porté à la main (et en particulier qui n'est pas immobilisé, par exemple au moyen d'un support reposant sur le sol) et/ou la tête du patient n'est pas immobilisée ;
- à l'étape b), on utilise un appareil individuel choisi dans le groupe formé par un appareil photo connecté, une montre intelligente, une tablette numérique, un scanner 3D portable et un ordinateur couplé un système d'acquisition d'images, telle une webcam ou un appareil photo numérique, pour mettre en œuvre l'étape b) et, de préférence au moins une des étapes, de préférence toutes les étapes c) à f) ;
- à l'étape b), on utilise un appareil d'acquisition d'images fournissant une image actualisée infrarouge ;
- à l'étape b), on utilise un écarteur comportant une, de préférence plus de deux marques de repérage, de préférence non alignées, et, de préférence, on utilise la représentation des marques de repérage sur l'image actualisée pour
 - à l'étape c), redécouper l'image et/ou,
 - à l'étape d), évaluer grossièrement les conditions d'acquisition réelles ;
- à l'étape c), l'information discriminante est choisie dans le groupe constitué par une information de contour, une information de couleur, une information de densité, une information de distance, une information de brillance, une information de saturation, une information sur les reflets et des combinaisons de ces informations ;
- à l'étape d), on utilise des données fournies par l'appareil d'acquisition et, de préférence, concernant son orientation ;
- on met en œuvre une optimisation par une méthode métaheuristique, de préférence par recuit simulé pour :
 - à l'étape a), déterminer au moins partiellement un bord gingival délimitant un modèle de dent et/ou,
 - à l'étape e2), rechercher les conditions d'acquisition virtuelles correspondant aux conditions d'acquisition réelles et/ou,
 - à l'étape e), rechercher un modèle de référence correspondant à l'image actualisée ;
- ladite méthode métaheuristique est choisie dans le groupe formé par

- 5 les algorithmes évolutionnistes, de préférence choisie parmi:
les stratégies d'évolution, les algorithmes génétiques, les algorithmes à
évolution différentielle, les algorithmes à estimation de distribution, les
systèmes immunitaires artificiels, la recombinaison de chemin Shuffled
Complex Evolution, le recuit simulé, les algorithmes de colonies de fourmis,
les algorithmes d'optimisation par essaims particulaires, la recherche avec
tabous, et la méthode GRASP ;

 - l'algorithme du kangourou,
 - la méthode de Fletcher et Powell,
 - 10 la méthode du bruitage,

 - la tunnelisation stochastique,
 - l'escalade de collines à recommencements aléatoires,
 - la méthode de l'entropie croisée, et

 - les méthodes hybrides entre les méthodes métaheuristiques citées ci-dessus.
- 15 L'invention concerne aussi l'utilisation d'un procédé selon l'invention pour
- détecter une récurrence, et/ou
 - déterminer une vitesse d'évolution d'un changement de positionnement des
dents, et/ou
 - optimiser la date de prise de rendez-vous chez un orthodontiste ou un dentiste,
- 20 et/ou
- évaluer l'efficacité d'un traitement orthodontique, et/ou
 - évaluer l'évolution du positionnement de dents vers un modèle théorique
correspondant à un positionnement déterminé des dents, en particulier un
positionnement amélioré des dents, et/ou
- 25 en dentisterie.

Le procédé peut notamment être mis en œuvre pendant un traitement orthodontique,
notamment pour en contrôler le déroulement, l'étape a) étant mise en œuvre moins de 3
mois, moins de 2 mois, moins de 1 mois, moins d'une semaine, moins de 2 jours après le
début du traitement, c'est-à-dire après la pose d'un appareil destiné à corriger le
30 positionnement des dents du patient, dit « appareil de contention actif ».

Le procédé peut être également mis en œuvre après un traitement orthodontique, pour
vérifier que le positionnement des dents n'évolue pas de façon défavorable (« récurrence »).

L'étape a) est alors de préférence mise en œuvre moins de 3 mois, moins de 2 mois, moins de 1 mois, moins d'une semaine, moins de 2 jours après la fin du traitement, c'est-à-dire après la pose d'un appareil destiné maintenir les dents en position, dit « appareil de contention passif ».

5 L'invention concerne également :

- un programme d'ordinateur, et en particulier un applicatif spécialisé pour téléphone mobile, comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution d'une ou plusieurs, de préférence toutes les étapes b) à f), lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur,
- 10 - un support informatique sur lequel est enregistré un tel programme, par exemple une mémoire ou un CD-ROM, et
- un appareil personnel, en particulier un téléphone mobile ou une tablette, dans lequel est chargé un tel programme.

L'invention concerne enfin un système comportant

- 15 - un scanner tridimensionnel apte à mettre en œuvre l'étape a) d'un procédé selon l'invention,
- un appareil personnel, de préférence un téléphone mobile, chargé avec un programme selon l'invention.

Définitions

- 20 Par « patient », on entend toute personne pour laquelle un procédé est mis en œuvre afin d'en contrôler les dents, que cette personne soit malade ou non.

Par « professionnel des soins dentaires », on entend un dentiste, un orthodontiste ou un laboratoire d'orthodontie.

- 25 Par « dentiste », on entend un dentiste ou un assistant dentaire travaillant sous la responsabilité d'un dentiste.

Par « dentition », on entend les deux arcades dentaires du patient.

- On appelle "téléphone mobile" un appareil de moins de 500 g, doté d'un capteur lui permettant de capturer des images, capable d'échanger des données avec un autre appareil éloigné de plus de 500 km du téléphone mobile, et capable d'afficher lesdites données, et
- 30 notamment lesdites images.

Les « conditions d'acquisition » précisent la position et l'orientation dans l'espace d'un appareil d'acquisition d'images relativement aux dents du patient ou à un modèle de dents du patient.

Le "plan d'occlusion" est le plan qui fournit la meilleure corrélation linéaire avec l'ensemble des points de contact entre les dents de l'arcade supérieure d'une part et les dents de l'arcade inférieure d'autre part.

Le "plan longitudinal médian" est le plan sensiblement vertical lorsque le patient tient la tête droite, qui sépare de manière sensiblement symétrique des parties droite et gauche de chaque arcade.

Une « tablette » est un ordinateur portable à écran tactile.

Un scanner 3D est un appareil permettant d'obtenir une représentation en trois dimensions d'un objet.

Par "image", on entend une image en deux dimensions, comme une photographie.

Par "comprenant un" ou "comportant un" ou "présentant un", on entend "comportant au moins un", sauf indication contraire.

Brève description des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description détaillée qui va suivre et à l'examen du dessin annexé dans lequel :

- la figure 1 représente un logigramme illustrant la mise en œuvre d'un procédé selon l'invention,
- la figure 2 représente un exemple de modèle de référence initial,
- la figure 3 illustre le traitement effectué pour déterminer le plan d'occlusion,
- la figure 4 (4a-4d) illustre l'étape nécessaire pour déterminer les modèles de dent dans un modèle de référence,
- la figure 5 (5a-5d) illustre l'acquisition d'images actualisées, ainsi que l'opération de découpage,
- la figure 6 (6a-6b) illustre le traitement d'une image actualisée permettant de déterminer le contour des dents, et
- la figure 7 illustre schématiquement la position relative de marques de repérage 12 sur des images actualisées 14₁ et 14₂ d'un écarteur 10, selon la direction d'observation (trait interrompu).

Description détaillée

Un procédé selon l'invention comporte les étapes mentionnées ci-dessus.

A l'étape a), un modèle de référence initial des arcades, ou d'une partie des arcades du patient est créé (voir figure 2).

- 5 Le modèle de référence initial est un modèle numérique en trois dimensions des arcades du patient, par exemple du type .stl ou .Obj, .DXF 3D, IGES, STEP, VDA, ou Nuages de points. Avantageusement, un tel modèle, dit « 3D », peut être observé selon un angle quelconque.

- 10 Pour le suivi d'un traitement orthodontique, le modèle de référence initial est de préférence préparé au début du traitement. Le modèle de référence initial peut correspondre à un positionnement des dents du patient avant le traitement ou à un positionnement des dents du patient que le traitement se propose d'atteindre. Dans ce cas, le modèle de référence initial est classiquement calculé à partir d'un premier modèle tridimensionnel correspondant au positionnement des dents du patient avant le traitement.

- 15 Pour le contrôle de la récédive, le modèle de référence initial est de préférence préparé moins de six mois, de préférence moins de trois mois, de préférence encore moins d'un mois après la fin du traitement orthodontique, généralement immédiatement après la fin du traitement. Il correspond ainsi à un positionnement sensiblement optimal des dents.

- 20 Le modèle de référence initial peut être également préparé indépendamment de tout traitement, par exemple parce que le patient souhaite surveiller les mouvements de ses dents.

Le modèle de référence initial peut être préparé à partir de mesures effectuées sur les dents du patient ou sur un modèle physique de ses dents, par exemple un modèle en plâtre.

- 25 Le modèle de référence initial est de préférence créé au moyen d'un appareil professionnel, par exemple au moyen d'un scanner 3D, de préférence mis en œuvre par un professionnel de la santé, par exemple par un orthodontiste ou un laboratoire d'orthodontie. Dans un cabinet d'orthodontie, le patient ou le modèle physique de ses dents peuvent être avantagement disposés dans une position précise et l'appareil professionnel peut être perfectionné. Il en résulte un modèle de référence initial très précis. Le modèle de
30 référence initial fournit de préférence une information sur le positionnement des dents avec

une erreur inférieure à 5/10 mm, de préférence inférieure à 3/10 mm, de préférence inférieure à 1/10 mm.

Orientation du modèle de référence initial :

De préférence, on détermine l'orientation du modèle de référence initial dans l'espace, et notamment, de préférence, le plan d'occlusion et le plan longitudinal médian.

Le plan d'occlusion et le plan longitudinal médian peuvent être déterminés manuellement, de manière approximative. Les inventeurs ont cependant découvert des procédés permettant de déterminer ces plans par traitement informatique.

De préférence, le modèle de référence est un modèle des arcades bouche fermée, c'est-à-dire dans une position dans laquelle des dents de l'arcade supérieure sont en contact avec des dents de l'arcade inférieure.

Classiquement, le modèle de référence initial fourni par un scanner tridimensionnel permet de distinguer l'arcade supérieure de l'arcade inférieure. Généralement, le modèle est fourni sous la forme de deux fichiers correspondant respectivement à ces arcades, et comportant des données permettant de positionner les modèles de ces arcades l'un par rapport à l'autre dans la position d'occlusion.

De préférence, pour estimer les points de contact entre les dents des arcades supérieure et inférieure, on détermine l'ensemble des points du modèle de l'arcade supérieure et de l'arcade inférieure qui sont à une distance inférieure à une limite prédéterminée, cette limite étant de préférence inférieure à 3 mm, de préférence d'environ 2 mm. Tous les autres points de ces modèles sont ensuite ignorés, ce qui conduit à la représentation de la figure 3b. Une régression linéaire permet alors de déterminer le plan d'occlusion (« plan 1 » sur la figure 3c).

Le modèle de référence initial peut ainsi être orienté suivant le plan d'occlusion (Fig. 3d).

Si le modèle de référence initial ne comporte pas de données permettant de positionner les arcades supérieure et inférieure l'une par rapport à l'autre, on utilise de préférence un mordue d'occlusion faisant apparaître les points de contact entre les dents supérieures et les dents inférieures, puis on repositionne les modèles des arcades supérieure et inférieure par rapport à ce mordue d'occlusion.

Le plan longitudinal médian est perpendiculaire au plan d'occlusion, mais son orientation n'est pas connue.

De préférence, on procède de la manière suivante pour déterminer l'orientation du plan longitudinal médian :

On considère des axes (Ox) et (Oy) dans le plan d'occlusion, le point O étant le barycentre des projections normales des points de contact sur le plan d'occlusion.

- 5 - Dans ce référentiel (xOy) , on recherche la courbe, de préférence parabolique, présentant le plus grand coefficient de corrélation avec l'ensemble desdites projections.
- L'ensemble des projections des points de contact est ensuite déplacé dans le plan d'occlusion, par rotation autour du point O , et on recommence l'étape précédente à
- 10 partir de cette nouvelle position angulaire des projections des points de contact.

Le cycle des opérations précédentes est poursuivi, de préférence jusqu'à avoir fait tourner l'ensemble des points de contact de 360° autour du barycentre O . On compare ensuite les coefficients de corrélation correspondant aux différentes orientations de l'ensemble des points de contact. L'axe de la courbe qui conduit au coefficient de corrélation le plus élevé

15 est alors considéré comme inclus dans le plan longitudinal médian, ce qui permet de définir exactement l'orientation de ce dernier.

L'orientation dans l'espace du modèle de référence initial est ainsi parfaitement déterminée, de manière rapide.

Création des modèles de dent

- 20 Dans le modèle de référence initial, une partie qui correspond à une dent, ou « modèle de dent », est délimitée par un bord gingival qui peut être décomposé en un bord gingival intérieur (du côté de l'intérieur de la bouche par rapport à la dent), un bord gingival extérieur (orienté vers l'extérieur de la bouche par rapport à la dent) et deux bords gingivaux latéraux. Les bords gingivaux correspondent à des régions dans lesquelles
- 25 l'orientation de la surface définie par le modèle de référence initial subit des modifications de fortes amplitudes. Ces variations d'orientation peuvent être identifiées selon des techniques connues, par exemple en identifiant les changements de direction de la normale à la surface modélisée. La figure 4a représente une vue du modèle de référence initial traitée pour faire apparaître ces changements de direction. La figure 4b montre le bord
- 30 gingival intérieur qui peut être extrait par l'analyse de l'image de la figure 4a.

Plusieurs vues du modèle de référence initial sont ainsi analysées, ce qui permet de déterminer les bords gingivaux intérieur et extérieur en trois dimensions, comme représenté sur la figure 4c.

5 Par ailleurs, en projection dans le plan d'occlusion, les contours gingivaux intérieur et extérieur d'une arcade se rapprochent de part et d'autre d'une dent. Pour déterminer un bord gingival latéral d'une dent, on recherche le plus court chemin, sur la surface du modèle de référence initial, entre les deux points des bords gingivaux intérieur et extérieur ainsi rapprochés et qui se font sensiblement face. La recherche du plus court chemin entre deux points sur un modèle tridimensionnel fait appel à des techniques d'optimisation bien
10 connues. De préférence, cette recherche résulte d'une méthode métaheuristique, de préférence d'un recuit simulé.

Deux bords gingivaux latéraux adjacents et les parties des bords gingivaux intérieur et extérieur qui connectent ces bords gingivaux latéraux permettent ainsi de délimiter une dent au niveau de la gencive. En tenant compte du fait qu'une dent s'étend depuis le
15 contour gingival vers le plan d'occlusion, il est ainsi possible de déterminer les parties du modèle de référence initial qui correspondent aux différentes dents (« modèles de dent »). La figure 4d représente l'ensemble des modèles de dent d'une arcade.

Le modèle de référence initial peut être stocké dans une base de données centralisée, regroupant les modèles de référence initiaux d'une pluralité de patients. Cette base de
20 données peut être physiquement installée dans un établissement spécialisé. Elle peut être également installée dans un laboratoire ou un cabinet d'orthodontie, ce qui limite les transferts d'informations confidentielles.

Dans un mode de réalisation, le modèle de référence initial est remis au patient. De préférence, un fichier informatique correspondant au modèle de référence initial est
25 enregistré sur un support amovible, par exemple sur une clé USB ou sur une carte électronique, de préférence sur un téléphone mobile, une tablette ou un ordinateur portable du patient, et en particulier sur l'appareil personnel qui sera de préférence utilisé aux étapes b) et suivantes. De préférence, le patient ou un professionnel des soins dentaires charge le modèle de référence initial dans ledit appareil individuel ou le met à disposition
30 pour chargement dans ledit appareil individuel. Le patient charge de préférence le modèle de référence initial à partir d'internet.

Dans un mode de réalisation préféré, le modèle de référence n'est pas remis au patient. De préférence, le modèle de référence est seulement rendu disponible à un établissement spécialisé pour mettre en œuvre les étapes c) à f). Il peut rester stocké dans l'établissement dans lequel il a été réalisé à l'étape a) et où, de préférence, les étapes c) à f) sont mises en œuvre.

A l'étape b), on prend une image actualisée des arcades au moyen d'un appareil d'acquisition d'images. L'étape b) est de préférence réalisée par le patient ou un proche du patient, mais peut être réalisée par un dentiste.

Moment de l'acquisition

- De préférence, l'image actualisée est prise après un intervalle de temps Δt après l'étape a). L'intervalle de temps Δt peut être prédéterminé. Il peut être constant, quelle que soit l'occurrence du procédé, c'est-à-dire que cet intervalle concerne la première exécution du procédé ou une exécution ultérieure. Il peut être variable, et dépendre par exemple des résultats obtenus suite à une exécution antérieure du procédé. En particulier, pour le contrôle de la récurrence, l'intervalle de temps Δt peut être d'autant plus court que cette exécution a permis de détecter une dérive importante.

- Dans un mode de réalisation préféré, l'intervalle de temps Δt est déterminé par l'orthodontiste, en fonction d'un planning des contrôles. En fonction de l'évolution de la position des dents, l'orthodontiste peut modifier ce planning et modifier en conséquence l'intervalle de temps Δt . Dans un mode de réalisation, le procédé selon l'invention est exécuté plusieurs fois, les intervalles de temps entre chaque exécution pouvant être identiques ou différents. Les intervalles des temps entre deux exécutions successives peuvent être tous déterminés avant la première exécution pour correspondre à un planning de contrôles élaboré par l'orthodontiste.
- L'intervalle de temps Δt peut être également indéterminé et dépendre par exemple de décisions du patient. Par exemple, la création d'une image actualisée peut être effectuée à l'occasion d'un rendez-vous chez le dentiste ou à tout moment lorsque le patient le souhaite, voire indépendamment de tout traitement orthodontique.

- L'intervalle de temps Δt est de préférence déterminé pour correspondre à une évolution potentiellement significative du positionnement des dents.

Par exemple, pour le contrôle de la récurrence, l'intervalle de temps Δt est de préférence inférieur à trois mois lors de la première année après le traitement. Après cette première année, l'intervalle de temps Δt est de préférence supérieur à un mois, voire supérieur à six mois ou supérieur à douze mois. En particulier pour la détection d'une dérive des dents, un
5 intervalle de temps compris entre six mois et dix-huit mois est adapté.

De préférence, au moins un rappel informant le patient de la nécessité de créer une image actualisée est adressé au patient. Ce rappel peut être sous forme papier ou, de préférence, sous forme électronique, par exemple sous la forme d'un courriel, d'une alerte automatique de l'appliquatif spécialisé mobile ou d'un SMS. Un tel rappel peut être envoyé par le cabinet
10 ou le laboratoire d'orthodontie ou par le dentiste ou par l'appliquatif spécialisé mobile du patient, par exemple.

Dans un mode de réalisation préféré, une image actualisée est acquise avant que les dents n'aient pu se déplacer significativement, sensiblement au même moment que la création du modèle de référence initial, de préférence moins de 7 jours, moins de 3 jours, moins de 1
15 jour après l'étape a), c'est-à-dire avant que les dents n'aient pu se déplacer significativement. La mise en œuvre du procédé avec cette image actualisée permet avantageusement de vérifier que le procédé ne conduit à la détection d'aucune différence entre les modèles de référence initial et final, et donc fonctionne correctement.

Dans un mode de réalisation, l'image actualisée peut être acquise avant la création du modèle de référence initial. Par exemple, les étapes a) et b) peuvent être effectuées à la fin
20 et au début d'un traitement orthodontique, respectivement. Il est ainsi notamment possible d'évaluer l'efficacité du traitement en l'absence de modèle 3D en début de traitement. L'intervalle de temps $\Delta t'$ séparant les étapes a) et b) dans ce mode de réalisation peut notamment prendre les valeurs décrites ci-dessus pour Δt .

25 Appareil d'acquisition d'images

De préférence, l'appareil d'acquisition d'images est un appareil personnel couramment disponible dans le commerce, par exemple un téléphone mobile, un appareil photo dit « connecté », une montre dite « intelligente », ou « smartwatch », ou une tablette ou un ordinateur personnel, fixe ou portable, comportant un système d'acquisition d'images,
30 comme une webcam ou un appareil photo, de préférence un appareil photo numérique. Même si l'image actualisée peut en particulier être créée par un dentiste, elle l'est de préférence par le patient lui-même ou par un de ses proches.

L'appareil d'acquisition d'images pèse de préférence moins de 3 kg, moins de 2 kg, moins de 1 kg, moins de 500 g, de préférence moins de 300 g.

5 L'étape b) peut donc avantageusement être réalisée à distance de l'étape a), c'est-à-dire dans un lieu différent de celui dans lequel est réalisée l'étape a), en particulier à plus de 50 m, plus de 100 m, plus de 1 km du lieu où est réalisée l'étape a), en particulier hors cabinet orthodontique. Dans un mode de réalisation, l'étape b) n'est pas réalisée dans un cabinet dentaire, un cabinet d'orthodontie ou un laboratoire d'orthodontie, sauf, éventuellement, lors d'une séance destinée à former le patient.

10 De préférence, l'image actualisée est une photographie, en particulier une photographie panoramique. Dans un mode de réalisation, l'image actualisée est extraite d'un film.

Dans un mode de réalisation préféré, le procédé utilise plusieurs images actualisées pour disposer d'au moins une représentation de chaque dent, de préférence au moins trois images actualisées correspondant à une vue de face, une vue à droite et une vue à gauche des dents du patient.

15 De préférence, à l'étape b), on prend au moins une image actualisée en position bouche fermée et au moins une image actualisée en position bouche ouverte. L'image bouche fermée permet avantageusement d'identifier les déplacements relatifs entre les deux arcades. L'image actualisée bouche ouverte permet avantageusement de bien identifier les contours des dents, sans que les dents de l'arcade supérieure ne viennent masquer les dents
20 de l'arcade inférieure ou réciproquement.

Des images actualisées peuvent être prises soit pour l'arcade supérieure, soit pour l'arcade inférieure, soit, de préférence, pour les deux arcades.

Plusieurs images similaires (représentant sensiblement les mêmes dents) peuvent être également utiles afin de rechercher le meilleur score. En fonction des conditions
25 d'acquisition, une information discriminante pourra en particulier conduire à des scores différents selon l'image actualisée utilisée.

De préférence, on utilise un écarteur lors de l'étape b), comme représenté sur les figures 5a et 5c. La première fonction de l'écarteur est d'écarter les lèvres afin d'améliorer la visibilité des dents. De préférence, un écarteur est remis au patient, par exemple lors d'un
30 rendez-vous avec son orthodontiste ou son dentiste.

L'appareil d'acquisition d'images fournit de préférence des images en couleurs, et/ou des images infrarouges de la bouche du patient, voire du visage du patient. Les images infrarouges permettent avantageusement de faire apparaître les dents avec un excellent contraste.

- 5 De préférence, l'appareil d'acquisition d'images comporte un applicatif spécialisé permettant de mettre en œuvre l'étape b), mais aussi, de préférence, des étapes suivantes, de préférence l'ensemble des étapes suivantes. De préférence encore, cet applicatif gère des rappels et informe le patient de la nécessité de créer une image actualisée.

- De préférence, l'applicatif spécialisé est chargé dans l'appareil d'acquisition d'images à partir d'un support physique comme une clé USB ou un CD-ROM, ou est téléchargé sur internet ou par voie hertzienne. Dans un mode de réalisation, l'applicatif spécialisé est fourni au patient par le cabinet et/ou le laboratoire d'orthodontie. Il peut en particulier prendre la forme d'un applicatif du type de ceux couramment téléchargés sur les iPhones de la marque Apple® ou les appareils de toutes marques mettant en œuvre les systèmes d'exploitation Android® ou tout autre système d'exploitation.
- 10
- 15

L'appareil d'acquisition d'images comporte de préférence un appareil photo ou une caméra vidéo ou infrarouge, que l'utilisateur, par exemple le patient ou un de ses proches, positionne au moyen d'un viseur ou d'un écran, avant de l'actionner.

Moyens détrompeurs

- 20 Un procédé selon l'invention ne requiert pas un positionnement précis de l'appareil d'acquisition d'images par rapport aux dents.

Dans un mode de réalisation, aucune contrainte de positionnement permettant d'assurer une disposition de l'appareil d'acquisition d'images à moins de 30 cm, moins de 20 cm, de 10 cm ou moins de 5 cm d'un emplacement déterminé n'est imposée.

- 25 De préférence, l'appareil d'acquisition d'images comporte cependant des moyens détrompeurs facilitant son positionnement approximatif par rapport au patient avant l'acquisition de l'image actualisée.

- L'utilisateur peut être guidé par des messages écrits et/ou vocaux pour l'acquisition. Par exemple, l'appareil personnel peut annoncer « prenez une photo de face », émettre un signal pour informer l'utilisateur que la photo est acceptable ou qu'au contraire, il doit refaire une photo, annoncer « prenez une photo de droite », de préférence en affichant une
- 30

flèche pour orienter l'utilisateur, etc. La fin du processus d'acquisition peut être également annoncée par l'appareil. L'appareil peut également aider au positionnement, par exemple par des messages visuels (par exemple par affichage de flèches), et/ou sonores (comme une succession de bips dont la fréquence augmente à mesure que le positionnement de l'appareil s'améliore), et/ou écrits et/ou vocaux (« plus haut », plus bas », etc.).

Les moyens détrompeurs peuvent en particulier comporter des marques de repérage qui apparaissent sur le viseur ou l'écran. Les marques de repérage peuvent par exemple comporter une ligne destinée à être alignée avec la direction générale de la jointure entre les dents supérieures et les dents inférieures lorsque les dents sont serrées par le patient, ou une ligne verticale destinée à être alignée avec la jointure entre les deux incisives supérieures. Les marques de repérage peuvent également faire référence à d'autres parties du patient. Par exemple, elles peuvent être constituées par des marques correspondant à la position des yeux ou prendre la forme d'un contour dans lequel doit être positionné la bouche ou le visage du patient.

Dans un mode de réalisation préféré, les marques de repérage correspondent à un référentiel, par exemple sur l'écarteur. Un référentiel peut être également porté par une pièce mordue par le patient.

Dans un mode de réalisation préféré, les moyens détrompeurs sont définis, au moins partiellement, à partir d'informations fournies par le modèle de référence initial. Par exemple, suivant les principes de la « réalité augmentée », une vue du modèle de référence initial, par exemple une vue de face ou une vue de droite ou une vue de gauche du modèle de référence initial, peut être rendue visible, en transparence, sur l'écran de l'appareil d'acquisition d'images lors de l'acquisition. Il est ainsi très facile pour le patient de superposer approximativement une telle vue avec les dents qu'il doit prendre en photo.

Les étapes c) et suivantes sont de préférence réalisées soit sur un appareil personnel du patient, de préférence avec l'appareil utilisé à l'étape b), soit avec un applicatif chez un professionnel des soins dentaires, soit avec un serveur tiers dédié.

A l'étape c), chaque image actualisée est analysée de manière à réaliser, pour chaque image actualisée, une carte actualisée relative à au moins une information discriminante.

Redécoupage

L'analyse de l'image peut comporter un redécoupage de l'image actualisée afin d'isoler la partie pertinente, en particulier pour supprimer, au moins partiellement, de l'image actualisée les éléments qui n'ont pas fait l'objet du modèle de référence initial, comme le nez ou les yeux du patient ou l'écarteur. Ce redécoupage, ou « croppage », est facilité par

5 la représentation de marques de repérage sur l'image actualisée.

En particulier, de préférence, comme représenté sur les figures 5a et 5c, l'écarteur 10 porte au moins trois marques de repérage 12 non alignées. Si l'écarteur est en plusieurs parties, par exemple classiquement en deux parties, chaque partie porte de préférence au moins trois marques de repérage non alignées.

10 La forme d'une marque de repérage, par exemple une forme asymétrique, peut être également utilisée pour repérer la position de l'écarteur sur l'image actualisée.

De préférence, les marques de repérage présentent des formes et/ou des couleurs facilitant leur identification sur une image actualisée. Par exemple, elles peuvent être de couleur noire alors que le reste de l'écarteur est de couleur blanche.

15 Dans un mode de réalisation, les marques de repérage présentent des formes et/ou des couleurs permettant de les identifier individuellement. Par exemple, elles peuvent être chacune de couleur différente.

L'identification des marques de repérage sur l'image actualisée permet d'identifier la zone de l'image actualisée contenant les éléments ayant fait l'objet du modèle de référence initial, c'est-à-dire les dents et les gencives. L'image actualisée peut alors être rognée en conséquence. La comparaison des figures 5a et 5b, ou 5c et 5d, illustre l'effet du redécoupage sur une image actualisée.

20

Carte actualisée

Une carte actualisée représente une information discriminante dans le référentiel de l'image actualisée. Par exemple, la figure 6b est une carte actualisée relative au contour des dents obtenue à partir de l'image actualisée de la figure 6a.

25

L'information discriminante est de préférence choisie dans le groupe constitué par une information de contour, une information de couleur, une information de densité, une information de distance, une information de brillance, une information de saturation, une

30 information sur les reflets et des combinaisons de ces informations.

L'homme de l'art sait comment traiter une image actualisée pour faire apparaître l'information discriminante. Ce traitement comporte par exemple l'application de masques ou de filtres bien connus, fournis avec des logiciels de traitement d'images.

- A l'étape optionnelle d), on détermine, de manière grossière, les conditions d'acquisition réelles lors de l'étape b). Autrement dit, on détermine la position relative de l'appareil d'acquisition d'images au moment où il a pris l'image actualisée (position de l'appareil d'acquisition dans l'espace et orientation de cet appareil). L'étape d) permet avantageusement de limiter le nombre de tests sur des conditions d'acquisition virtuelles lors de l'étape e), et permet donc d'accélérer considérablement l'étape e).
- 10 On utilise de préférence une ou plusieurs règles heuristiques. Par exemple, de préférence, on exclut des conditions d'acquisition virtuelles susceptibles d'être testées à l'étape e), les conditions qui correspondent à une position de l'appareil d'acquisition d'images derrière les dents ou à une distance des dents supérieure à 1 m.

- Dans un mode de réalisation préféré, comme illustré sur la figure 7, on utilise des marques de repérage représentées sur l'image actualisée, et en particulier des marques de repérage 12 de l'écarteur, pour déterminer une région de l'espace sensiblement conique délimitant des conditions d'acquisition virtuelles susceptibles d'être testées à l'étape e), ou "cône de test".

- Précisément, on dispose de préférence au moins trois marques de repérage 12 non alignées sur l'écarteur 10, par exemple, et on mesure précisément leurs positions relatives sur l'écarteur.

- Les marques de repérage sont ensuite repérées sur l'image actualisée, comme décrit précédemment. De simples calculs trigonométriques permettent de déterminer approximativement la direction selon laquelle l'image actualisée a été prise. Un cône orienté selon cette direction, dont le sommet est au niveau de l'écarteur et dont le demi-angle au sommet est de préférence inférieur à 10° , de préférence inférieur à 5° , par exemple de 3° peut alors être défini comme "cône de test". Le demi-angle au sommet correspond à un degré d'incertitude. Plus le demi-angle au sommet est petit, plus grande est la probabilité que les conditions d'acquisition virtuelles correspondant aux conditions d'acquisition réelles soient hors du cône de test.

Par exemple, lorsque l'image actualisée est prise perpendiculairement au plan des trois marques de repérage sur l'écarteur, on peut en déduire que l'appareil d'acquisition était

sensiblement dans un cône de test dont l'axe est sensiblement perpendiculaire à ce plan lors de la prise de l'image actualisée. Si les positions relatives des trois marques de repérage sur l'image actualisée sont différentes de celles que les marques de repérage occupent sur l'écarteur, l'axe du cône de test dans lequel est limitée la recherche du positionnement de l'appareil d'acquisition lors de l'acquisition de l'image actualisée est incliné par rapport au plan des marques de repérage, comme représenté sur la figure 7.

Dans un mode de réalisation particulier, comme illustré sur les figures 5a et 5c, l'écarteur comporte des parties gauche et droite indépendantes, qui comportent chacune au moins trois marques de repérage, de préférence au moins quatre marques de repérage. Un cône de test gauche peut être ainsi déterminé au moyen des marques de repérage de la partie gauche et un cône de test droit peut être déterminé au moyen des marques de repérage de la partie droite de l'écarteur. Les conditions d'acquisition virtuelles susceptibles d'être testées peuvent être ensuite limitées à des positions de l'appareil d'acquisition dans l'espace appartenant à ces deux cônes de test. On peut aussi considérer que la meilleure évaluation de la position de l'appareil d'acquisition correspond à la position moyenne entre la meilleure position dans le cône de test gauche et la meilleure position dans le cône de recherche droit.

La position des marques de repérage sur l'image actualisée permet également d'évaluer l'assiette de l'appareil d'acquisition lors de la capture de l'image actualisée. Par exemple, si on sait que deux marques de repérage sont sensiblement alignées selon une direction horizontale lors de l'acquisition de l'image actualisée, la direction de la droite contenant ces deux points sur l'image actualisée fournit une indication sur l'orientation de l'appareil d'acquisition dans les conditions d'acquisition réelles.

Enfin, la taille des marques de repérage sur l'image actualisée ou leur espacement peut permettre d'évaluer la distance entre l'appareil d'acquisition d'images et les dents lors de l'acquisition de l'image actualisée, et donc de réduire le cône de test à un tronc de cône.

A l'étape optionnelle d), on peut également utiliser des données fournies par l'appareil d'acquisition et concernant son orientation, par exemple des données gyroscopiques.

L'étape d) ne permet qu'une évaluation grossière des conditions d'acquisition réelles. L'étape d) permet cependant de déterminer un ensemble restreint de conditions d'acquisition virtuelles susceptibles de correspondre aux conditions d'acquisition réelles,

et, dans cet ensemble, des conditions d'acquisition virtuelles constituant le meilleur point de départ pour l'étape e1) décrite ci-après.

L'étape d) permet également de détecter des images actualisées inadaptées pour la poursuite du procédé, par exemple une image actualisée qui ne ferait pas apparaître les
5 marques de repérage. De préférence, le procédé est alors repris à l'étape c) avec une nouvelle image actualisée.

Bien entendu, les différentes méthodes pouvant être mises en œuvre à l'étape d) peuvent être combinées.

A l'étape e1), on détermine que le modèle de référence à tester est le modèle de référence
10 initial lors de la première exécution de l'étape e2).

A l'étape e2), on commence par déterminer des conditions d'acquisition virtuelles à tester, c'est-à-dire une position et une orientation virtuelles susceptibles de correspondre à la position et l'orientation réelles de l'appareil d'acquisition lors de la capture de l'image actualisée. Les premières conditions d'acquisition virtuelles à tester peuvent être aléatoires.
15 De préférence, elles sont choisies dans l'ensemble limité déterminé à l'étape d), et de préférence encore, correspondent à des conditions d'acquisition virtuelles correspondant, d'après l'étape d), aux conditions d'acquisition virtuelles les plus prometteuses, c'est-à-dire constituant le meilleur tremplin pour approcher, le plus rapidement possible, les conditions d'acquisition réelles (étape e21)).

On place ensuite virtuellement l'appareil d'acquisition d'images dans les conditions d'acquisition virtuelles à tester afin d'acquérir une image de référence du modèle de référence dans ces conditions d'acquisition virtuelles à tester. L'image de référence correspond donc à l'image qu'aurait prise l'appareil d'acquisition d'images s'il avait été placé, par rapport au modèle de référence à tester, dans les conditions d'acquisition
20 virtuelles à tester (étape e22)).

Si l'image actualisée a été prise au même moment que le modèle de référence a été réalisé, et si les conditions d'acquisition virtuelles sont exactement les conditions d'acquisition réelles, l'image de référence est donc exactement superposable à l'image actualisée. Les différences entre l'image actualisée et l'image de référence résultent d'erreurs dans
30 l'évaluation des conditions d'acquisition virtuelles (si elles ne correspondent pas exactement aux conditions d'acquisition réelles) et de déplacements des dents entre l'étape b) et le modèle de référence à tester.

Pour comparer les images actualisée et de référence, on compare l'information discriminante sur ces deux images. Plus précisément, on réalise, à partir de l'image de référence, une carte de référence représentant l'information discriminante (étape e23)).

- 5 Les cartes actualisées et de référence, portant toutes les deux sur la même information discriminante, sont ensuite comparées et on évalue la différence entre ces deux cartes au moyen d'un score. Par exemple, si l'information discriminante est le contour des dents, on peut comparer la distance moyenne entre les points du contour des dents qui apparaît sur l'image de référence et les points du contour correspondant qui apparaît sur l'image actualisée, le score étant d'autant plus élevé que cette distance est faible.

- 10 Le score peut être par exemple un coefficient de corrélation.

Le score est ensuite évalué au moyen d'une première fonction d'évaluation. La première fonction d'évaluation permet de décider si le cyclage sur l'étape e2) doit être poursuivi ou stoppé. La première fonction d'évaluation peut par exemple être égale à 0 si le cyclage doit être stoppé ou être égale à 1 si le cyclage doit se poursuivre.

- 15 La valeur de la première fonction d'évaluation peut dépendre du score atteint. Par exemple, il peut être décidé de poursuivre le cyclage sur l'étape e2) si le score ne dépasse pas un premier seuil. Par exemple, si une correspondance exacte entre les images actualisée et de référence conduit à un score de 100%, le premier seuil peut être, par exemple, de 95%. Bien entendu, plus le premier seuil sera élevé, meilleure sera la précision de l'évaluation des conditions d'acquisition virtuelles si le score parvient à dépasser ce premier seuil.

La valeur de la première fonction d'évaluation peut également dépendre de scores obtenus avec des conditions d'acquisition virtuelles testées précédemment.

La valeur de la première fonction d'évaluation peut également dépendre de paramètres aléatoires et/ou du nombre de cycles de l'étape e2) déjà effectués.

- 25 En particulier, il est possible qu'en dépit de la répétition des cycles, on ne parvienne pas à trouver des conditions d'acquisition virtuelles qui soient suffisamment proches des conditions d'acquisition réelles pour que le score atteigne ledit premier seuil. La première fonction d'évaluation peut alors conduire à la décision de quitter le cyclage bien que le meilleur score obtenu n'ait pas atteint ledit premier seuil. Cette décision peut résulter, par exemple, d'un nombre de cycles supérieur à un nombre maximal prédéterminé.
- 30

Un paramètre aléatoire dans la première fonction d'évaluation peut également autoriser la poursuite de tests de nouvelles conditions d'acquisition virtuelles, bien que le score apparaisse satisfaisant.

5 Les fonctions d'évaluation classiquement utilisées dans les procédés d'optimisation métaheuristiques, en particulier dans les procédés de recuit simulé, peuvent être utilisées pour la deuxième fonction d'évaluation.

Si la valeur de la première fonction d'évaluation indique qu'il est décidé de poursuivre le cyclage sur l'étape e2), on modifie les conditions d'acquisition virtuelles testées (étape e25)) et on recommence un cycle (étape e2)) consistant à réaliser une image de référence et
10 une carte de référence, puis à comparer cette carte de référence avec la carte actualisée pour déterminer un score.

La modification des conditions d'acquisition virtuelles correspond à un déplacement virtuel dans l'espace et/ou à une modification de l'orientation de l'appareil d'acquisition. Cette modification peut être aléatoire, à condition cependant que les nouvelles conditions
15 d'acquisition virtuelles à tester appartiennent toujours à l'ensemble déterminé à l'étape d). La modification est de préférence guidée par des règles heuristiques, par exemple en favorisant les modifications qui, d'après une analyse des précédents scores obtenus, apparaissent les plus favorables pour augmenter le score.

Le cyclage sur e2) est poursuivi jusqu'à ce que la valeur de la première fonction
20 d'évaluation indique qu'il est décidé de sortir de ce cyclage et de poursuivre à l'étape e3), par exemple si le score atteint ou dépasse ledit premier seuil.

L'optimisation des conditions d'acquisition virtuelles à l'étape e2) est de préférence effectuée en utilisant une méthode métaheuristique, de préférence un algorithme de recuit simulé. Un tel algorithme est bien connu pour l'optimisation non linéaire.

25 Si on a quitté le cyclage sur l'étape e2), sans qu'un score satisfaisant ait pu être obtenu, par exemple sans que le score ait pu atteindre ledit premier seuil, le procédé peut être arrêté (situation d'échec) ou repris à l'étape c) avec une nouvelle information discriminante et/ou avec une nouvelle image actualisée. Le procédé peut être également poursuivi avec les conditions d'acquisition virtuelles correspondant au meilleur score atteint. Un
30 avertissement peut être émis afin d'informer l'utilisateur de l'erreur sur le résultat.

Si on a quitté le cyclage sur l'étape e2) alors qu'un score satisfaisant a pu être obtenu, par exemple parce que le score a atteint, voire dépassé ledit premier seuil, les conditions d'acquisition virtuelles correspondent sensiblement aux conditions d'acquisition réelles. Cependant, des différences peuvent subsister, en particulier si des dents se sont déplacées

5 entre les étapes a) et b). La corrélation entre les images actualisée et de référence peut alors être encore améliorée en reprenant l'étape e2), le modèle de référence à tester étant alors modifié par déplacement d'un ou plusieurs modèles de dents (étape e3)).

La recherche du modèle de référence approximant au mieux le positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée peut être effectuée comme la recherche des

10 conditions d'acquisition virtuelles approximant au mieux les conditions d'acquisition réelles (étape e2)).

En particulier, le score est évalué au moyen d'une deuxième fonction d'évaluation. La deuxième fonction d'évaluation permet de décider si le cyclage sur les étapes e2) et e3) doit être poursuivi ou stoppé. La deuxième fonction d'évaluation peut par exemple être

15 égale à 0 si le cyclage doit être stoppé ou être égale à 1 si le cyclage doit se poursuivre.

La valeur de la deuxième fonction d'évaluation dépend de préférence du meilleur score obtenu avec le modèle de référence à tester, c'est-à-dire des différences entre les cartes actualisée et de référence, dans les conditions d'acquisition virtuelles approximant au mieux lesdites conditions d'acquisition réelles.

20 La valeur de la deuxième fonction d'évaluation peut également dépendre du meilleur score obtenu avec un ou plusieurs modèles de référence testés précédemment.

Par exemple, il peut être décidé de poursuivre le cyclage si le score ne dépasse pas un deuxième seuil minimal. La valeur de la deuxième fonction d'évaluation peut également dépendre de paramètres aléatoires et/ou du nombre de cycles des étapes e2) et e3) déjà

25 effectués.

Les fonctions d'évaluation classiquement utilisées dans les procédés d'optimisation métaheuristiques, en particulier dans les procédés de recuit simulé, peuvent être utilisées pour la deuxième fonction d'évaluation.

Si la valeur de la deuxième fonction d'évaluation indique qu'il est décidé de poursuivre le cyclage sur les étapes e2) et e3), on modifie le modèle de référence à tester et on recommence un cycle (étapes e2) et e3)) avec le nouveau modèle de référence à tester.

30

La modification du modèle de référence à tester correspond à un déplacement d'un ou plusieurs modèles de dents. Cette modification peut être aléatoire. La modification est de préférence guidée par des règles heuristiques, par exemple en favorisant les modifications qui, d'après une analyse des précédents scores obtenus, apparaissent les plus favorables pour augmenter le score.

De préférence, on recherche le déplacement d'un modèle de dent qui a le plus fort impact sur le score, on modifie le modèle de référence à tester en déplaçant ce modèle de dent, puis on poursuit le cyclage sur les étapes e2) et e3) de manière à optimiser le score. On peut ensuite rechercher, parmi les autres modèles de dent, celui qui a le plus fort impact sur l'amélioration du score, et à nouveau rechercher le déplacement optimal de cet autre modèle de dent sur le score. On peut poursuivre ainsi avec chaque modèle de dent.

Ensuite, il est possible de reprendre un cycle sur l'ensemble des modèles de dent et de poursuivre ainsi jusqu'à l'obtention d'un score supérieur à au deuxième seuil. Bien entendu, d'autres stratégies peuvent être utilisées pour déplacer un ou plusieurs modèles de dent dans le modèle de référence à tester et rechercher le score maximal.

Le cyclage sur les étapes e2) et e3) est poursuivi jusqu'à ce que la valeur de la deuxième fonction d'évaluation indique qu'il est décidé de sortir de ce cyclage et de poursuivre à l'étape f), par exemple si le score atteint ou dépasse ledit deuxième seuil.

La recherche d'un modèle de référence avec un cyclage sur les étapes e2) et e3) pour rechercher les positions des modèles de dent qui optimisent le score est de préférence effectuée en utilisant une méthode métaheuristique, de préférence un algorithme de recuit simulé. Un tel algorithme est bien connu pour l'optimisation non linéaire.

Si on a quitté le cyclage sur les étapes e2) et e3) sans qu'un score satisfaisant ait pu être obtenu, par exemple sans que le score ait pu atteindre ledit deuxième seuil, le procédé peut être arrêté (situation d'échec) ou repris à l'étape c) avec une nouvelle information discriminante et/ou avec une nouvelle image actualisée.

S'il est décidé de relancer le procédé à l'étape c) à partir d'une autre information discriminante et/ou d'une autre image actualisée parce que le premier seuil ou le deuxième seuil n'a pas été atteint, le choix de la nouvelle information discriminante et/ou de la nouvelle image actualisée peut dépendre des scores obtenus précédemment, afin de favoriser l'information discriminante et/ou l'image actualisée qui, au regard de ces scores, apparaissent les plus prometteuses.

Une nouvelle information discriminante, obtenue par exemple par combinaison d'autres informations discriminantes déjà testées, peut être utilisée. Le cas échéant, il peut être également demandé d'acquérir une ou plusieurs nouvelles images actualisées. De préférence, on fournit des indications permettant de guider le positionnement de l'appareil d'acquisition pour la capture de cette nouvelle image actualisée. Par exemple, on peut indiquer au patient qu'il devrait prendre une photo de la partie droite de son arcade inférieure.

Si on a quitté le cyclage sur les étapes e2) et e3) sans qu'un score satisfaisant ait pu être obtenu, le procédé peut être également poursuivi avec le modèle de référence et les conditions d'acquisition virtuelles correspondant au meilleur score atteint. Un avertissement peut être émis afin d'informer l'utilisateur de l'erreur sur le résultat.

Si on a quitté le cyclage sur les étapes e2) et e3) alors qu'un score satisfaisant a pu être obtenu, par exemple parce que le score a atteint, voire dépassé ledit deuxième seuil, les conditions d'acquisition virtuelles correspondent sensiblement aux conditions d'acquisition réelles et les modèles de dents dans le modèle de référence obtenu (dit « modèle de référence final ») sont sensiblement dans la position des dents du patient au moment de l'étape b).

A l'étape f), on compare le modèle de référence final, résultant de l'optimisation par déplacement des modèles de dents, avec le modèle de référence initial. Le modèle de référence final correspond sensiblement à l'image actualisée. La comparaison de l'étape f) permet donc d'observer les différences entre le positionnement des dents à l'étape a) (modèle de référence initial) et lors de l'acquisition de l'image actualisée (étape b)). Le procédé permet ainsi de déterminer précisément, pour chacune des dents, les mouvements entre ces deux étapes.

En répétant les étapes b) et suivantes, il est également possible d'évaluer la vitesse d'évolution de la position des dents, et ainsi de mesurer, par exemple, l'efficacité d'un traitement orthodontique. Un procédé selon l'invention peut par exemple être utilisé pour suivre à distance l'évolution d'un traitement orthodontique, et ainsi optimiser les rendez-vous des patients chez leurs orthodontistes.

Dans un mode de réalisation préféré, le procédé de contrôle selon l'invention est mis en œuvre plusieurs fois pour un même patient, de préférence successivement avec plusieurs informations discriminantes, de préférence plus de 2, plus de 3, plus de 5 informations

discriminantes pour chaque image actualisée et/ou avec plusieurs images actualisées, de préférence plus de 2, plus de 3, plus de 5 images actualisées. L'évaluation du déplacement d'une dent peut être ainsi affinée en tenant compte des différents scores obtenus. La comparaison de ces scores permet également, le cas échéant, d'écarter les informations discriminantes et/ou les images actualisées insatisfaisantes.

En fonction du déplacement mesuré, une information pratique peut être générée. Si le déplacement est faible, cette information pratique peut être qu'aucune action n'est à engager. Au contraire, si une ou plusieurs dents se sont sensiblement déplacées, l'information peut être de planifier une visite chez le dentiste ou l'orthodontiste. De préférence, l'information pratique dépend du degré de déplacement des dents. Dans un mode de réalisation, un rendez-vous peut être automatiquement pris chez le dentiste ou l'orthodontiste, en fonction de l'amplitude et/ou de la nature des déplacements détectés.

Dans un mode de réalisation, l'information pratique est utilisée pour modifier l'intervalle de temps après lequel le patient devra être averti qu'une nouvelle image actualisée doit être créée.

Dans un mode de réalisation, l'appareil individuel permet d'afficher des images, voire une séquence d'images montrant le positionnement des dents à différentes dates. Ces images peuvent être présentées sous la forme d'une animation.

De préférence, l'appareil d'acquisition d'images est un téléphone qui permet de transmettre les résultats obtenus par la mise en œuvre du procédé, de préférence de manière sécurisée.

La communication peut être par exemple effectuée, au moins en partie, par la voie hertzienne, de préférence suivant au moins un protocole choisi parmi les protocoles edge, 3G, 4G, udmsa, hpdmsa, bluetooth, et wifi, ou par tout autre protocole, adapté aux équipements mobiles ou nomades, par synchronisation filaire avec l'ordinateur personnel, ou par transmission optique.

Comme cela apparaît clairement à présent, un procédé selon l'invention permet un contrôle précis et efficace du positionnement des dents du patient, sensiblement sans contrainte pour le patient. En particulier, de simples photographies prises sans précaution particulière, par exemple avec un téléphone mobile, suffit. Le patient peut donc facilement mettre en œuvre ce procédé.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits ci-dessus et représentés.

En particulier, le procédé est mis en œuvre successivement pour chacune des deux arcades ou simultanément pour les deux arcades.

- 5 En outre, plusieurs appareils différents peuvent être également mis en œuvre. Par exemple, l'acquisition peut être effectuée avec un téléphone mobile et les étapes suivantes par un ordinateur fixe.

Enfin, le patient n'est pas limité à un être humain. En particulier, un procédé selon l'invention peut être utilisé pour un autre animal.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de contrôle du positionnement de dents d'un patient, ledit procédé comportant les étapes suivantes :
 - 5 a) moins de 3 mois après la fin d'un traitement orthodontique, réalisation d'un modèle de référence tridimensionnel numérique des arcades du patient, ou « modèle de référence initial » et, pour chaque dent, définition, à partir du modèle de référence initial, d'un modèle de référence tridimensionnel numérique de ladite dent, ou « modèle de dent » ;
 - 10 b) acquisition d'au moins une image bidimensionnelle desdites arcades, dite « image actualisée », dans des conditions d'acquisition réelles ;
 - c) analyse de chaque image actualisée et réalisation, pour chaque image actualisée, d'une carte actualisée relative à une information discriminante ;
 - d) optionnellement, détermination, pour chaque image actualisée, de conditions d'acquisition virtuelles grossières approximant lesdites conditions d'acquisition
15 réelles ;
 - e) recherche, pour chaque image actualisée, d'un modèle de référence final correspondant au positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée, la recherche étant de préférence effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence par recuit simulé,
 - 20 f) pour chaque modèle de dent, comparaison des positionnements dudit modèle de dent dans le modèle de référence initial et dans le modèle de référence obtenu à l'issue des étapes précédentes, dit « modèle de référence final », afin de déterminer le déplacement des dents entre les étapes a) et b).
2. Procédé selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel, l'étape e)
25 comporte
 - une première opération d'optimisation permettant de rechercher des conditions d'acquisition virtuelles correspondant au mieux aux conditions d'acquisition réelles dans un modèle de référence à tester déterminé à partir du modèle de référence initial, et
 - 30 - une deuxième opération d'optimisation permettant de rechercher, en testant une pluralité de dits modèles de référence à tester, le modèle de référence correspondant

au mieux au positionnement des dents du patient lors de l'acquisition de l'image actualisée à l'étape b).

3. Procédé selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel une première opération d'optimisation est effectuée pour chaque test d'un modèle de référence à tester lors de la deuxième opération d'optimisation.
4. Procédé selon l'une quelconque des deux revendications immédiatement précédentes, dans lequel la première opération d'optimisation et/ou la deuxième opération d'optimisation, de préférence la première opération d'optimisation et la deuxième opération d'optimisation mettent en œuvre une méthode métaheuristique, de préférence un recuit simulé.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape e) comporte les étapes suivantes :
 - e1) définition du modèle de référence à tester comme étant le modèle de référence initial puis,
 - e2) suivant les étapes suivantes, test de conditions d'acquisition virtuelles avec le modèle de référence à tester afin d'approximer finement lesdites conditions d'acquisition réelles ;
 - e21) détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester;
 - e22) réalisation d'une image de référence bidimensionnelle du modèle de référence à tester dans lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
 - e23) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de référence représentant ladite information discriminante ;
 - e24) comparaison des cartes actualisée et de référence de manière à déterminer une valeur pour une première fonction d'évaluation, ladite valeur pour la première fonction d'évaluation dépendant des différences entre lesdites cartes actualisée et de référence et correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche de conditions d'acquisition virtuelles approxinant lesdites conditions d'acquisition réelles avec plus d'exactitude que lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester déterminées à la dernière occurrence de l'étape e21) ;

- e25) si ladite valeur pour la première fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification des conditions d'acquisition virtuelles à tester, puis reprise à l'étape e22) ;
- 5 e3) détermination d'une valeur pour une deuxième fonction d'évaluation, ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation dépendant des différences entre les cartes actualisée et de référence dans les conditions d'acquisition virtuelles approximant au mieux lesdites conditions d'acquisition réelles et résultant de la dernière occurrence de l'étape e2),
- 10 ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche d'un modèle de référence approximant le positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée avec plus d'exactitude que ledit modèle de référence à tester utilisé à la dernière occurrence de l'étape e2), et si
- 15 ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification du modèle de référence à tester par déplacement d'un ou plusieurs modèles de dents puis reprise à l'étape e2).
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel à l'étape
- 20 a), on détermine un plan d'occlusion suivant les opérations suivantes :
- I. détermination des points du modèle de référence initial qui appartiennent à une arcade et qui sont à une distance de l'autre arcade qui est inférieure à une distance prédéterminée, de préférence à une distance inférieure à 3 mm de l'autre arcade, dits « points de contact » ;
 - 25 II. optionnellement, filtrage d'une partie des points de contact, de préférence de manière que le nombre de points de contact appartenant à l'arcade supérieure soit identique au nombre de points de contact appartenant à l'arcade inférieure, de préférence en éliminant les points d'une arcade les plus éloignés de l'autre arcade ;
 - 30 III. régression linéaire, de préférence par la méthode des moindres carrés, sur l'ensemble des points de contact restant de manière à déterminer le plan d'occlusion.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape a), on effectue les opérations suivantes :

5 i. projection, dans un plan d'occlusion, des points de contact entre les dents des arcades supérieure et inférieure du patient, les points de contact et/ou le plan d'occlusion étant de préférence déterminés, suivant les étapes I à III ;

ii. détermination du barycentre des projections desdits points de contact et création d'un référentiel, dans le plan d'occlusion, centré sur ledit barycentre ;

10 iii. détermination, dans ledit référentiel, de la fonction parabolique, présentant le plus grand coefficient de corrélation avec l'ensemble des projections desdits points de contact ;

15 iv. rotation de l'ensemble des projections des points de contact autour du barycentre, et reprise de l'opération précédente *iii* jusqu'à ce que l'ensemble des projections des points de contact ait parcouru un secteur déterminé, de préférence supérieur à 90° , supérieur à 180° , voire d'environ 360° ;

20 v. identification du coefficient de corrélation le plus élevé pour l'ensemble des positions angulaires de l'ensemble des projections des points de contact autour du barycentre, et de l'axe de la fonction parabolique correspondante ;

vi. détermination d'un plan longitudinal médian du modèle de référence initial, ledit plan passant par ledit axe et étant perpendiculaire au plan d'occlusion.

25 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape a), on délimite au moins partiellement un modèle de dent en suivant les opérations suivantes :

i'. détermination, au moins partielle, des bords gingivaux intérieur et extérieur de l'arcade de la dent concernée, de préférence par analyse des variations de l'orientation de la surface du modèle de référence initial ;

30 ii'. projection, dans le plan d'occlusion, des bords gingivaux intérieur et extérieur ;

- iii'. identification des déformations des projections des bords gingivaux intérieur et extérieur correspondant aux régions interdentaires, les sommets de ces déformations étant appelés « point de rapprochement » ;
 - iv'. détermination du plus court chemin, à la surface du modèle de référence initial, entre deux points de rapprochement de bords gingivaux intérieur et extérieur, respectivement, d'une région interdentaire, de préférence par une méthode métaheuristique, de préférence par recuit simulé, ledit plus court chemin délimitant au moins partiellement un modèle de dent.
- 5 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel une image actualisée est acquise moins de 7 jours après l'étape a), puis les étapes c) à f) sont mises en œuvre à partir de cette image actualisée.
- 10 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel à l'étape b), on utilise un appareil d'acquisition porté à la main et/ou la tête du patient n'est pas immobilisée.
- 15 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel à l'étape b), on utilise un appareil individuel choisi dans le groupe formé par un appareil photo connecté, une montre intelligente, une tablette numérique, un scanner 3D portable et un ordinateur couplé un système d'acquisition d'images, telle une webcam ou un appareil photo numérique, pour mettre en œuvre l'étape b) et, de préférence au moins
- 20 une des étapes, de préférence toutes les étapes c) à f).
- 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel à l'étape b), on utilise un appareil d'acquisition d'images fournissant une image actualisée infrarouge.
- 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel à l'étape
- 25 b), on utilise un écarteur comportant une, de préférence plus de deux marques de repérage, de préférence non alignées, et, de préférence, on utilise la représentation des marques de repérage sur l'image actualisée pour
 - à l'étape c), redécouper l'image et/ou,
 - à l'étape d), évaluer grossièrement les conditions d'acquisition réelles.
- 30 14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel à l'étape c), l'information discriminante est choisie dans le groupe constitué par une information de contour, une information de couleur, une information de densité, une

information de distance, une information de brillance, une information de saturation, une information sur les reflets et des combinaisons de ces informations.

- 5 15. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel à l'étape d), on utilise des données fournies par l'appareil d'acquisition et, de préférence, concernant son orientation.
- 10 16. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on met en œuvre une optimisation par une méthode métaheuristique, de préférence par recuit simulé, pour :
- à l'étape a), déterminer au moins partiellement un bord gingival délimitant un modèle de dent et/ou,
 - à l'étape e2), rechercher les conditions d'acquisition virtuelles correspondant aux conditions d'acquisition réelles et/ou,
 - à l'étape e), rechercher un modèle de référence correspondant à l'image actualisée.
- 15 17. Programme d'ordinateur, et en particulier un applicatif spécialisé pour téléphone mobile, comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution d'une ou plusieurs, de préférence toutes les étapes b) à f) d'un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur
- 20 18. Système comportant
- un scanner tridimensionnel apte à mettre en œuvre l'étape a) d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 16,
 - un appareil personnel, de préférence un téléphone mobile, chargé avec un programme selon la revendication immédiatement précédente.

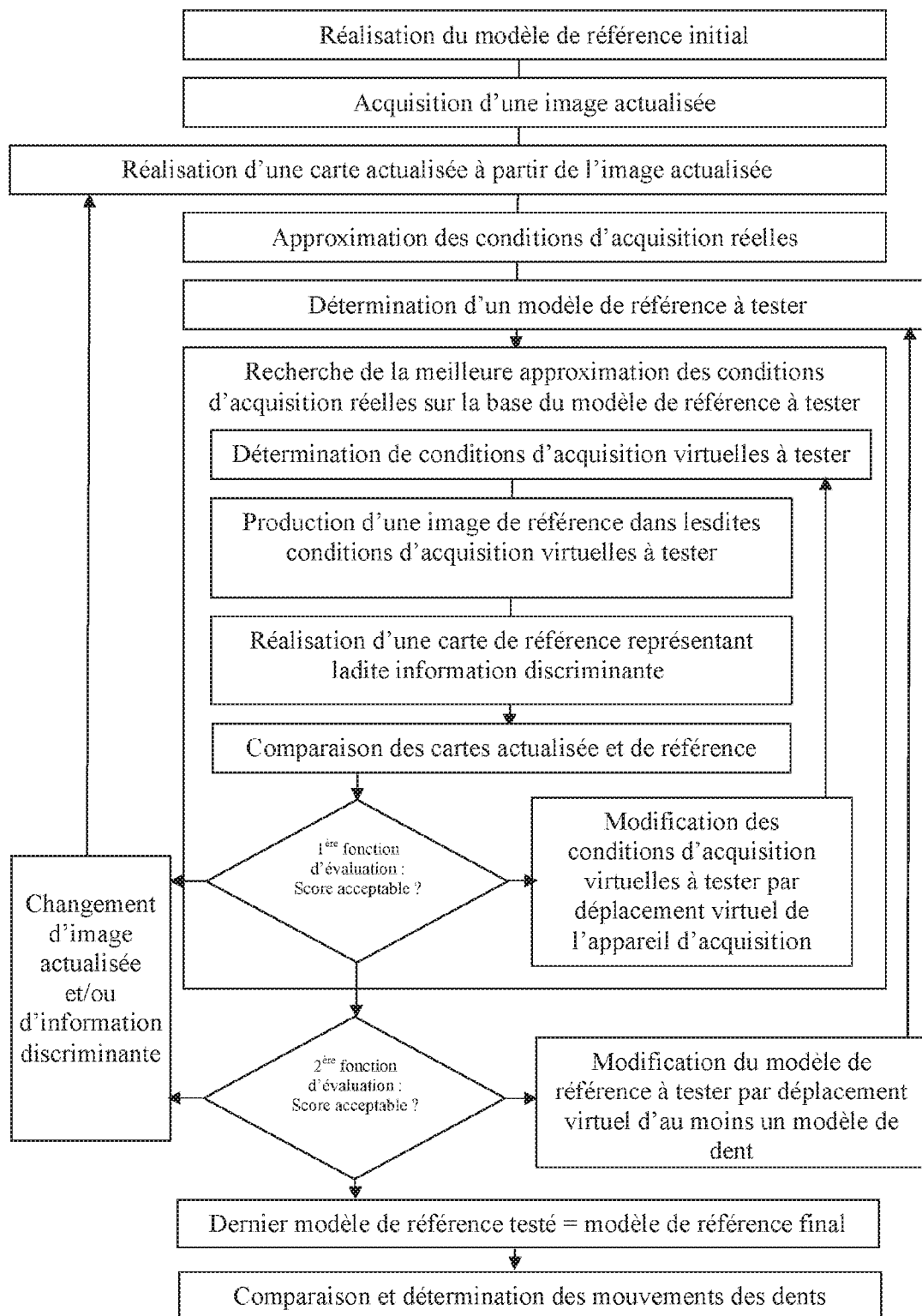


Fig. 1

2/5

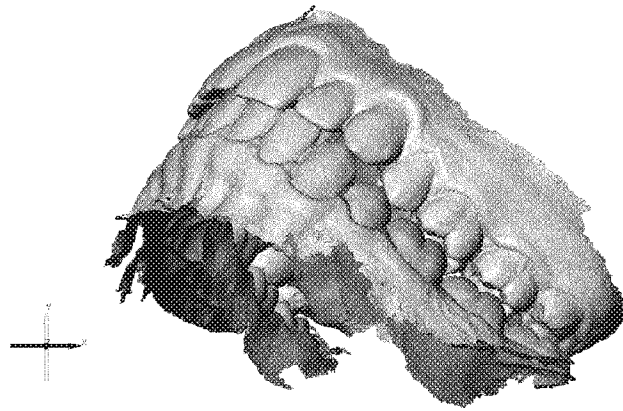


Fig.2

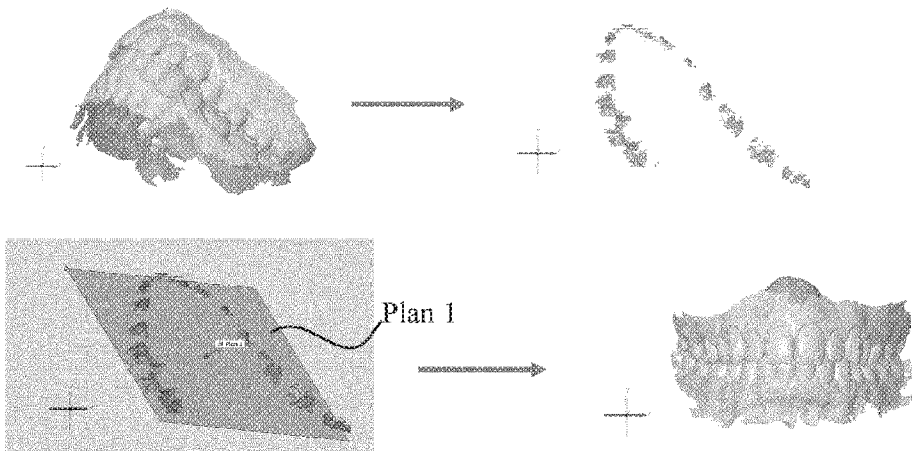


Fig.3

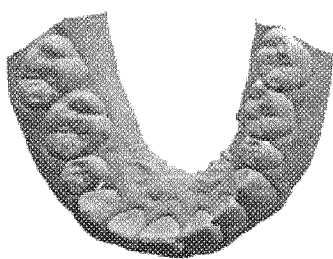


Fig. 4a



Fig. 4b

3/5



Fig. 4c



Fig. 4d

4/5

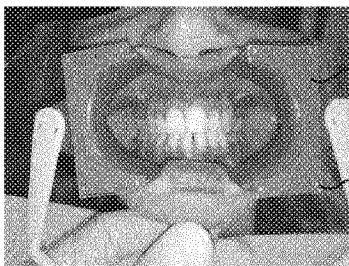


Fig. 5a

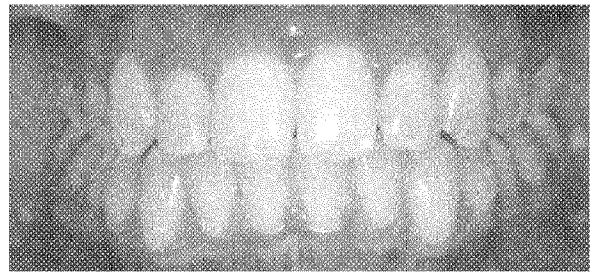


Fig. 5b

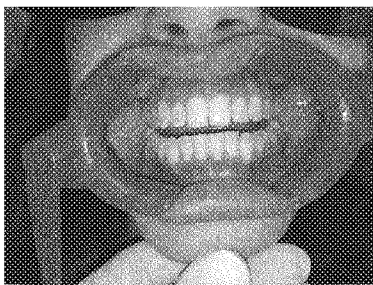


Fig. 5c

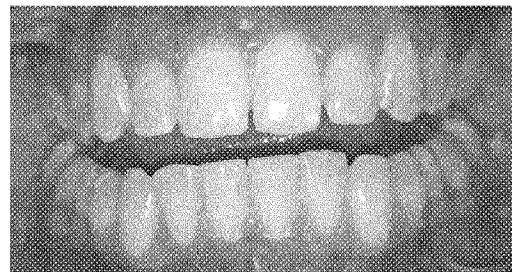


Fig. 5d

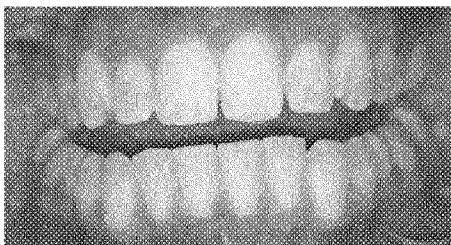


Fig. 6a

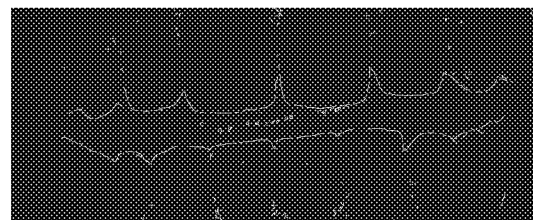


Fig. 6b

5/5

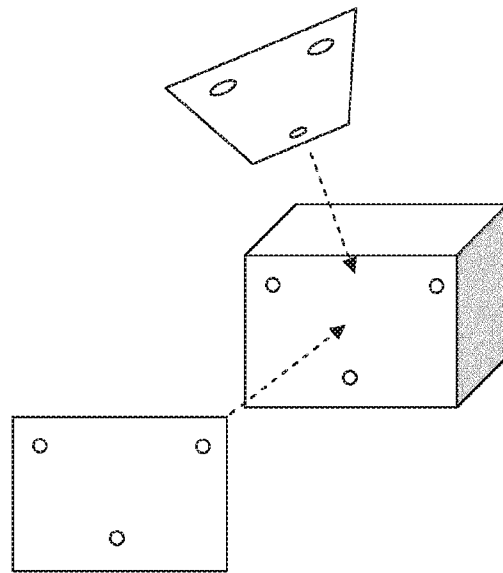


Fig. 7



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE PARTIEL

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 803943
FR 1460315

voir FEUILLE(S) SUPPLÉMENTAIRE(S)

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendications concernées	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 2005/048432 A1 (CHOI WONCHEOL [US] ET AL) 3 mars 2005 (2005-03-03) * alinéas [0002], [0006] - [0009], [0027], [0034] *	1-16	A61C7/00 G06T17/00 G06F19/00
A	WO 2013/090843 A1 (TRYGGER LLC [US]) 20 juin 2013 (2013-06-20) * alinéa [0002] *	1-16	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			A61C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
9 juillet 2015		Kerner, Bodo	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

**ABSENCE D'UNITÉ D'INVENTION
FEUILLE SUPPLÉMENTAIRE B**

Numéro de la demande

FA 803943
FR 1460315

La division de la recherche estime que la présente demande de brevet ne satisfait pas à l'exigence relative à l'unité d'invention et concerne plusieurs inventions ou pluralités d'inventions, à savoir :

1. revendications: 1-16

Procédé de contrôle du positionnement de dents d'un patient

2. revendications: 17, 18

Programme d'ordinateur (la revendication 18 étant dépendante de la revendication 17)

La première invention a été recherchée.

Les groupes ci-dessus ne sont pas liés de telle sorte qu'ils forment un seul concept inventif général. Il n'y a pas de lien technique entre les objets de ces groupes de revendications comportant un ou plusieurs caractéristiques techniques particulières identiques ou correspondantes.

L'expression "caractéristiques techniques particulières" désigne dans chaque revendication le ou les caractéristiques techniques particulières qui déterminent une contribution apportée à l'état de la technique par chacune des inventions revendiquées, considérée comme un tout.

La revendication 17 comprend le cas où seulement les instructions de code de programme exécutés à l'étape b) de la revendication 1 sont revendiquées, soit la prise d'une photo bidimensionnelle par un téléphone mobile en utilisant un applicatif. De telles instructions sont connues du document D2, voir paragraphe [0002]. Donc, la seule caractéristique technique identique entre les revendications 1 et 17 n'est pas nouveau et donc cette caractéristique n'est pas une caractéristique technique particulière.

En plus, les groupes d'inventions résolvent des problèmes techniques différents:

Groupe I: Comment contrôler le positionnement de dents d'un patient
Groupe II: Comment prendre une photo

Comme montré ci-dessus, les groupes comportent non seulement des caractéristiques techniques particulières différentes, mais aussi ils résolvent des problèmes techniques différents. Par conséquent, il n'existe pas de lien technique entre ces groupes: ni entre les caractéristiques techniques particulières, ni entre les problèmes techniques à résoudre. Par conséquent, il n'y a pas de concept inventif commun à ces groupes de revendications.

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1460315 FA 803943

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **09-07-2015**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2005048432 A1	03-03-2005	AUCUN	

WO 2013090843 A1	20-06-2013	AUCUN	

EPO FORM P0465

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

(10) 日本特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特願2017-94181

(P2017-94181A)

(43) 公開日 平成29年6月1日(2017.6.1)

(51) Int. Cl.

A61C 7/00 (2006.01)

F1

A61C 7/00

テーマコード (参考)

4C052

審査請求有 請求項の数 12 O L 外国特許出願 (全 50 頁)

(21) 出願番号 特願2017-13982 (P2017-13982)
 (22) 出願日 平成29年1月30日 (2017.1.30)
 (52) 分類の表示 特願2015-28284 (P2015-28284)
 の分類
 原出願日 平成21年1月28日 (2009.1.28)
 (31) 優先権主張番号 61/024, 526
 (32) 優先日 平成20年1月28日 (2008.1.28)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 61/024, 534
 (32) 優先日 平成20年1月28日 (2008.1.28)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 12/346, 735
 (32) 優先日 平成20年12月30日 (2008.12.30)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 501214845
 アライン テクノロジー、 インコーポレ
 イテッド
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 951
 31, サン ノゼ, オーチャード パ
 ークウェイ 2560
 (74) 代理人 100078282
 弁理士 山本 秀孝
 (74) 代理人 100113413
 弁理士 藤下 寛樹
 (72) 発明者 バディム マトプ
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 951
 18, サン ノゼ, ベラジオ ドライ
 ブ 5605

最終頁に続く

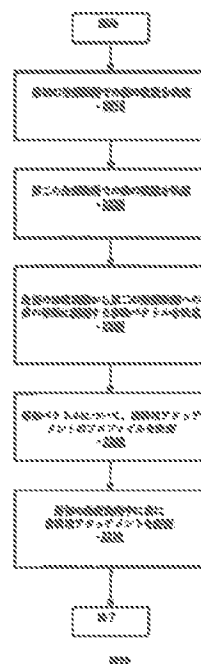
(54) 【発明の名称】 歯科用アライナーの幾何学形状を最適化するための方法およびシステム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 歯科用アライナーの幾何学形状を最適化するための方法およびシステムを提供する。

【解決手段】 歯の最初の位置の決定2210、治療計画における歯の目標位置の決定2220、最初の位置から目標位置への歯の移動に関連した移動ベクトルの計算2230、移動ベクトルに対応する変位の成分の決定2230、および一つ以上のアタッチメント装置が歯科用装置と噛み合うように歯の平面に対してそれぞれの一つ以上のアタッチメント装置の対応する一つ以上の位置の決定2240を行う。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項1】

歯科用器具をモデル化し、歯を移動させるための1つ以上のアタッチメントデバイスを配置するための装置であって、前記装置は、

データストレージユニットと、

前記データストレージユニットに結合された処理ユニットと

を含み、

前記処理ユニットは、

第一の傾斜における歯の第一の位置を決定することと、

第二の傾斜における前記歯の第二の位置を決定することと、

前記第一の傾斜における前記第一の位置から前記第二の傾斜における前記第二の位置への前記歯の移動に関連付けられた移動ベクトルを計算すること、

前記歯科用器具の重合体シェルの窩洞に対する幾何学形状を決定することであって、前記窩洞は、前記移動ベクトルに沿った前記第一の位置から前記第二の位置への前記歯の移動に順応し、前記重合体シェルの、前記窩洞の少なくとも1つの重合体窩洞壁を含み、前記少なくとも1つの重合体窩洞壁は、前記歯に取り付けられた1つ以上のアタッチメントデバイスに直接接触することにより、前記歯が前記移動ベクトルに沿って移動するようにし、前記歯の移動は、前記歯が前記移動ベクトルに沿って移動するように、かつ、前記第一の傾斜から前記第二の傾斜に向かって前記歯の傾斜を変換するように、前記少なくとも1つの重合体窩洞壁が前記歯の少なくとも1つと前記歯に取り付けられた1つ以上のア

タッチメントデバイスとに接触することによって引き起こされる、ことと

を行うように構成されている、装置。

【請求項2】

前記データストレージユニットは、データベースを含み、前記データベースは、患者治療歴、歯列矯正治療、歯列矯正情報、または、診断のうちの少なくとも1つを含む、請求項1に記載の装置。

【請求項3】

前記1つ以上のアタッチメントデバイスは、所定の力を前記歯科用器具から前記歯に伝達し、かつ、前記所定の力を前記歯の表面に弾力的に適用するように構成されている、請求項1に記載の装置。

【請求項4】

前記1つ以上のアタッチメントデバイスは、互いに対して隣接する位置において前記歯の上に提供される複数の歯科用アタッチメントデバイスを含み、前記歯科用器具は、所定の期間の間、前記複数の隣接する歯科用アタッチメントデバイスの各々に順次かつ別個に物理的に接触するように構成されている、請求項1に記載の装置。

【請求項5】

前記1つ以上のアタッチメントデバイスは、前記歯の線形変位をさらに提供する、請求項3に記載の装置。

【請求項6】

前記治療計画は、患者の歯の最初の配列と、前記患者の歯の目標の配列と、前記患者の歯の1つ以上の中間の配列とを含み、

前記歯の前記第一の位置または前記歯の前記第二の位置のうちの少なくとも1つは、前記患者の歯の前記1つ以上の中間の配列のうちの1つに対応する、請求項1に記載の装置

【請求項7】

前記処理ユニットは、前記歯科用器具が患者によって摩耗された場合に、前記窩洞幾何学形状を有する前記歯科用器具によって生成される歯の移動を予測するために解析を行うように構成されている、請求項1に記載の装置。

【請求項8】

前記処理ユニットは、

前記第一の位置と前記第二の位置との間の前記歯の全ての位置に対して前記歯と前記装置との間の干渉なく、前記第一の位置と前記第二の位置との間の前記歯の全ての位置の和集合に属するように構成された前記装置に対する最初の幾何学形状を決定することと

前記第一の位置から前記第二の位置に前記移動ベクトルに沿って前記歯を移動させるように前記歯に適用される一つ以上の力成分を決定することと、

前記最初の幾何学形状を修正することによって、前記歯移動装置の前記装置に対する幾何学形状を決定することにより、前記少なくとも1つの重合体装置層を生成することであって、その結果、前記少なくとも1つの重合体装置層は、前記歯に前記一つ以上の力成分を適用する、ことと

10

を行うようにさらに構成されている、請求項1に記載の装置、

【請求項9】

前記最初の装置の幾何学形状は、前記歯が前記第一の位置から前記第二の位置に移動することによって占められる三次元領域を固定する、請求項8に記載の装置、

【請求項10】

前記装置ユニットは、前記第一の位置と前記第二の位置との間の前記歯の中間の位置を決定するように構成されている、請求項8に記載の装置、

【請求項11】

前記最初の装置の幾何学形状は、前記歯が前記中間の位置を通過して前記第一の位置から前記第二の位置に移動することによって占められる三次元領域を固定する、請求項10に記載の装置、

20

【請求項12】

前記少なくとも1つの重合体装置層は、前記1つ以上のアタッチメントデバイスに係合する少なくとも1つのへこみを含む、請求項1に記載の装置、

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

（優先権）

本出願は、米国特許出願番号第12／346,735号（2008年12月30日出願）、米国特許仮出願番号第61／024,526号（2008年1月29日出願）、および米国特許仮出願番号第61／024,534号（2008年1月29日出願）の利益を主張し、あらゆる目的についてその開示内容全体を本明細書に組み込む。

30

（発明の分野）

本発明は、計算的な歯列矯正および歯科に関連する。

【背景技術】

【0002】

（背景）

歯列矯正治療では、さまざまな装置を使用して、患者の歯が最初の位置から最終位置に移動される。歯に対して力を発揮し、それによって、それらの歯のうち一つ以上の歯が治療のその段階に応じて適切に移動する。または定位置に固定される。

40

【0003】

歯の位置と装置の生成との間の一対一の関係の結果として起こる歯列矯正における移動のメカニズムでは、歯を新しい位置・構成に「強制的に移動」して、所定位置に固定することで、治療計画の各種の治療段階に沿って歯が徐々に移動するに伴いプロセスを再び繰り返す前に、歯が新しい位置に属するのに十分な時間が与えられる。

【0004】

現在の治療状態とその後の目標または $n+1$ の治療段階との間の一対一の関係において、歯移動装置の選択には、プラスチックと歯の幾何学形状（ジオメトリ）との間の相互作用が含まれるが、これは $n+1$ の歯の位置の達成にとっては最適とはいえず、一般に相関の要因とは見なされない。このケースには特に、歯の移動距離が比較的大きな場合が考

50

100051

10

100061

$$\{ \bigcirc \bigcirc \bigcirc \bigcirc \}$$

20

RECEIVED

【問題を解決するための手段】

[0 0 0 8]

(2 3 4 5)

30

100091

40

100101

圖 2-1-1 本國及外國の國境の地圖

(2001)

● ● ● ● ● ● ● ● ● ●

● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●

50

動するための最適な移動ベクトルの決定、および

決定した導引形状経路に基づく歯のための齒科用装置の最適の修正。

(項目2)

上記最適の修正に、予め定めた対応する歯の一つ以上の表面と接触するための上記齒科用装置の内部表面上の一つ以上の接点の定義が含まれる、項目1の方法。

(項目3)

上記最適の修正に上記齒科用装置の内部表面上での一つ以上の特徴の定義が含まれ、この一つ以上の特徴が移動ベクトルに関連したものである、項目1の方法。

(項目4)

一つ以上の特徴へごみが含まれる、項目1の方法。

10

(項目5)

上記齒科用装置の内部表面と歯との間の摩擦を最小化するために上記最適が修正される、項目1の方法。

(項目6)

上記導引形状経路が、最初の位置と目標位置との間の和集合形状であり、その和集合形状が治療計画におけるある位置から次の位置までの多数の増分を含む、項目1の方法。

(項目7)

上記導引形状経路の決定が最初の位置と目標位置との間の干渉を除去する経路の決定を含む、項目1の方法。

(項目8)

20

上記移動ベクトルが、歯を最初の位置から目標位置に移動するために上記齒科用装置によって歯にかけられる力のシステムを確立するように構成されている、項目1の方法。

(項目9)

その力のシステムが力、力のモーメント、および偶力モーメントのうち少なくとも一つを含む、項目8の方法。

(項目10)

上記移動ベクトルに対応する多数の成分の決定がさらに含まれる、項目1の方法。

(項目11)

多数の成分のそれぞれの一つに対応する、それぞれの一つ以上の力がかかるように、上記齒科用装置の内部表面が構成されている、項目10の方法。

30

(項目12)

その多数の成分により、歯の回転変位、歯の角変位、歯の線形変位、またはその一つ以上の組み合わせのうち一つ以上が提供される、項目10の装置。

(項目13)

さらに、歯の平面に対する一つ以上のアタッチメント装置の対応位置の決定を含み、その一つ以上のアタッチメント装置は接点で上記齒科用装置と噛み合い、上記移動ベクトルに対応する成分(構成要素)のうち少なくとも一つを生成するように構成されている、項目1の方法。

(項目14)

さらに、最初の位置から目標位置への歯の移動に関連した上記移動ベクトルの方向に実質的に直交する表面積の決定を含む、項目1の方法。

40

(項目15)

さらに、高速プロトタイピングを使用した上記齒科用装置の作成を含む、項目1の方法。

(項目16)

上記齒科用装置が適合体シェルの複製する、項目1の方法。

(項目17)

特定の最適を持つ齒科用装置と共に歯を移動させる方法で、その方法は以下を含む：

歯の最初の位置の決定。

治療計画における歯の目標位置の決定、

50

最初の位置から目標位置への歯の移動に関連する最初の移動ベクトルの計算、

最初の移動ベクトルに対応した構成要素の決定、および

歯の平面に対する一つ以上のアタッチメント装置の対応位置の決定で、その一つ以上のアタッチメント装置は接触で上記歯科用装置と噛み合い、最初の移動ベクトルと対応する構成要素を生成するように構成されている。

(項目18)

さらに、歯を徐々に再配置するよう選択された幾何学形状を持つ多数の歯科用装置の生成を含み、その歯科用装置が窩洞を持つ重合体シェルを備え、また次のシェルの窩洞が、歯を受けて一つの配列から次の配列に弾力的に再配置する形状である異なる幾何学形状を持つ。項目17の方法。

10

(項目19)

その多数の成分が力の大きさおよび力の方向のうち、少なくとも一つを含む、項目17の方法。

(項目20)

上記アタッチメント装置が、実質的に歯の平面で上記歯科用装置に予め定めた力をかけるように構成されている。項目17の方法。

(項目21)

その多数の成分が、歯の回転変位、歯の角変位、歯の線形変位、またはその一つ以上の組み合わせのうち一つ以上を提供するように構成されている。項目17の方法。

(項目22)

20

その一つ以上のアタッチメント装置に、互いに対して隣接する位置にある歯に提供された多数の歯科用アタッチメント装置が含まれる。項目17の方法。

(項目23)

上記歯科用装置が、ある期間において、多数の隣接する歯科用アタッチメント装置のそれぞれと順次かつ別個に物理的に接触するように構成された。項目22の方法。

(項目24)

さらに、一つ以上のアタッチメント装置の歯の平面への取り付けを含む、項目17の方法。

(項目25)

項目17の方法で、その方法はさらに以下を含む：

30

一つ以上のアタッチメント装置の対応位置を決定した後の、次の目標位置への歯の移動に関連する第二の移動ベクトルの決定。

(項目26)

さらに、上記歯科用装置が第二の移動ベクトルに対応する一つ以上の成分を生成するように構成されるような上記歯科用装置の形状の修正を含む、項目25の方法。

(項目27)

上記歯科用装置が重合体シェルを具備する、項目17の方法。

(項目28)

さらに、高速プロトタイピングを使用した上記歯科用装置の作成を含む項目17の方法

40

(項目29)

歯科用装置のモデリングおよび歯の移動用のアタッチメント装置の再配置をするための装置で、その装置は以下を含む：

データストレージユニット。

上記データストレージユニットに接続された治療装置で、その治療装置が歯の最初の位置の決定、治療計画における歯の第二の位置の決定、歯を最初の位置から第二の位置へと移動させる導引形状経路に関連した移動ベクトルの計算をするように構成されているもの

(項目30)

上記データストレージユニットが、少なくとも一つの患者治療歴、歯列矯正治療、歯列

50

矯正装置、および診断から生成されるデータベースを含む、項目29の装置。

(項目31)

項目29の装置で、その装置はさらに以下を含む：

上記移動ベクトルに対応する矯正要素の決定、および

一つ以上のアタッチメント装置が接点で上記歯科用装置と噛み合い、上記移動ベクトルに対応する矯正要素を生成するような、歯の平面に対する一つ以上のアタッチメント装置の位置の決定。

(項目32)

その一つ以上のアタッチメント装置が、実質的に歯の平面で上記歯科用装置に予め定められた力をかけるように構成された、項目31の装置。

10

(項目33)

その一つ以上のアタッチメント装置に、それぞれに対して接続した位置にある歯に提供された多数の歯科用アタッチメント装置を含めることができ、また上記歯科用装置は、予め定めた期間において、多数の接続する歯科用アタッチメント装置のそれぞれに順次にかつ個別に物理的に接続するように構成されうる、項目31の装置。

(項目34)

ここでその多数の成分が、歯の面形状位、歯の角位置、歯の縁形状位、またはその一つ以上の組み合わせのうち一つ以上を提供しうる、項目31の装置。

(項目35)

上記治療装置がさらに、最初の位置と第二の位置との間の導引形状経路に基づき上記歯科用装置の向きを修正するように構成される、項目29の装置。

20

(項目36)

上記治療装置がさらに、歯の対応する予め定めた表面と接触する歯科用装置の内部表面の接点を定義するよう構成される、項目29の装置。

(項目37)

上記治療装置がさらに、上記歯科用装置の内部表面の特徴を定義するように構成され、またその特徴が上記移動ベクトルに関連したものである、項目29の装置。

(項目38)

上記導引形状経路が、最初の位置と第二の位置との間の和集合形状であり、またその和集合形状が、上記治療計画におけるある位置から次の位置への多数の増分を含む、項目29の装置。

30

(項目39)

上記移動ベクトルが、上記歯科用装置によって歯を最初の位置から第二の位置へと移動させるために歯にかかる力のシステムを確立するよう構成されている、項目29の装置。

(項目40)

その力のシステムが、力、力のモーメント、および偶力モーメントのうち少なくとも一つを含む、項目39の装置。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1A】図1Aは、概観的な一つの歯科用データマイニングシステムを示し、

40

【図1B】図1Bは、一つ以上の歯科用装置の性能の分析を示し、

【図1C】図1Cは、データマイニングシステムの一つの実施形態において使用される各種の移動タイプのデータを示し、

【図1D】図1Dは、一つ以上の歯科用装置の性能の分析を示し、

【図1E】図1E～1Fは、治療計画を生成するためのクラスタイザーの各種の実施態様を示し、

【図1F】図1E～1Fは、治療計画を生成するためのクラスタイザーの各種の実施態様を示し、

【図2A】図2Aは、本発明に従いアライナー形状を計算するためのサブプロセスを含めた治療の過程を示すプロセスのフローチャートであり、

50

- 【図2B】図2Bは、アライナー形状を計算するためのプロセスのフローチャートであり、
- 【図3】図3は、有限要素モデルを作成するためのサブプロセスのフローチャートであり、
- 【図4】図4は、アライナーの変化を計算するためのサブプロセスのフローチャートであり、
- 【図5A】図5Aは、アライナー形状の変化を計算するためのサブプロセスのフローチャートであり、
- 【図5B】図5Bは、アライナー形状の変化を計算するためのサブプロセスのフローチャートであり、
- 【図5C】図5Cは、アライナー形状の変化を計算するためのサブプロセスのフローチャートであり、
- 【図5D】図5Dは、図5Bのサブプロセスの動作を示す概略図であり、
- 【図6】図6は、何組かのアライナー形状を計算するためのプロセスのフローチャートであり、
- 【図7】図7は、統計的歯根モデルの模範的な図式であり、
- 【図8】図8は、歯根モデリングの模範的な図式であり、
- 【図9】図9は、歯のCTスキャンの模範的な図式であり、
- 【図10】図10は、歯を表示する模範的なユーザーインターフェースであり、
- 【図11A】図11A～11Bは、歯科用装置を配置した状態での歯の最初の位置、および結果的に生じる望ましくない力のベクトルをそれぞれ図示したものであり、
- 【図11B】図11A～11Bは、歯科用装置を配置した状態での歯の最初の位置、および結果的に生じる望ましくない力のベクトルをそれぞれ図示したものであり、
- 【図11C】図11C～11Dは、歯の周囲の望ましくない力のベクトルを相殺するための歯科用装置への逃げの追加、および結果的に生じる歯科用装置による所定の望ましい力の歯への適用をそれぞれ図示したものであり、
- 【図11D】図11C～11Dは、歯の周囲の望ましくない力のベクトルを相殺するための歯科用装置への逃げの追加、および結果的に生じる歯科用装置による所定の望ましい力の歯への適用をそれぞれ図示したものであり、
- 【図12】図12は、歯科用装置と歯の間のギャップを除去するための追加的な形状の変更を含めた、修正した歯科用装置の幾何学形状を図示したものであり、
- 【図13】図13は、歯の治療計画の導引形状に基づく歯科用装置の形状の幾何学構成を図示したものであり、
- 【図14A】図14A～14Bは、歯の回転用に配置した歯科用アタッチメントを図示したものであり、
- 【図14B】図14A～14Bは、歯の回転用に配置した歯科用アタッチメントを図示したものであり、
- 【図15】図15は、歯の傾斜用に配置した歯科用アタッチメントを図示したものであり、
- 【図16】図16は、歯のアンギュレーション用に配置した歯科用アタッチメントを図示したものであり、
- 【図17A】図17A～17Bは、それぞれ頬側並進移動および舌側並進移動用に配置した歯科用アタッチメントを図示したものであり、
- 【図17B】図17A～17Bは、それぞれ頬側並進移動および舌側並進移動用に配置した歯科用アタッチメントを図示したものであり、
- 【図18A】図18A～18Bは、それぞれ近心および遠位の並進移動用に配置した歯科用アタッチメントを図示したものであり、
- 【図18B】図18A～18Bは、それぞれ近心および遠位の並進移動用に配置した歯科用アタッチメントを図示したものであり、
- 【図19A】図19A～19Bは、それぞれエクストルージョン（突出）および圧下のた

10

20

30

40

50

めに配置した歯科用アタッチメントを指示したものであり、

【図19B】図19A～19Bは、それぞれエクストルージョン（振出）および圧下のために配置した歯科用アタッチメントを指示したものであり、

【図20】図20は、歯科用装置およびアタッチメントの補充的な噛み合いを指示したものであり、

【図21】図21は、歯科用装置の最適化された形状幾何学を指示したフローチャートであり、

【図22】図22は、歯科用アタッチメントの配置を指示したフローチャートであり、

【図23】図23は、有効な歯表面の計算に基づき、歯を予め定めた距離および方向に移動させる方法を示したフローチャートであり、

【図24】図24は、歯の十分な有効表面積を得るためにアタッチメントが必要かどうかを判断する方法を示したフローチャートであり、

【図25】図25は、歯科用装置の形状を計算するためのプロセスのフローチャートであり、

【図26】図26は、第一の段階から第二の段階への歯冠の点の軌道を示し、

【図27】図27は、歯の有効表面および抵抗表面を示し、

【図28】図28は、アタッチメントの追加による有効な歯表面の増加を例証したものであり、

【図29】図29は、アタッチメントおよび隆線をアタッチメントに一致させたアライナーを付けた歯の断面を示す。

【発明を実施するための形態】

【0012】

（発明の詳細な説明）

現在では、数ある中でもAlign Technology, Inc.製のソフトウェアなどの三次元歯列矯正治療計画ツールまたはeModelerおよびOrthoCADなどの他の市販のソフトウェアにより、デジタル治療計画が可能となった。これらの技術により、臨床医は、治療計画をカスタマイズするための出発点として患者の実際の生歯を使用することができる。Align Technology, Inc.のソフトウェア技術では、米国特許出願番号第10/640,439号（2003年8月21日出願）および米国特許出願番号第10/225,889号（2002年8月22日出願）で考察されているとおり、患者固有のデジタルモデルを使用して、治療計画がプロットされてから、達成後または実際の治療成績のスキャンを使用して、本来のデジタル治療計画と比較した転写（アウトカム）の達成度が評価される。デジタル治療計画および転写の評価での問題点は、データ量が多いことと、それによって個別の患者レベルで「治療の成功」を評価する標準および効率的な方法論が欠如していることである。情報を分析するために、歯科用データマイニングシステムが使用される。

【0013】

図1Aは、概念的な一つの歯科用データマイニングシステムを示す。このシステムにおいて、歯科治療および転写のデータセット1は、データベースまたは情報ウェアハウス2に格納される。データは、結果4を生成するデータマイニングソフトウェア3により抽出される。データマイニングソフトウェアは、データベース2内への取り込みおよび／またはそこでの更新が行われる情報を（直接）取り出すことができ、また患者の歯の問題に関連する出力データストリームを歯科用装置の解決策と共に生成することができる。データマイニングソフトウェアの出力は、最も有利にかつ自己反動的には、少なくともデータベースおよびデータマイニング相関アルゴリズムへのその後の入力として供給されうることに留意されたい。

【0014】

図1Aのデータマイニングシステムの結果は、装置の構成を定義するため、または歯を漸次的に移動するための装置の構成の変更で使用される。歯の移動は、通常は歯列矯正治療に関連したものであり、これには三つの直交する方向すべての進退、歯の中心線に対し

10

20

30

40

50

て直角の回転軸を持つ二つの直交方向への歯の中心線の回転（「歯根のアンギュレーション」および「トルク」）、ならびに歯の中心線と平行な軸を持つ歯列矯正の方向への歯の中心線の回転（「純回転」）が含まれる。

【0015】

一つの実施態様において、データマイニングシステムは、3Dでの治療計画における移動、開始位置および最終的に達成される歯の位置を取り込む。システムは、許容に対して転移を比較し、また転移は、歯列矯正用ブラケットおよびワイヤーなど、容易可能な装置や固定装置を含めた任意の治療方法、さらには数ある中でも、顎矯正手術、歯周療法、および修復の計画に対する達成の比較などその他の歯科治療などを使用して達成できる。

【0016】

一つの実施態様において、それぞれのアーチスキャンの治療ファイルを一致させるために、歯の重ね合わせツールが使用される。詳細化（その後の進展）スキャンを初期のスキャンと重ね合わせて、歯の生体構造および歯の座標系に基づき一致させる。二つのアーチ（歯列弓）が一致した後、重ね合わせツールは、上側アーチを下側アーチに関連付けるための基準を要求する。オプション「統計的フィルタリング」を選択すると、重ね合わせツールはそれぞれの歯について移動量を測定するが、これはまず、基準として、すべての歯の移動の平均よりも上または下のいずれかに、1標準偏差を超えて動いた歯を除去して（現段階と前段階の間の位置の違いにより決定）実施される。次に、それぞれの歯の移動を測定するために、残りの歯が基準として選択される。

【0017】

図1Bは、一つ以上の歯科用装置の性能の分析を示す。散布図に「達成済み」の移動が「目標」の移動に対してプロットされ、また傾向線が生成される。散布図は、「散在した」すべてのデータ点がどこにあるかを示すために表示され、また傾向線は歯科用装置の性能を示すために生成される。一つの実施態様において、傾向線には直線（曲線でもよい）が選択され、よって傾向線は「散在した」すべてのデータについて「最も適合した」直線として提示される。アライナーの性能は、傾向線の勾配として表現される。Y軸切片は、アライナーの装着中に発生する偶発的な移動をモデル化する。予測可能性は、「達成済み」および「目標」のデータの回帰計算から得られた R^2 により測定される。

【0056】 図1Cは、データマイニングシステムの一つの実施態様において使用される各種の移動タイプのデータを示す。規範的なデータセットでは、拡大／収縮（+／-X並進）、近心化／遠位化（+／-Y並進）、圧下（-Z並進）、提出（+Z並進）、ティッピング／アンギュレーション（X回転）、トルク／傾斜（Y回転）、および純回転（Z回転）が網羅される。

【0018】

図1Dは、一つ以上の歯科用装置の性能の分析を示す。図1Dに示した動作のタイプについて、達成済みの動作はその特定のデータセットについて目標動作の約85%である。

【0019】

図1Dに顕著に図示したとおり、実際の歯の移動は、一般に数多くの段階で目標の歯の移動より遅れる。一連の重合体装置による治療の場合には、こうした遅れは、歯の移動および患者の不快感といった否定的な転移が不一致の程度に応じて確実に変化するため、治療の設計において重要な役割を果たす。

【0020】

一つの実施態様において、170（図2A）および232（図2B）などの手順にある臨床的なパラメータは、実際の歯の位置をもとにした目標の統計的偏差を許容することにより、さらに正確なものとなる。例えば、現時点で目標の歯の移動が適切に達成されていない計算上の確率が大きいことによって、その後の移動目標は低減される可能性があるが、その結果として、その後の移動段階では、それより前の段階について意図された作業の完了を必要とする確率は高くなる。同様に、目標の移動は、期待される実際の移動がより適切に管理されるように、特に早期段階で望ましい位置を越えることもある。この実施態様では、繰り返し時間を最小化するという目標は犠牲にして、目標とする最終段階での転

10

20

30

40

50

能がより高い確率で達成できるような方法を優先させている。この方法は、類似した患者症例のクラスターに特徴的な治療計画内で実現される。

[0021]

表1は、一つの実施形態における歯の群を示す。歯の移動の符号規則は、表2に示すとおりである。選択した60のアーチの異なる歯の移動は、表3に再編で並べ替えて性能を例証した。歯の性能は、次の四つの群に分けることができる：差(78~85%)、平均(60~68%)、平均未満(52~55%)、および不適切(24~47%)。表4は移動の予測可能性のランク付けを示す。予測可能性は、次の三つの群に分類される：非常に予測可能(0.76~0.82)、予測可能(0.43~0.63)および予測不可能(0.10~0.30)。特定のデータセットについて、例えば、所見は次のとおりである。

[0022]

門歯圧下および前歯圧下の性能は高い。範囲は門歯圧下について約1.7mm、および前歯圧下について約1.7mmである。これらの移動は非常に予測可能である。

[0023]

犬歯圧下、門歯トルク、門歯回転および前歯トルクの性能は平均的である。範囲は犬歯圧下について約1.3mm、門歯トルクについて約3.4度、門歯回転について約8.9度、および前歯トルクについて約3.4度である。これらの移動は、予測可能または非常に予測可能のいずれかである。

[0024]

小臼歯傾斜移動、小臼歯近心移動、臼歯回転、および側方拡大の性能は、平均未満である。範囲は小臼歯近心移動について約1ミリメートル、小臼歯傾斜移動について約1.9度、臼歯回転について約2.7度および側方拡大について約2.8ミリメートルである。小臼歯傾斜移動および近心化は予測不可能であり、残りは予測可能な移動である。

[0025]

前歯および門歯挺出、丸歯および小臼歯回転、犬歯傾斜移動、臼歯遠位化、および後部トルク性能は不適切である。範囲は、前歯挺出について約1.7ミリメートル、門歯挺出について約1.5mm、丸歯回転について約6.7度、小臼歯回転について約6.3度、犬歯傾斜移動について約2.8度、臼歯遠位化について約2.2ミリメートル、および後部トルクについて約4.3度である。予測可能(ただし、性能の面での収量は低い)である小臼歯回転を除き、すべてが予測不可能な移動である。

[0026]

[表1]

表1

歯の研究群

歯	
門歯	#7, 8, 9, 10, 23, 24, 25, 26
犬歯	#6, 11, 22, 27
小臼歯	#4, 5, 12, 13, 20, 21, 28, 29
臼歯	#2, 3, 14, 15, 18, 19, 30, 31
前歯	#6, 7, 8, 9, 10, 11, 22, 23, 24, 25, 26, 27
後方臼歯	#2, 3, 4, 5, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 28, 29, 30, 31
丸歯	#4, 5, 6, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 27, 28, 29

[0027]

10

20

30

40

【表2】

表2

歯の移動についての符号の慣用			
移動のタイプ			
X並進 (拡大／収縮)	(-) は舌側	(+) は頬側	10
<u>X回転 (ティッピング)</u>			
右上および右下象限	(-) は遠位	(+) は近心	
左上および左下象限	(-) は近心	(+) は遠位	
<u>Y並進 (近心化／遠位化)</u>			
左上および右下象限	(-) は遠位	(+) は近心	20
右上および左下象限	(-) は近心	(+) は遠位	
Y回転 (トルキング)	(-) は舌側歯冠	(+) は頬側歯冠	
Z並進 (圧下／挺出)	(-) は圧下	(+) は挺出	
Z回転 (純回転)	(-) は時計方向	(+) は反時計回り	30

【0028】

5

【表3】

表3

移動の性能指数のランク付け

群	移動	モデル	性能指数	副作用	予測可能性	
門歯	圧下	直線	85%	0.03	0.82	
前歯	圧下	直線	79%	0.03	0.76	
犬歯	圧下	直線	68%	-0.10	0.43	10
門歯	トルク	直線	67%	0.21	0.63	
前歯	トルク	直線	62%	0.15	0.56	
門歯	回転	直線	61%	-0.09	0.76	
小臼歯	ディッピング	直線	55%	0.35	0.27	
臼歯	回転	直線	52%	0.11	0.58	
後方臼歯	拡大	直線	52%	0.11	0.48	
小臼歯	近心化	直線	52%	0.00	0.30	
小臼歯	回転	直線	47%	0.28	0.63	
臼歯	遠位化	直線	43%	0.02	0.20	
犬歯	ディッピング	直線	42%	0.10	0.28	20
後方臼歯	トルク	直線	42%	1.50	0.28	
丸歯	回転	直線	39%	-0.14	0.27	
前歯	挺出	直線	29%	-0.02	0.13	
門歯	挺出	直線	24%	0.02	0.10	

【0029】

【表4】

表4

移動の予測可能性のランク付け

群	移動	モデル	性能指数	副作用	予測可能性	
門歯	圧下	直線	85%	0.03	0.82	10
前歯	圧下	直線	79%	0.03	0.76	
門歯	回転	直線	61%	-0.89	0.76	
門歯	トルク	直線	67%	0.21	0.63	
小臼歯	回転	直線	47%	0.28	0.63	
臼歯	回転	直線	52%	0.11	0.58	20
前歯	トルク	直線	62%	0.15	0.56	
後方臼歯	拡大	直線	52%	0.11	0.48	
犬歯	圧下	直線	68%	-0.10	0.43	
小臼歯	近心化	直線	52%	0.00	0.30	
犬歯	ティッピング	直線	42%	0.10	0.28	
後方臼歯	トルク	直線	42%	1.50	0.28	
小臼歯	ティッピング	直線	55%	0.35	0.27	
丸歯	回転	直線	39%	-0.14	0.27	
臼歯	遠位化	直線	43%	0.02	0.20	
前歯	挺出	直線	29%	-0.02	0.13	
門歯	挺出	直線	24%	0.02	0.10	

【0030】

一つの実施態様において、データ駆動アナライザーを適用しうる。これらのデータ駆動アナライザーには、パラメトリック統計モデル、ノンパラメトリック統計モデル、クラスター形成モデル、最近隣モデル、回帰法、および工学的（人工的）ニューラルネットワークなど、多数のモデルを組み込みうる。作業の前に、一回以上の訓練セッションを使用してデータ駆動アナライザーまたはモデルを作成する。これらのセッションでのアナライザーまたはモデルの作成に使用するデータは、一般に訓練データと呼ばれる。データ駆動アナライザーは、訓練用の例のみを吟味することで作成されるため、訓練データの選択は、データ駆動アナライザーの精度および学習速度に著しく影響しうる。これまでに使用した一つのアプローチでは、訓練目的のための試験セットと呼ばれる別個のデータセットが生成された。試験セットは、モデルまたはアナライザーの訓練データに対する過度の適合を避けるために使用される。過度の適合とは、アナライザーが訓練データをあまりによく記憶しているため、想定していないデータを適合または分類できない状況を意味する。一般に、アナライザーまたはモデルの作成中に、アナライザーの性能が試験セットに対して試験される。アナライザーまたはモデルのパラメータの選択は、試験セットの分類におけるアナライザーの性能が最適な点に到達するまで反復的に実施される。この時点で、訓練プロセスが完了する。独立した訓練および試験セットの使用に対する代替策は、相互検証と呼ばれる方法の使用である。相互検証は、パラメトリックアナライザー用のパラメータ値またはノンパラメトリックアナライザー用のモデルを決定するために使用できる。相互検証では、単一の訓練データセットが選択される。次に、反復プロセスで、訓練データの異なる部分を試験セットとしてアナライザーに提示することにより、多数の異なるアナライザーまたはモデルが作成される。次に、すべてのモデルまたはアナライザーの性能が総合的に評価され、この総合的な性能に基づきパラメータまたはモデルの選択が決定される。

相互検証アプローチでは、アナライザーまたはモデルは、一般に決定された最適なモデル構造を使用したデータにより再訓練される。

【0031】

一つの実施態様において、データマイニングソフトウェア3（図1A）は、索引用にデータベース2（図1A）上のデータを取り込む「スパイダー」または「クローラー」としうる。一つの実施態様において、データ内のパターンを検出するためにクラスタリング演算が実施される。別の実施態様において、ニューラルネットワークは歯科治療パターンの認識においてかなり効果であるため、それぞれのパターンを認識するためにニューラルネットワークが使用される。治療の特徴がいったん特性付けされると、ニューラルネットワークは次に入力された歯科情報を、とりわけニューラルネットワークの認識装置によって既知の格納された治療語彙のテンプレートと比較する。認識モデルには、とりわけ、隠れマルコフモデル（HMM）、ダイナミックプログラミングモデル、ニューラルネットワーク、ファジー論理、またはテンプレート照合機などが含まれる。これらのモデルは単独でまたは組み合わせて使用しうる。

10

【0032】

ダイナミックプログラミングでは、N点を通ったM「フレーム」の考えられるすべての経路が考慮されるが、任意の所定のフレームkに対する任意の点iからその次のフレームk+1の任意の点jまでに遷移するための指定コストを条件とする。現在の点から次の点までの最適な経路は、その点を通して発生する事柄とは独立しているため、i(k)までのj(k+1)で終わる経路の最小合計コスト[i(k), j(k+1)]は、その遷移自体のコストに、i(k)までの最小経路のコストを加えたものである。考えられる直前のコラムおよび現在のコラムの累積コストが含まれるように、先行する経路の値は、M×Nアレイ内に格納できること、および累積されたコストは2×Nアレイに格納できることが望ましい。ただし、この方法では、かなりの計算用のリソースを必要とする。

20

【0033】

ダイナミックプログラミングでは、途方もなく膨大な量の計算を必要とする。認識装置が一連のフレームと一連のノードモデルとの間の最適な時間的整合を見つけるためには、ほとんどのフレームを多数のノードモデルに対して比較する必要がある。ダイナミックプログラミングに必要な計算量を減少する一つの方法は、プルーニングの使用である。プルーニングによって、部分的な確率スコアがその比較が所定の閾値を下回った場合に、所定の治療モデルに対して歯科治療の情報の所定部分のダイナミックプログラミングは打ち切られる。これにより計算が大いに減少する。

30

【0034】

ダイナミックプログラミングを一般化したものと考えられる隠れマルコフモデルは、望ましい実施態様において、O(1)、O(2)、...O(t)、...、O(T)の発生率を評価するために使用されるが、ここで、それぞれの観測O(t)は、VQアプローチのもとでの離散的な記号または連続的なベクトルのいずれかである。一連の観測は、直接は観測できない状態遷移を持つ元になるマルコフ連鎖の確率的関数としてモデル化されうる。

【0035】

好ましい実施態様において、マルコフモデルは、一連の治療観測の確率をモデル化するために使用される。状態間の遷移は、遷移行列 $A = [a(i, j)]$ で表現される。遷移行列のそれぞれのa(i, j)条件は、モデルが状態iにあるとして、遷移を状態jにする確率である。モデルの出力シンボルの確率は、一組の関数 $B = [b(j)]$ により表現されるが、ここで出力シンボル行列のb(j)条件は、モデルの状態がjである場合に特定の値O(t)について評価したときに観測O(t)を出力する確率を返す関数である。最初の状態は、マルコフ連鎖の初期のフレームについて、初期的な状態であるという制約が常にあり、定められた組の左から右への状態遷移のみが可能である。予め定めた最終状態が定義され、そこからは他の状態への遷移は発生しえない。

40

【0036】

一つの実施態様において、遷移は、両びある状態になる、またはその次の二つの状態の

50

うちどちらかになるものに制限される。こうした遷移は、モデル内で遷移確率として定義される。例えば、現時点で状態2に特徴番号のフレームを持つ治療パターンは、再び状態2になる確率 $a(2, 2)$ 、状態3になる確率 $a(2, 3)$ および状態4になる確率 $a(2, 4) = 1 - a(2, 2) - a(2, 3)$ を持つ。状態1になる確率 $a(2, 1)$ または状態5になる確率 $a(2, 5)$ はゼロで、また確率 $a(2, 1)$ から $a(2, 5)$ までの合計は1である。望ましい実施態様は、現在の状態へまたはその次の二つの状態へのフローグラフに制限されるが、当業者であれば、より柔軟性の高い遷移の制限を持つHMMモデルを作成しうる。ただし、それでも任意の状態からの遷移のすべての確率の合計は1となる必要がある。

【0037】

モデルのそれぞれの状態において、現在の特徴フレームは、予め定義された一組の出力シンボルのいずれかにより識別されるか、または確率的にラベル付けされる。この場合、出力シンボルの確率 $b(j) = O(j)$ は、特徴フレームのシンボルが $O(j)$ であるモデルにより割り当てられた確率に対応する。モデルの配列は、遷移確率の行列 $A = [a(i, j)]$ であり、 $B = [b(j) = O(j)]$ を計算する技法である。

【0038】

一つの実施態様において、マルコフモデルは、多数の一連の訓練パターンから基準パターン用に形成され、出力シンボルの確率は多変量のガウス関数確率密度である。歯科治療の情報は、特徴抽出器内を通過する。学習中、結果的に生じる特徴ベクトル系列が、パラメータ推定器により処理され、その出力が隠れマルコフモデルに供給される。隠れマルコフモデルは、一組の基準パターンテンプレートを導き出すために使用されるが、それぞれのテンプレートは、基準の治療パターンの認識セット内で識別されるパターンを表すものである。マルコフモデルの基準テンプレートは次に、それぞれのマルコフモデルの基準パターンテンプレートから観察が生成される確率を基に、一連の観察を基準パターンの一つに分類するために利用される。認識中に、未知のパターンを尤度計算機内で最も高い確率を持つ基準パターンとして識別できる。

【0039】

HMMテンプレートは多数の状態を持つが、それぞれが離散的な値を持つ。ところが、治療パターンの特徴は単一の値ではなく動的パターンを持つことがあるため、一つの実施態様においてHMMの前端にニューラルネットワークを付加することで、動的な値を持つ状態を表す能力が付与される。ニューラルネットワークの入力層は、入力ニューロンを含む。入力層の出力は、中間層にあるすべてのニューロンに配布される。同様に、中間層の出力は、すべての出力ニューロンに配布されるが、この出力ニューロンは、HMMの内部状態と一対一の対応をする。ところが、それぞれの出力は、それ自体に、または他の出力に対する遷移確率を持ち、こうして修正されたHMMが形成される。こうして形成されたHMMのそれぞれの状態は、特定の動的信号に応答する能力があり、結果的にさらに複雑なHMMとなる。別の方法として、ニューラルネットワークはHにMアーキテクチャの遷移確率に頼ることなく単独で使用できる。

【0040】

図1Aの出力ストリームまたは結果4は、医師による歯科用装置の設計および/または用途の改善のためのフィードバックとして使用される。例えば、データマイニングの結果を利用して、段階的なアプローチに基づく性能の評価、治療アプローチに基づく装置性能インデックスの比較、および歯上での異なるアタッチメント形状および位置を比較した性能の評価を行うことができる。

【0041】

大規模なクラスターの治療転帰についての歯固有の効果および製品性能を研究する能力により、二つ以上のケース母集団間の統計的に有意な比較ができるようになる。研究した二つのクラスターに治療アプローチ、装置設計、または製造手順の差異が含まれている場合には、データ出力によって示された製品の性能において見られる差異は、そのアプローチ、設計、または製造手順によるものである可能性がある。最終結果は、新しく大きな種

10

20

30

40

50

本サイズからの客観的な計測可能データを用いた性能データに基づき、臨床医または製造者のいずれかが、製品の設計および用途を最適化する能力を得ることのできるフィードバック機構である。

【0042】

個別矯正治療の理論は、はく一般には認められておらず、また実際の治療および転帰は、患者数数の測定、未測定の数値との関係、および変動する患者の遵守などについての追加的な不確実さに左右される。その結果、一人の患者に対して、別の臨床医が別の治療計画を優先することもある。このように、普遍的に受け入れられる「正しい」治療計画はないため、単一の治療計画がどの臨床医にも受け入れられるとは限らない。

【0043】

次のいくつかの実施形態では、治療パラメータを臨床医の意向に応じて調整することにより、より多くの臨床医からの満足、そしてより多くの患者からの満足を得ることができる。システムでは、臨床医の治療歴を統計的に観察することにより治療優先度の差異が検出される。例えば、同程度の難症の場合に、臨床医が小臼歯の抜去をどの程度の確率で実施するかはさまざまに異なる。所定の臨床医について十分な過去の治療記録が存在しない場合でも、地理的な位置、訓練に由来する変数、または実際の規模や性質など、その他の予測変数についてクラスター化を実施して、治療パラメータにおける統計的に有意な差異を観察することもできる。

【0044】

データマイニングにより、同程度の患者において異なる臨床医が達成した異なる治療転帰について、統計的に有意なパターンを発見することができる。例えば、クラスター化された患者の症例は、ある臨床医では他の臨床医と比較して、体系的に合併症が少ない可能性がある。データマイニングツールにより検出されたこうした差異は、比較的実績の低い臨床医へのフィードバックのためのフラグとして、また比較的実績の高い臨床医によって使用される治療差異の検察のためのフラグとして使用することができる。

【0045】

一つの実施形態において、それまでに完了した症例についてクラスタリング技法が使用され、治療の合併症および転帰が分類される。次に、それぞれのクラスター内でリスクについての確率モデルが構築される。次に新しい症例が、治療前の変数の類似性に基づき、同じクラスターに配分される。次に、治療の転帰および合併症のリスクを予測するために、治療を完了したそれぞれの患者クラスター内でのリスクが新しい症例で使用される。次に、高リスクの患者には、おそらく治療計画または追加的臨床処置における追加的な手順など、特別な注意を促すためのフラグが立てられる。

【0046】

別の実施形態において、医師は観察された臨床医の治療優先度により群にクラスター化され、治療パラメータは、観察された治療優先度とより近く一致するようにそれぞれの群内で調整される。次に、観察された履歴を持たない医師は、既知の治療歴のあるクラスター内の医師の既知の変数との類似性に基づき、群に割り当てられる。

【0047】

図1 Eは、クラスター化の方法についての概略的なプロセスを示す。プロセスではまず、治療優先度、転帰、および人口統計や業務の変数などの臨床医の治療歴に基づき、治療方法がクラスター化される(20)。次にシステムにより、それぞれのクラスター内で好ましい臨床上の制約がモデル化される(22)。次に、人口統計および業務の変数に基づき、システムにより、20のクラスターに治療歴のない臨床医が割り当てられる(24)。一つの実施形態において、システムは、それぞれのクラスター内でプロセス100(図2 Aを参照)をクラスター固有の臨床上の制約を使用して個別に実行する(26)。さらに、システムは、新規の治療および転帰データが到着したときに、クラスターおよびクラスター割当を更新する(28)。

【0048】

図1 Fは、治療案を生成するためのデータマイニングシステムの別の実施形態を示す。

まず、システムは、詳細な追跡検査データ（複数の高解像度スキャンなど）、診断、治療パラメータおよび転帰、および人口統計変数に基づき、詳細な追跡検査のある患者病歴を識別／クラスター化する（40）。それぞれのクラスター内で、システムは意図した位置と追跡検査データから得られた実際の位置との間の差異をモデル化する（42）。さらに、それぞれのクラスター内で、システムは特別な望ましくない転帰についてリスクをモデル化する（44）。第2階層のクラスターリングで、詳細な追跡検査データの少ない患者病歴が、使用可能な変数に基づきクラスター化される。第2階層のクラスター化は、第2階層のクラスターのうち数の多い方が、それぞれ40で計算されたクラスターに割り当てられるか、またはそうでなければ新規クラスターと見なされうる程度に十分部分的である（46）。システムは、手順46のクラスターからの追加記録によって手順42のモデルを改良する（48）。また、手順48のクラスターからの追加記録によって手順44のモデルを改良できる（50）。第3階層のクラスター化では、システムは次に、診断、人口統計、および初期健康診断に基づき、新規患者を手順46のクラスターに割り当てる（52）。それぞれの手順52のクラスター内で、システムは意図した位置と実際の位置との間の期待される差異をモデル化する（54）。手順54から、システムは関連する場合（232および250など、図2B）には更新された期待される位置の情報を使用する（67）。さらに、それぞれの手順52のクラスター内で、システムは望ましくない転帰のリスクをモデル化する（56）。手順56から、システムはまた、特別な注意および臨床上の制約（204および160など、図2Bおよび2A）を必要とするケースにフラグを立てる（69）。次にプロセスは、それぞれの手順52のクラスターについて治療計画をカスタマイズする（58）。次に、システムはデータを反復的に収集し（61）、患者病歴の識別／クラスター化に一巡して戻る（40）。さらに、クラスターは更新および再割当をすることができる（63）。また、システムは、追加的な追跡検査分析について良好な表示のないクラスターの連続的な識別も行う（65）。

【0049】

臨床治療の場面において、歯の移動の各段階で考えられる全面的に高解像度のデータを手入または処理することは費用効果の良い方法ではない。例えば：

- ・患者は、臨床医を訪れるたびに、異なる複数の装置を使用することになりうる。
- ・ある患者は、一組の歯の印象のみを提出することになりうる。
- ・放射線への懸念から、使用するCTまたはX線スキャンの回数が制限されることもありうる。
- ・一般に臨床医は、毎回の訪問時にそれぞれの歯についての詳細な空間情報を報告する時間がない。

【0050】

これらおよびその他の制限事項により、部分的な情報に基づき治療計画を行う必要がある。

【0051】

一つの実施態様において、不足した情報は患者間の予測的な特性と、詳細な追跡検査の情報が収集される代表的な標本を一致させることで実質的に概算することができる。この場合には、予想度の低い治療転帰に基づき患者にフラグが立てられ、追加的な組の歯の印象の収集および分析など、追跡検査の情報が要請される。次に、その結果得られる情報が、患者のクラスターおよび後からそのクラスターに割り当てられた患者の治療を調整するために使用される。

【0052】

一般に、患者データがスキャンされ、上述のデータマイニングシステムを使用してデータが分析される。治療計画がシステムによって提案され、歯科医師による承認が求められる。歯科医師は、その治療計画の承認または修正の要請を行うことができる。治療計画が承認されると、装置の製造を開始できる。

【0053】

図2Aは、患者の歯列矯正治療のための装置の再配置の定義および生成のための機能的

10

20

30

40

50

なプロセス100の一般的な流れを示したものである。説明するとおり、プロセス100には本発明の方法が含まれ、またこれは本発明の装置にとって適切である。本プロセスの計算的な手順は、一つ以上の従来のデジタルコンピュータ上で実行するためのコンピュータプログラムモジュールとして、有利に実装される。

【0054】

初期的な一つの手順として、患者の歯または口の組織のモールドまたはスキャンを行う(110)。この手順には一般に、患者の歯および歯茎の成型が関与し、それに加えてまたは代替的にワックスバイト、直接接触スキャニング、X線画像、断層画像、超音波画像、および歯、顎、歯茎およびその他の歯科矯正学的に関連性のある組織の位置および構造に関する情報を入力するためのその他の技術が関与することもある。そのようにして入手されたデータから、初期的な(つまり治療前の)患者の歯およびその他の組織の配列を表すデジタルデータセットが導き出される。

【0055】

初期的なデジタルデータセットには、スキャン作業からの生データと、生データから導き出された表面モデルを表すデータの両方が含まれるが、これが互いに組織の構成要素を細分化するために処理される(手順120)。特に、この手順において、個別の歯冠をデジタル表現したデータ構造が生成される。有利なことに、測定または推定された隠れた表面および歯根構造、ならびに周囲の骨および軟組織を含めた、歯全体のデジタルモデルを生成できる。

【0056】

望ましい歯の最終位置(つまり、望ましいおよび意図する歯列矯正治療の最終結果)は、臨床医から処方形式で受け取ったり、基本的な歯列矯正の原理から計算したり、または臨床の処方を基に外挿入により計算することもできる(手順130)。望ましい歯の最終位置についての情報および歯自体のデジタル表現により、それぞれの歯についての最終位置および表面の幾何学形状を指定して(手順140)、望ましい治療の終了時での歯の完全なモデルを形成することができる。一般に、この手順において、それぞれの歯の位置が指定される。この手順の結果は、推定的に安定した組織に対するモデル化した歯の歯科矯正学的に正しい再配置を表す一組のデジタルデータ構造である。歯および組織はどちらもデジタルデータとして表現される。

【0057】

それぞれの歯について開始位置および最終位置の両方が揃うと、プロセスでは次に、それぞれの歯の移動についての歯の経路を定義する。一つの実施形態において、歯の経路は、歯がその最初の位置からその望ましい最終位置へと最も早い方法で移動し、歯を移動させる往復の量が最も小さくなるように、全体として最適化される。(往復とは、望ましい最終位置への直接方向以外の任意の方向への歯の任意の移動である。往復は、歯が互いを通過して移動できるように時として必要である。)歯の経路が細分化される。セグメントは、セグメント内でのそれぞれの歯の移動が、直線および回転並進の剛体の境界内にとどまるように計算される。このようにすることで、それぞれの経路セグメントの最終点は、臨時的に実行可能な再配置を構成することができ、またセグメントの最終点全体は、臨時的に実行可能な一連の歯の位置を構成することができ、順序の上での一つの点から次の点への移動による歯の衝突が起こらない。

【0058】

直線および回転並進の剛体の境界は、一つの実施例において、使用する装置の性質に基づき、デフォルト値で初期化される。より厳格的に調節された境界値は、患者固有のデータを使用して計算できる。境界値は、後算計算(手順170、後述)の結果に基づき更新することもできる。これによって、一つ以上の歯の経路に沿った一つ以上の点で、その経路によって、その時点で存在する歯および組織の構成に対して生成されうる力が、一つ以上の歯の経路セグメントにより表現される再配置を構成できないことを判断することができる。この情報を用いて、細分化された経路を定義するサブプロセス(手順180)により、経路または影響のあるサブ経路の計算ができる。

【0059】

プロセスのさまざまな段階で、また特に細分化された経路が定義された後、プロセスでは、患者の治療に責任を持つ臨床医との対話ができ、一般にはそのような対話を行う（手順160）。臨床医との対話は、歯の位置およびモデル、ならびにサーバーコンピュータまたはプロセスからの経路情報を受信するようにプログラムされたクライアントプロセスを使用して実行でき、そこでプロセス100の他の手順が実行される。クライアントプロセスは、臨床医が位置および経路のアニメーションを表示できるように、また臨床医が一つ以上の歯の最終位置をリセットでき、また細分化された経路に適用される制約を指定できるように有利にプログラムされる。臨床医がこうした何らかの変更をした場合には、細分化された経路を定義するサブプロセス（手順150）が再び実行される。

【0060】

細分化した歯の経路および関連する歯の位置データが、経路セグメントにより指定された手順で定義した治療経路上で歯を移動させることになる。臨床的に許容できる装置の配置（または装置の配置内の連続的な変化）を計算するために使用される（手順170）。それぞれの装置の配置は、その患者に対する治療経路に沿った手順を表す。それぞれの離散した位置に、その前の別個の手順によって達成済みの歯の位置からの直線の歯の移動または単純な回転が続きうように、また患者の生歯への歯科矯正学的に最適な力量がそれぞれの手順に必要な再配置の量に関与するように、手順が定義され計算される。経路の定義手順と同様に、この装置の計算手順には、臨床医との対話、さらには反復的な対話が含まれる（手順160）。この手順を実装するプロセス手順200の演算については、以下にさらに詳しく説明する。

【0061】

装置の定義が計算されると、プロセス100は、製造手順（手順180）に進むことができ、そこでプロセスにより定義された装置が製造されるか、装置の配置または装置の配置への変更を定義するための手順または自動のプロセスにより使用できる、電子のまたは紙媒体での情報が作成される。

【0062】

図2Bは、上記に言及した米国特許番号第5,975,893号で説明した種類の重合体シェラライナー用の装置演算手順（図2A、手順170）を実装するプロセス200を示したものである。プロセスへの入力には、初期アライナー形状202、各種のコントロールパラメータ204、および現在の治療経路セグメント206の終了時での望ましい歯の最終配置が含まれる。その他の入力には、顎の中に配置された歯のデジタルモデル、顎組織のモデル、および初期アライナー形状の明細およびアライナー材料の明細が含まれる。この入力データを使用して、プロセスは、アライナーを歯の上に配置した状態のアライナー、歯および組織の有限要素モデルを作成する（手順210）。次に、プロセスは有限要素分析をアライナー、歯および組織の複合有限要素モデルに適用する（手順220）。この分析は、終了条件に到達するまで実行されるが、この時点で、プロセスは現在の経路セグメントについて歯が望ましい最終位置に到達したかどうか、または、望ましい最終位置に十分近い位置かどうかを評価する（手順230）。歯が許容できる最終位置に到達していない場合には、プロセスは新しい候補のアライナー形状を計算する（手順240）。許容できる最終位置に到達した場合には、有限要素分析により計算された歯の動きが評価され、歯列矯正で許容できるかどうか判断される（手順232）。許容できない場合には、プロセスは再び新しい候補アライナー形状の計算を続行する（手順240）。動きが歯列矯正で許容可能であり、かつ歯が許容できる位置に到達した場合には、現在のアライナー形状が前に計算されたアライナー形状と比較される。現在の形状がこれまでで最も適切な解決策である場合（決定手順250）は、その形状がこれまでで最も適切な候補として保存される（手順260）。そうでない場合は、考えられる中間結果としてのオプションの手順に保存される（手順252）。現在のアライナー形状がこれまでで最も適切な候補である場合、プロセスはその形状が許容されるのに十分に適切かどうかを判断する（決定手順270）。そうである場合、プロセスは終了する。そうでなければプロセスは

10

20

30

40

50

繼續し、別の像補形状を計算し（手順240）、分析を行う。

【0063】

有限要素モデルは、さまざまなベンダー製のコンピュータプログラムアプリケーションソフトウェアを使用して作成できる。立体幾何学モデルの作成には Autodesk, Inc.（カリフォルニア州サンラファエル）製のAutoCAD(R)ソフトウェア製品など、コンピュータ支援エンジニアリング(CAE)またはコンピュータ支援設計(CAD)プログラムを使用できる。有限要素モデルの作成およびその分析には、CADSI（アイオワ州コーラルビル）製のPolyFE4製品、Parametric Technology Corporation（マサチューセッツ州ウォルサム）製のPro/Mechanicaシミュレーションソフトウェア、Structural Dynamics Research Corporation（SDRC）（オハイオ州シンシナティ）製のI-DEAS設計ソフトウェア製品、およびMacNeal-Schwendler Corporation（カリフォルニア州ロサンゼルス）製のMSC/NASTRAN製品を含めた、多数のベンダーからのプログラム製品を使用できる。

【0064】

図3は、プロセス200の手順210（図2 [a]）を実行するために使用できる有限要素モデルを作成するプロセス300を示す。モデル作成プロセス300への入力には、歯および組織を描写する入力データ302およびアライナーを描写する入力データ304が含まれる。歯を描写する入力データ302には、歯のデジタルモデル、剛体組織補綴のデジタルモデル（入手できる場合）、基質組織（そこに歯が埋め込まれ、またそれらの組織の特定のモデルがない時にはそこに歯が結合される）をモデル化する粘性の高い流体についての形状および粘性の明確、およびモデル要素の移動できない境界を指定した境界条件が含まれる。一つの実施例において、モデル要素には、歯のモデル、粘性の高い埋め込み用基質流体のモデル、および事実上、モデル化した流体を保持する剛体容器を定義する境界条件のみが含まれる。流体の特性は、例えば年齢の関数としてなど患者クラスターごとにさまざまに異なることに留意されたい。

【0065】

歯および組織の初期的な配置の有限要素モデルが作成され（手順310）、後のプロセスの反復での再使用のために任意にキャッシュされる（手順320）。歯および組織に行われるのと同様に、複合体シェルアライナーについて有限要素モデルが作成される（手順330）。このモデルの入力データには、アライナーが作成される材質を指定するデータ、およびアライナーの形状（データ入力304）が含まれる。

【0066】

次に、モデルアライナーが計算的に操作され、モデル領域にモデル化された歯に装載され、定位型アライナーの複合モデルが作成される（手順340）。オプションとして、歯に取り付ける任意の金具を含めて歯の上に接するようにアライナーを装載させるために必要な力が計算され、特定のアライナー配置の許容性を測定する際の性能指数として使用される。オプションとして、使用される歯の位置は、以前の治療手順およびその他の患者情報に基づく確率モデルから推測したものである。ただし、より単純な代替方法では、アライナーの装荷は、歯の上から接めるために十分大きくするために十分な力をその内部にかけることによりモデル化し、モデルアライナーを複合モデル内のモデル歯に装荷し、剛体に剛体とするモデル歯および組織の条件を設定し、およびモデルアライナーが固定歯の上の位置に装荷されるようにモデル化される。アライナーおよび歯の表面は、この段階で摩擦なしに相互作用するようにモデル化され、有限要素分析によって複合モデルについての解決策の獲得、また与んだアライナーの影響下での歯の移動の計算が始める前に、アライナーモデルがモデル歯の上から正しい初期的な配置を達成するようになる。

【0067】

図4は、アライナー計算（プロセス200の手順240、図2B）で使用できる、次のアライナーの形状を計算するためのプロセス400を示す。次の候補アライナー形状を計算するために、さまざまな入力を使用される。これらには、複合モデルの有限要素分析の

10

20

30

40

50

解決により生成されたデータの入力402および現在の歯の経路で定義されたデータ404が含まれる。有限要素分析から導き出されるデータ402には、シミュレートした歯の再配置が起こる実際の経過時間、分析により計算される実際の歯の最終位置、それぞれの歯にかかる最大の直線力およびねじり力、それぞれの歯の最大の線速度および角速度が含まれる。入力経路情報から、入力データ404には、現在の経路セグメントについての歯の初期的な位置、現在の経路セグメントの終了時での望ましい歯の位置、それぞれの歯についての最大許容変位速度、およびそれぞれの歯についてそれぞれの種類の最大許容力が含まれる。

[0068]

それ以前に評価したアライナーが、一つ以上の制約に違反していることが判明した場合は、追加的な入力データ406をプロセス400によって任意に使用することができる。このデータ406には、以前に評価されたアライナーが違反している制約、およびその何らかの最適に及ばない性能を識別する情報が含まれる。さらに、それ以前の歯科装置が違反している制約、およびその最適に及ばない性能に関連する入力データ408をプロセス400によって使用することができる。

[0069]

初期的な入力データを受け取ると(手順420)、プロセスはモデル内の移動可能な歯について反復する。(一部の歯は、不動として識別され、不動として制約されうる。)それ以前に選択されたアライナーによる現在選択されている歯の移動の最終位置およびダイナミクスが許容できるものである場合(決定手順440の「yes」分岐)、プロセスは、すべての歯が考慮されるまで(手順430から手順470への「終了」分岐)、考慮するために次の歯を選択することで続行する(手順430)。そうでない場合(手順440の「no」分岐)、現在選択されている歯の領域内でのアライナーの変化が計算される(手順450)。次にプロセスは、説明したとおり、次の現在の歯の選択(手順430)に戻る。

[0070]

すべての歯が考慮されると、アライナーに対して行われた総合的な変更が、それ以前に定義された制約に対して評価される(手順470)が、その例についてはすでに言及した。制約は、製造可能性などの、さまざまなさらなる考慮事項に関して定義することができる。例えば、制約は、アライナー材料の最大または最小の厚みを設定するために、あるいは歯冠をアライナーがカバーする最大または最小の範囲を設定するために定義できる。アライナーの制約が満たされた場合、変更が適用され、新しいアライナー形状が定義される(手順490)。そうでない場合、アライナーに対する変更は、制約を満たすように更新され(手順480)、更新された変更が新しいアライナー形状を定義するために更新される(手順490)。

[0071]

図5Aは、現在の歯の領域内でのアライナーの変更を計算する手順(手順450)の実施例を示したものである。この実施例において、前に説明した入力データ(入力454)および規則452の規則ベースにある一組の規則452a~452nを処理するために、ルールベースの推論エンジン456が使用される。推論エンジン456および規則452により、実際の入力データに適用されたときに、現在の歯の領域内でアライナーに対して加える変更を指定する一組の出力結果を生成する製造システムが定義される(出力458)。

[0072]

規則452a~452nは、条件を定義する「if」部分と、条件が満たされた場合にアサートする結果または行動を定義する「then」部分の、従来の二つの部分から成る形式を持つ。条件は単純なものでもよく、または複数のアサーションの複雑な論理積または論理和でもよい。アライナーに対して加える変更を定義した規範的な一組の規則には、歯の移動が早すぎる場合にアライナーの望ましい動作の方向の反対側に推進材料を加える、歯の移動が遅すぎる場合に歯の位置を逐次修正するために推進材料を加える、歯が望

10

20

30

40

50

正しい最終位置に歯端に達しない場合に過剰修正するために材料を加える。正しい最終位置を歯端に達り達している場合にアライナーを深くする材料を加えて歯を移動させてそれに合うようにする。最大量の推進材料を加えた場合に歯の再配置を過剰修正する材料を加えて推進材料は加えない。歯の移動が正しい方向以外方向である場合に歯の方向が変わるように材料の除去および追加をする、といったものが含まれる。

【0073】

図5Bおよび5Cに図示した代替的な実施態様において、漸進的な差異ではなく、アライナーの絶対配置が計算される。図5Bに示すとおり、プロセス460は現在の歯の領域内のアライナーの絶対配置を計算する。すでに説明した入力データを使用して、プロセスは現在の歯についての正しい最終位置と達成済みの最終位置との間の差異を計算する（462）。歯の中心軸と歯茎組織のレベルとの交差点を基準点として使用して、プロセスは動作の6自由度すべて、すなわち、3度の並進および3度の回転の差異の補体を計算する（手順464）。次に、図5Bに示すとおり、モデル歯をその正しい最終位置から補体の差異の量だけ移動させる（手順466）。

【0074】

図5Dは、実際のモデルアライナー60を実際のモデル歯62にかぶせたものの平面図を示す。歯はその正しい最終位置内にあり、またアライナー形状はその最終位置にある歯により定義される。有限要素分析により計算された実際の歯の移動は、歯を正しい位置62ではなく位置64に配置したものとして図示されている。計算した最終位置の補体は、位置66として図示している。プロセス460の次の手順（図5B）では、前の手順（466）で計算された移動したモデル歯の位置（手順466）により、このプロセスの反復で現在の歯の領域内にアライナーが定義される。現在の歯の領域内のこの計算したアライナーの配置は、位置66にあるモデル歯の再配置により定義される形状68として図5Dに示されている。

【0075】

規則452として実装することもできる（図5A）、プロセス460における異なる手順を図5Cに示す。現在の歯をその中心軸の方向に移動させるために、プロセスにより歯を移動させることを決定した（手順465）場所から離れた領域では、アライナーのその領域を定義するモデル歯のサイズ、またはその歯についてアライナー内に許容される空間の量が小さくなる。

【0076】

図6に示すとおり、治療経路の手順についてアライナーの形状を計算するプロセス200（図2B）は、一連のアライナーの形状を計算するプロセス600の一つの手順である。このプロセス600は初期化手順602で始まり、ここで、初期データ、コントロールおよび制約の値が入手される。

【0077】

アライナーの配置が治療経路のそれぞれの手順またはセグメントについて見つかる（手順604）。プロセス600はすべてのアライナーが許容可能であるかどうかを判断する（手順606）。許容可能な場合、プロセスは完了する。そうでない場合は、一連の許容可能なアライナーを計算する試みにおいて、プロセスは一般の手順610を任意に開始する。まず、アライナーに対する一つ以上の制約が緩和される（手順612）。次に、許容できないアライナーを持つそれぞれの経路セグメントについて、新しい制約を用いてアライナー成型のプロセス200（図2B）を実施する（手順614）。これによってすべてのアライナーが許容できるものになれば、プロセス600が終了する（手順616）。

【0078】

アライナーは、さまざまな理由で許容できないこともあるが、そのいくつかはプロセスにより処理される。例えば、不可能な何らかの移動が必要な場合（決定手順620）、つまり、形状の計算プロセス200（図2B）で、そのための規則または調節が利用できない演算を実施する必要がある場合、プロセス600はハードウェアアタッチメントの配置を計算するモジュールの実行を対象の歯に対して実行し、それに対して力を適用し、必要

な動きを達成することができる(手順640)。ハードウェアの追加は、局部的以上の効果を持ちうるため、ハードウェアをモデルに追加する際には、プロセス600の外側ループを再び実行する(手順642)。

【0079】

不可能な移動が必要でない場合(手順620の「no」分岐)、プロセスはコントロールを経路定義プロセス(手順150、図2Aなど)に転送し、許容できないアライナーを持つ治療経路のその部分の再定義をする(手順630)。この手順には、歯の動きの増分の変更、つまり治療経路上での細分化の変更、治療経路内の一つ以上の歯で従う経路の変更、またはその両方が含まれる。治療経路が再定義された後、プロセスの外側ループが再び実行される(手順632)。再計算は、有利なことに治療経路の再定義された部分にあるアライナーのみの再計算に限定される。すべてのアライナーがこれで許容可能となれば、プロセスが終了する(手順634)。許容できないアライナーがまだ残っている場合、プロセスは許容可能な組のアライナーが見つかるまで、または反復の限度に到達するまで繰り返すことができる(手順650)。この時点で、また同様に追加的ハードウェアの計算(手順640)など本明細書に記載したプロセス内の他の時点で、プロセスは、支援を要するために臨床医または技術者など人間のオペレーターとの対話ができる(手順652)。オペレーターが提供する支援には、歯または骨に取り付ける適切なアタッチメントの定義または選択、追加する弾性要素の定義、治療経路の一つ以上のセグメントのために必要な力の提供、代替的な治療経路の提案(歯の動作経路において、または治療経路の細分化のどちらかにおいて)、ならびに有効な制約からの逸脱またはその緩和の承認などが含まれる。

【0080】

上述したとおり、プロセス600は、さまざまな項目の入力データにより定義およびパラメータ化できる(手順602)。一つの実施例において、このデータの初期化および定義には、全体的プロセスの外側ループについての反復の限度、アライナーが十分に適切かどうかを判断するために計算される性能指数の明細(図2B、手順270を参照)、アライナー材料の明細、アライナーの形状または配置が許容されるために満たす必要のある制約の明細、歯列矯正で許容可能な力および位置決め動作および速度の明細、初期治療経路(これには、それぞれの歯についての動作経路および治療経路のセグメントへの細分化が含まれ、それぞれのセグメントは一つのアライナーにより達成される)、歯またはそれ以外に取り付けられた任意のアンカーの形状および位置の明細、およびその内部またはその上に歯が位置する顎の骨およびその他の組織についてのモデルの明細(説明中の実施例において、このモデルは、その内部に歯が埋め込まれ、また流体のための容器を実質的に定義する境界条件を持つ粘性の差異流体のモデルから成る)といった項目が含まれる。

【0081】

図7は、統計的歯根モデルの機能的な図式である。この図に示すとおり、前述のスキャンプロセスを使用して、スキャンされた歯の上部分701が識別される。次に歯冠を含め、スキャンされた上部分にモデル化された3D歯根が追加される。歯根の3Dモデルは、統計的にモデル化することができる。歯根702の3Dモデルおよび上部分700の3Dモデルが一つになり、完全な歯の3Dモデルを形成する。

【0082】

図8は、追加的な歯科情報を使用して改良した、歯根モデリングの機能的な図式を示す。図8において、追加的な歯科情報はX線情報である。歯のX線画像710がスキャンされ、完全な歯の形状の2Dビューが提供される。目標の歯の輪郭が、X線画像内で識別される。図7で作成したモデル712が、追加情報に従って修正される。一つの実施態様において、図7の歯のモデルが変形し、X線データに一致した新しいモデル714が形成される。

【0083】

図9は、歯のCTスキャンの機能的な図式を示す。この実施態様において、歯根は患者の高解像度のCBCTスキャンから直接得られる。次に、スキャンされた歯根は、印象か

10

20

30

40

50

ら得られた歯型に適用するか、またはコーンビーム断層撮影法(CBCT)データから抽出した既存の歯型と共に使用することができる。CBCTの一回のスキャンにより、3Dデータおよび複数形式のX線像のデータが得られる。PVS印象が生成される。

【0084】

一つの実施形態において、コーンビームX線源および2D領域検出器により、患者の歯の立体構造がスキャンされるが、360度の角度範囲およびその全長に沿って、各種方法のうち任意の一つにより行うことが望ましく、ここで領域検出器の位置は歯型に対して固定され、歯型と物体との間の相対的な距離移動および角度移動によりスキャン(放射エネルギーによる物体の照射)が提供される。コーンビーム源のスキャン範囲に沿った多数の線源位置(つまり、「ビュー」)への相対的な移動の結果、検出器により、対応する多数の連続した組のコーンビーム投影データ(本発明では、コーンビームデータまたは投影データとも言う)が得られ、それぞれの組のコーンビームデータは、線源位置のそれぞれにある物体に起因するX線減衰を表す。

10

【0085】

図10は、歯型を切って出てきた歯を表示した機能的なユーザーインタフェースを示すが、これは別の実施形態における歯型情報と共に表示することもできる。それぞれの歯は、適切なハンドルを用いて個別に調整可能である。図10の実施形態において、ハンドルにより、オペレーターは歯を6自由度のある三次元で移動させることができる。

【0086】

歯の移動は、ルートベースのシーケンシングシステム(root-based sequencing system)を用いて部分的にガイドされる。一つの実施形態において、移動は表面積の制約により制約され、一方で別の実施形態において、移動は体積の制約により制約される。

20

【0087】

一つの実施形態において、システムはそれぞれの歯のモデルについて表面積を決定する。次に、システムは移動するすべての歯のモデルについてすべての表面積を合計する。次に、システムはアーチ上のすべての歯のモデルのすべての表面積を合計する。歯の移動のそれぞれの段階について、システムは歯のモデルの移動時に予め定めた面積比率または制約を満たしていることを確認する。一つの実施例において、制約は、移動する歯の表面積が移動する歯を保定するアーチ上の歯の合計表面積よりも少ない面積であることを確保することでもよい。比率が50%など特定の数よりも大きい場合、システムはオペレーターに対してエラー警告を示し、歯の移動速度をより遅くすべきであることを示す。

30

【0088】

別の実施形態において、システムはそれぞれの歯のモデルについて体積を決定する。次に、システムは移動するすべての歯のモデルについて体積を合計する。次に、システムはアーチ上のすべての歯のモデルの合計体積を決定する。歯の移動のそれぞれの段階について、システムは歯のモデルの移動時に予め定めた体積比率または制約を満たしていることを確認する。一つの実施例において、制約は、移動する歯の体積が移動する歯を保定するアーチ上の歯の体積よりも少ない体積であることを確保することでもよい。比率が50%など特定の数よりも大きい場合、システムはオペレーターに対してエラー警告を示し、歯の移動速度をより遅くすべきであることを示す。

40

【0089】

オプションとして、その他の特徴を歯モデルのデータセットに追加して、アライナー内に望ましい特徴が生成される。例えば、デジタルワックスパッチを追加して、窩洞または陥凹を定義して、アライナーと歯または歯の特定の領域との間の空間を維持することが望ましい場合もある。また、デジタルワックスパッチを追加して、波型またはその他の構造形態を定義して、特定の硬質またはその他の構造的性質を持つ領域を作成することが望ましいこともある。再配置構造を製造するためのポジティブモデルの生成に依存する製造プロセスにおいて、ワックスパッチをデジタルモデルに追加することにより、同時に追加されたワックスパッチの幾何学形状を持つポジティブモールドが生成される。これは、アラ

50

ライナーのベース形状の定義、または特定のライナー形状の計算においてグローバルに実施することができる。追加可能な一つの特徴は歯肉縁の周囲のリムで、そこからライナーが製造されるデジタルモデル歯の歯肉縁にデジタルモデルワイヤーを追加することによってこのリムを作成できる。ライナーがデジタル歯のポジティブ物理モデル上で圧力定義重合体物質により製造される時、歯肉縁に沿ったワイヤーによってライナーがその周囲にリムを持つことになり、歯肉縁に沿って追加的な強度が提供される。

【0090】

別のオプションの製造技術において、2枚以上の材料シートがポジティブ歯モデル上に圧力定義され、ここで、そのシート的一方はライナーの尖端弓部(apex arch)に沿って切断され、他方は上部にかぶさる。これにより、歯の縦壁に沿って少なくとも2倍の厚みを持つライナー材料が提供される。

【0091】

ライナーの設計に対して加えることのできる変更は、それを製造するために使用される製造技術によって制約される。例えば、重合体シートをポジティブモデル上に圧力定義することでライナーを作成する場合、ライナーの厚みはシートの厚みにより決定される。結果として、システムは一般に、モデル歯の向き、モデル歯の部分のサイズ、アタッチメントの位置および選択、および材料の追加または除去(例えば、仮想的ワイヤーの追加またはへこみの生成)を変化させて、ライナーの構造を変化させることにより、ライナーの性能を調節する。システムは、一つ以上のライナーを標準厚み以外の厚みのシートから作成するように指定してライナーを任意に調節し、歯に対してより大きなまたはより小さな力を提供することができる。一方、ライナーが急速プロトタイピングプロセス(例えば、ステレオまたはフォトリソグラフィプロセス)により製造される場合、ライナーの厚みは、局所的に変化させることができ、また歯のデジタルモデルを修正することなくリム、へこみ、および波型などの構造的特長を追加できる。

【0092】

システムは、リテーナーおよびブレースなど、より従来の装置の効果をモデル化するために使用することもでき、よって、特定の患者について最適な設計および治療プログラムを生成するために使用される。

【0093】

図11A~11Bは、歯科用装置を配置した場合の歯の初期的な位置、および結果的に生じる望ましくない力のベクトルをそれぞれ図示したものである。図に関して、表示した歯がx方向に沿って顔面方向に移動中の例において、重合体シェルライナーなどの歯科用装置が歯に装着されると、ライナー形状幾何学は予め定めた力が歯にかかるように設定されており、その特定の治療段階についての治療計画に従って歯が再配置される。例えば、図11Bに示すとおり、歯科用装置は、図示したとおり歯に噛み合い歯をx方向に再配置するよう構成されるが、むしろ結果的には、図示したとおり、また矢印で示したとおり、+x/-z方向に予め定めた力がかかることになる。

【0094】

従って、一つの態様において、ライナー形状幾何学は、その力が相殺されるように修正するために、さらに、意図した力が考慮している治療段階についての治療計画に基づく方向にかかるよう、望ましくないが結果的に生じる力のベクトルを最適化することができる。つまり、図11C~11Dは、歯の周囲の望ましくない力のベクトルを相殺するための歯科用装置への逃げの追加、および結果的に生じる歯科用装置による歯への所定の望ましい力の適用をそれぞれ図示したものである。一つの態様において、望ましくない力(例えば、図11Bで矢印により表示)を修正するために、予め定めた逃げ(例えば、限定はされないものの0.1~0.3mm)を提供して、望ましくない力のベクトルが生じる原因となっているライナーと歯との間の接触が回避されるが、例えば上記で考察したx軸に沿ったものなどの望ましい力はそのまま残るようにすることもできる。

【0095】

図11Cに関して、ライナー上に予め定めた逃げは、表示された矢印で図示している

が、それによって、アライナーの幾何学形状を修正することにより、アライナーと歯ましくない力が結果的に生じた場所にある歯との間の噛み合いが除去される。この様に、一つの歯様において、および図11Dに示すとおり、例えば、アライナー形状幾何学を修正することにより、例えばx方向など歯にかかる意図された望ましい力が達成される。

【0096】

図12は、歯科用装置と歯の間のギャップを除去するための追加的な形状の意図を含めた、修正した歯科用装置の幾何学形状を示したものである。図12に関して、アライナー形状幾何学（例えば、上記で図11C~11Dに関連して考察したもの）を修正することで、予め定めた望ましい力がその歯科治療において計画したとおり歯にかかる一方、歯とアライナーとの間、例えば、図12に示すとおり、歯肉部分の近くにギャップまたはポケットが形成される場合もあることに注意すべきである。一つの歯様において、このギャップまたはポケットの生成を説明するために、アライナー形状幾何学をさらに修正または最適化することができ、例えば、アライナーが活発の（つまり伸張した）状態にある時、歯に向かう方向に向けて適切に適合するようにできる。

10

【0097】

図12に関して、形成されたギャップまたはポケットに対処するためのアライナー形状幾何学の最適化は、一つの歯様領域において、アライナー形状が修正される方向に矢印で図示している。その上、ギャップを説明するためのアライナー形状の最適化は、アライナーによって歯にかかる力の方向に潜在的に影響することがあり、そのため、追加的修正または最適化がさらに必要となる場合があることに注意すべきである。

20

【0098】

一つの歯様において、逃げの一つ以上の領域での歯科用アライナー形状幾何学の修正、ならびにゆるいまたはきつい適合についての輪郭の再形成によって、それぞれ望ましい力のベクトルが達成されるが、一方で摩擦およびその他の望ましくない力のベクトルを避けることで、歯の状態を治療するためのアライナー形状の改善およびカスタム化が実現される。

【0099】

一つの歯様において、歯科用装置の製造で高速プロトタイピングにより形成されたモールドをビルドプロセス中に調整して望ましい幾何学形状を形成することもでき、これには例えば、予め定めたまたは関連するモールド位置での逃げおよび／または突出のデジタル形式での追加および／または除去などがある。

30

【0100】

図13は、歯の治療計画の導引形状に基づく歯科用装置の形状幾何学的配置を示したものである。図13に関して、一つの歯様において、歯科用アライナーと歯との間の摩擦が治療に対して制限を課することがあるため、一つの歯様において、アライナー形状幾何学は、現在の位置（現在の治療段階で）と次の位置（ $n+1$ の治療段階）との間でのすべての干渉を除去することによって最適化しうる。つまり、現在の位置と次の位置との間の導引形状を生成しうる。図13に図示した導引形状は、現在の位置と次の位置（ $n+1$ の治療段階）に向かう次の無限小の増分との間の相集合形状である。無限小の増分を加算することにより、結果的に生じる幾何学形状によって導引形状が決定される。

40

【0101】

再び図13に関して、歯と歯科用アライナーとの間の摩擦を最小化または除去するためにアライナーについての導引形状を決定した後、一つ以上の噛みまたは逃げるアライナー形状に追加して、意図された力を治療計画の特定の治療段階について決定された方向にかけるための望ましい移動ベクトルが提供される。

【0102】

さらなる歯様において、歯の移動が不適切な力の生成の結果である可能性が高い時に検出することも可能である。つまり、望ましい移動ライン（または移動ベクトルの方向）に対して直交の表面積の量が、アライナーが必要な力を供給するために不十分な場合もある。例えば、駆出方向（+Z軸に沿って図12に示すとおり）において、歯がこの方向に押

50

されるようにするために存在するアンダーカットが不十分な場合がある。その結果、歯科用アタッチメントを歯に追加または装着して、望ましい方向の歯の移動に直角の表面積の量を改善することができる。

【0103】

一つの態様において、材料の性質および特定の治療段階についての移動ベクトルから結果的に生じる複合ベクトルに対して直角の表面積の量から決定される力の移動に基づき、望ましい移動にとって特に適した歯科用アタッチメントを採用することにより、追加的な表面積を歯に追加することもできる。この様に、一つの態様において、特定の歯について表面積の断面を決定することができ、歯科用アタッチメントをその上に配置して、必要な表面積の歯科用装置との協調または噛み合いを改善または改良して、望ましい移動ベクトルまたは歯に対する予め定められたレベルの力をその治療段階にとって正確な方向にすることができる。

【0104】

この様に、一つの態様において、歯科用アライナーを製造するか、またはコンピュータ支援設計ツールやシステムを使用してシミュレートすることができるが、ここで移動する歯の表現が最初にモデル化される。その後、歯の目標位置を定義するアライナーが、形状幾何学の性質が定義されてモデル化される。その後、歯を初期的な位置から目標位置に再配置するために必要な力が、例えば、FEMモデリングまたはその他の適切な計算および/またはモデリング技術を使用して決定されるか、またはモデル化される。一つの態様において、力測定センサーに接続した歯の物理モデルを使用して力を定義することができ、物理モデルから得られる読取値を使用し、またそのように、少なくとも部分的に物理的力ゲージからのフィードバックに基づき、アタッチメントおよびアライナーの配置形状を変化させて、最適な力を決定できるようにすることもできる。

【0105】

その結果、移動ベクトルが定義され、これによりかかった力の方向のほか、歯を最初の位置から目標位置へと再配置するために必要な力のレベルおよびその性質が確定される。移動ベクトル、およびモデル化したアライナー形状に基づき、アライナーはさらに修正されるか、または決定された移動ベクトル内の要素に再構成される。つまり、歯の再配置に必要な力の性質を識別する移動ベクトルを定義した後で、歯科用装置の形状は決定された移動ベクトルに基づき変更されるか、または最適化される。さらに、定義した移動ベクトルに基づき発生しうる望ましくない力または力の成分を相殺するために、装置の形状をさらに最適化することもできる。

【0106】

その後、修正または最適化された歯科用装置は、高速プロトタイピングまたは望ましい歯の移動を達成するためのその他の適切な技術によって製造できる。さらに、このプロセスはアライナーの性能、そしてその性能によって治療計画の結果が改善されるように、治療計画のそれぞれの治療段階についての歯科用装置の最適化のために反復することができる。

【0107】

さらに、一つの態様において、微小なまたは小さな局所的変化がアライナー形状幾何学に導入される対話型の分析プロセスが提供されており、ここで結果的に生じる力のプロファイルの効果が、例えば、治療計画のそれぞれの治療段階で望ましい力と比較され、また結果がターゲットプロファイルに近い場合には繰り返され、結果がターゲットプロファイルから離れている場合やさらに逸脱している場合には無視される。これは、一連の歯科用装置またはアライナーがそのそれぞれの形状幾何学でそれぞれ最適化され、治療結果が改善されるように治療計画の各治療段階について繰り返すことができる。

【0108】

さらなる態様において、一つの実施態様において、歯科用装置の配置は、歯科用装置とそれぞれの歯との間の摩擦を最小化するために前出の導引形状に基づくものとすることができ、またさらに歯科用装置は、一つ以上の個別の接点または表面（例えば、歯に結合さ

10

20

30

40

50

せたアタッチメントを使用したへこみまたは接点）を作成するために修正して、望ましい力を生成することができる。現在およびその後（ $n+1$ 段階）の導引経路の幾何学形状を含めた結果的に生じる歯科用装置の幾何学形状、ならびに前出の移動ベクトルなど力を発生する移動は、例えばコンピュータ支援設計またはモデリングツールを使用してモデル化することができる。

【0109】

その上、またさらに別の態様において、歯科用アタッチメントの配置は、望ましい歯の移動方向と直角の利用可能な表面積が最大量となる位置に基づいて決定しうる。さらに、治療計画にある任意の歯への力が予め定めたしべ以下である場合、望ましい表面積を確保するために、または歯の摩擦係数を高めそれによって歯のアライナーの力のプロファイルを改善するために、歯にアタッチメントを追加することができる。

10

【0110】

一つの態様において、歯、歯肉および／またはその他の口内組織または構造に関連するデータセットは、望ましいまたは意図された治療目標のために最適化しうる歯科用装置の配置、モデリングおよび／または製造について、例えば、加算、部分的または完全な除算、均一または不均一なスケールリング、ブールまたは非ブールアルゴリズム、または幾何学演算、またはその一つ以上の組み合わせによって、意図的に変更することができる。

【0111】

さらに、アタッチメントに関する上記の考察に関して、角形成またはアタッチメント、ならびにアタッチメントの表面形状を提供して移動ベクトルを改良し、望ましい歯に対するその付加を最適化しつつ、移動ベクトルを妨げうる望ましくないまたは不要な力のベクトルの量を最小化することができる。さらに、一つの態様において、隣接する一連のアタッチメントを提供して、その隣接する一連のアタッチメントが低速動作のカムとして機能し、そこで次に歯科用装置が従動子として機能するように構成されるように、力の方向を変化させるか、または予め定めた時間について持ち越される移動ベクトルを発生させることができる。

20

【0112】

さらに別の態様において、目標位置または治療目標を達成するために望ましいまたは適切なカム／従動子の関係が決定されるように、点の連珠を追加して、治療段階全体の歯の点の処理および／または治療を行うことができる。一つの態様において、歯科用装置の内部表面にある一つ以上の突出を従動子として構成し、これを仮想的な圧力点から形成することができる。仮想的な圧力点は、一つの実施態様において、意図的に構築したか、または基準のモールドまたはモデルに設計で組み込まれた空間に含まれ、アライナーが基準モールド上で形成される時、これが歯に対する追加的圧力を発生するように意図されたアライナー内の対応する部分と関連する。

30

【0113】

図14A~14Bは、歯の回転用に配置した歯科用アタッチメントを示したものである。図14A~14Bに関して、一対のアタッチメントが図示したとおり歯の頬側面および舌側面に位置し、その中心が歯に関してZ軸に垂直な平面に位置している。これらの図に関して、二つのアタッチメントが上記の平面内で図中のそれぞれの矢印で示すとおり反対方向にずらされている、あるいは偏った配置となっており、対が形成されているが、これは正味の力がゼロのトルクに対応し、結果的に歯の回転移動となる。

40

【0114】

図15は、歯の傾斜用に配置した歯科用アタッチメントを示したものである。図15に関して、歯に関してY軸に直角の平面に位置する中心または軸との相対的な高さが異なる状態で、一方のアタッチメントを頬側面に配置し、他方のアタッチメントを舌側面に配置することができる。矢印で示した方向にアタッチメントに対して力がかかり、結果的に、歯の位置に関してY軸に沿ってトルクが発生し、また結果的に生じる正味の力がゼロになる。別の態様において、アタッチメントは歯に関してY軸に直角の平面内に配置することができる。この態様に、一方のアタッチメントが咬合面方向に、また他方が同一平面内の

50

反対の方向に並進するように、アタッチメントに対して力をかけると、歯が傾斜することになる。このアプローチは、例えば、歯の回転の中心が歯冠内にあり、そのために歯根がディッピングまたは傾斜する歯根のトルキング（舌側歯根傾斜）で使うことができる。

【0115】

図16は、歯のアンギュレーション用に配置した歯科用アタッチメントを示したものである。図に示すとおり、対のアタッチメントは、それぞれの矢印で表示されたとおり、それぞれの力がそのアタッチメントにかけられた状態で歯の上に位置する。この効果は、歯のアンギュレーションという結果になる（例えば、図16に示す実施態様での時計方向）。

【0116】

図17A～17Bは、それぞれ、傾側並進移動および舌側並進移動用に配置した歯科用アタッチメントを示したものである。図に関して、図示した対のアタッチメントは、歯に対して傾側および舌側の両面にX-Y平面に位置することができる。二つのアタッチメントを歯の回転の中心に対して異なる高さで配置すると、回転の中心近くに配置したアタッチメントは、回転の中心から比較的離れたアタッチメントよりも歯冠に押し込まれる。従って、歯に対する合計力は正の値となるが、二つのアタッチメントそれぞれからの回転の中心への力レバー構成要素は互いに反対方向に等しく調節できるため、傾斜移動トルクはゼロに調節できる。このアプローチにより、歯根の並進が可能となる。

【0117】

図18A～18Bは、それぞれ近心および遠位の並進移動用に配置した歯科用アタッチメントを示したものである。図に関して、歯の近心および遠位の並進移動は、例えば、対のアタッチメントを図に示すとおりに配置して、適切な予め定めた力をそのアタッチメントにかけることにより得ることができる。

【0118】

図19A～19Bは、それぞれ挺出および圧下のために配置した歯科用アタッチメントを示したものである。図に関して、この場合の対のアタッチメントは、歯の舌側および傾側の側面に配置され、その中心はZ軸も含まれる平面内にある。図示した両方のアタッチメントは、挺出についてはZ軸に沿って上方向に移動するよう、または圧下についてはZ軸に沿って下方向に移動するよう構成される。生成される力または二つのアタッチメントにかかる力は、大きさが異なる（例えば、歯冠に関して局所的なアタッチメントの移動が異なることから結果的に生じる）。アタッチメントからの力が反対方向に等しい回転の中心への力レバーとなる時、傾斜移動トルクは相殺されることがあり、また結果的に生じる力には歯の挺出または圧下並進が含まれる。

【0119】

その上、上記の挺出または圧下並進で結果的に生じるアタッチメントの移動は、カウンターバランストルクを得るために歯冠に対する並進移動として使用されうる。例えば、傾側の移動から結果的に生じる傾斜移動トルクは、アタッチメントが歯冠に対して傾側面上で咬合平面に向けて移動するように構成することで釣り合わせることができる。

【0120】

さらに、アライナー表面が受動的な状態で歯冠と接触しないように、いくつかの歯冠上で彫らせたアライナー表面を含む局所的に膨張させたアライナーと、結果的に挺出または圧下並進を生じるアタッチメント移動を併用することもできる。膨張させたアライナーを回転のためのアタッチメント移動で使用する時、アライナーはアタッチメントとのみ干渉し、例えば合計力がゼロの回転を生成するため、最大回転トルクおよび望ましくない最小の力が得られうる。

【0121】

またさらなる実施態様において、予め組み立てられたアタッチメントを使用して、不正確なアタッチメント形状の形成による不良を低減または除去することもできる。

【0122】

従って、一つの歯列において、 $n+1$ またはその後の／目標の歯の位置が最初に決定される。その後、歯の初期的な位置から歯の目標位置に至る移動の方向が決定される。移動方向を決定した後、歯を最初の位置から目標位置に再配置するための力およびトルクの量または大きさと方向が決定される。その後、計画した歯の移動方向への最も適切なグリップを提供する幾何学形状や、歯の表面に対するアタッチメントの最適な位置など、アタッチメントのプロファイルが決定される。

【0123】

アタッチメントの関連するプロファイルが決定されると、最初の位置から目標位置への最適な位置を達成するためのアタッチメントのずれが決定される。アタッチメントを歯に配置することで、その後の治療段階で歯科用装置は配置したアタッチメントを介して歯科用装置と噛み合い接触する。

10

【0124】

この様に、歯科用装置により生成された力／トルクは、望ましい方向に正確に指向し、また歯を次の計画位置まで移動させる十分な大きさで構成される。例えば、一つの実施形態において、アタッチメントは歯の歯に接着される。アタッチメントの最初の位置は、上述のとおり決定される。与えられたまたは再配置されたアタッチメントは、歯科用装置上でのアタッチメントの形状に適合した新しい位置の算出を生成しうる。初期段階で歯にアタッチメントを付け、その後の目標治療段階ですらと、目標治療段階の歯科用装置は、初期の治療段階で歯のアタッチメントと干渉しうる。この干渉が次に、望ましい歯の移動を生成するための力／トルクを生成するように構成される。

20

【0125】

一つの歯列において、力／トルクの方向および大きさは、例えば、歯冠の表面に対するアタッチメントをずらす量を調整することにより、釣り合う力／トルクを生成するために望ましくない傾斜移動トルクを除去または最小化し、歯根の移動を達成するためなどに修正または最適化することができる。歯冠に対するアタッチメント移動の量も、アタッチメントの移動に基づき治療計画を作成するための歯の移動に比例しうる。

【0126】

図20は、歯科用装置およびアタッチメントの概念的な噛み合いを示したものである。図20に関して、一つの歯列において、図20（(a)）でラベル付け）に示す場合など歯科用装置上に突出またはボタンが提供され、これは一つの実施形態において、図20で示され歯表面上に位置するアタッチメント（(b)）でラベル付け）上の対応する溝またはへこみと噛み合うよう構成される。この様に、歯科用装置上のボタンまたは突出、および突出を受けるためのアタッチメント上の溝溝では、突出の相対的位置は、歯または歯面への力をこのアタッチメント装置にかけるように構成されうる。

30

【0127】

従って、歯科用装置またはアライナー上の突出およびアタッチメント装置を受ける窩洞は、点の力を発揮しうる関節または噛み合いを形成するように構成しうる。その上、歯科用装置上の突出およびアタッチメント上の窩洞の相対的位置が局所的に修正された場合（例えば、上述の一つ以上の移動の並進に基づき）、点または表面への力は対応する歯を移動させる方向でありうる。

40

【0128】

その上、本開示の一つの歯列において、点の力に向かう歯の修正を提供するよう構成された表面には、歯に向かい内側を向いた隆線または平坦な突出が含まれうる。さらに、力には、 $n+1$ 段階で「補強された」表面も含めることができ、ここで一つの歯列において、歯に向かう内部表面が歯と完全に接触した状態のまま残る（点または隆線での接触ではなく）ように一つ以上の隆線または折り曲げによって波型を施し、また保持されていない領域で隆線には力が分散しないように局所的に保持された領域で補強されうる。

【0129】

図21は、歯科用装置の最適化された形状幾何学を示したフローチャートである。図21に関して、手順2110で歯の最初の位置が決定される。その後、手順2120で治

50

幾何面に基づき歯の目標位置が決定される。一つの歯槽において、目標位置には次のまたは $n+1$ の治療段階の歯の位置が含まれる。図21に関して、治療計画に基づき歯の目標位置を決定した後、最初の位置から目標位置への歯の移動に関連する移動ベクトルは、手順2130で計算または決定される。つまり、力のプロファイルまたは冗性が決定され、これには例えば、力の大きさや力の方向が含まれ、例えば、これは最初の位置から目標位置への歯の移動に関連したものである。

【0130】

再び図21に関して、最初の位置から目標位置への歯の移動に関連する移動ベクトルを決定した後、手順2140で移動ベクトルに関連する成分が決定される。例えば、上述のとおり、歯を最初の位置から目標位置に移動に再配置するための移動ベクトルに関連する力の大きさが決定される。さらに、歯の移動についての力の方向、および望ましくないまたは意図しない力に対処するための抵抗力が決定される。その後、最初の位置から目標位置への歯の移動に関連する移動ベクトルに関連した成分の決定に基づき、アライナーなどの歯科用装置の調整が修正される。

【0131】

図22は、歯科用アタッチメントの配置を図示したフローチャートである。図22に関して、手順2210で最初の治療段階での歯の位置が決定される。手順2220で、第二または $n+1$ の治療段階での歯の位置が決定される。その後、手順2230で、最初の治療段階から第二の治療段階への歯の移動に関連する移動ベクトルが決定される。歯の移動に関連する移動ベクトルが決定された後、移動ベクトルに関連した一つ以上の歯科用アタッチメントプロファイルが手順2240で決定される。つまり、例えば、歯科用アタッチメントの位置、歯科用アタッチメントのアンギュレーション、歯科用装置からの力の方向に直角の表面積が決定される。その後、手順2250で、一つ以上の歯科用アタッチメントが最初の治療段階中に対応する歯に配置される。

【0132】

この様に、一つの実施態様において、歯を最初の位置から目標または第二の治療段階の位置に再配置するために、歯科用装置からの力／トルクが歯に正確にかかる。

【0133】

図23に関して、手順2310で一連の手順のうち、歯を最初の位置から目標の最終位置に移動させる段階について、それぞれの歯の表面上のそれぞれの点の軌道が予め定められた所定の段階の移動について計算される。軌道から歯の有効表面が決定される(2320)。有効表面は、望ましい移動に対応する軌道「p」の法線ベクトル上への点pでの、歯の表面に対する法線力 $N(p)$ の投影が予め定められた正の閾値よりも大きくなる歯表面上のすべての点pであるとして計算される。有効表面がいったん決定されると、患者のそれぞれの歯について、歯の有効表面と抵抗表面との比率が計算される(2330)。この比率が所定の閾値よりも大きい場合には、歯は要求される歯の移動に達した有効な歯表面を持つ2340。

【0134】

さらに図23に関して、歯の有効表面と抵抗面との間の比率が所定の閾値を超えない場合には、既存の歯表面の極小な変形を実施しうる(2350)。既存の歯表面への変形には、とりわけ、歯の有効表面の数を増やすための特注のアタッチメントまたは装置、または歯の表面への材料の追加が含まれる。既存の歯の表面の極小な変形は、修正した表面は要求される移動についての有効表面を有効表面と抵抗面との間の閾値よりも大きな比率で提供する、修正した表面はその現在位置でアクセス可能な歯の表面の変形である、ならびに修正した表面は製造性の要件を満たす必要がある、といった制約を満たすべきである。既存の歯表面がいったん修正されると、新しい表面は修正した歯表面について手順2310～2330を繰り返すことにより、修正した歯表面との十分な接触面積が存在することを確認するために、対応するアライナーとともに検証される。

【0135】

図24は、歯の十分な有効表面積を得るためにアタッチメントが望ましいかどうかを判

10

20

30

40

50

断する方法を図示したフローチャートである。図24に関して、手順2410で、歯を最初の位置から目標位置に移動する治療計画について一連の段階における所定の治療段階について、歯の剛体変換Aが決定される。一つの剛体において、剛体変換Aには、歯を段階nでの位置から段階n+1での位置へと移動する剛体変換が含まれる。

【0136】

図24に関して、剛体変換Aから、ゼロ移動Iおよび剛体変換Aに対応する形状保存と関連する剛体変換の空間内の剛体変換A(t)が決定される(2420)。例えば、一つの剛体において、ゼロ移動Iに対応する剛体変換は、移動またはずれがなくすべての点が開位置にとどまっている場所に関連する。歯の表面のそれぞれの頂点Vについて、 $t=0$ での曲線A(t) Vに対する単位接線ベクトルと、頂点Vでの歯の表面に対する内部法線単位ベクトルNとのドット積 $s(V)$ が計算される(2430)。

10

【0137】

その後、少なくとも一つの頂点Vを持つ歯冠のすべての面の集合としての歯の有効表面が決定されるが、ここで $s(V)$ は所定の閾値 θ_C よりも大きい(2440)。つまり、一つの剛体において、歯冠の点の移動方向とこの点での表面の内部法線方向との間の角度が所定の閾値 θ_C よりも大きい時、歯冠の点は、有効な歯冠表面であると見なされる。再び図24に関して、少なくとも一つの頂点Vを持つ歯根のすべての面の集合として、歯の抵抗表面が決定されるが、ここで $s(V)$ は所定値した閾値 θ_R よりも小さい(2450)。さらに別の剛体において、歯根の点の移動方向とこの点での表面の内部法線方向との間の角度が所定の閾値 θ_R よりも大きい時、歯根の点は抵抗歯根表面上にあると見なされる。

20

【0138】

さらに図24に関して、比率Gは有効表面および抵抗表面の面積の比率として決定される(2460)。比率Gが予め定めた有効対抵抗の閾値ARよりも大きい場合には、アタッチメントは必要とされない場合がある(2470)。例えば、一つの剛体において、歯冠の有効表面面積の歯根の抵抗表面面積に対する比率が予め定義した有効対抵抗の閾値ARを超える場合には、移動が実施可能であると見なされる。一方、比率GがARを超えない場合には、再計算した比率Gが $G > AR$ の条件を満たすような歯冠表面への極小な追加が使用される(2480)。この追加は、アタッチメントとして、とりわけ、溝線、突出、またはへこみとして作成することができ、また歯冠に組み合わせることができ

30

【0139】

一つの実施形態によれば、治療計画に従った望ましい移動のための最適に近い形状のアライナーの決定に非反復的なプロセスが使用される。図25は、この非反復的なプロセス800のフローチャートである。基本的な形状の特徴(例えば、へこみ)について、特徴により形成された力の大きさは、手順810で、アライナーの表面上での特徴の位置および特徴の突出の位置の関数として計算される。この関数は、特徴の位置の幾何学的特性(例えば、境界までの距離、凹曲線までの距離、湾曲など)を特徴により生成された力の大きさの値と関連付けることにより、統計的に導き出すこともできる。段階nから段階n+1への歯の所定の移動について、所定の移動に対応する抵抗および並進ベクトルの中心を置く回転軸が、手順820で計算される。次に、手順830で、歯表面上で力がかかる点が識別され、これらの大きさの力が、識別された点で段階nから段階n+1への移動のこれらの軌道方向にかかる場合に、以下の条件が満たされるように力の大きさが計算される：

40

- a. 抵抗の中心を置く合計トルクの軸が要求される回転軸方向に近いこと
- b. 合計トルクの大きさが歯回転にとって十分であること
- c. 合計力の方向が並進ベクトルの方向に近いこと
- d. 合計力の大きさが歯の並進について十分であること。

【0140】

上の条件を満たせる点の集合の中で、次に以下の制約を満たす点の集合が手順840

50

○ ○ ○ ○ ○ :

- a. 金が金だけに少ない
- b. 金が金だけに離れている
- c. 金が金の用途範囲に金だけに近い。

101411

手順④40で選択された放棄合について、棄却される歯の移動のために歯の位置を有効移動に表す移動の値（ある場合）アタッチメントの表面が、手順⑤50で計算される。次に、手順⑥60の条件をできる限り厳密に満たす、歯の群組に一つのアタッチメントのみを含む一つの放棄合が、手順⑥60で選択される。次に、手順⑦70で、選択の移動（遠近法、入込み）が、選択された放棄合にて選択し方の大きさに対応した方法をもって選択される。オプションの手順⑧80で、歯が互いに近い位置にある場合には、選択する入込みをゼロとして移動を選択することになる。放棄合には、結果的に生ずる入込みの値が移動は、歯の選択し移動にとって移動をプライマリ選択の特徴であることが理解される。

101421

[illegible]

10142

図2.7は、一つの磁極における、磁の有効表面および抵抗表面を示す。図2.7に照して、磁極2.501は、有効表面2.530、または磁束の多い磁極2.513および2.523で磁を吸引するために力をかけることのできる表面を持つ。これらの有効表面に抵抗する作用力は、磁極2.502に位置する抵抗面2.540にかかる力が含まれる。有効表面の抵抗面に及ぼす比率が所定の磁極よりも大きい時、例えば磁束の多いスライナーにより、磁を吸引し磁極2.513および2.523に沿って吸引させる適切な力をかけることができる。

[0 1 4 4]

図28は、アタッチメントの追加される時の有効表面の増加を説明したものである。図28に示して、有効表面の計算面に対する初期の比率が所定の臨値を超えない場合、面の有効表面2530を増加させるために、臨値、 λ に達し、または臨値を命じたアタッチメント2550などの付着を面に着せしめることがある。アタッチメントを適用して有効表面2560の面を増加させることになり、有効表面と計算面との間の比率が所定の臨値よりも大きくなるようにして、臨値に達しない領域2510に合った適切な面の増設のための力がかかるようにすることができる。

101451

図25の図は、アタッチメントおよびアタッチメントと一致する隆線を持つアライナーを装着した歯の断面を示す。図25の図に関して、望ましい歯の移動を達成するために、隆線の表面2501の有効表面積を増加させるために、アタッチメント2550を使用する場合がある。アタッチメントの効果を確保するために、歯を望ましい軌道経路に沿って導航させるべく適切な力をアタッチメント2550にかける必要がある。これらの力は、咬合したアライナー2560内で、アタッチメント2550に適合する隆線2581または何らかの導向物により作成される。このように、歯を望ましい軌道に沿って最初の位置から望ましい目標位置まで移動させるために、アライナー2560は適切な力を歯表面に、またアタッチメント2550に直接かける。

101403

附録した方がよい。いひの機嫌にあらば、筆を紙上に置かず、あつたてを紙の上で、その機嫌の好む所の機嫌の起る時節、あたふた、流暢な筆の機嫌の好む所の國

ましい治験の候補に基づき生成できる。一つの態様において、その初期の位置から最終位置へのそれぞれの歯の移動を分析するために、コンピュータソフトウェアを実装したアプローチを使用することもできる。三次元空間内でのすべての移動を分析しうる。例えば、経路は一直線の漸次的な移動として描写でき、ここでそれぞれの増分には歯形位置および回転の組み合わせが含まれる。望ましい移動を実現するために必要な負荷（力およびモーメント）は、例えば、最終的な目標位置までの経路上での次の増分の移動による移動を識別しうるか、または、初期の位置から最終的な目標位置までの総合的な移動を含む1回の移動を識別しうる負荷に、少なくとも部分的に基づいて決定されうる。

【0147】

一つの態様において、歯の表面は、離散した小さな面の寄せ集めたものとして分析・定義ができる。方向または負荷にとって望ましい向きを持つ表面が識別される。こうした表面が存在しない場合、または要求される負荷の適用にとって最適でない場合、または口腔内でアクセスできない場合には、歯の表面／向きは改善されるような調整をとるか、または材料を追加することにより変化させることができる。この様に、一つの態様において、本発明に認識したアプローチにより、望ましい力のシステムへの修正を提供する一つ以上の考えられる解決策を決定でき、また一つ以上の臨床的に実行可能な解決策を決定できる。

【0148】

さらなる態様において、処方される移動について適切な力のシステムを与えるために、複数の表面への複数の力が必要となることがある。歯科用装置は、歯に対して力のシステムを適用するよう構成されること、および力のシステムは、力、力のモーメント、および偶力モーメントのうち少なくとも一つを備えることが理解される。従って、設計した力のシステムが、例えば、決定した一つ以上の実行可能な解決策によって識別された表面上に伝達されるように、アライナーの幾何学形状に合わせて変形することができる。アライナーの幾何学的パラメータにおける変形は、結果的にアライナーおよび歯の接触点の変形を生じさせることがあり、特定の歯にかかる力のシステムを制御できる。変形は、力のシステムを制御し、歯の移動を開始するために校正することができる。また、限定はされないものの、磨練などの特定の特性を含めて、表面上での接点の管理を達成し、必要な負荷を供給することができる。

【0149】

またさらなる態様において、アライナーの幾何学形状を、逃げ領域またはバブルと共に提供して、その領域または位置への妨害のない歯の移動を許容することもできる。アライナーによって歯にかかる力のシステムにより、アライナーにより制限された空間内で簡単に歯を移動させることができる。

【0150】

さらに別の態様において、アライナーの特徴は、歯の移動を制限するように設計および組立することができる。例えば、アライナーは、それを通過して歯が移動できない物理的な境界として設計することもでき、患者の健康にとって有害となりうる望ましくない移動に対する安全性が提供される。さらに、別の態様におけるアライナーは、それによって歯が移動する案内面として機能するように構成することもできる。さらに特定すれば、アライナーは、力のシステムが歯に対してかかり、歯がアライナーの面によって補助された特定の位置および向きに導かれるように構成することもできる。

【0151】

この様に、一つ以上の特徴をアライナーの幾何学形状または構成に組み込むことで、アライナーの幾何学形状のその後の変化が起こることがあり、その変化により、歯およびアライナーの接触面の位置における変化が結果的に生じる。変化およびこれらの幾何学的変化の結果は、望ましい移動を達成するための新しい表面および負荷を識別することにより、決定および修正することができる。最終的なアライナーの設計、およびまた、その治療段階を含めた全体的な治療計画を定義する前に、それぞれの反復を、それぞれの特徴ならびにアライナーの幾何学形状に対する、接触面に対する、および生成される力のシステム

10

20

30

40

50

に対するその効果が考慮されるように構成するような反復型の設計プロセスで、アライナーの幾何学形状を改善することができる。

【0152】

記載した方法で、一つの態様において、歯列矯正治療のアプローチには、それぞれの歯の移動の経路、移動を達成するために必要な力のシステム、表面の決定、および定義された力のシステムを伝達するこれらの表面にかけられる力の定義、ならびにこうした治療基準を満たすアライナーの幾何学的設計が含まれる。

【0153】

一つの実施態様において、コンピュータを実施した方法には、歯の最初の位置の決定、治療計画における歯の目標位置の決定、最初の位置から目標位置への歯の移動に関連した移動ベクトルの計算、移動ベクトルに対応する多数の成分の決定、および一つ以上のアタッチメント装置が歯科用装置と噛み合うように歯の平面に対してそれぞれの一つ以上のアタッチメント装置の対応する一つ以上の位置の決定が含まれる。

【0154】

一つ以上のアタッチメント装置は、実質的に歯の平面で歯科用装置に予め定めた力をかけるように構成される。

【0155】

一つの態様において、その多数の成分は、歯の回転変位、歯の角変位、直線の歯のずれのうち一つ以上またはその一つ以上の組み合わせとして提供しうる。

【0156】

歯科用装置には、離合体シェルが含まれる。

【0157】

さらに、その多数の成分のうち一つ以上は、歯科用装置によりそれぞれのアタッチメント装置に対してかかる、それぞれ一つ以上の力または力のモーメントに対応することができ、ここでその多数の成分のうち一つ以上がそれぞれのアタッチメント装置により、歯科用装置に対してかかるそれぞれ一つ以上の力または力のモーメントに対応しうる。

【0158】

一つ以上のアタッチメント装置には、それぞれに対して隣接した位置にある歯に提供された多数の歯科用アタッチメント装置を含めることができ、またその歯科用装置は、予め定めた期間、多数の隣接する歯科用アタッチメント装置のそれぞれに、順次にかつ個別に物理的に接触するよう構成しうる。

【0159】

別の実施態様における歯科用装置のモデリングのための装置には、データストレージユニット、およびデータストレージユニットに接続された治療装置が含まれ、またこれは、歯の最初の位置の決定、治療計画における歯の目標位置の決定、最初の位置から目標位置への歯の移動に関連した移動ベクトルの計算、移動ベクトルに対応する多数の成分の決定、および一つ以上のアタッチメント装置が歯科用装置と噛み合うように歯の平面に対してそれぞれの一つ以上のアタッチメント装置の対応する一つ以上の位置の決定を行うように構成される。

【0160】

一つの態様において、一つ以上のアタッチメント装置は、実質的に歯の平面で歯科用装置に予め定めた力をかけるように構成される。

【0161】

さらに、その多数の成分により、歯の回転変位、歯の角変位、歯の線形変位、またはその一つ以上の組み合わせのうち一つ以上が提供されうる。

【0162】

その上、歯科用装置には離合体シェルが含まれる。

【0163】

多数の成分のうち一つ以上は、歯科用装置によりそれぞれのアタッチメント装置に対してかかる、それぞれ一つ以上の力または力のモーメントに対応することができ、ここでそ

10

20

30

40

50

の多数の成分のうち一つ以上がそれぞれのアタッチメント装置により、歯科用装置に対してかかるそれぞれ一つ以上の力または力のモーメントに対処しうる。

【0164】

一つの態様において、一つ以上のアタッチメント装置には それぞれに対して隣接した位置にある歯に提供された多数の歯科用アタッチメント装置を含めることができ、またその歯科用装置は、予め定めた期間、多数の隣接する歯科用アタッチメント装置のそれぞれに、順次にかつ個別に物理的に接触するよう構成しうる。

【0165】

別の実施態様によるコンピュータを実施した方法には、歯の最初の位置の決定、治療計画における歯の目標位置の決定、最初の位置から目標位置への歯の移動に関連した移動ベクトルの計算、移動ベクトルに対応する多数の成分の決定、およびその多数の成分に基づく歯のための歯科用装置の選択の修正が含まれる。

10

【0166】

移動ベクトルは、FEAモデリングに基づき決定しうる。また、移動ベクトルは、物理的力モデリングに基づくものとしうる。

【0167】

さらに、その多数の成分の一つ以上には、最初の位置から目標位置への歯の移動に関連する一つ以上の力のベクトルを含めることができ、ここで、一つ以上の力のベクトルは、歯科用装置の選択内に設計して、歯に対するそれぞれの一つ以上の力のベクトルに関連した対応する一つ以上の力がかかるようにすることができる。

20

【0168】

この方法には、歯を最初の位置から目標位置に再配置するための歯に対する移動ベクトルに対応する決定された多数の成分に適用される、歯についての重合体シェルの選択の更新も含まれうる。

【0169】

さらに、この方法には、移動ベクトルに関連する力のレベルの決定も含まれうるが、ここで力のレベルの決定には、移動ベクトルを適用する歯表面に対する一つ以上の位置の決定、および移動ベクトルを歯の表面上の決定した一つ以上の位置で適用する、歯の重合体シェルの選択の構成も含まれうる。

【0170】

30

また別の実施態様による歯科用装置の製造方法には、患者の歯列矯正の状態の治療計画の決定（治療計画のそれぞれの段階について）、歯の最初の位置の定義、歯の目標位置の決定、最初の位置から目標位置への歯の移動に関連する移動ベクトルの計算、移動ベクトルに対応する多数の成分の決定、およびその多数の成分に基づく歯のための歯科用装置の選択の修正が含まれる。

【0171】

一つの態様において、この方法には、修正した選択の仮想的な表現の生成が含まれうる。

【0172】

さらに別の実施態様によるコンピュータを実施した方法には、歯の最初の位置の決定、治療計画における歯の目標位置の決定、最初の位置と目標位置との間での掃引形状経路および最初の位置から目標位置への歯の再配置に関連する移動ベクトルの決定、および決定した掃引形状経路に基づく歯のための重合体シェルの選択の修正を含めることができ、ここで、選択の修正には、歯が対応する予め定めた歯の一つ以上の表面と接触するための重合体シェルの内部表面上の一つ以上の接点の定義が含まれうる。

40

【0173】

その上、さらに別の態様において、選択の修正には歯のための重合体シェルの内部表面上の一つ以上の突出の定義を含めることができ、ここで一つ以上の突出は移動ベクトルに関連する。

【0174】

50

一つ以上の突出には、へこみが含まれる。

【0175】

その上、窩洞は、重合体シェルの内部表面と歯との間の摩擦を最小化するために修正する。

【0176】

一つの歯槽線において、コンピュータを実施した方法には、歯の最初の位置の決定、治療計画における歯の目標位置の決定、最初の位置から目標位置への歯の移動に関連した移動ベクトルの計算、移動ベクトルに対応する多数の成分の決定、および移動ベクトルに対応する決定された多数の成分のそれぞれについてのそれぞれの表面積の決定に基づいて対応する一つ以上の歯科用アタッチメント装置の配置のための一つ以上の位置の決定が含まれる。

【0177】

一つの歯槽線において、治療計画に関連した重合体シェルの内部表面は、多数の成分のそれぞれ一つに対応するそれぞれ一つ以上の力を適用するように構成する。

【0178】

一つの歯槽線において、方法には、最初の位置から目標位置への歯の移動に関連した移動ベクトルの方向に実質的に直交する表面積の決定が含まれる。

【0179】

本発明のデータ処理の面は、デジタル電子回路、またはコンピュータハードウェア、ファームウェア、ソフトウェア、またはそれらの組み合わせで実施できる。本発明のデータ処理装置は、プログラマブルプロセッサにより実行するための機械読取可能なストレージ装置内に明白に埋め込まれたコンピュータプログラム製品で実施でき、また本発明のデータ処理方法の手順は、入力データに対する演算および出力の生成により本発明の関数を実行する命令のプログラムを実行するプログラマブルプロセッサにより実行される。本発明のデータ処理の面は、データストレージシステムからデータおよび命令を受信し、データおよび命令をそこに送信するために接続された少なくとも一つのプログラマブルプロセッサ、少なくとも一つの入力装置、および少なくとも一つの出力装置を含む、プログラム可能なシステム上で実行可能な一つ以上のコンピュータプログラム内で有利に実施できる。それぞれのコンピュータプログラムは、高水準の手続き型またはオブジェクト指向プログラミング言語またはアセンブリまたは機械言語で（希望に応じて）実施でき、どの場合にも、言語はコンパイルまたは解釈された言語でありうる。適切なプロセッサには、例として、一般のおよび特殊用途向けのマイクロプロセッサの両方が含まれる。一般に、プロセッサは、命令およびデータを読み出し専用メモリおよび/またはランダムアクセスメモリから受信する。コンピュータプログラムの命令およびデータを明白に埋め込むために適切な記憶装置には、例としてEPROM、EEPROM、およびフラッシュメモリデバイスなどの半導体メモリ装置、内蔵ハードディスクおよびリムーバブルディスクなどの磁気ディスク、光磁気ディスク、およびCD-ROMディスクなどを含むあらゆる形態の不揮発性メモリが含まれる。上述のどれも、ASIC（特定用途向け集積回路）で補足することも、またはその内部に組み込むことができる。

【0180】

ユーザーとの対話を提供するために、本発明は情報をユーザーに表示するためのモニターまたはLCD（液晶表示装置）画面などのディスプレイ装置、およびそれによってユーザーがコンピュータシステムへの入力を供給するキーボード、マウスまたはトラックボールなどの二次元ポインティング装置、またはデータグラブまたはジャイロスコープマウスなどの三次元ポインティング装置などの入力装置を備えたコンピュータシステムを使用して実施することができる。コンピュータシステムは、ユーザーと対話するコンピュータプログラムを介してグラフィカルユーザーインタフェースを提供するようプログラムできる。コンピュータシステムは、仮想現実の三次元ディスプレイインタフェースを提供するようプログラムできる。

【0181】

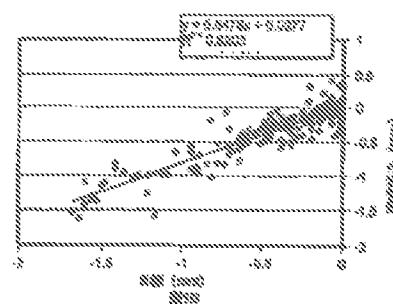
Environ Biol Fish

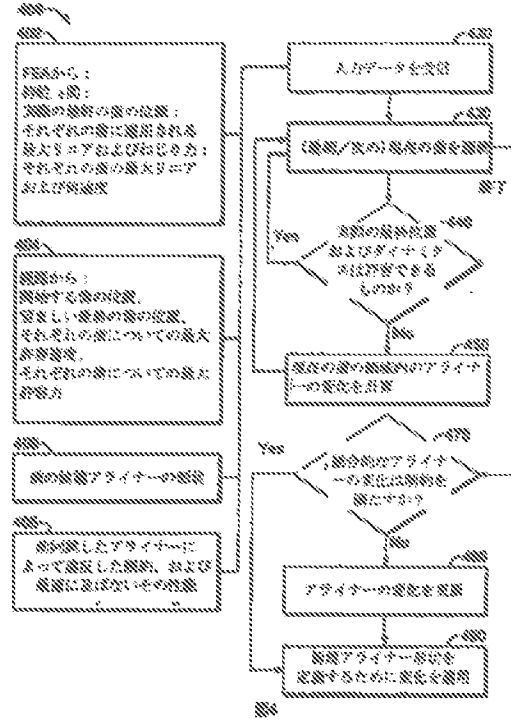




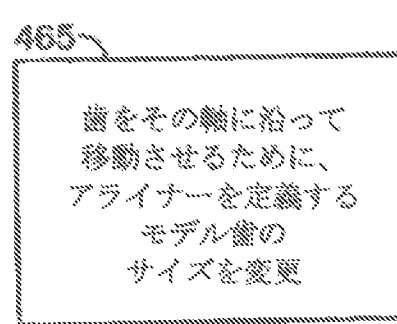
Index

1 2 3 4 5





IN SCOPE





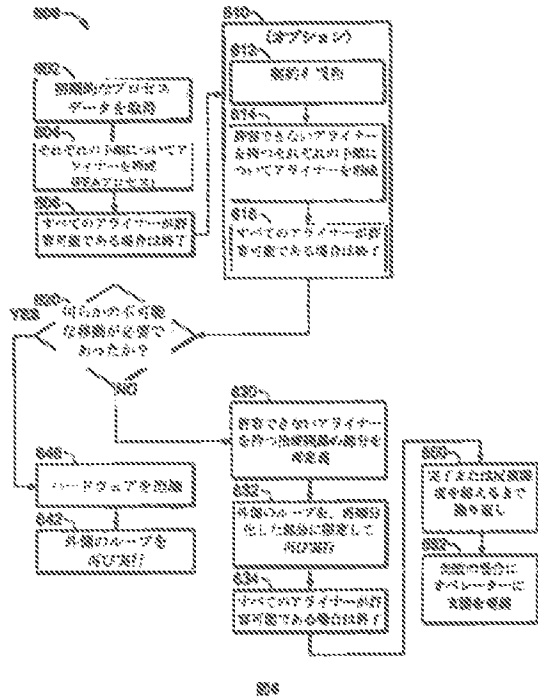






55. 20

【 図 6 】



【 図 7 】

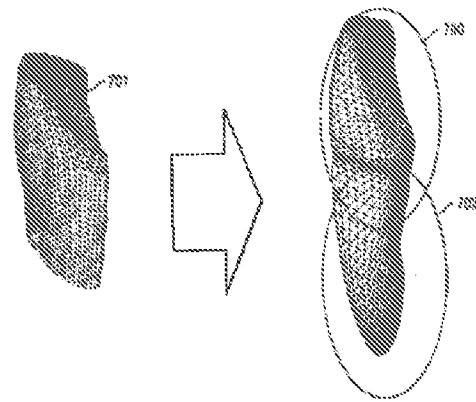


FIG. 7

【 図 8 】

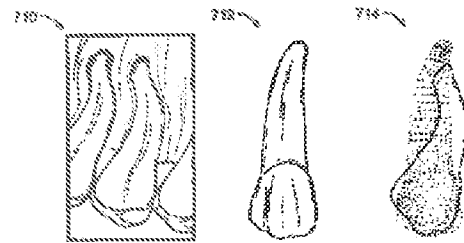


FIG. 8

【 図 9 】

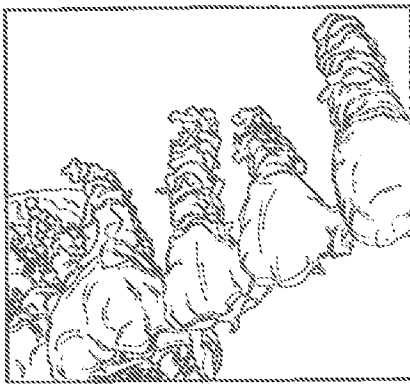


FIG. 9

【 図 10 】

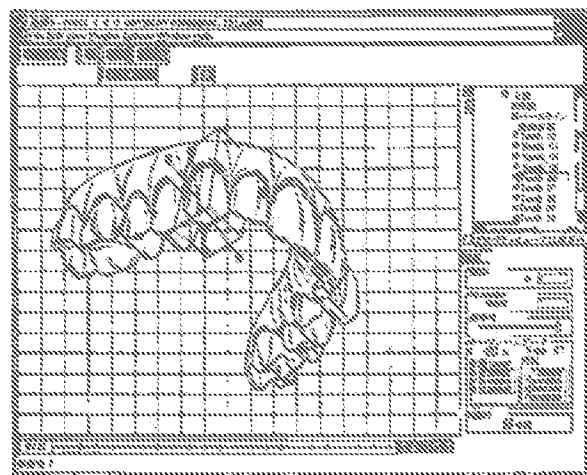
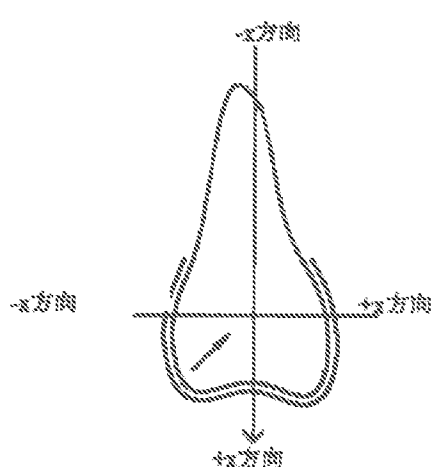
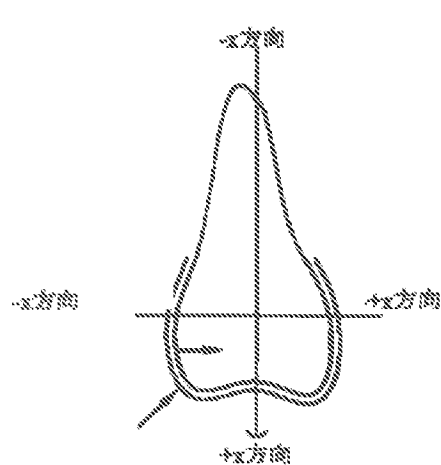


FIG. 10



Pris

1 0 1



【 図 1 2 】

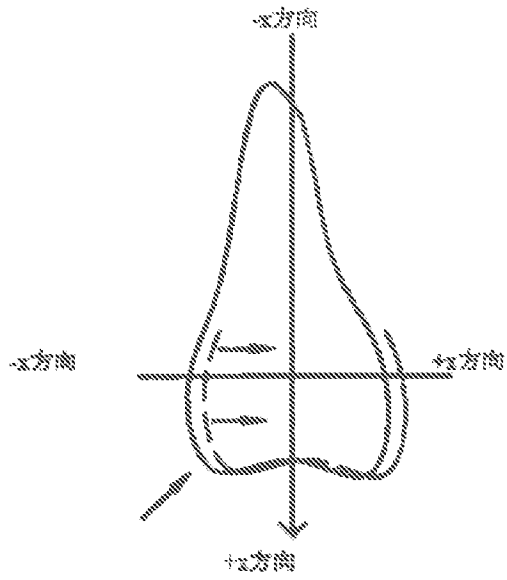


図12

【 図 1 3 】

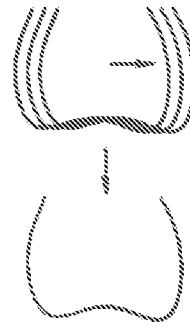


FIG. 13

【 図 1 4 A 】

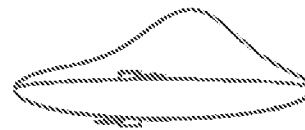


FIGURE 14A

【 図 1 4 B 】

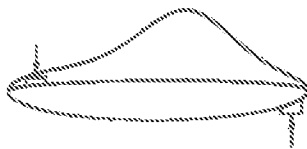


FIGURE 14B

【 図 1 6 】

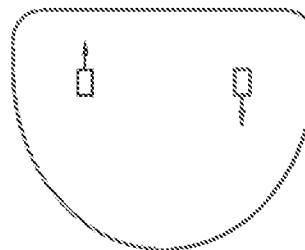


FIGURE 16

【 図 1 5 】

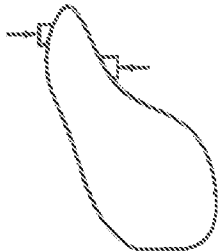


FIGURE 15

【 図 17 A 】

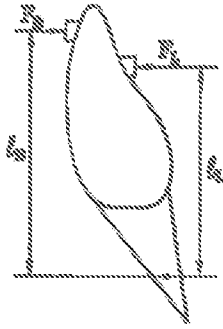


FIGURE 17A

【 図 17 B 】

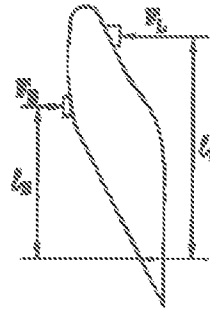


FIGURE 17B

【 図 18 A 】

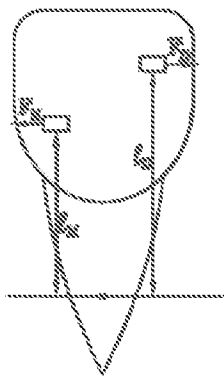


FIGURE 18A

【 図 18 B 】



FIGURE 18B

[REDACTED]

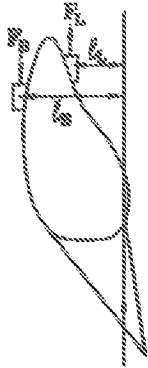


FIGURE 194



FIGURE 100

[20]

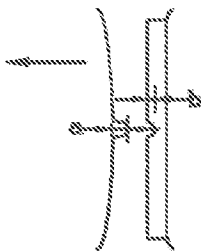
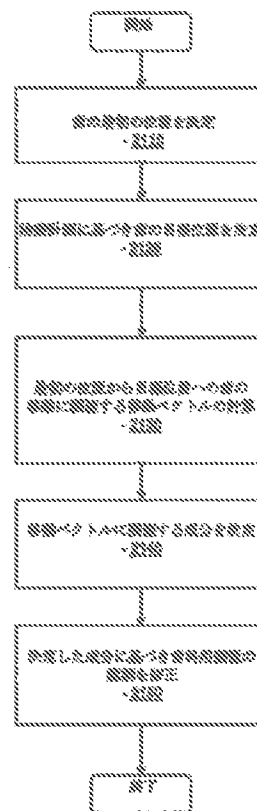
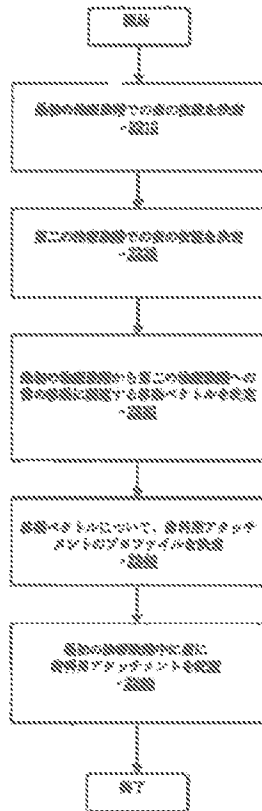


FIGURE 20

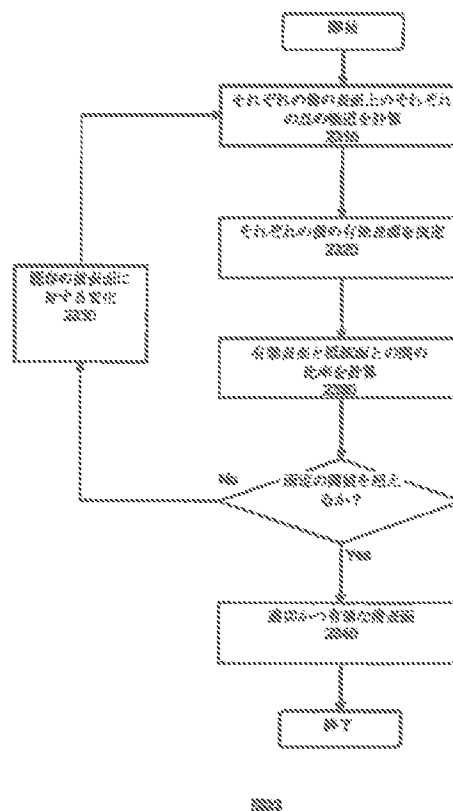
1 2 3 4 5



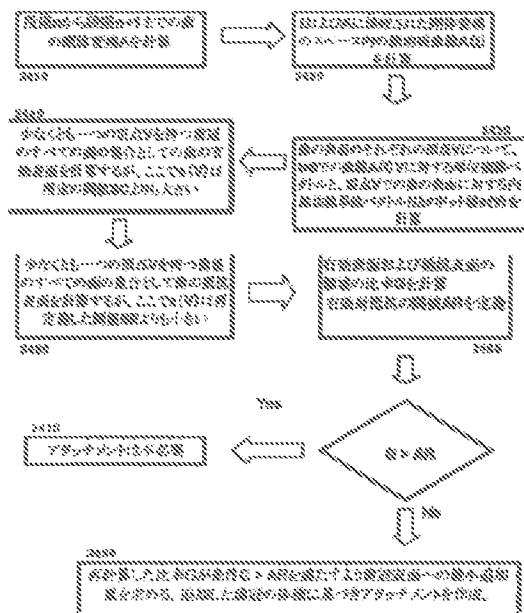
【 図 2 2 】



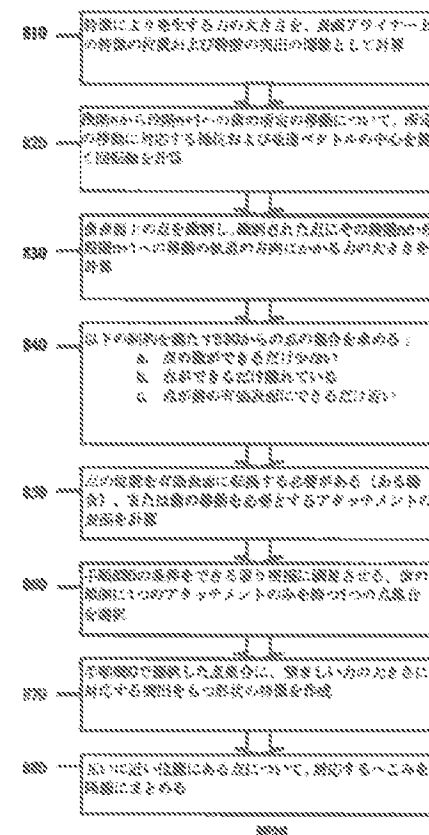
【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



【 図 2 5 】



【 図 2 6 】

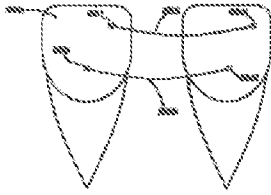


FIG. 26

【 図 2 8 】

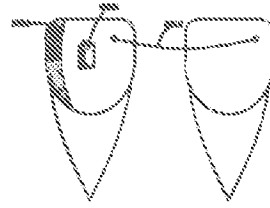


FIG. 28

【 図 2 7 】

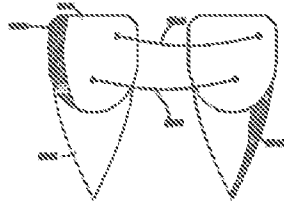


FIG. 27

【 図 2 9 】

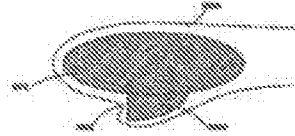


FIG. 29

フロントページの続き

(72)発明者 ジョン ワイ. モートン

アメリカ合衆国 カリフォルニア 95134, サン ノゼ, リオ ロブレス イー, 25
ナンバー109

(72)発明者 エリック クオ

アメリカ合衆国 カリフォルニア 94404, フォスター シティ, ビーチ パーク プ
ールバード 912 ナンバー88

(72)発明者 カオ ヘン

アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, ナンタケット サークル
1610 アpartment210

F クラーム(参考) 403E2 JJ10 NM3 NM4 NM2 NM6

【 外 國 語 明 細 書 】

2017094181000001.pdf

Teeth/Palate and Interdental Segmentation Using Artificial Neural Networks

Kelwin Fernandez and Carolina Chang

Grupo de Inteligencia Artificial
Universidad Simón Bolívar
Caracas, Venezuela
kelwin@gia.usb, cchang@usb.ve

Abstract. We present a computational system that combines Artificial Neural Networks and other image processing techniques to achieve teeth/palate segmentation and interdental segmentation in palatal view photographs of the upper jaw. We segment the images into teeth and non-teeth regions. We find the palatal arch by adjusting a curve to the teeth region, and further segment teeth from each other. Best results to detect and segment teeth were obtained with Multilayer Perceptrons trained with the error backpropagation algorithm in comparison to Support Vector Machines. Neural Networks reached up to 87.52% accuracy at the palate segmentation task, and 88.82% at the interdental segmentation task. This is an important initial step towards low-cost, automatic identification of infecto-contagious oral diseases that are related to HIV and AIDS.

Keywords: teeth/palate segmentation, multilayer perceptron, support vector machines.

1 Introduction

Thirty-four million people were living with HIV by the end of 2010 according to the World Health Organization [1]. A 93.5% of these people resided in developing countries, and only 47% of eligible patients in this subgroup received the antiretroviral treatment they needed.

Evidence suggests that about 70% of people with HIV have oral diseases, including Leucoplasia Vellosa, Kaposi's Sarcoma and Candidiasis [2]. The diagnosis of these diseases is very important because some of them may indicate the evolution of HIV towards AIDS [3]. Sadly, the number of dental care centers that treat infecto-contagious diseases in developing countries is limited, and in many cases, insufficient. We believe that some oral diseases that indicate the presence of HIV/AIDS can be diagnosed automatically. A computational, low-cost tool for detecting oral infecto-contagious diseases can lead to health care improvement, especially in low- and middle-income countries.

We focus on the problem of teeth/palate segmentation in palatal view photographs of the upper jaw (maxilla) as an initial step towards diagnosing oral

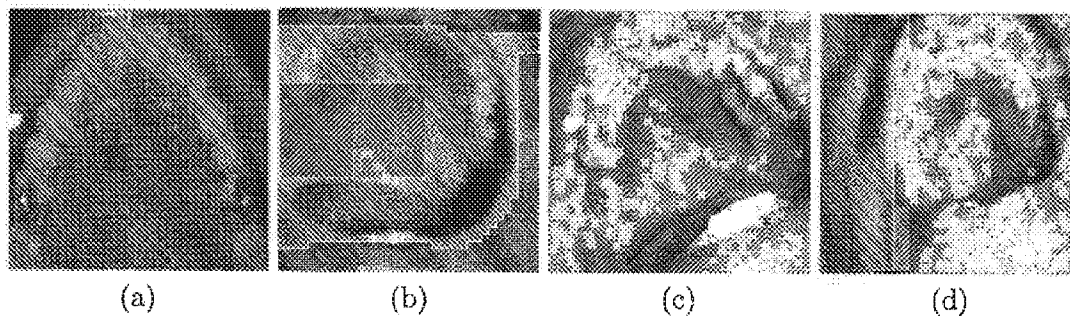


Fig. 1. (a) Healthy Palate. Oral diseases: (b) Candidiasis, (c) Hepatitis, (d) Kaposi's Sarcoma.

diseases. The palate is an important and large area of the mouth where several diseases can be observed. For example, figure 1 shows cases of patients with oral diseases such as Candidiasis, Hepatitis and Kaposi's Sarcoma. In addition to segmenting the palatal region, we aim to segment each tooth of the upper jaw to give a better description of the teeth region. This information could help refine the palatal region, or detect teeth diseases at future versions of the system.

2 Related Work

Methods for interdental segmentation in dental radiographs for general post-mortem identification are [4] [5]. In [4] a neural network based method is proposed for a postmortem identification system by matching image features extracted from dental radiographs. This system tries to match post-mortem and ante-mortem radiographs of a person. It proposes the use of learnable inherent dental image features for tooth-to-tooth image comparisons. In [5] a dental classification and numbering system to segment, classify, and number teeth in dental bitewing radiographs is proposed. Radiographs are enhanced to isolate teeth to regions of interest using image filters. Once teeth are isolated, a support vector machine classifies each tooth to molar or premolar.

In [13] the problem of lip segmentation in color space is handled using color photographs. The proposed solution set a Gaussian model using the hue and saturation value of each pixel within the lip segment. Then, the memberships of lip and non-lip regions are calculated, and the desirable lip region is obtained based on the memberships.

Radiographs have the advantage of having been taken under common standards, with low-variability machines, but provide less information about diseases compared to palatal view photographs. On the other hand, photographs are highly sensitive to phenomena such as illumination, quality of the image, angle of view, and lack of standards, among other. We address these issues on a variety of palatal view photographs, such as those shown in figure 1

3 System Overview

The input of the system are palatal view photographs of the upper jaw (maxilla) such as those of figure 3. The system is able to determine if an image holds this constraint. Three stages of the system are described: teeth regions detection, palate segmentation, and interdental segmentation.

The teeth regions detection stage classifies each pixel of the image into teeth/non-teeth regions based mainly on color features (see section 4). Some pre and post-processing are required to enhance the image quality and the output. We trained Support Vector Machines and Artificial Neural Networks. Experiments show that Neural Networks reached 85.05% accuracy.

At the palate segmentation stage a curve is adjusted to the palatal arch by means of an iterative heuristic process. Outsider teeth regions are discarded after the palatal arch is found. Not only the shape but also the width of the curve is adjusted to cover teeth and leave noise outside. The palate region is considered to be the area inside the closed curve. We achieved 87.52% accuracy at the palate classification stage (see section 5).

At the final stage, Support Vector Machines as well as Artificial Neural Networks were trained to detect the starting and ending points of each tooth. To do so, the curved teeth region obtained in the previous step is flattened, and then inspected through a sliding window. This process is explained in section 6. Results show that Artificial Neural Networks reached 88.82% accuracy at this task.

For the sake of clarity, experiments and results for each stage of the system are presented at the end of its corresponding section. All experiments were carried out on an Intel Core2Duo 2.4 GHz processor, with 4GB of RAM, running Ubuntu Linux 11.04.

4 Teeth Detection

Color is determinant in our teeth segmentation method. A color enhancement filter improves color differentiation and normalizes the color range of images. Frequently, color images are in RGB format. When operators such as histogram equalization and contrast adjustment are applied over each component separately (red, green and blue), new undesirable colors can show up [6]. Hence, we transform original RGB images to HSV format (hue, saturation, value).

Xiao&Ohya proposed a contrast enhancement filter for color images [6]. They handle the problem of invalid new colors in the resulting image by keeping the Hue component unchanged, where the color information lays. The contrast in the V component (luminance value) is enhanced and finally, the saturation component is improved by histogram equalization.

We propose a filter based on this method. Our variation has the same approach in the Hue and Value components. However, in our variation, the Saturation component distribution is shifted such that the mean saturation is the same in all images. This variation tries to keep the difference in the saturation of each pixel while brings a saturation value suitable for distinguishing colors.

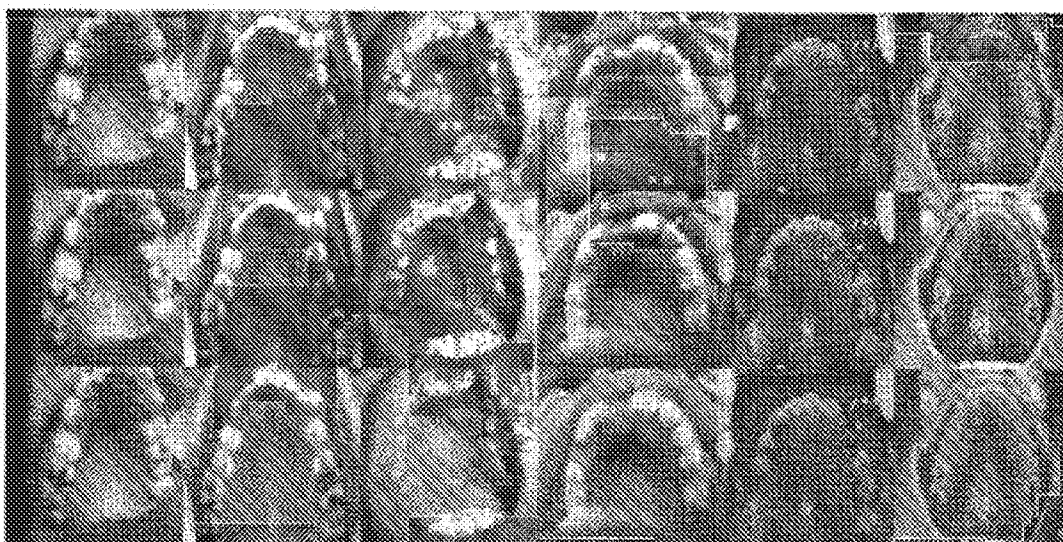


Fig. 2. Image preprocessing. Top: Original images. Middle: Color Enhanced images with Xiao&Ohya's filter. Bottom: Color Enhanced images with the proposed filter.

Finally, in both filters, images are restored to RGB format. These filters are useful in opaque images, where colors are almost indistinguishable. Figure 2 shows the result of applying the filters over six images.

We trained Support Vector Machines and Multilayer perceptrons to classify pixels of the images into teeth/non-teeth regions. SVM kernels include linear, polynomial and RBF kernels. Each SVM was trained varying the parameters using a logarithmic traversing over the search space. The training algorithm of the Multilayer Perceptrons is the classical random sequential back-propagation with a standard sigmoid as the activation function [11]. Neural Networks topologies had one hidden layer, which had from 5 up to 100 hidden neurons.

Experimental results are shown in section 4.1

A post processing filter is applied to erase small blobs of the output image [10]. A blob is defined as a contiguous set of pixels of similar color. Small blobs are treated as noise. Figure 3 shows some examples of the neural network output, and the postprocessing filter output.

4.1 Teeth Detection Experimental Results

A set of 100 images was used. The training and cross-validation set consisted of 10 images, and the test set of 90. Each image had a resolution of 200x200pixels, which means that the training set consisted of 400,000 pixels, and the test set of 3,600,000 pixels.

We wanted to know which image format was best suited for our segmentation task. Therefore, we trained the SVMs and ANNs using each of those formats. RGB, HSV and GRAY refer respectively to the RGB, HSV and gray-scale formats. eRGB and eHSV are the analogous format but with the Xiao&Ohya's enhancement filter, while eRGB', and eHSV' refer to our proposed filter. eGRAY

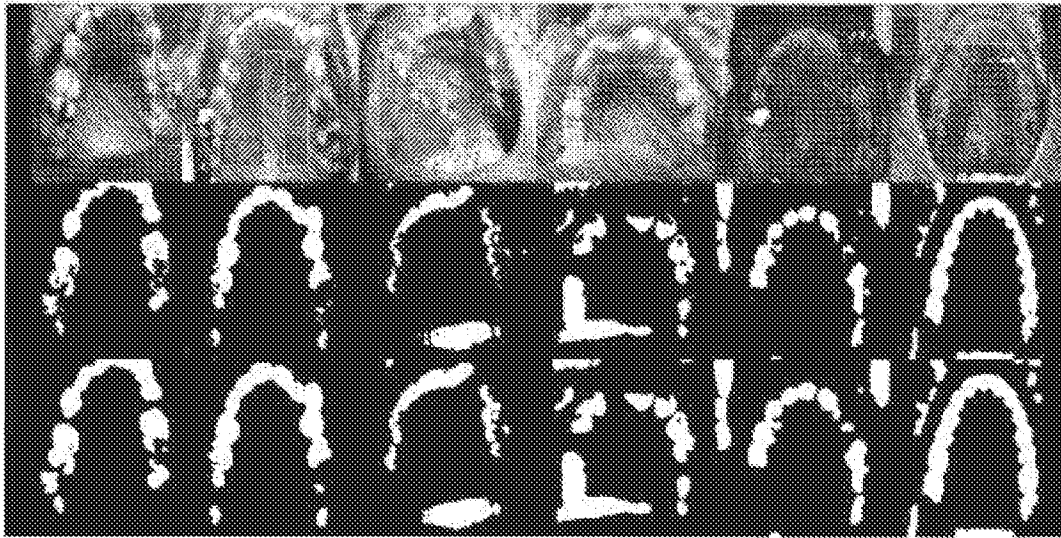


Fig. 3. Teeth Detection. Top: Original Images. Middle: Neural Network output. Bottom: Small blobs filtering.

Table 1. Pixel classification with SVM and ANN

Arguments	SVM				ANN			
	Kernel	Train	Test	Time	Top	Train	Test	Time
RGB	RBF	45.34	40.40	0.63	50	82.59	80.02	0.10
eRGB	Linear	52.37	45.44	0.40	100	83.44	80.7	0.15
eRGB	Linear	56.59	49.69	0.83	5	83.07	78.47	0.08
eHSV	Poly	76.55	72.00	0.63	30	82.78	78.06	0.06
eHSV	Poly	73.00	55.81	0.27	30	85.85	80.67	0.10
eHSV	Poly	73.69	71.66	0.67	30	85.00	81.44	0.06
GRAY	Linear	63.02	72.32	0.57	50	80.88	81.79	0.09
eGRAY	Poly	82.19	79.02	0.06	15	82.51	80.76	0.04

is the gray-scale format with histogram equalization. Each machine receives as input the format of a pixel.

Table 1 shows that Neural Networks work better in this problem than Support Vector Machines. For each color input format, the best Neural Network found outperformed the best Support Vector Machine found. Moreover, the classification time is much smaller for Neural Networks. An interesting result is that the best SVM found receives as argument the enhanced gray-scale image. Unfortunately, this is the most time consuming SVM too.

At the ANN side, it was hard to tell which was the best network found. The best training classification was achieved using the eRGB' input format. However, this network had 100 hidden neurons. Although it was the most time consuming ANN, notice that it is about 7 times faster than the best SVM found. On the other hand, the GRAY format produced the best classification of test images, yet the worst classification over training.

Table 2. Pixel classification on combined Input Formats for SVM and ANN

Arguments	SVM				ANN			
	Kernel	Train	Test	Time	Top	Train	Test	Time
eRGB'+eHSV'	Poly	80.89	77.53	0.23	20	89.02	81.33	0.10
eRGB'+eHSV	Linear	71.02	72.34	0.74	5	88.28	82.59	0.09
eRGB'+eGRAY	Linear	61.57	68.87	0.60	5	86.92	79.44	0.09
eRGB'+eGRAY	Poly	80.89	81.79	0.94	30	87.68	80.85	0.10
eHSV'+eGRAY	Poly	75.05	63.30	0.27	25	86.14	80.61	0.09
eHSV'+eGRAY	Linear	71.92	71.11	0.69	30	85.41	81.46	0.10
eRGB'+eHSV'+eGRAY	RBF	65.96	44.93	0.83	25	87.84	84.81	0.11
eRGB'+eHSV'+eGRAY	Linear	80.88	81.79	0.77	40	87.55	85.05	0.11

Table 3. Teeth Classification Rate After Small Blobs Filtering

Stage	Rate (%)	False Positive (%)	False Negative (%)
eRGB'+eHSV' ANN	81.8300	11.8974	8.0726
Blob Filter	86.1185	5.4553	8.4263

To explore further the impact of the image formats, we combined them, as shown in table 2. In general, significant improvements were achieved for SVMs both in classification rate and time as compared with those of table 1. However, none of these SVMs surpassed the 82.19% of classification rate over training achieved by using the eGRAY format only.

The combination of input image formats improved the classification rates of the Neural Networks as well. The best classification rate obtained over training was 89.02%. This result was achieved by a network of 20 hidden neurons, that combined the RGB and HSV images enhanced with our proposed filter. On the other hand, the best classification rate over testing was achieved by a network that combined the RGB, HSV and GRAY images enhanced by the Xiao&Ohya's filter.

From the results we cannot conclude which is the best Neural Network configuration. However, ANNs outperformed SVMs both in classification rate and time.

Table 3 shows the effect of filtering small blobs from the eRGB'+eHSV' Neural Network output. Blob filter leads to an increment of over 4%, decreasing considerably the false positive rate.

5 Palate Segmentation

Once the teeth regions are found it is easier to determine the palate location. We adjust a curve to the teeth regions by means of optimization algorithms [8]. These algorithms perform rotations, translations, scales and deformations of an original curve learned from palate curves.

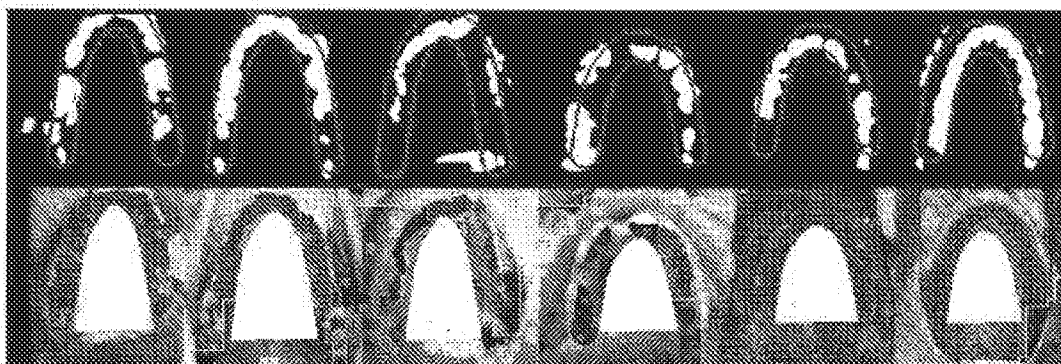


Fig. 5. Bandwidth selection and teeth/palate segmentation

5.1 Bandwidth Selection Experimental Results

Figure 4 shows the mean relative error of the application of bandwidth selection varying W . For each value of W , normal/anomalous threshold is selected such that minimizes the mean error.

The best results found in the training set are values of 13.3 and 0.1 for W and anomalous threshold. With this selection, the mean relative error between the bandwidth selected and the actual bandwidth is 0.09 in the training set and 0.16 in the test set.

Table 4 shows the teeth classification rate variation after the curve adjustment method and bandwidth selection. Recall from table 3 that the Neural Networks classification rate was 81.33%. Small blob filtering combined with the curve adjustment and bandwidth selection methods, improved the teeth classification rate to 89.74%. There is an important decrease in the percentage of false positives, yet there is an increment in the percentage of false negatives because some teeth regions may not be covered by the palatal curve, as it can be seen in figure 5.

Finally, the classification rate of the pixels as palate is 87.5267%. Errors were mainly false positive (8.7598%). We will work on improving the overall performance of our system.

Table 4. Teeth Classification after Curve Adjustment and Bandwidth Selection

Stage	Rate (%)	False Positive (%)	False Negative (%)
Curve Adjustment	87.8218	3.3103	8.8378
Bandwidth Selection	88.0421	1.8916	10.0663

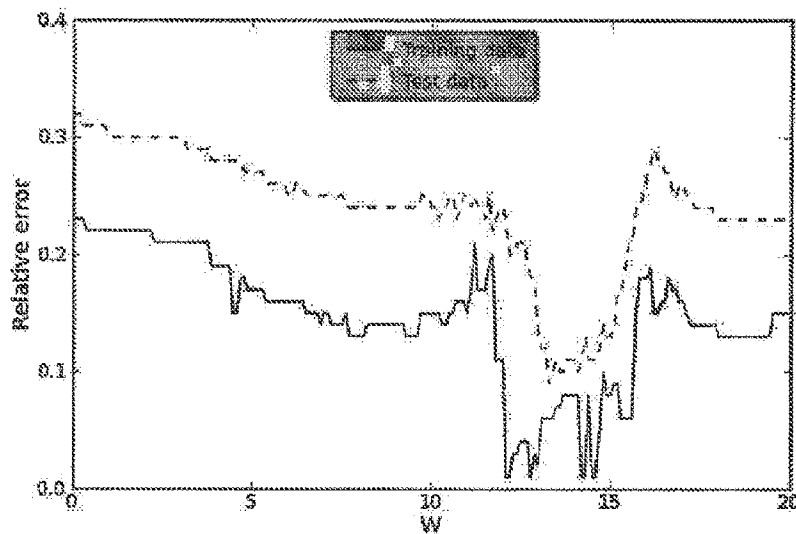


Fig. 6. Bandwidth Selection. Relative error vs. W .

6 Interdental Segmentation

Our first step to segment teeth is to flatten the palatal arch curve, *i.e.*, to transform the teeth band into a rectangle. Unfortunately, some pixels of the resulting rectangle are left blank because of the distortion of the image. Hence, such pixels are filled with a best first algorithm, using as priority the amount of neighboring filled pixels. Each blank pixel is filled with the average color value of its neighbors. Once the rectangle is entirely filled, the image is transformed to gray-scale, and improved by applying histogram equalization [9] [11] and edge enhancement filters [9].

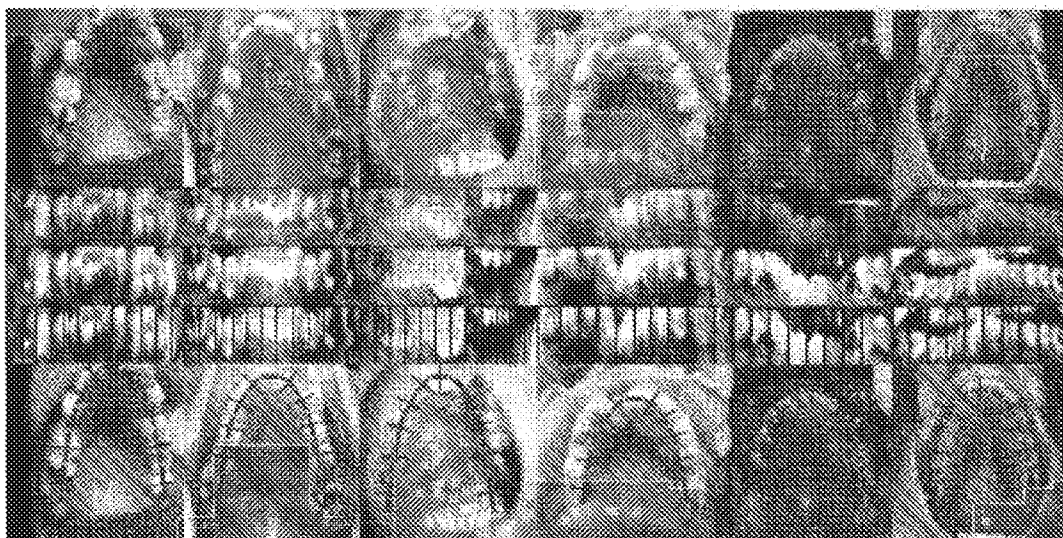


Fig. 7. Interdental Segmentation

Next, a sliding window algorithm searches for boundary between teeth. The main advantage of having the teeth region represented as a rectangle is that the sliding window can have fixed size. The algorithm complexity is linear in the number of window slides times the complexity time of the classifier.

We tested Support Vector Machine [12] and Multilayer Perceptron trained with Backpropagation [11]. Input are image slices of 50×25 pixels. The classifiers are trained to detect gaps between teeth.

6.1 Interdental Segmentation Experimental Results

ANN outperform SVM at this task as shown in table 5. Best results in time and quality were reached with Neural Networks. The best Neural Network found had 50 neurons at the hidden layer and worked with the original flattened image. A smaller Neural Network of 15 hidden neurons reached the same classification rate during testing using the enhanced images as input. However, this networks did not reach perfect classification rate during training.

Table 5. Interdental Segmentation

Arguments	Kernel	SVM			ANN			
		Train	Test	Time (ms)	Top	Train	Test	Time (ms)
Original	Linear	86.82	81.14	149	50	100.00	88.82	85
Enhanced	Poly	92.37	83.99	154	15	99.35	88.82	92

7 Conclusions and Future Work

We presented our results on automatic teeth/palate and interdental segmentation in palate view photographs of the upper jaw. Classic Multilayer Perceptrons trained with the error backpropagation algorithm outperformed SVMs for both of these tasks.

Image enhancement, filtering and adaptive curve fitting helped differentiate teeth and palates. Our system was able to cope with variations in patient anatomy, mouth scale in pictures, and view angle. Likewise, it was able to overcome standard problems for image processing systems, such as differences in illumination and image quality.

We wish to make our system more robust, so we are extending its capabilities to detect whether or not the input image depicts the upper jaw. Our final goal is to effectively detect common oral infecto-contagious diseases by looking at the palate, which could help diagnose HIV and AIDS. We believe this is an important initial step in that direction.

Acknowledgment. We would like to thank Dr. Vilma Tovar from the “Centro de Atención a Personas con Enfermedades Infectocontagiosas Dra Elsa La Corte”, Universidad Central de Venezuela. Dr. Tovar provided us with photographs of oral diseases and their diagnose.

References

1. World Health Organization: Progress report 2011: Global HIV/AIDS response Epidemic update and health sector progress towards universal access. WHO Press, ISBN 978 92 4 150298 6, http://www.who.int/hiv/pub/progress_report2011/en/index.html
2. Barr, C.E.: Dental management of HIV-associated oral mucosal lesions: current and experimental techniques. In: Robertson, P.B., Greenspan, J.S. (eds.) *Perspectives on Oral Manifestation of AIDS: Diagnosis and Management of HIV-Associated Infections*, pp. 77–95. PSG Publishing Co., Inc., Littleton (1988)
3. Arendorf, T.M., Bredekamp, B., Cloete, C., Sauer, G.: Oral manifestation of HIV infection in 600 South African patients. *J. Oral Pathol. Med.* 27, 176–179 (1998)
4. Nassar, D., Ammar, H.: A neural network system for matching dental radiographs. *Pattern Recognition* 40, 65–79 (2006)
5. Lin, P., Lai, Y., Huang, P.: An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using teeth region and contour information. *Pattern Recognition* (2009)
6. Xiao, D., Ohya, J.: Contrast Enhancement of Color Images Based on Wavelet Transform and Human Visual System. In: *Proceedings of the IASTED International Conference Graphics and Visualization in Engineering*, Florida (2007)
7. Chimphee, C., Hanan, A., Noor, M.: Unsupervised Anomaly Detection with Unlabeled Data Using Clustering. In: *Proceedings of the Postgraduate Annual Research Seminar* (2005)
8. Gendreau, M., Potvin, J.: *Handbook of Metaheuristics*. Springer (2010)
9. Gonzalez, R., Woods, R.: *Digital Image Processing*, 3rd edn. Prentice Hall (2007)
10. Shapiro, L., Stockman, G.: *Computer Vision*. Prentice Hall (2001)
11. LeCun, Y., Bottou, L., Orr, G.B., Müller, K.-R.: Efficient BackProp. In: Orr, G.B., Müller, K.-R. (eds.) *Neural Networks: Tricks of the Trade*. LNCS, vol. 1524, pp. 9–50. Springer, Heidelberg (1998)
12. Burges, C.: A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Knowledge Discovery and Data Mining* 2(2) (1998)
13. Li, M., Cheung, Y.-M.: Automatic Segmentation of Color Lip Images Based on Morphological Filter. In: Diamantaras, K., Duch, W., Iliadis, L.S. (eds.) *ICANN 2010, Part I*. LNCS, vol. 6352, pp. 384–387. Springer, Heidelberg (2010)



An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using teeth region and contour information

P.L. Lin^a, Y.H. Lai^b, P.W. Huang^{b,*}

^a Department of Computer Science and Information Engineering, Providence University, Shalu, Taichung 43301, Taiwan

^b Department of Computer Science and Engineering, National Chung Hsing University, Taichung 40227, Taiwan

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 December 2008

Received in revised form

4 September 2009

Accepted 10 October 2009

Keywords:

Dental bitewing radiograph

Homomorphic filter

Homogeneity measurement

Adaptive contrast stretching

Teeth classification

Sequence alignment

Teeth numbering

ABSTRACT

We propose a dental classification and numbering system to effectively segment, classify, and number teeth in dental bitewing radiographs. An image enhancement method that combines homomorphic filtering, homogeneity-based contrast stretching, and adaptive morphological transformation is proposed to improve both contrast and illumination evenness of the radiographs simultaneously. Iterative thresholding and integral projection are adapted to isolate teeth to regions of interest (ROIs) followed by contour extraction of the tooth and the pulp (if available) from each ROI. A binary linear support vector machine using the skew-adjusted relative length/width ratios of both teeth and pulps, and crown size as features is proposed to classify each tooth to molar or premolar. Finally, a numbering scheme that combines a missing teeth detection algorithm and a simplified version of sequence alignment commonly used in bioinformatics is presented to assign each tooth a proper number. Experimental results show that our system has accuracy rates of 95.1% and 98.0% for classification and numbering, respectively, in terms of number of teeth tested, and correctly classifies and numbers the teeth in four images that were reported either misclassified or erroneously numbered, respectively.

© 2009 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Biometric recognition systems based on physiological and behavioral characteristics such as face, voice, and iris can provide reliable identification in many applications. However, most of these characteristics are not suitable for postmortem identification in law enforcement, especially under the severe decaying of soft tissues or mass disasters such as fire or collision [1]. Teeth, being the hardest and the most impregnable part of human body, are thus regarded to be the best candidates for postmortem identification. For automatic and accurate identification, Automatic Dental Identification System (ADIS) [2], which involves teeth segmentation, teeth classification, teeth numbering, and human identification, has been proposed and investigated.

The adult dentition contains 32 teeth, 16 in each of the upper jaw (maxilla) and the lower jaw (mandible), respectively. Based on the Universal numbering system as shown in Fig. 1 [3], numbers 1, 2, and 3 are the third, the second, and the first molar whereas numbers 4 and 5 are the second and the first premolar of the right maxilla, respectively. Number 6 is the canine tooth. Following around the upper arch to the left, numbers 11–16 are the canine,

the first and the second premolars, and the first to the third molars of the left maxilla, respectively. Descending to the lower jaw, numbers 17–22 and 32–27 are the third to the first molars, the second and the first premolars, and canine of the left and the right mandible, respectively. Fig. 2 shows four bitewing radiographs, where (a) and (b) are taken from the right side, and (c) and (d) are taken from the left side. Generally, four components exist in a bitewing dental radiograph: teeth, pulps, gums, and air/background, as shown in Fig. 3. The isolated blocks that each contains a single tooth are usually called regions of interest (ROIs). Within each tooth, the upper portion bounded by the center of the pulp is called the crown part, and the lower portion is called the root part.

Several good progresses have been made for teeth segmentation in the past few years. Jain and Chen [4] proposed a semi-automatic contour extraction method for tooth segmentation by using integral projection and Hayes rule, in which an initial valley gap point is required for applying the integral projection to tooth isolation. Zhou and Abdel-Mottaleb [5] presented a segmentation method that consists of image enhancement, ROI localization, and tooth segmentation by using morphological operations and Snake method. Nomir and Abdel-Mottaleb [6] developed a fully automated approach based on iterative thresholding and adaptive thresholding for segmentation. Keshkar and Gueaieb [7] introduced a swarm-intelligence-based and a cellular-automata model approach. Said et al. [8] offered a mathematical morphology

* Corresponding author. Tel.: +886 4 2285 1528; fax: +886 4 2285 3870.

E-mail addresses: lan@pu.edu.tw (P.L. Lin), yashao.lai@gmail.com (Y.H. Lai), powwei.huang@msa.hinet.net (P.W. Huang).

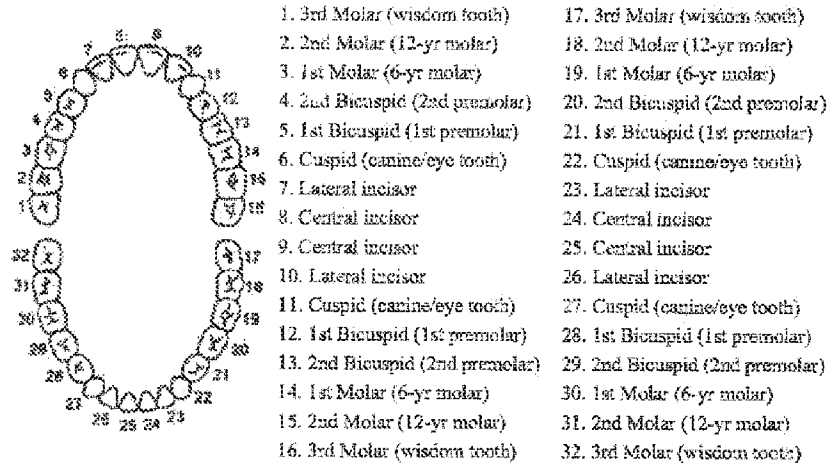


Fig. 1. The universal numbering system.

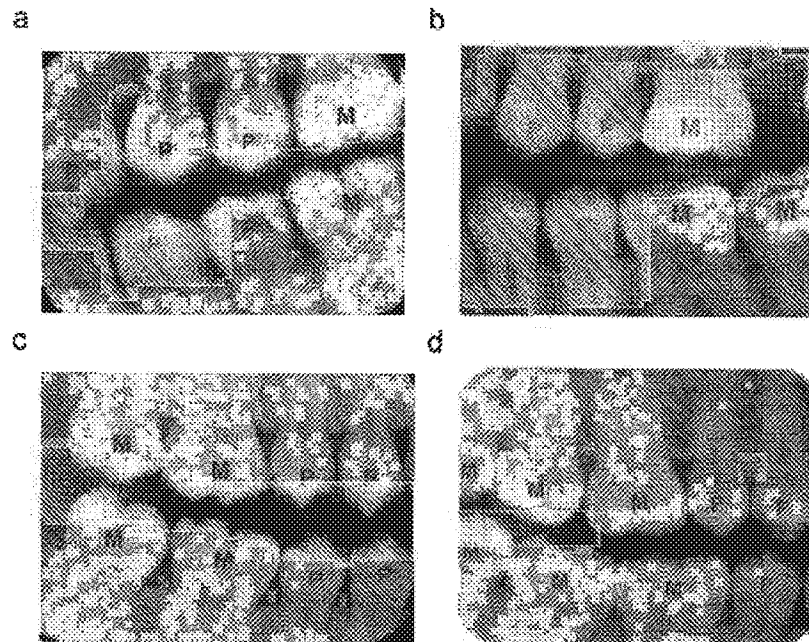


Fig. 2. Bitewing radiographs. (a) and (b) are taken from the left side, (c) and (d) are taken from the right side.

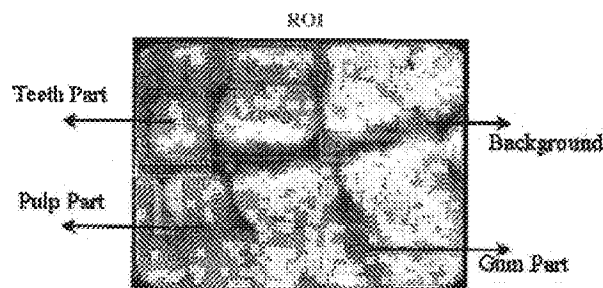


Fig. 3. Different portions in a bitewing radiograph.

approach, which used a series of morphology filtering operations to improve the segmentation, and then analyzed the connected components to obtain the desired ROIs. Li et al. [9] proposed a

semi-automatic lesion detection framework by using two coupled level set functions in which initial contour are derived from a trained support vector machine (SVM) to detect areas of lesions from dental X-ray images. All of these methods directly use greyscale intensity for segmentation. However, only considering greyscale intensity tends to fail images with fuzzy teeth contours and low-contrast between teeth and gums. We proposed a segmentation method using texture-based features and fuzzy rule-based region growing [10] to reduce the effects of both problems. Although good results had been obtained for many images, the method did not perform well for radiographs with uneven exposure and unobvious texture in gums.

In traditional identification, each tooth in the query image needs to be compared with all teeth stored in the database, which is tedious and time consuming. Teeth classification and numbering can identify each tooth as the specific one in the universal teeth numbering system [3]. This approach will limit the search

space to only including the teeth with the same assigned number and consequently improves the identification accuracy. The shape of the teeth has been proposed as a piece of useful information for classification in literature. In general, there are two types of shape representations, i.e., contour-based and region-based, and each type has various methods with varying performance for different shapes. Methods with region-based representation, such as moments invariants [11], tend to work well on objects where the distribution of the pixels is informative; whereas methods with contour-based representation, such as Fourier descriptors of the boundaries used in [12], can work better on objects where their outline carries more information. These methods, however, did not result in high classification accuracy, especially for those poorly skewed radiographs in those teeth at one side are nearly half appeared.

For numbering techniques, Mahoor and Abdel-Mottaleb [12] proposed a method that checks to which in the set of various-length standard patterns the classified teeth arrangement matches and assigns a number to each tooth when a match occurs. The major limitation of their method is that it does not consider the case of missing teeth, nor can it assign teeth numbers when no pattern matches exactly. Jain and Chen [13] proposed a registration method that uses a hidden Markov model (HMM) as an underlying representation of the dental atlas to handle the problem of missing teeth. In their model, the states representing the available teeth have class of each tooth, whereas the states representing missing teeth have the distance between neighbouring teeth. Although the method had been demonstrated promising for most periapical images, errors still occurred when too few

correctly classified teeth in the teeth sequence or when missing teeth not been correctly detected, which are often the classification results of skewed bitewing images.

In this paper, we propose a dental classification and numbering system to effectively classify and number teeth in dental bitewing radiographs. As shown in Fig. 4, our system includes an image enhancement method that combines the homomorphic filtering technique to reduce uneven exposure problem and adaptive contrast stretching based on homogeneity of both texture and intensity to improve low-contrast problem. For solving problems of incomplete view of some teeth, we propose ROI extension with angle adjustment so that closer to valid length/width ratios of teeth can be obtained for classification. We also propose using relative crown sizes and length/width ratios of pulps besides teeth as three features for teeth classification with SVM. Finally, we propose a numbering algorithm, which combines a missing teeth detection algorithm and a simplified sequence alignment commonly used in bioinformatics, to align the teeth sequence of each jaw to the best matching segment within one of the standard pattern and assign a proper number to each tooth.

The remainder of this paper is organized as follows. In Section 2, the segmentation method that includes our proposed image enhancement, the adapted teeth segmentation, the isolation, and contour extraction is described. In Section 3, the proposed ROI extension with angle adjustment, the classifier, and three features used are explained. A missing teeth detection method and a modified sequence alignment algorithm for teeth numbering are described in Section 4. Experimental results and comparisons to

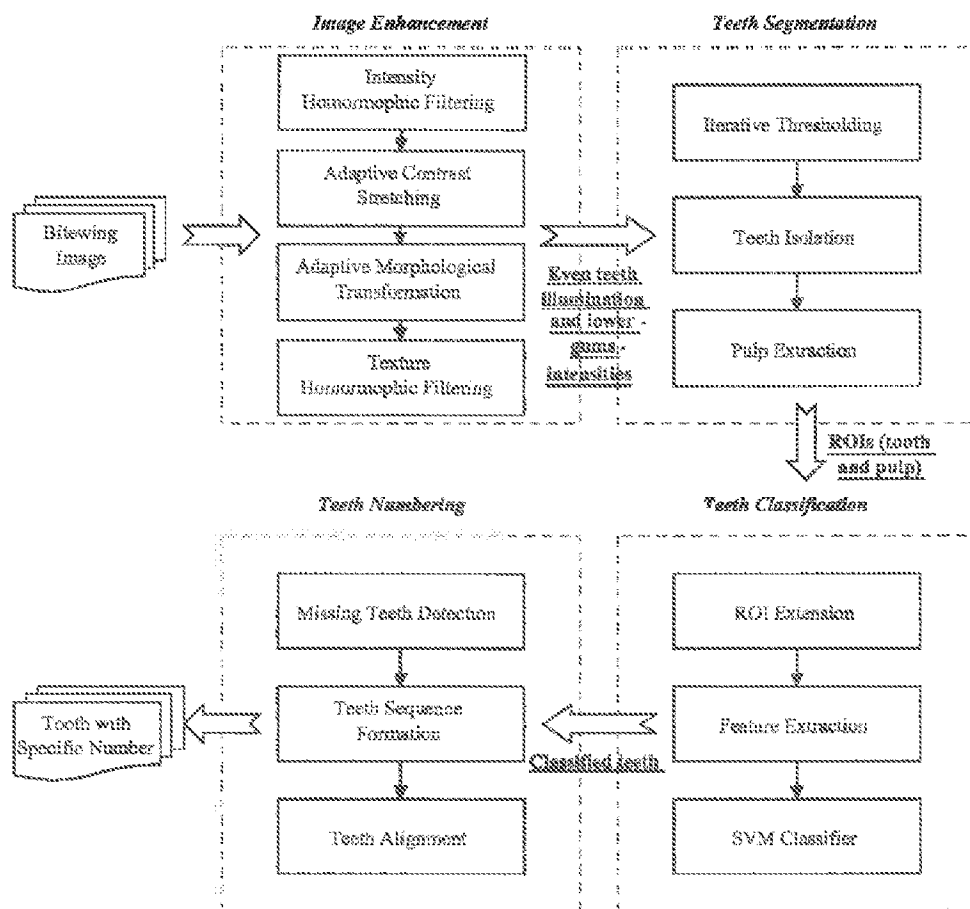


Fig. 4. The block diagram of our system.

demonstrate the effectiveness of our method are provided in Section 5. Finally, the conclusions are given in Section 6.

2. Teeth segmentation

Based on our observation on the available dental bitewing images, the shapes of teeth and pulps play important roles in accurate classification. Thus, accurate segmentation to teeth and pulps can improve teeth classification and facilitate correct teeth numbering.

2.1. Image enhancement

Dental radiographs always suffer from problems like noise, low-contrast, and uneven exposure, as shown in Figs. 5(a) and (b). These problems are either handled by adaptive intensity stretching and top- and bottom-hat morphological transformations [8] or by adaptive thresholding and top- and bottom-hat morphological transformations [12]. However, the contrast between teeth and pulps and uneven intensity of teeth across the entire radiograph cannot be simultaneously taken care by either method. In order to improve both contrast and intensity evenness simultaneously, we propose an image enhancement method that combines homomorphic filtering, adaptive contrast stretching based on homogeneity [10], and adaptive morphological transformations.

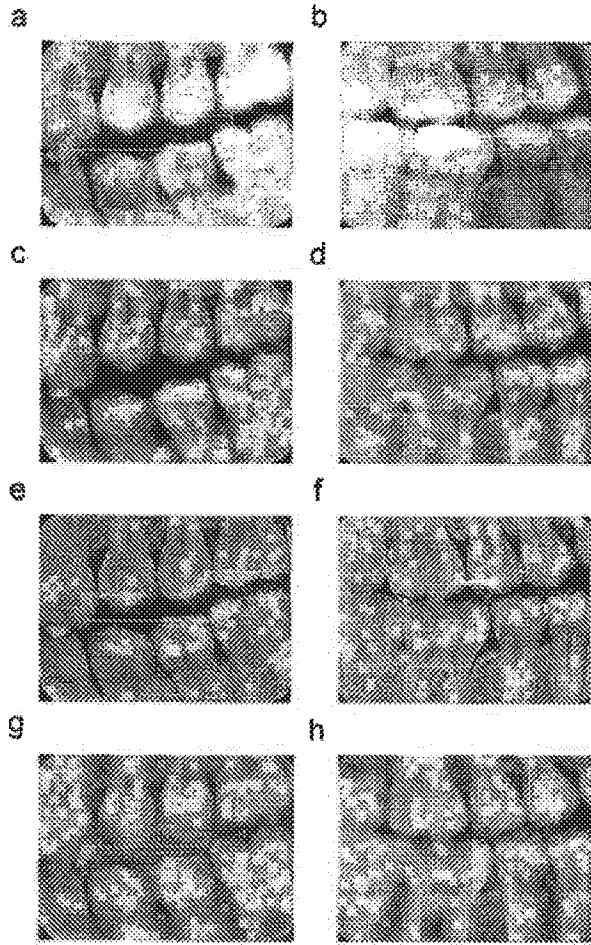


Fig. 5. Image enhancement: (a), (b) original images, (c), (d) images after the first homomorphic filtering, (e), (f) after adaptive contrast stretching and morphological transformations, (g), (h) final enhanced images.

2.1.1. Homomorphic filtering

Homomorphic filters are widely used in image processing for compensating the effect of non-uniform illumination in an image [14]. In theory, an image function $I(x, y)$ may be characterized by the multiplicative combination of an illumination component $I(x, y)$ and a reflectance component $r(x, y)$.

$$I(x, y) = I(x, y) \cdot r(x, y). \quad (1)$$

Also, teeth, pulps, and gums in a dental radiograph should each have similar reflectivity. Thus, we propose a homomorphic filtering method to suppress the uneven illumination effect while preserving the intensity discrepancies among all the components in the radiograph.

Proposed homomorphic filter: For a given dental radiograph image $I(x, y)$, we first take the Fourier transform of the logarithm of $I(x, y)$ to get the sum of its low-frequency illumination component and high-frequency reflectance component.

$$I(u, v) = \mathcal{F}(\ln(I(x, y))) = \mathcal{F}(\ln(I(x, y))) + \mathcal{F}(\ln(r(x, y))). \quad (2)$$

We then apply a Gaussian low-pass filter $G(u, v)$ [15] to I to remove its detailed components and retain its illumination distribution:

$$I'(u, v) = G(u, v) \cdot I(u, v). \quad (3)$$

$$G(u, v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(u^2 + v^2)/2\sigma^2}. \quad (4)$$

As the rims of teeth have been removed during Gaussian filtering, we want to restore the rims back using a spatial dilation function. So we invert-transform I' back to spatial domain and take antilogarithm to obtain a filtered homomorphic view of illumination.

$$I''(x, y) = \ln^{-1} \mathcal{F}^{-1}(I'(u, v)). \quad (5)$$

We then apply a dilation $\mathcal{D}$ to include back the filtered rims of teeth as much as possible. Finally we remove the illumination effect from the original image by dividing it with the dilated homomorphic view of illumination to result in a homomorphic filtered image I^* that will appear much more uniformly illuminated.

$$I^*(x, y) = \frac{I(x, y)}{\mathcal{D}(I''(x, y))} = I^*(x, y) \cdot r^*(x, y). \quad (6)$$

where $I^*(x, y)$ and $r^*(x, y)$ represent the homomorphic filtered illumination and reflectance components, respectively.

Eqs. (5) and (6) are equivalent to transform the spatially dilated image back to frequency domain again without taking anti-logarithm then subtract it from I and take the inverse Fourier transform and anti-logarithm to it. That is,

$$I^*(u, v) = \mathcal{F}(\mathcal{D}(\mathcal{F}^{-1}(I(u, v)))) = \mathcal{F}(\ln(I''(x, y))) - \mathcal{F}(\ln(I''(x, y))). \quad (7)$$

$$I^*(x, y) = \ln^{-1} \mathcal{F}^{-1}(I^*(u, v)) = I^*(x, y) \cdot r^*(x, y). \quad (8)$$

where $I^*(x, y)$ and $r^*(x, y)$ represent the dilated-Gaussian filtered illumination and reflectance components, respectively.

2.1.2. Adaptive contrast stretching based on homogeneity

Homogeneity is a mathematic statistic measurement that reflects the degree of uniformity in a region of interest [16]. In our previous work [10], we presented an adaptive contrast stretching technique based on a homogeneity measurement $H(x, y)$, which is defined as a combination of the complement of three normalized local discrepancy measurements: local range value, local standard deviation, and impulsiveness of the distribution. Local range value, denoted $d(x, y)$, measures the difference between the maximum and the minimum value of the neighborhood pixels within a window $\mathcal{W}(x, y)$ that is centered

at (x, y) with both of its width and length equal to w , respectively. Local standard deviation, denoted $v(x, y)$, and $\gamma_d(x, y)$ measure the dispersion and the impulsiveness within a neighborhood $W(x, y)$, respectively. The mathematical expressions of our homogeneity definition are as follows.

$$H(x, y) = (1 - D(x, y)) \cdot (1 - V(x, y)) \cdot (1 - R_d(x, y)). \quad (9)$$

$$D(x, y) = \frac{d(x, y)}{\max_{\Omega} \{d(x, y)\}}, \quad V(x, y) = \frac{v(x, y)}{\max_{\Omega} \{v(x, y)\}},$$

$$R_d(x, y) = \frac{\gamma_d(x, y)}{\max_{\Omega} \{\gamma_d(x, y)\}}. \quad (10)$$

$$d(x, y) = \max\{I(x+p, y+q) - \min\{I(x+p, y+q)\}, \text{ where } -[w/2] \leq p, q \leq [w/2], \quad (11)$$

$$v(x, y) = \sqrt{\frac{1}{w^2} \sum_{p=-[w/2]}^{[w/2]} \sum_{q=-[w/2]}^{[w/2]} I(x+p, y+q) - \mu(x, y)^2}, \quad (12)$$

$$\gamma_d(x, y) = \frac{\sum_{p=-[w/2]}^{[w/2]} \sum_{q=-[w/2]}^{[w/2]} I(x+p, y+q) - \mu(x, y)^2}{w^2 - 1}, \quad (13)$$

and

$$\mu(x, y) = \frac{1}{w^2} \sum_{p=-[w/2]}^{[w/2]} \sum_{q=-[w/2]}^{[w/2]} I(x+p, y+q). \quad (14)$$

where Ω is the domain of I , I is a scalar intensity map, and $[w/2]$ stands for the largest integer smaller than $w/2$.

Based on the definition, a region is considered perfectly uniform when $D(x, y)$, $V(x, y)$, and $R_d(x, y)$ in the region are all 0, and the more uniform a region is, the larger the homogeneity measurement of the pixels within it will be. The adaptive contrast stretching function is constructed as follows.

- (1) Calculate the degree of non-homogeneity $NH(x, y)$ for each pixel (x, y) by

$$NH(x, y) = 1 - H(x, y) \quad (15)$$

- (2) Compute the control point "m" of the stretching function, which is the mean non-homogeneity $\delta(x, y)$ for window

$W(x, y)$ centered at pixel (x, y)

$$\delta(x, y) = \frac{\sum_{p=-[w/2]}^{[w/2]} \sum_{q=-[w/2]}^{[w/2]} I(x+p, y+q) \cdot NH(x+p, y+q)}{\sum_{p=-[w/2]}^{[w/2]} \sum_{q=-[w/2]}^{[w/2]} NH(x+p, y+q)}. \quad (16)$$

- (3) Extend the range of NH from $[0, 1]$ to $[-1, 1]$ by $NH = 2NH - 1$ so that the value becomes negative when the point is within a smooth region and vice versa.

- (4) Determine the other control points "a", "b", and slope "h" as $h = v(x, y) \cdot NH(x, y) \cdot C$.

$$\begin{cases} a_x = \delta(x, y) - v(x, y) \\ b_x = \delta(x, y) + v(x, y) \end{cases} \quad \begin{cases} a_y = a_x - h \\ b_y = b_x + h \end{cases} \quad (17)$$

where a_x , a_y , b_x , and b_y denote the coordinates of control points "a" and "b", respectively, and the parameter C is a magnification constant. Fig. 6 depicts the concept of the adaptive local contrast stretching function.

Note that the range of $NH(x, y)$ in Eq. (17) is extended to $[-1, 1]$ from $[0, 1]$. The region is smooth when the value is negative, and the larger the absolute value is, the more uniform the region (i.e. teeth part) will be. On the other hand, positive value means lots of textures exist in the region (i.e. gums). Thus, a smooth function and a sharp function are constructed for teeth and gums, respectively.

- (5) Map every pixel value $I(x, y)$ to a new value $I_c(x, y)$ according to the adaptive stretching function as follows:

$$I_c(x, y) = \begin{cases} (a_y/a_x) \cdot I(x, y), & \text{if } I(x, y) \leq a_x \\ (b_y - a_y)/(b_x - a_x) \cdot (I(x, y) - a_x) + a_y, & \text{if } a_x < I(x, y) < b_x \\ (255 - b_y)/(255 - b_x) \cdot (I(x, y) - b_x) + b_y, & \text{if } I(x, y) \geq b_x \end{cases} \quad (18)$$

2.1.3. Adaptive morphological transformation

After applying the adaptive local contrast stretching, the teeth become smoother, and the gums become more textured. For accentuating the cobweb-like texture, which has small bright and dark spots, without influencing the smooth region, we propose using an adaptive morphological transformation, which is defined as the combination of morphological top-hat and bottom-hat

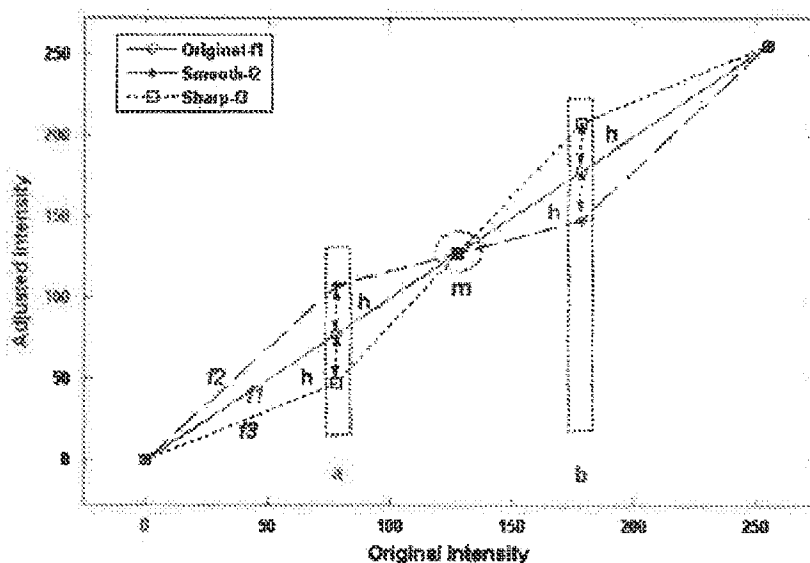


Fig. 6. A concept of adaptive local contrast stretching function.

transformations [17], to further emphasize the texture in the gums.

$$I_E(x, y) = I_c(x, y) + (T(x, y) - B(x, y)) \cdot NH(x, y), \quad (20)$$

where

$$T(x, y) = I(x, y) - (I(x, y) \circ S)$$

$$B(x, y) = (I(x, y) \cdot S) - I(x, y),$$

The operators $\circ$ and $\cdot$ represent morphological opening and closing used in top-hat transformation T and bottom-hat transformation B with a disk structure element S of radius 3, respectively. Non-homogeneity NH is used for suppressing the influence to smooth regions, e.g., teeth or background, but accentuating the influence to texture regions such as gums.

2.1.4. Image enhancement procedure

The goal of the proposed enhancement method is to make images with the intensity of teeth globally higher than the other parts so that simple iterative thresholding can be adapted for the next step of segmentation. The procedure is as follows.

For a given image I , we first apply the homomorphic filtering to obtain an image with more even intensity across the entire view. Figs. 5(c) and (d) are the filtered results of (a) and (b), respectively. We then apply adaptive contrast stretching based on homogeneity to the filtered image to enlarge texture discrepancies between teeth and gums as well as between teeth and pulps. To accentuate the cobweb-like texture in the gums, which has small bright and dark spots, without influencing the smooth regions, we apply the adaptive morphological transformations and obtain an enhanced image I_E , as shown in Figs. 5(e) and (f).

At this point, the intensity of some gums area may appear too close to teeth. In order to lower the intensity of gums so that gums can be differentiable from teeth by intensity thresholding, we transform I_E to I_E' , which is the combination of both entropy and edge value of I_E . Since gums have more texture than teeth even though their average intensity may be close, they have higher entropy and edge value and thus appear brighter than teeth in I_E . That is, gums and edges become the high illumination portion of I_E . So we apply the homomorphic filtering again to remove the high illumination portion and leave gums part appeared darker than teeth. Figs. 5(g) and (h) illustrate the final enhanced images of (a) and (b), respectively. The algorithm is as follows.

Image enhancement algorithm.

Input: A dental bitewing image I .

Output: An enhanced image with even teeth illumination and lower gum intensities.

Step1: Apply the proposed homomorphic filtering to I to remove uneven exposure.

- 1.1. Separate image I to illumination and reflection components using Eq. (2).
- 1.2. Retain the low-frequency illumination distribution by Gaussian low-pass filter using Eq. (3).
- 1.3. Take inverse transform and then anti-logarithm by Eq. (5) to obtain a reflection-suppressed image.
- 1.4. Dilate the reflection-suppressed image and divide it from the original image using Eq. (6).

Step2: Apply adaptive contrast stretching and adaptive morphological transformations to enlarge texture discrepancies between teeth and gums.

- 2.1. Measure the homogeneity of the filtered image resulted from Step1 using Eqs. (9)–(14).
- 2.2. Calculate the degree of non-homogeneity using Eq. (15).

- 2.3. Establish the stretching function by determining the control points and slope using Eqs. (16)–(18).
- 2.4. Map the intensity of every pixel to a new value using Eq. (19).
- 2.5. Accentuate the cobweb-like texture in the gums using the adaptive morphological transformations in Eq. (20).

Step3: Apply the proposed homomorphic filtering to texture-image to lower the intensity of gums part.

- 3.1. Calculate the entropy $Q(x, y)$ and edge value $E(x, y)$ of the enhanced image I_E resulted from Step2.
- 3.2. Transform the enhanced image to texture feature space using

$$I_E'(x, y) = \frac{Q(x, y) + E(x, y)}{2}. \quad (21)$$

- 3.3. Use I_E' as the input image and perform Step1 again to remove the high illumination portion and leave the part of gums that appear darker than the teeth.

2.2. Segmentation and contour extraction

After enhancement, the image is ready to be segmented. The segmentation method, which was adapted and modified from [18], is briefed as follows.

- **Teeth segmentation:** Segmentation starts with applying an initial thresholding to separate the enhanced image into teeth areas and background areas, where the initial threshold is estimated from an area around the edges of teeth [19]. A new threshold is then computed as the average of two mean gray values of the two areas. Thresholding is applied again if the new threshold is different from the previous one. This procedure is repeated until there is no change in the new threshold value. After iterative thresholding, the image is binary with teeth areas in white and background areas in black. At this point, the binary image is ready for isolation to each individual tooth.
- **Isolation:** Horizontal integral projection is first applied to separate the upper jaw from the lower jaw followed by vertical integral projection to each jaw [6]. The result is a set of blocks, usually called region of interest (ROI), each contains a tooth.
- **Pulp extraction:** The pulp is always located within the tooth and its intensity is lower. Thus, we apply the iterative thresholding again to extract the pulp from each ROI.
- **Contour extraction:** The shape boundary of each tooth and pulp are finally obtained by applying an edge operator to each ROI followed by equal points sampling and B-spline fitting [20] to obtain a smooth contour of each tooth and pulp. Note that spline fitting will not affect the dimensions of the tooth features that will be used for classification later; nevertheless, it can help us to view how well the extracted contours are.

3. Teeth classification

The goal of classification is to classify each tooth within a bitewing dental radiograph to molar or premolar. By observing many bitewing images, we conclude that relative length/width ratio of a tooth, relative length/width ratio of a pulp, and relative crown size are three features that can effectively classify molar teeth from premolar teeth.

3.1. ROI extension with angle adjustment

In many cases, teeth may appear skew due to shooting, injury, or poorly aligned when taking the radiograph, and some root areas may not appear as well. Therefore, the true length/width ratio of a tooth may not be available without angle adjustment of

that tooth. The ROI extension with angle adjustment is performed as follows.

Step1: Calculate the skew angle (θ_i) of each ROI_{*i*} of the upper/lower jaw, as

$$\theta_i = \begin{cases} T_i & i=1, \\ \frac{1}{2} \cdot (T_{i-1} + T_i), & 2 \leq i < n_j, \\ T_{i-1}, & i=n_j, \end{cases} \quad (22)$$

where T_i is the angle of the vertical boundary line, obtained during the isolation step of segmentation, and n_j is the maximum number of teeth in each jaw j .

Step2: For each ROI_{*i*} contained in the maxilla, pivot at the top-right or top-left corner of the sub-image containing the maxilla and rotate it $\text{abs}(\theta_i)$ degrees counter-clockwise if $\theta_i > 0$ or clockwise if $\theta_i < 0$.

Step3: For each ROI_{*i*} contained in the mandible, pivot at the top-left or top-right corner of the sub-image containing the mandible and rotate it $\text{abs}(\theta_i)$ degrees counter-clockwise if $\theta_i > 0$ or clockwise if $\theta_i < 0$.

Fig. 7 shows four extended ROIs after angle adjustment, in which (a) is a skewed image, (b) is the result of teeth segmentation and isolation with the angles of the three boundary lines of ROI's in maxilla and mandible being $(20^\circ, -4^\circ, -5^\circ)$ and $(20^\circ, 10^\circ, 10^\circ)$, respectively, (c) the extended ROI₁ in maxilla with $\theta_1 = 20^\circ$, (d) the extended ROI₂ in mandible with $\theta_2 = 15^\circ$, (e) the extended ROI₃ in maxilla with $\theta_3 = -5^\circ$, and (f) the extended ROI₄ in mandible with $\theta_4 = 10^\circ$.

3.2. Feature extraction

- **Relative length/width ratio (L/W):** The shape of a complete molar is relatively fatter than a skinny premolar. Similarly, the shape of pulps within molars is either wide-flat or square-like, which is significantly different from long-narrow pulps in premolars. We define length and width of ROI_{*i*} as:

$$\begin{cases} \text{length}_i(L_i) = \max(y_i) - \min(y_i), \\ \text{width}_i(W_i) = \max(x_i) - \min(x_i), \end{cases} \quad (23)$$

where (x_i, y_i) is the coordinate of any contour point in ROI_{*i*}. Thus, the relative length/width ratio of a tooth i in the upper/lower jaw j having n_j teeth is:

$$\frac{(L_i/W_i)_j}{(L/W)_j}, \quad i=1 \dots n_j, j \in \{\text{maxilla, mandible}\},$$

where $(L/W)_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} (L_i/W_i)_j$. (24)

- **Relative crown size:** As mentioned in the introduction, the crown part of a tooth is defined as the upper portion of the tooth

bounded by the horizontal center line of the pulp. Observing the bitewing images available, we conclude that most of the crown parts of molars appeared significantly wider and bigger than those of premolars in the same image. Thus, we select relative crown size as another classification feature for discriminating molar teeth from premolar teeth. Since the complete crown part may not always appear in the image, we define the relative crown size as:

$$\frac{c_i}{c'}, \quad \text{where } c' = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{n}, \quad (25)$$

and c_i is the width of ROI_{*i*} and n is the total number of teeth in the bitewing dental radiograph. Fig. 8 lists two sets of length/width ratio and crown width for premolar and molar tooth, respectively.

3.3. Support vector machine (SVM)

We use binary support vector machine (SVM) [21,22] to classify each tooth to molar or premolar. SVM is a popular classification and regression technique, which was originally derived from statistical learning theory and has shown promising empirical results in many practical applications. The basic idea of SVM is to transform data into a higher dimensional space and find the optimal hyperplane with maximal separation margin between classes.

We assume all data are linearly separable. That is, the hyperplane of our binary SVM has the form of $\mathbf{w} \cdot \mathbf{x} + b = 0$, where $\mathbf{w}$ is the normal to the hyperplane and $b/\|\mathbf{w}\|$ is the perpendicular distance from the hyperplane to the origin. Fig. 9 is a scatter plot of the feature vectors (relative teeth L/W , relative pulp L/W , relative crown size)^T in our dataset.

A linear SVM works as follows. First, L data, $(\mathbf{x}_i, y_i)$ ($i=1, \dots, L$), are randomly selected from the whole data set as the training set for finding the optimal $\mathbf{w}^*$ and b^* such that the hyperplane $\mathbf{w}^* \cdot \mathbf{x} + b^* = 0$ is as far as possible from the closest members of both classes. That is, the training data $(\mathbf{x}, y)$ s, named the support vectors, will fall on either side of the two planes $B_1: \mathbf{w} \cdot \mathbf{x} + b = 1$

				
Teeth L/W	0.95	0.94	2.2	1.64
Pulp L/W	0.90	0.67	2.5	1.45
Crown Size (pixels)	185	196	194	138
	(a) Molar		(b) Premolar	

Fig. 8. Examples of the length/width ratio and crown size of molar and premolars.

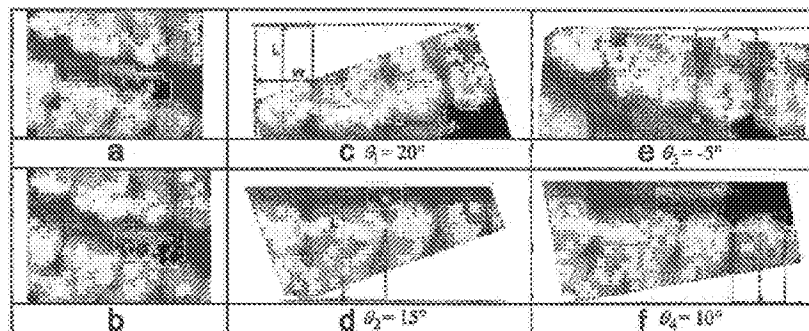


Fig. 7. Examples of ROI extension with angle adjustment.

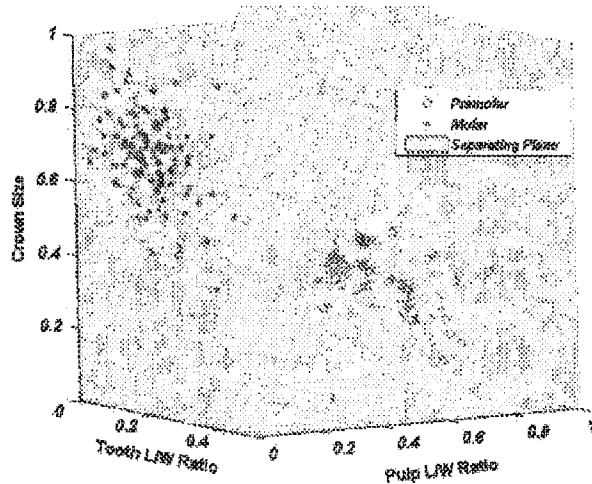


Fig. 9. The scatter plot of feature vectors.

and $B_2: \mathbf{w} \cdot \mathbf{x} + b = -1$. The hyperplane $\mathbf{w}^* \cdot \mathbf{x} + b^* = 0$ is thus called the decision boundary of this binary linear classifier.

Each training data is denoted by a tuple $(\mathbf{x}_i, y_i)$ ($i=1, 2, \dots, L$), where $\mathbf{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})^T$ corresponds to the feature vector (relative teeth L/W, relative pulp L/W, relative crown size)^T, and $y_i \in \{1, -1\}$ denotes its class label, i.e., molar or premolar. Based on this binary linear SVM model, the optimal $\mathbf{w}^*$ and b^* can be calculated as

$$\mathbf{w}^* = \sum_{i=1}^L \alpha_i y_i \mathbf{x}_i \quad (26)$$

$$b^* = \frac{1}{N} \sum_{s \in S} (y_s - \sum_{m \in S} \alpha_m y_m \mathbf{x}_m \cdot \mathbf{x}_s) \quad (27)$$

where α is the Lagrange multiplier such that $\sum_{i=1}^L \alpha_i = (1/2) \alpha^T B \alpha$ is maximized, subject to the constraints $\alpha_i \geq 0 \forall i$ and $\sum_{i=1}^L \alpha_i y_i = 0$, B is a matrix with $B_{ij} = y_i y_j \mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j$, and S is the set of support vectors whose $\alpha_i > 0$.

After constructing the decision hyperplane, each testing data $\mathbf{x}'$ is assigned to one of the two classes by evaluating $y' = \text{sgn}(\mathbf{w}^* \cdot \mathbf{x}' + b^*)$, where $\text{sgn}()$ is the sign function. That is, $\mathbf{x}'$ belongs to class molar if $y' > 0$; otherwise, it belongs to class premolar.

4. Teeth numbering

Teeth numbering assigns each molar or premolar in both mandible and maxilla to a unique number according to the universal teeth numbering system. Our numbering method firstly formats each of the maxilla and mandible sequences to be a sequence comprising 'P', 'M', or '-', using both the classified result and the distances between each pair of the neighboring teeth. The formatted sequences are then compared with two standard patterns for a best matching segment using a simplified sequence alignment technique commonly used in bioinformatics. Finally, the specific number is assigned to each tooth based on the universal teeth numbering system.

4.1. Teeth standard patterns

Bitewing radiographs are taken either from the left or the right side of jaws. Each radiograph may contain one to three molars and

Table 1

Two standard teeth patterns and numbers of bitewing radiographs.

Type	Pattern-1						Pattern-2					
	M	M	M	P	P	P*	P*	P	P	M	M	M
Maxilla	1	2	3	4	5	6	11	12	13	14	15	16
Mandible	32	31	30	29	28	27	22	21	20	19	18	17

Note: P stands for premolar and M stands for molar. P* is named cuspid (canine) in the universal teeth numbering system.

premolars, respectively in both maxilla and mandible. Thus, the maximum number of teeth in each jaw is six. As shown in Fig. 2, (a) contains three premolars and one molar in both maxilla and mandible, respectively, (b) contains three premolars and one molar, and two premolars and two molar in both maxilla and mandible, respectively, (c) contains two molars and two premolars in both maxilla and mandible, respectively, and (d) contains three molars and two premolars in maxilla, and three molars and one premolar in mandible. For being able to fit the proposed numbering algorithm in all possible bitewing radiographs, we define the standard teeth patterns and their teeth numbers from left to right as M(1)M(2)M(3)P(4)P(5)P(6) for maxilla and M(32)M(31)M(30)P(29)P(28)P(27) for mandible, respectively for left jaw images and P(11)P(12)P(13)M(14)M(15)M(16) for maxilla and P(22)P(21)P(20)M(19)M(18)M(17) for mandible, respectively, for right jaw images, as listed in Table 1. Note that we name the canine teeth as the third premolars for ease of numbering.

4.2. Teeth sequence formation

After classification, each tooth in maxilla or mandible is labeled as either molar 'M' or premolar 'P'. Before aligning to the standard pattern, we need to first aggregate the teeth in each maxilla and mandible to be a sequence of $\mathbf{x}_1 \mathbf{x}_2 \dots \mathbf{x}_m$, where $\mathbf{x}_i = \text{'M', 'P', or '-'} (missing tooth)$, $m \leq 6$. The sequence formation procedure is as follows:

Step1: Make a sequence by concatenating each tooth label from left to right.

Step2: Insert t notation '-'s to the corresponding positions of the sequence if t missing teeth are identified, where

$$t = \arg \min_{i=1, \dots, n} \left\{ \left(\frac{d_i}{((1/2) \cdot c_i + c_{i+1}) \cdot t - 1/2} \right) > 1 \right\}, \quad 1 \leq i \leq m-1. \quad (28)$$

and $n=m-1$ is the maximum number of missing teeth needed to be handled, c_i and c_{i+1} are the two neighboring relative crown sizes associated with the corresponding valley of the integral projection curve.

2.1: Calculate the distance d_i ($1 \leq i \leq m-1$), of the valleys in the integral projection curve along the y-axis taken during the teeth isolation.

2.2: For each d_i , start with $t=1$ and identify t teeth missing at this position if $d_i > ((1/2) \cdot (c_i + c_{i+1}) \cdot (t-1/2))$; otherwise, bump t by one and repeat the condition checking.

2.3: Insert t notation '-'s to the corresponding position into the sequence if t missing teeth are identified.

Fig. 10 gives a simple example of teeth-sequence formation. As shown in 10(b), we can see that the distance $d_1 < (c_1 + c_2)/4$ (no missing teeth), and $d_2 > (c_2 + c_3)/4$ (missing one tooth). Therefore, the final teeth sequence of mandible is 'PP-M'.

4.3. Teeth alignment and numbering algorithm

A bitewing radiograph could be either taken from the left or the right jaw. Thus, both standard patterns and their corresponding numbers, as listed in Table 1, are required for the numbering algorithm.

$$O_{ij} = \begin{cases} O_{i-1,j-1} + 1, & \text{if } t_i \text{ and } p_j \text{ are match.} \\ \max\{O_{i-k,j-k} - \frac{1}{3} \cdot k, 0\}, & \text{if } t_i \text{ and } p_j \text{ are } k\text{-associated, } k = 1, \dots, \min(i, j). \end{cases} \quad (29)$$

Teeth numbering algorithm.

Input: Two teeth sequences, two standard teeth patterns and their respective tooth numbers.

Output: Two sequences of teeth numbers.

Step1: Identify which standard pattern should be used for teeth alignment.

- 1.1 Calculate four similarity matrices O_{max_1} , O_{max_2} , O_{man_1} , and O_{man_2} between each of the two teeth sequences (maxilla and mandible) and the two standard patterns (Pattern-1 and Pattern-2) using our simplified version of Smith–Waterman algorithm [23], as we only consider contiguous subsequences (segments) containing no internal deletions or insertions. Let the teeth sequence be $T = t_1 t_2 \dots t_m$ and the pattern sequence

be $P = p_1 p_2 \dots p_n$, $m \leq n$, respectively. Define t_i and p_j be (i) match if $t_i = p_j$, (ii) 1-associated if $t_i = '-'$, and (iii) k -associated, $1 \leq k \leq \min(i, j)$ if $t_{i-k} = p_{j-k}$. Then the similarity matrix $O = (O_{ij})$, the degree of similarity between pairs of segments T_i and P_j ending at t_i and p_j , respectively, can be calculated as

Note that constant $1/3$ is adapted from Smith–Waterman algorithm.

- 1.2 Set the similarity score of each maxilla and mandible teeth sequence against each standard pattern, denoted S_{max_i} , S_{man_i} , $i = 1, 2$, to be the maximum value of each corresponding similarity matrix. Compute the total similarity score S_i of the image against each standard pattern- i by $S_i = S_{max_i} + S_{man_i}$, $i = 1, 2$.
- 1.3 Select the standard pattern to which the total similarity score of the teeth sequence is higher as the pattern template for alignment. That is, select 'Pattern-1' if $S_1 \geq S_2$; otherwise, select 'Pattern-2'.

Step2: Align each teeth sequence against the chosen standard pattern, respectively.

- 2.1 Select the teeth sequence whose similarity score to the pattern template is higher as the first sequence to be aligned. That is, align the maxilla sequence first if $S_{max_1} > S_{man_1}$ or vice versa. When the two sequences have the same similarity to the pattern template, align each sequence against the pattern template individually using only steps 2.2 and 2.3.
- 2.2 Locate the maximum element from the last row of the similarity matrix at O_{ik} and find the longest local matching subsequence (LLMS) as $p_{i-k+1} p_{i-k+2} \dots p_{i-1} p_i$ where k is the length of the teeth sequence under alignment.
- 2.3 Replace t_i with p_{i-k+1} , $1 \leq i \leq k$ if $t_i \neq p_{i-k+1}$ and superimpose $p_{i-k+1} p_{i-k+2} \dots p_{i-1} p_i$ onto the pattern template $p_1 p_2 \dots p_n$.
- 2.4 Align the other sequence $t_1 t_2 \dots t_h$ with the LLMS $p_{i-k+1} p_{i-k+2} \dots p_{i-1} p_i$ by one of the following actions. (a) $h = k$: Align directly with $p_{i-k+1} p_{i-k+2} \dots p_{i-1} p_i$. (b) $h < k$: Find the LLMS between $t_1 t_2 \dots t_h$ and $p_{i-k+1} p_{i-k+2} \dots p_{i-1} p_i$ by locating the maximum element from the last row of the similarity matrix O_{hk} and finding the LLMS as $p_{i-h+1} p_{i-h+2} \dots p_{i-1} p_i$. (c) $h > k$: Find the LLMS between $t_1 t_2 \dots t_h$ and $p_{i-k+1} p_{i-k+2} \dots p_{i-1} p_i$ by locating the maximum element from the similarity matrix O_{hk} at (a, b) , $1 \leq a \leq h$, $1 \leq b \leq k$, and finding the LLMS as $p_{i-a+1} p_{i-a+2} \dots p_{i-1} p_i$.
- 2.5 Replace t_i with the aligned element p_j in the matched LLMS if $t_i \neq p_j$, and superimpose the corrected $t_1 t_2 \dots t_h$ onto the standard pattern at the aligned location.

Step3: Number each tooth based on the aligned standard pattern.

Fig. 11 depicts the general flow diagram of this numbering algorithm.

4.4. Examples

A radiograph with 'PPPM' (11, 12, 13, 14) in maxilla and 'PPM' (21, 20, 19) in mandible has been classified to 'PPPM' and 'PMM' for maxilla and mandible, respectively.

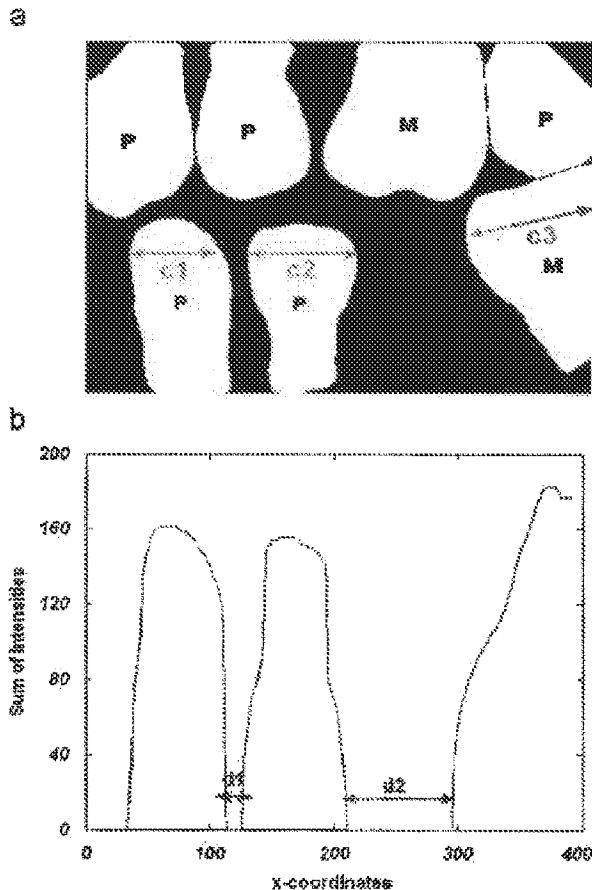


Fig. 10. An example of teeth sequence formation: (a) one missing tooth in the lower jaw, (b) the vertical integral projection of the lower jaw.

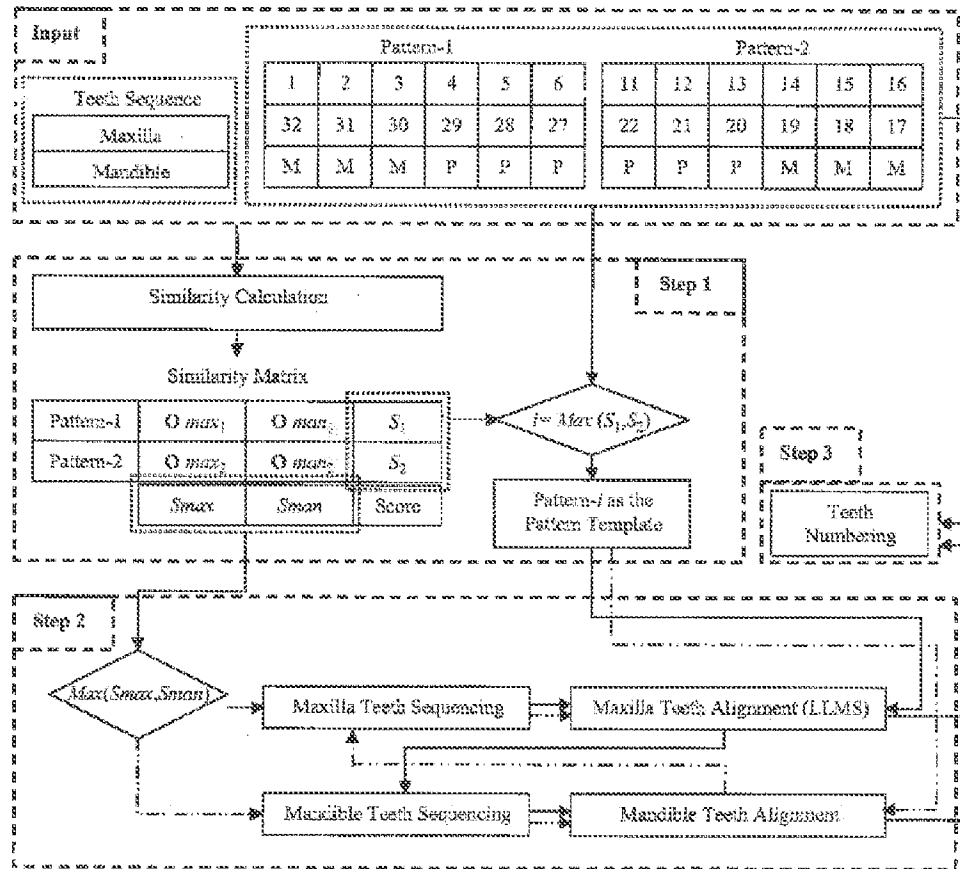


Fig. 11. The flow chart of our numbering algorithm.

Step1:

1.1: Calculate the similarity matrices O_{max_1} , O_{max_2} , O_{man_1} , O_{man_2} as

O_{max_1}	M	M	M	P	P	P	O_{max_2}	P	P	P	M	M	M
P	0	0	0	1	1	1	P	1	1	1	0	0	0
P	0	0	0	1	2	2	P	1	2	2	0.7	0	0
P	0	0	0	1	2	3	P	1	2	3	1.7	0.3	0
M	1	1	1	0	0.7	1.7	M	0	0.7	1.7	4	2.7	1.3

O_{man_1}	M	M	M	P	P	P	O_{man_2}	P	P	P	M	M	M
P	0	0	0	1	1	1	P	1	1	1	0	0	0
M	1	1	1	0	0.7	0.7	M	0	0	0.7	2	1	1
M	1	2	2	0.7	0	0.3	M	0	0	0	1.7	3	2

1.2: Obtain the two similarity score S_i , $i=1$ (maxilla), 2 (mandible) as

	MMMPPP	PPPMMM
Maxilla (PPPM)	$S_{max_1}=3$	$S_{max_2}=4$
Mandible (PMM)	$S_{man_1}=2$	$S_{man_2}=3$
Score	$S_1=5$	$S_2=7$

1.3: Select 'Pattern-2' 'PPPMMM' as the standard pattern template, as $S_2=7 > 5=S_1$.

Step2:

2.1: Align maxilla sequence 'PPPM' first as it has higher score, i.e., $S_{max}=4 > 3=S_{man}$.

2.2: The LLMS of maxilla sequence is 'PPPM', as $O_{max_2}(4,4)=4$, the maximum element of the last row in O_{max_2} .

2.3: Superimpose 'PPPM' onto the pattern template 'PPPMMM'.

2.4: The LLMS of mandible sequence 'PMM' and 'PPPM' is 'PPM', as $O_{man}(3,4)=1.7$, the maximum element of the last row in O_{man} ($h < k$).

O_{man}	P	P	P	M
P	1	1	1	0
M	0	0.7	0.7	2
M	0	0	0.3	1.7

2.5: Replace 'PMM' with 'PPM' and the superimposed alignment is 'PPPM'.

Step3:

The teeth numbers of maxilla and mandible are (11,12,13,14) and (21,20,19), respectively, as maxilla sequence 'PPPM' lines up against 'PPPMMM' and mandible sequence 'PMM' lines up against 'PPPMMM'.

5. Experimental results and comparisons

We perform two experiments for our proposed system and compare the experimental results with those of the method in

[12]. The test environment is AMD Athlon 64 X2 Dual with CPU 3800 and 2G RAM running in Window XP platform. The software package used is MATLAB and LIBSVM in [22].

5.1. Segmentation and classification results

We use 47 bitewing images taken from either the left or the right jaw with 369 teeth in total in this experiment. After segmentation, we successfully isolate 348 teeth in total, in which 87 and 91 teeth are molars in maxilla and mandible, respectively, and 92 and 78 teeth are premolars in maxilla and mandible, respectively. We select nine segmented images containing 17 and 19 molars, and 16 and 13 premolars, in maxilla and mandible, respectively as the training set for SVM, and use the rests as the testing set. The experimental results indicate that 65 out of the 70 (92.9%) molars in maxilla, 69 out of the 72 (95.8%) molars in Mandible, 75 out of the 76 (98.7%) premolars in maxilla, and 60 out of the 65 (92.3%) premolars are classified correctly. In other words, the system achieves an overall classification accuracy rate of 95.1%. Fig. 12 shows eight segmented and classified dental images of the testing set; whereas the column “pre-(5)” of our method” in Table 2 summarizes the classification results.

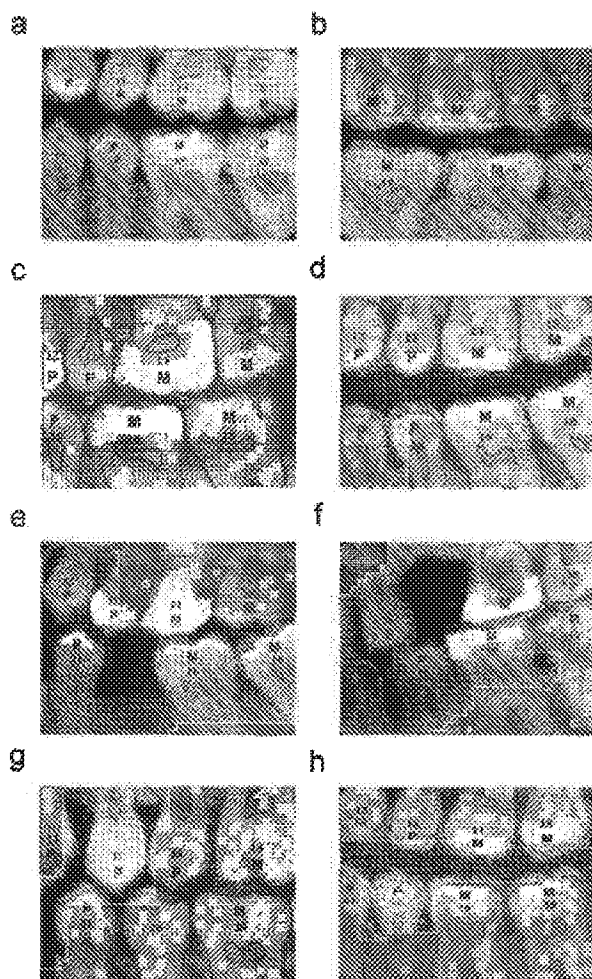


Fig. 12. Examples of the segmentation and classification results: (a)–(e) correct classification and numbering, (f)–(h) misclassification but correct numbering.

Table 2

Comparison of classification accuracy (in %).

Teeth	Our method		Method 1 by Mahoor [12]		Method 2 by Mahoor [12]	
	pre-(5)	final-(6)	pre-	final-	pre-	final-
(1)	95.8	95.8	(7) 95.5/95.5	95.5/95.5	89.7/89.3	91.6/91.4
(2)	92.3	100	86.4/81.5	86.4/84.2	82.7/78.7	91.4/85.1
(3)	92.9	100	83.7/86.4	93.7/95.5	91.4/86.4	93.7/91.4
(4)	98.7	100	86.4/72.0	92.0/90.0	72.0/80.0	82.0/94.2

(1) Molars in mandible.

(2) Premolars in mandible.

(3) Molars in maxilla.

(4) Premolars in maxilla.

(5) Pre-classification: without teeth numbering.

(6) Final classification: with teeth numbering.

(7) Classification result by using: complex signature/centroid distance.

Table 3

Numbering accuracy.

	# of images	Accuracy (%)	# of teeth	Accuracy (%)
Accurately classified	35	97.1	255	98.8
Misclassified	12	91.7	93	95.7
Total	47	95.7	348	98.0

5.2. Numbering results

We use the same 47 classified bitewing images to test effectiveness of our numbering algorithm, where 35 images are 100% accurately classified and 12 images have one or two misclassified teeth. The experimental results indicate that all teeth in 34 out of the 35 (97.1%) accurately classified images and 11 out of the 12 (91.7%) partially misclassified images are correctly numbered. In terms of number of teeth, 252 out of 255 (98.8%) accurately classified teeth and 89 out of 93 (95.7%) misclassified teeth are correctly numbered. In other words, our numbering method achieves a total accuracy rate of 95.7% (45/47) and 98.0% (341/348), respectively in terms of number of images and number of teeth, respectively. In addition, applying the teeth sequence alignment steps of the numbering method can also correct some of the misclassification results, as shown with ‘s’ in Figs. 12(f)–(h). The differences between the values in column “pre-(5)” and “final-(6)” of our method in Table 2 demonstrate the improvement of classification; whereas Table 3 summarizes the numbering accuracy of the test.

5.3. Comparisons

We claim that our method outperform the method in [12] based on the successful results of applying our teeth classification and numbering system on four bitewing radiographs that were reported in [12] either misclassified or mis-numbered, as shown in Figs. 13(a)–(d). Note that all four images are taken from the left side of jaws, so the correct teeth pattern should be ‘PPMM’. Figs. 13(a2)–(d2) demonstrate that our method correctly classify the two images that were reported misclassified, as shown in Figs. 13(a1) and (b1), and correctly number the two images that were reported incorrectly numbered, as shown in Figs. 13(c1) and (d1). Table 2 compares the classification accuracy rates between our method and all their methods, though the data set used in experiments may not be completely identical. Observing the

classification results, we can see that all their methods cannot simultaneously classify molars and premolars with high accuracy, even after applying spatial relation adjustment, as listed in columns final. Our accuracy rates of 94.4% (134/142) for molars and 95.7% (135/141) for premolars indicate that our method can simultaneously classify molars and premolars in high accuracy. The rates are improved further to 97.9% (139/142) for molars and 100% (141/141) for premolars if we apply teeth numbering for final classification.

5.4. Unsolved or failure cases

Although as demonstrated in Fig. 13, our numbering method can correct misclassification in cases of (a) both maxilla and mandible teeth sequence patterns are the same, and (b) one sequence is the sub-pattern of the other. However, two situations still result in errors.

The first one occurs when two classified teeth sequences, in that one is misclassified, have the same similarity score and each can find a completely matched segment in the standard pattern. Since we do not know which matched segment is correct so that we cannot pick one as the correct segment for the other to align with. In such cases, the alignment algorithm cannot achieve classification-correction. Fig. 14(a) shows an example of this situation, where the accurately classified maxilla sequence 'PPPM' is completely matched with the segment 'PPPM' in the standard pattern 'PPPM', and the misclassified mandible sequence 'PMMM' is also completely matched with the segment 'PMMM' within the standard pattern 'PPPM'. Therefore, the misclassified sequence is aligned with the wrong segment and still results in error.

The other situation occurs when the teeth arrangement of both jaws is not consistent. Fig. 14(b) is one of such example, where the mandible sequence 'MMM' is not a segment of the maxilla sequence 'MMPP'. Since 'MMPP' has higher similarity score than it

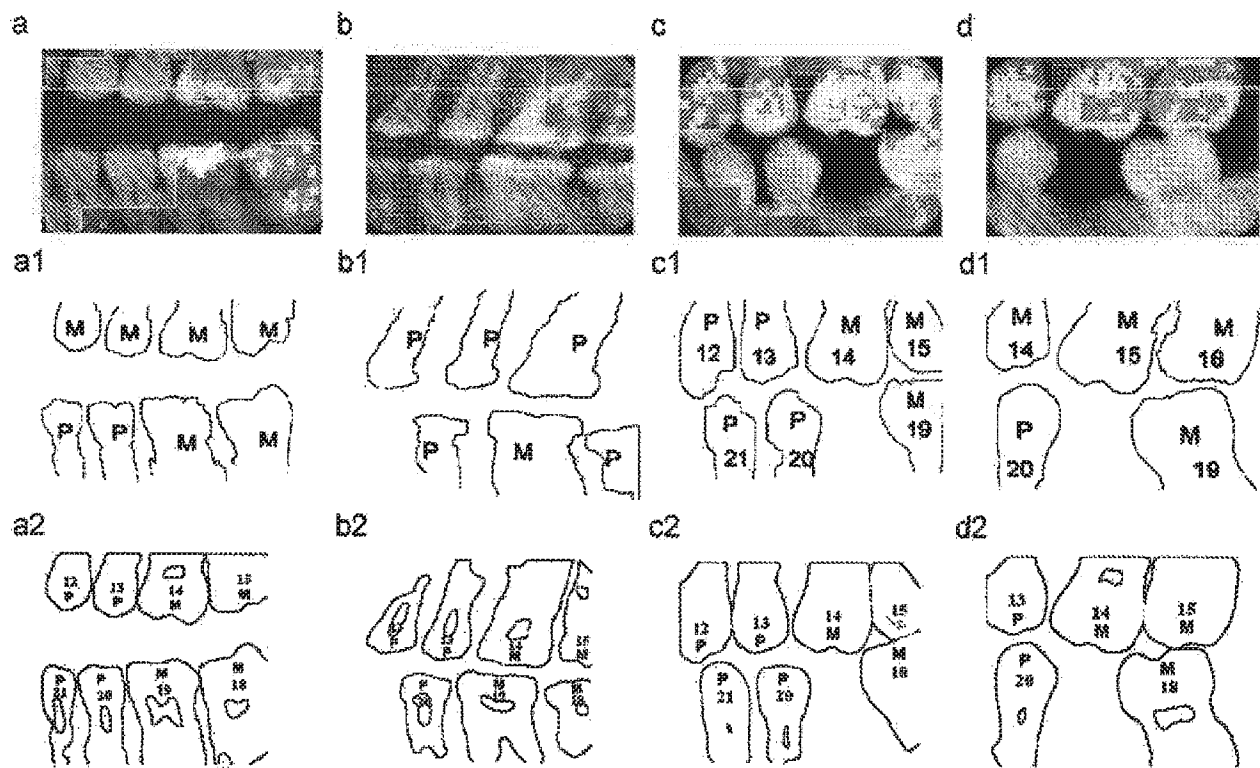


Fig. 13. Comparison of the misclassification and incorrect numbering results of method in [12]. (a)–(d) original images, (a1)–(b1) misclassified in [12], (c1)–(d1) incorrectly numbered in [12], (a2)–(b2) accurately classified by our method, (c2)–(d2) accurately numbered by our method.

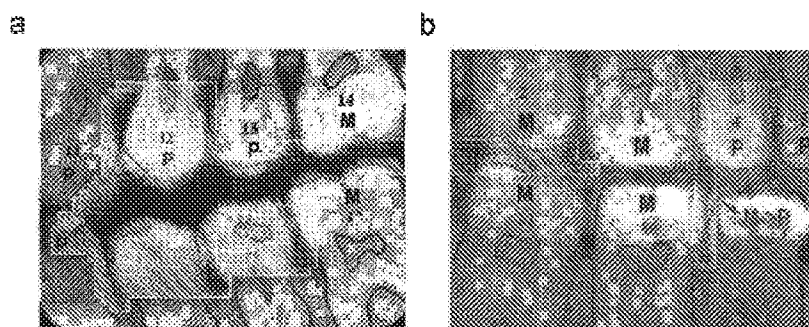


Fig. 14. Two failure cases of our numbering method.

will be used as the alignment segment for the mandible sequence 'MMM'. As a result, 'MMM', even though it is originally a correct classification sequence, will be 'wrongly aligned and corrected' to 'MMP'.

We also notice that some of the extracted teeth contours in the segmentation results still do not cover the entire teeth and some pulps have not been extracted, even though the intensity differences between teeth and gums and between teeth and pulps are visible in the enhanced images. This suggests that the adapted simple iterative thresholding should be further improved for better segmentation results.

6. Conclusions

Teeth segmentation, classification, and numbering for dental radiographs are important but still challenging for automatically and accurately identifying long-missing people or victims in mass disasters. In this paper, we presented a dental classification and numbering system, including an image enhancement method for improving segmentation teeth from other parts, an effective way of extracting robust features for increasing the accuracy of classification, and a simplified version of a sequence alignment algorithm commonly used in bioinformatics for teeth alignment with the universal teeth numbering system. We showed that (i) applying the proposed homomorphic filtering and homogeneity-based contrast stretching techniques can indeed enhance images to appear with even illumination and better contrast for iterative thresholding, (ii) using three features that include both contour and region information and adjusting each ROI orientation then extending the ROI to include the missing root area is effective for classification, (iii) our teeth alignment and numbering algorithm further improves the classification accuracy, (iv) our system outperforms a presented method in both classification accuracy and capability of accurately classifying difficult images. Despite of good results demonstrated, classifying poor images, such as only 3 or 4 teeth left, teeth arrangement of both upper and lower jaws is not consistent, or teeth in upper and lower jaws overlapped each other, is still a big challenge.

Acknowledgment

This research was supported by the National Science Council of ROC under Grants NSC-97-2221-E-126-008 and NSC 96-2628-E-005-084-MY3.

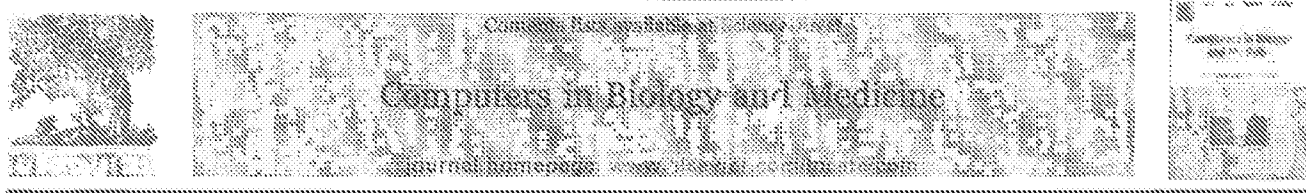
About the Author—PHEN-LAN LIN received her BS degree in Engineering Science from Taiwan National Cheng-Kung University in 1973, both MSEE and Ph.D. degrees in Electrical Engineering from Southern Methodist University, Dallas, Texas in 1992, and 1994, respectively. She is a professor in the Department of Computer Science and Information Engineering, Providence University since 2004, and had been a professor and an associate professor in the Department of Computer Science and Information Management in 1995–2003, as well as the Director of Computer and Communication Center in the university in 2002–2008. Prior teaching, Dr. Lin was with Texas Instruments in Dallas, Texas as a member of technical staff, lead engineer, and project manager from 1978 to 1992, respectively. Her current research interests include information security and privacy (including multimedia and network security), medical imaging, and automatic visual inspection.

About the Author—YAN-HAO LAI received his BS degree in Information Management from South Taiwan University in 2003. He is currently a Ph.D. student in the Department of Computer Science and Engineering of National Chung-Hsing University. His research interests include computer vision and information security.

About the Author—PO-WHEI HUANG received his BS degree in applied mathematics from National Chung-Hsing University in 1973, the MS degree in mathematics from Texas Tech University in 1978, and the Ph.D. degree in computer science from Southern Methodist University in 1989. He was with Texas Instruments in Dallas as a member of technical staff, project manager, and software development manager from 1978 to 1990. He was the department chairman and has been a professor in the Department of Computer Science and Engineering at National Chung-Hsing University. From September 2002 to October 2004, he served as the vice president of National Hsinchu University of Science and Technology located in Yunlin County of Taiwan. From October 2004 to January 2006, he was appointed as the Secretary General of National Chung-Hsing University. Since February 2006, he has been the dean of College of Science at National Chung-Hsing University. His research interests include image database, computer vision, pattern recognition, and artificial intelligence.

References

- [1] M. Abdel-Mottaleb, O. Nomi, D.E. Nassar, G. Fahmy, H.H. Ammar, Challenges of developing an automated dental identification system, *IEEE Int. Mid-west Symp. Circuits Syst.* 1 (2003) 411–414.
- [2] G. Fahmy, D. Nassar, E. Haj-Said, H. Chen, O. Nomi, J. Zhou, R. Howell, H. Ammar, M. Abdel-Mottaleb, A. Jain, Toward an automated dental identification system (ADIS), *J. Electron. Imaging* 14 (2005) 1–13.
- [3] American Dental Association, *Current Dental Terminology*, third ed. (CDT-3), 1999.
- [4] A.K. Jain, H. Chen, Matching of dental X-ray images for human identification, *Pattern Recognition* 37 (2004) 1519–1532.
- [5] J. Zhou, M. Abdel-Mottaleb, A content-based system for human identification based on bitewing dental X-ray images, *Pattern Recognition* 38 (2005) 2132–2142.
- [6] O. Nomi, M. Abdel-Mottaleb, A system for human identification from X-ray dental radiographs, *Pattern Recognition* 38 (2005) 1295–1305.
- [7] F. Keshkar, W. Guesaleh, Segmentation of dental radiographs using a swarm intelligence approach, *Can. Conf. on Electr. Comp. Eng.* (2005) 328–331.
- [8] E.H. Said, D.E.M. Nassar, G. Fahmy, H.H. Ammar, Teeth segmentation in digitized dental X-ray films using mathematical morphology, *IEEE Trans. Inf. Forensic Secur.* 1 (2006) 178–189.
- [9] S. Li, T. Fevens, A. Krzyzak, C. Jin, S. Li, Semi-automatic computer aided lesion detection in dental X-rays using variational level set, *Pattern Recognition* 40 (2007) 2861–2873.
- [10] Y.H. Lai, P.L. Lin, Effective segmentation for dental X-ray images using texture-based fuzzy inference system, *Adv. Concepts Intell. Vision Syst. LNCS* 5259 (2008) 936–947.
- [11] S. Tabbone, L. Wendling, J.-P. Sillion, A new shape descriptor defined on the Radon transform, *Comput. Vision Image Underst.* 102 (2006) 42–51.
- [12] M.H. Mahoor, M. Abdel-Mottaleb, Classification and numbering of teeth in dental bitewing images, *Pattern Recognition* 38 (2005) 577–586.
- [13] A.K. Jain, H. Chen, Registration of dental atlas to radiographs for human identification, *Proc. of SPIE Conf. on Biom. Technol. Hum. Identification* 5779 (2005) 292–298.
- [14] T. Acharya, A.K. Ray, *Image Processing: Principles and Applications*, Wiley-Interscience, 2005.
- [15] L.G. Shapiro, G.C. Stockman, *Computer Vision*, Prentice Hall, 2001.
- [16] H.D. Cheng, M. Xue, X.J. Shi, Contrast enhancement based on a novel homogeneity measurement, *Pattern Recognition* 36 (2003) 2687–2697.
- [17] A. Moragas, M. Garcia-Bonafe, I. de Torres, M. Sans, Textural analysis of lymphoid cells in serous effusions. A mathematical morphologic approach, *Anal. Quant. Cytol. Histo.* 15 (1993) 165–170.
- [18] O. Nomi, M. Abdel-Mottaleb, Fusion of matching algorithms for human identification using dental X-ray radiographs, *IEEE Trans. Inf. Forensic Secur.* 3 (2008) 223–233.
- [19] R.C. Gonzalez, R.E. Woods, *Digital Image Processing*, second ed., Prentice Hall, 2002.
- [20] C. de Boor, B-spline basics, in: L.A. Piegl (Ed.), *Fundamental Developments of Computer-Aided Geometric Modeling*, Academic Press, New York, 1993, pp. 27–49.
- [21] C. Cortes, V. Vapnik, Support-vector network, *Mach. Learn.* 20 (1995) 273–297.
- [22] C.C. Chang, C.J. Lin, LIBSVM: A library for support vector machines, 2001, software available at <<http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>>.
- [23] T.F. Smith, M.S. Waterman, Identification of common molecular subsequences, *J. Mol. Biol.* 147 (1981) 195–197.



Classification of teeth in cone-beam CT using deep convolutional neural network



Yuma Miki^a, Chisako Muramatsu^{a,*}, Tatsuro Hayashi^b, Xiangrong Zhou^a, Takeshi Hara^c, Akitoshi Katsumata^a, Hiroshi Fujita^a

^a Department of Intelligent Image Information, Graduate School of Medicine, Gifu University, 1-1 Yanagida, Gifu, Gifu 501-1194, Japan

^b Media Co., Ltd., 3-26-6 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

^c Department of Oral Radiology, School of Dentistry, Asahi University, 1851 Hozumi, Mito-shi, Gifu 501-0296, Japan

ARTICLE INFO

Keywords:

Deep convolutional neural networks
Tooth classification
Dental cone-beam CT
Forensic identification
Dental chart

ABSTRACT

Dental records play an important role in forensic identification. To this end, postmortem dental findings and teeth conditions are recorded in a dental chart and compared with those of antemortem records. However, most dentists are inexperienced at recording the dental chart for corpses, and it is a physically and manually laborious task, especially in large scale disasters. Our goal is to automate the dental filing process by using dental x-ray images. In this study, we investigated the application of a deep convolutional neural network (DCNN) for classifying tooth types on dental cone-beam computed tomography (CT) images. Regions of interest (ROIs) including single teeth were extracted from CT slices. Fifty two CT volumes were randomly divided into 42 training and 10 test cases, and the ROIs obtained from the training cases were used for training the DCNN. For examining the sampling effect, random sampling was performed 5 times, and training and testing were repeated. We used the AlexNet network architecture provided in the Caffe framework, which consists of 5 convolution layers, 3 pooling layers, and 2 full connection layers. For reducing the overfitting effect, we segmented the data by image rotation and intensity transformation. The test ROIs were classified into 7 tooth types by the trained network. The average classification accuracy using the augmented training data by image rotation and intensity transformation was 88.8%. Compared with the result without data augmentation, data augmentation resulted in an approximately 5% improvement in classification accuracy. This indicates that the further improvement can be expected by expanding the CT dataset. Unlike the conventional methods, the proposed method is advantageous in obtaining high classification accuracy without the need for precise tooth segmentation. The proposed tooth classification method can be useful in automatic filing of dental charts for forensic identification.

1. Introduction

Dental records play an important role in forensic identification after large-scale disasters [1–3]. Forensic dentistry is an important field because dental information can be used for identifying a person even when his/her body has been severely damaged; moreover, antemortem (AM) x-ray images are easier to collect than DNA samples. For dental identification, postmortem (PM) dental findings and teeth conditions are recorded in a dental chart. However, most dentists are inexperienced at recording the dental chart for corpses, and it can cause a psychiatric burden. Such a psychiatric stress may also lead to incorrect data recording and psychiatric disorders.

For overcoming these drawbacks, studies have proposed automatically obtaining dental information from the dental x-ray images,

creating panoramic-like images from CT data for better image comparison, and/or matching the AM and PM images [4–10]. Jain et al. [4] investigated a computerized method for matching the AM and PM dental images. Each tooth was first isolated from its neighbors and the tooth contour was extracted on the basis of intensity. The corresponding image was then searched for by matching the extracted contours with rigid transformation. Among 38 AM/PM image pairs, 25 were correctly matched while the genuine AM image was selected as the second-best match in 5 of the remaining 13 cases. Zhou et al. [5] proposed a 3-step method to retrieve matched images. Images were first classified into bitewing, periapical, or panoramic images, and the teeth on bitewing images were segmented using a top-hat filter and an active contour method. The corresponding image was searched for by matching the boundary shape.

* Corresponding author.

E-mail address: chisac@info.gifu-u.ac.jp (C. Muramatsu).

<https://doi.org/10.1016/j.combiom.2016.11.008>

Received 7 September 2016; Received in revised form 7 November 2016; Accepted 9 November 2016
0010-0195/© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Lin et al. [8] proposed a method to classify teeth on bitewing images. After tooth segmentation, the length and width ratio and crown size were used as features to classify each tooth as a molar or premolar by using a support vector machine. They achieved an overall classification accuracy of 95% when using 47 images containing 369 teeth. Hosnalah et al. [10] proposed a multi-stage technique for the classification and numbering of teeth on multi-slice CT images. The 3 step process included the segmentation of tooth regions using a variation level set, feature extraction of the wavelet-Pourier descriptor, and classification of teeth into 4 groups using a supervised classifier. Using this technique, they achieved high classification accuracies above 94% for 804 teeth from 30 CT cases [10].

In this study, as a component of automated dental chart filling system, we investigated an automated method for classifying tooth types on dental cone-beam CT images using a deep convolutional neural network (DCNN). Since the success of Krizhevsky et al. [11] in the ImageNet 2012 competition, DCNNs have shown their outstanding ability in object recognition and natural image classification. The application of DCNNs to medical images has been increasingly investigated by many groups that have achieved certain degrees of success [12–17]. However, a successful application procedure has not yet been established, and to our knowledge DCNNs have only been applied to dental image processing in one study. Wang et al. [18] reported the comparison of dental radiography analysis algorithms for the grand challenges held in IEEE International Symposium on Biomedical Imaging 2015, in which Ronneberger et al. employed u-shaped deep convolution neural network for segmentation of bitewing radiographs for caries detection. In this preliminary study, we investigated the utility of a DCNN in classifying teeth into 7 types by using rectangular regions of interest (ROIs), each of which enclosed a tooth from an axial slice.

2. Material and methods

2.1. Image dataset

The images used in this study were obtained using two dental CT units, namely Veraviewepocs 3D (J.Morita Mfg. Corp., Kyoto, Japan) and Alphard VEGA (Asahi Roentgen Ind. Co., Ltd., Kyoto, Japan), which were used to acquire images in 33 and 19 cases, respectively. The images were obtained from Asahi University Hospital, Gifu, Japan. The diameter of the field of view ranged from 51 to 200 mm, and the voxel resolution ranged from 0.1 to 0.39 mm. The institutional review boards of Gifu University and Asahi University approved the study protocol.

In general, medical CT images employ Hounsfield units for representing the gray levels. However, in dental cone beam CT images, gray levels are not standardized. Therefore, in this study, the window level and window width were manually adjusted to have an appearance similar to the model image, in which the dental region was clearly visualized. The average window level was 701 ± 461 and the average window width was 1338 ± 973 for 12-bit images. The gray level was then reduced to 8 bits prior to DCNN training and testing. From the 52 cases, 5 cases each from the two imaging systems were randomly selected and used as the evaluation dataset, and the remaining were used as the training dataset. For examining a sampling effect, the test dataset was sampled 3 times, and the training and testing were repeated.

2.2. ROI extraction

For both the training and test cases, the smallest bounding box enclosing each tooth was manually placed on the CT volume. From the bounding box, all axial slices excluding the upper and lower 20% were used as the training and test ROIs. As this was a preliminary investigation, the ROIs affected by metal artifacts were not included in this study. The number of ROIs obtained from a single tooth ranged

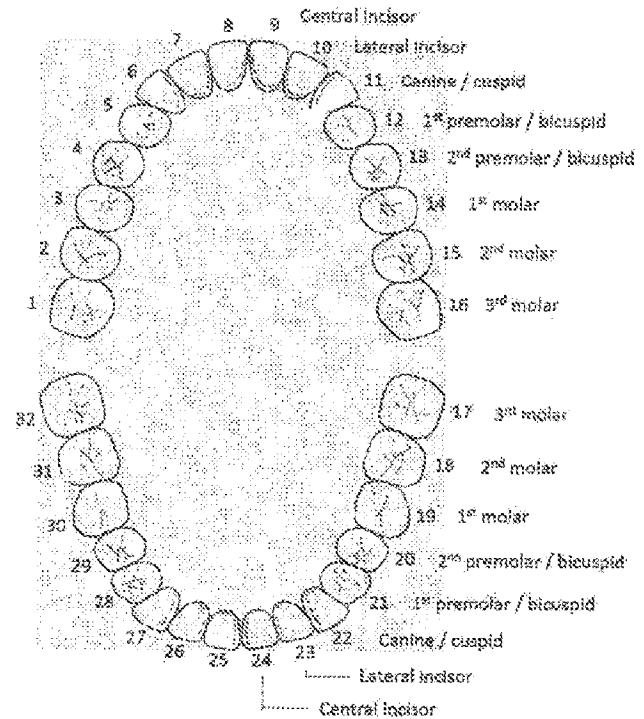


Fig. 1. Dental chart and tooth types.

from 19 to 171, with an average of 45. The 7 tooth types included the central incisors, lateral incisors, canines, first and second premolars, and first and second molars. The third molars were excluded from this study because of the small number of samples. Fig. 1 shows an example of the dental chart with different tooth types. The total number of ROIs extracted from the CT volumes was 6653, 6766, 7928, 5794, 3346, 2115, and 2657, respectively, for each of the abovementioned 7 tooth types. For the test cases, all ROIs were used for evaluation. The number of test ROIs for the 7 tooth types in each of the 3 samplings is listed in Table 1. For training the DCNN, the number of samples was balanced to the minimum number of ROIs in the 7 tooth types by random sampling. The number of the training ROIs in the 3 samplings was 11354, 12572, and 12985. Fig. 2 shows the extracted sample ROIs.

2.3. Data augmentation

A small number of training cases can often leads to overtraining. Because the number of training cases in our dataset was limited, the training data were augmented by image manipulation [11,19], and the results with and without data augmentation were compared. One method that we investigated in this study was image rotation. Another method was intensity transformation by gamma correction defined as follow:

$$y = I_{\max} \left(\frac{x}{I_{\max}} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

where x and y are the input and output pixel values, respectively, and $I_{\max}$ is the maximum pixel value, which is 255 for the input image. For the image rotation, the ROIs were extracted by rotating the CT volume from -10 to $+10^\circ$ in 5° steps along the x-y plane and replacing the bounding box. This resulted in a sample size 5 times the original sample size. For intensity transformation, γ values of 0.75 and 1.5 were applied, thereby increasing the number of samples by a factor of 3. The sample images are shown in Fig. 3.

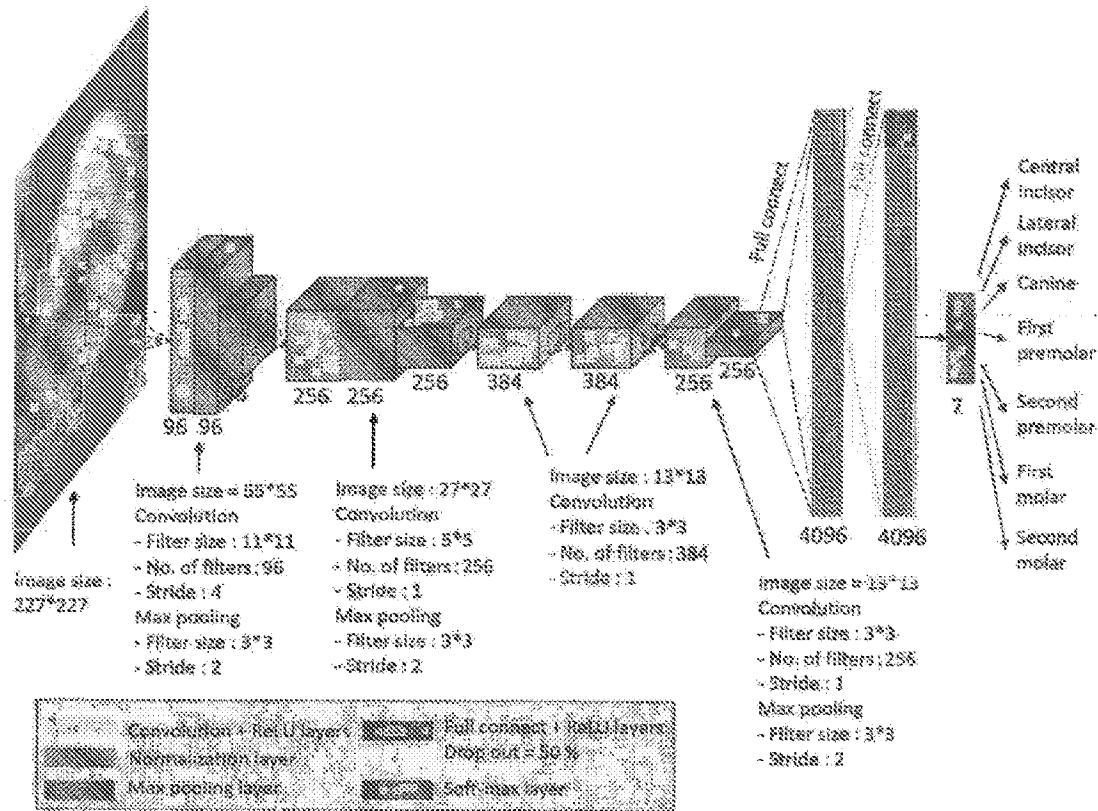


Fig. 4. An illustration of AlexNet architecture applied for dental images.

Table 2
Numbers of training ROIs by data augmentation.

	Dataset A (original)	Dataset B (rotation)	Dataset C (intensity transformation)	Dataset D (rotation and intensity transformation)
Random set 1	11854	56770	34062	170310
Random set 2	12572	62860	37716	188580
Random set 3	12585	64925	38955	194775

4. Discussion

Using the DCNN, most teeth could be correctly classified to one of the 7 tooth types. One of the advantages of this method is that it does not require the precise tooth segmentation as might be required for the conventional feature-based classification. Because the convolution with the pooling process is robust enough to withstand image shift, it is possible to automatically recognize and classify tooth type from the larger, whole dental regions.

Deep learning in general is considered to require a large number of training samples. In this study, despite the limited number of cases, the

Table 3
Classification accuracies (%) for with and without data augmentation datasets and different testing methods.

	Random set	(I) Crop	(II) Squash	(III) Fill	(iv) Half crop half fill
Dataset A	1	78.5	82.0	79.9	80.7
	2	81.8	84.1	82.9	83.7
	3	78.3	84.4	81.9	82.5
	Average	79.4	83.5	81.6	82.3
Dataset B	1	79.3	84.0	82.5	82.9
	2	85.0	87.4	86.9	87.1
	3	82.3	86.6	85.2	84.6
	Average	82.2	86.0	84.9	84.9
Dataset C	1	80.7	85.6	84.2	83.6
	2	84.1	87.8	87.4	88.3
	3	85.7	89.1	89.1	88.2
	Average	83.5	87.5	86.9	85.7
Dataset D	1	82.3	86.0	86.8	85.5
	2	86.5	89.1	88.7	89.6
	3	86.9	90.5	91.0	90.2
	Average	85.2	88.5	88.8	88.4



Fig. 5. Images created by different testing methods. (From left to right: original image, images by crop, squash, fill, and half crop half fill methods).

Table 4

Confusion matrix of classification result for Dataset D with fill resizing method.

	Central incisor	Lateral incisor	Canine	1st premolar	2nd premolar	1st molar	2nd molar
Central incisor	1180 (96.0%)	40 (3.3%)	2 (0.2%)	1 (0.1%)	1 (0.1%)	0	0
Lateral incisor	150 (12.8%)	1066 (85.0%)	18 (1.4%)	4 (0.3%)	0	0	6 (0.5%)
Canine	9 (0.6%)	90 (6.5%)	1290 (90.9%)	18 (1.3%)	2 (0.1%)	0	8 (0.6%)
1st premolar	1 (0.1%)	5 (0.4%)	19 (2.0%)	659 (91.6%)	50 (6.9%)	2 (0.2%)	1 (0.1%)
2nd premolar	0	0	0	33 (8.2%)	362 (91.8)	6 (1.5%)	0
1st molar	0	0	0	0	0	232 (96.9%)	8 (3.1%)
2nd molar	1 (0.3%)	8 (2.3%)	0	11 (3.2%)	13 (3.8%)	9 (2.6%)	302 (87.8%)

classification accuracy was relatively high (above 80%) even without data augmentation. By increasing the number of samples by using rotation and intensity transformation, the classification performance was further improved. One of the characteristics of dental cone-beam CT images is the variation in image quality. Therefore, including samples with different contrasts was effective in improving the overall classification performance. For the same type of teeth, individual variations in growth directions and spatial relationships with neighboring teeth are large. Including the rotated image samples was, therefore, expected to contribute to increasing the classification accuracy.

Among the four resizing methods, the fill method (iii) provided the best accuracy for dataset D; however, for the other datasets, the squash method (ii) provided the best accuracy. The slight differences in accuracies indicate that the effect of the resizing methods is small, and that the DCNN is robust enough to withstand small image distortion.

In this study, we classified teeth into 7 types for possible application in automated filing of dental charts. In contrast, Hosnitalab et al. [10] classified teeth into 4 types by first segmenting each tooth with manual correction, if needed, and applying a 3-layered neural network using wavelet-Fourier features. They obtained a classification accuracy of above 94%. We tested our DCNN for the 4-class classification by using dataset D with the fill method and obtained a classification accuracy of 94.4%. Although the result cannot be directly compared, we infer that a similar classification accuracy can be achieved using the DCNN without the need for precise tooth segmentation.

Wang et al. [18] compared computer algorithms for 2 challenges on dental radiography analysis. One was to identify anatomical landmarks on lateral cephalograms and to classify anatomical types based on the landmarks for diagnosis and orthodontic treatment. The second challenge was to segment seven tooth structures on bitewing radiographs. For the tooth segmentation, Ronneberger et al. employed a U-shaped deep convolutional neural network which includes layers of contracting (downsampling) convolution followed by layers of deconvolution (upsampling). Lee et al. employed a random forest to first predict the probabilities of tooth structure classes for each pixel, and post-processing to output final classes. Although the purpose and image modality are different from those in the current study, such techniques can be used for tooth segmentation and classification for forensic identification purposes.

One of the limitations of this study was the small amount of evaluation data. Another was that the slices images were evaluated independently. Cross-sectional tooth images at certain levels are likely more difficult to classify than those at other levels, such as the ones at the crown and root levels. We expect that the classification accuracy can be improved by combining the results for a tooth, or by applying 3D convolution. Therefore, we plan on investigating the effect of 3D training when additional cases are obtained in the future.

In this preliminary investigation, we excluded the ROIs affected by metal artifacts. We expect that the classification of tooth types for such images would be difficult even if these cases were included in the training samples. An effective preprocessing method for decreasing the effect of metal artifact is needed for such cases.

5. Conclusion

We have investigated the utility of the DCNN for classifying of tooth types on dental cone-beam CT. By increasing the number of training samples by rotation and intensity transformation, the classification performance was improved and a high accuracy of 91.0% was achieved. The 7-tooth-type classification result can be effectively used for automatic preparation of dental charts, which may be useful in forensic identification.

Conflict of interest

None declared.

Acknowledgement

This study was partly supported by a Grant-in-Aid for Scientific Research (B) (No. 26293402) by Japan Society for the Promotion of Science and a Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas (Multidisciplinary Computational Anatomy, No. 26108005) by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan.

References

- [1] J.D. Wright, Forensic dental identification in mass disasters: the current status, *J. Calif. Dent. Assoc.* 42 (2014) 879–883.
- [2] D. Sabio, D. Endhe, A review of dental biomarkers from tooth fracture detection and matching techniques, *Int. J. Bio. Res.* 5 (2014) 2720–2722.
- [3] T.D. Ruder, Y.A. Thak, A.N.S. Ismail, M.T. Mund, S.S. Thali, G.M. Haid, A.M. Christensen, S. Bonatti, G. Bompiani, Validation of post mortem dental CT for disaster victim identification, *J. Forensic Radiol. Imaging* 1 (2016) 25–30.
- [4] A.K. Jain, M. Chen, Modeling of dental X-ray images for human identification, *Pattern Recognit.* 37 (2015) 1293–1303.
- [5] J. Zhou, M. Abdel-Malek, A content-based system for human identification based on bitewing dental X-ray images, *Pattern Recognit.* 38 (2005) 2132–2142.
- [6] S. Tachikawa, A. Matsuoka, M. Matsuoka, S. Goto, Dental identification system based on segmented CT images, in: *Proceedings of the International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, pp. 8549–8552.
- [7] D.A. Trachtenberg, R.B. Jorgensen, D.C. Collett, Comparison of intra-oral X-ray images from cone beam computed tomography volumes for dental forensic image comparison, *J. Forensic Sci.* 59 (2014) 510–518.
- [8] P.A. Liu, Y.H. Li, P.W. Huang, An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using tooth region and contour information, *Optics Express* 19 (2011) 1390–1397.
- [9] A.Z. Arifin, M. Hadji, A. Yandari, W. Khotimah, A. Fudhol, R.R. Asmi, Classification and numbering on posterior dental radiography using support vector machine with maxillofacial neck detection, in: *Joint International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and International Symposium on Advanced Intelligent Systems*, 2012, pp. 482–486.
- [10] M. Hosnitalab, S.A. Zoroch, A.A. Taha, Classification and numbering of teeth in multi-slice CT images using contour Fourier descriptors, *Int. J. CAD/CAM* 3 (2014) 277–287.
- [11] A. Krichen, I. Suter, G.E. Nixon, Imagelet classification with deep convolutional neural network, in: *Advances in Neural Information Processing Systems, NIPS*, vol. 28, 2015, pp. 1106–1114.
- [12] M. Kallenberg, E. Pearson, M. Nielsen, A.Y. Ng, P. Diao, C. Igil, C.M. Vadana, K. Brundage, E.K. Whitt, N. Farsenberger, M. Lillo, Unsupervised deep learning applied to breast density segmentation and mammographic risk scoring, *ISBI Trans. Med. Imaging* 35 (2016) 1323–1327.
- [13] A.A. Sotio, V. Gargal, G. Ujara, P. Gorm, C. Jacobs, S.J. van Kijl, M.M.W. Wille, M. Noghian, C.I. Sanchez, R. van Ginkel, Unsupervised module detection in CT images: false positive reduction using multi-class convolutional networks, *IEEE Trans. Med. Imaging* 35 (2016) 1160–1169.

- [14] M. Arshinopoulos, S. Christodoulopoulos, L. Blinen, A. Charito, G. Mousgiakou, Lung pattern classification for interstitial lung diseases using a deep convolutional neural network, *IEEE Trans. Med. Imaging* 35 (2016) 1201–1216.
- [15] D.R. Roth, L. Lu, J. Li, J. Fan, S. Seth, Y. Chen, L. Kim, R.M. Summers, Improving computer-aided detection using convolutional neural networks and random view aggregation, *IEEE Trans. Med. Imaging* 35 (2016) 1170–1181.
- [16] F.N. Chi, L. Rajfiliak, R.M. Sumale, H.P. Chen, E.M. Quill, K.H. Cohen, Binary bladder segmentation in CT urography using deep-learning convolutional neural network and level set, *Med. Phys.* 43 (2016) 1882–1896.
- [17] A. Terauchi, K. Fujita, G. Yamamura, T. Tanaka, Automated detection of pulmonary nodules in PET/CT images: ensemble video-positive selection using a convolutional neural network technique, *Med. Phys.* 43 (2016) 2561–2577.
- [18] G.W. Wong, C.Y. Wong, J.H. Lee, C.H. Li, S.W. Chang, M.J. Hsu, T.H. Lai, B. Bragman, T. Vaseen, G. Bonnaberg, P. Fischer, T.P. Cooper, C. Lindner, A. Lischinski, for comparison of dental radiography analysis algorithms, *Med. Image Anal.* 31 (2016) 63–76.
- [19] G.E. Hinton, N. Srivastava, A. Krizhevsky, I. Sutskever, R.R. Salakhutdinov, Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors, *arXiv*, 2012, 1207.0880.
- [20] O. Kuznetsov, J. Dong, H. Ji, J. Hwang, S. Nathanael, S. Ma, Z. Huang, A. Kappath, A. Yehia, H. Somman, A.C. Berg, L. Fei-Fei, ImageNet large scale visual recognition challenge, *Int. J. Comput. Vis.* 115 (2015) 211–237.
- [21] Y. Jia, E. Shelhamer, J. Donahue, S. Karayev, L. Jonathan, R. Girshick, S. Guadarrama, T. Darrell, Caffe: Convolutional architecture for fast feature embedding, *arXiv*, 2014, 1408.5093.

Tooth labeling in cone-beam CT using deep convolutional neural network for forensic identification

Yuma Miki^a, Chisako Muramatsu^{*a}, Tatsuro Hayashi^b, Xiangrong Zhou^a, Takeshi Hara^a,
Akitoshi Katsumata^c, Hiroshi Fujita^a

^aDepartment of Intelligent Image Information, Graduate School of Medicine, Gifu University,
1-1 Yanagido, Gifu 501-1194, Japan

^bMedia Co. Ltd., 3-26-6 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

^cDepartment of Oral Radiology, Asahi University School of Dentistry,
1851 Hozumi, Mizuho, Gifu 501-0296, Japan

ABSTRACT

In large disasters, dental record plays an important role in forensic identification. However, filing dental charts for corpses is not an easy task for general dentists. Moreover, it is laborious and time-consuming work in cases of large scale disasters. We have been investigating a tooth labeling method on dental cone-beam CT images for the purpose of automatic filing of dental charts. In our method, individual tooth in CT images are detected and classified into seven tooth types using deep convolutional neural network. We employed the fully convolutional network using AlexNet architecture for detecting each tooth and applied our previous method using regular AlexNet for classifying the detected teeth into 7 tooth types. From 52 CT volumes obtained by two imaging systems, five images each were randomly selected as test data, and the remaining 42 cases were used as training data. The result showed the tooth detection accuracy of 77.4% with the average false detection of 5.8 per image. The result indicates the potential utility of the proposed method for automatic recording of dental information.

Keywords: Tooth detection, tooth classification, dental cone-beam CT, dental forensic identification, deep convolutional neural network, fully convolutional network

1. INTRODUCTION

Dental information can be employed for forensic identification in large scale earthquakes and tsunami disasters. Forensic dentistry is useful because dental information can be used when body damages are severe, and antemortem x-ray images are more easily accessible than DNA. For dental personal identification, a text record documenting the dentition state, called a dental chart, is usually employed. In general, the dental chart is filed by dentists; however, most dentists are not experienced in recording the dental charts for corpses, and the task can be psychologically challenging. Such work may cause misfiling of records and psychological disorders. In addition, filing dental charts may be a time consuming work when the number of subjects is large.

In order to reduce the risk of mental damage and assist efficient identification, some groups have proposed computerized method to automatically match antemortem and postmortem dental x-ray images [1, 2]. In these methods, antemortem images were searched by matching the tooth contour information. Other groups have proposed computerized methods for detecting and/or numbering teeth on dental x-ray images for automatic filing of dental charts [3-7]. Nassar et al. [3] studied tooth numbering method on bitewing and periapical images. They proposed a two-step method in which the first step comprises tooth separation and classification into 4 tooth types. In the second step, the classification result was used to number teeth. Similarly, Yuniardi et al. [4] first isolated each tooth on bitewing and panoramic images, classified molars and premolars, and numbered these two types of teeth with pattern modification.

Momeni et al. [5] and Hosnitalab et al. [6] proposed a three-step method for numbering teeth on CT images. The three steps include segmentation, feature extraction, and classification of teeth into four types. In their method, each tooth was

*chiss@fjt.info.gifu-u.ac.jp; phone +81-58-230-6518; fax +81-58-230-6514

precisely segmented, and wavelet-Fourier descriptors were obtained for tooth classification by a supervised classifier. On the other hand, Duy et al. [7] proposed an approach to separate teeth into 16 subregions on CT images without precise segmentation, which were then classified as regions with existing or missing tooth. This method can be considered an initial step for numbering teeth.

We have previously investigated a computerized method to classify tooth types on dental cone-beam CT using convolutional neural network (CNN) [8]. Figure 1 shows an axial slice of a cone-beam dental CT with targeted 7 tooth types. In our previous study, smallest boxes enclosing individual teeth on axial slices were extracted, and these regions of interest (ROIs) were classified into the 7 tooth types by CNN employing AlexNet [9] architecture. The ROIs were obtained manually. In this study, we investigated a method to automatically locate tooth regions using a fully convolutional network (FCN) developed for face recognition, which is called deep dense face detector (DDFD) [10].

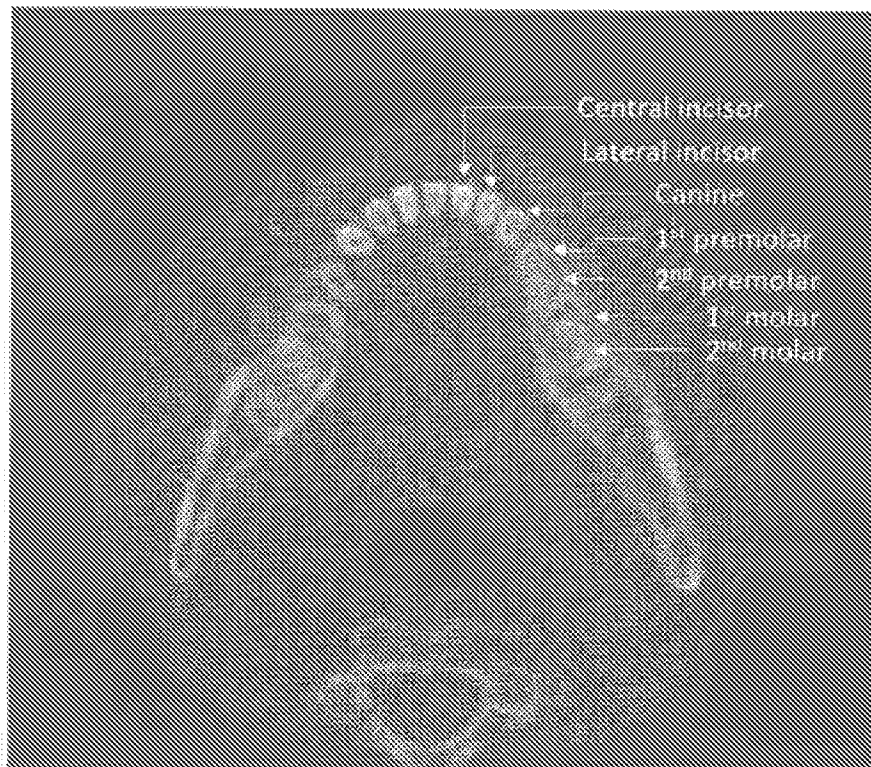


Figure 1. Dental cone-beam CT slice with seven tooth types. 3rd molar was not included for analysis because of the small number of samples.

2. METHODS

2.1 Overview

Farfadi et al. proposed a face recognition method using FCN which is based on AlexNet but its inner product layers were converted to convolutional layers [3]. A heat-map responding to faces, or objects of interest, is output by the network, and bounding boxes are detected based on the heat-map. We applied this technique to the tooth detection task in this study.

First, the smallest boxes enclosing single teeth are manually extracted from axial slices as foreground training samples. For background samples, box regions were randomly obtained from extra dental regions. Using these samples, regular AlexNet was trained to classify between two groups.

After the training, inner product layers were converted into convolutional layers by reshaping the weight parameters to design FCN. By transforming the network, the heat-map of tooth probability was obtained which was then used to locate bounding boxes.

From axial slices of dental cone-beam CTs, a square bounding box was located on each tooth as shown in Fig. 2. These boxes became foreground samples. Boxes were randomly located on regions excluding the tooth areas as background samples. The original AlexNet and DDFD take input images of 256×256 pixels, which were randomly cropped to 227×227 pixels to reduce overfitting before entered to the first layer. In this study, the first layer was adjusted to take images of 128×128 pixels, which were similarly cropped to 113×113 pixels considering the size of teeth. Therefore, each training sample was resized to 128×128 pixels. After data augmentation by shuffling boxes pixel by pixel for foreground samples, the total number of training samples was 122,222 boxes.

A CNN was trained to classify boxes into foreground and background samples. The regular AlexNet was employed for this task. AlexNet comprises 5 convolutional layers, 3 pooling layers, and 3 fully connected layers. The detail of the architecture can be found elsewhere [9].

FCN-AlexNet was constructed by converting the trained fully connected layers to convolutional layers as shown in Fig. 3. By this process, images with any size can be input to the network, and their resulted heat-maps can be output. In this study, an original axial slice of a dental CT was input to the FCN-AlexNet, which output the heat-map responding to the tooth regions. In providing the input images, slice images were magnified by 2 so that the tooth regions on the slices were approximately in 113×113 pixel range, which was the size of the cropped training samples. Each pixel value on the output heat-map corresponds to the probability of being a part of tooth regions. Using this result, those having above 95% confidence were considered as tooth regions, and bounding boxes were placed. For combining the overlapped boxes, non-maximum suppression module (NMS) with two strategies called NMS-max and NMS-ave [10] were employed.

Figure 2. Training samples cropped from a CT slice. Green and orange boxes correspond to foreground and background samples, respectively.

Dental cone-beam CT volumes used in this study were obtained with two CT units: 33 cases imaged with Veraviewepocs3D (J.Morita Mfg. Corp., Kyoto, Japan) and 19 cases obtained with Alphard VEGA (Asahi Roentgen Ind. Co., Ltd., Kyoto, Japan). Spatial resolution ranged from 0.1 to 0.39 mm, and the field of view ranged from 51 to 200 mm.

Because dental cone-beam CT images do not employ Hounsfield units, pixel values are not standardized. Therefore, we selected a model case and manually set the window level and window width so that the dental region is clearly visualized. Window settings of all other cases were adjusted so that the intensity levels appear similar to that of the model image. For standardizing the size of teeth, pixel size was unified to 0.125 mm by linear interpolation/extrapolation.

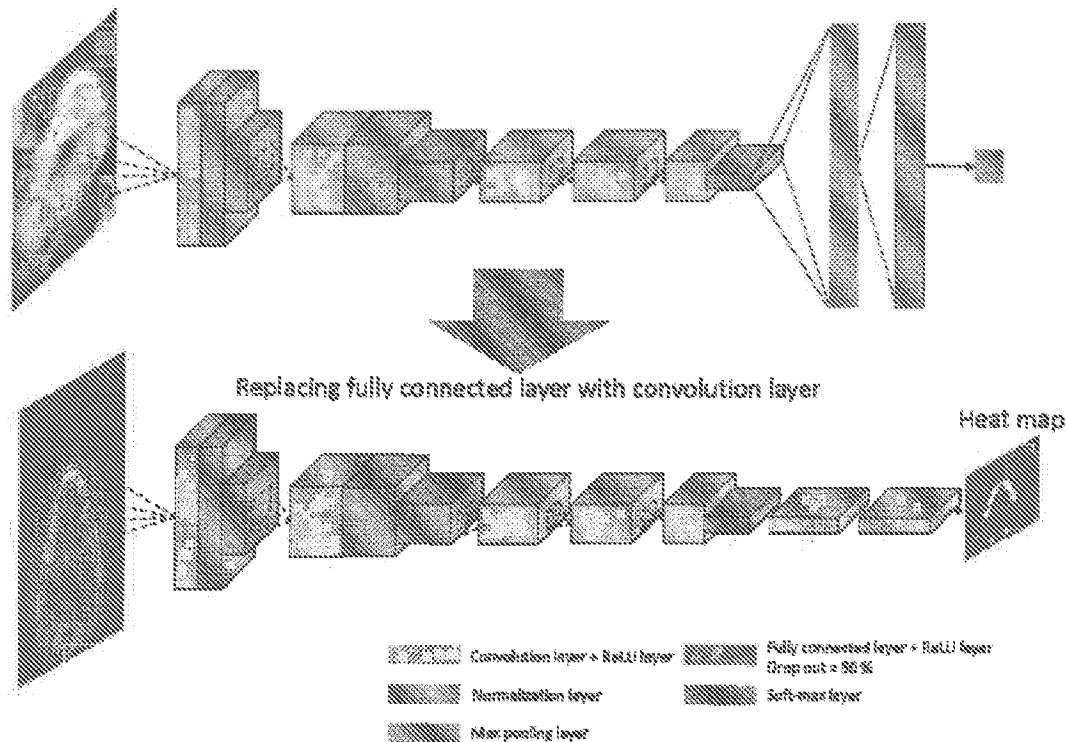


Figure 3. Network conversion from AlexNet with fully connected layers to FCN-AlexNet.

4. RESULTS

Out of 52 cases, 42 cases were employed for training and remaining 10 cases were used for testing by random sampling. As a preliminary investigation, from the 10 cases, six slices near the center of teeth that were not strongly affected by metal artifact were selected for testing the proposed network. For evaluation, a box including more than 2/3 of a tooth region and not including more than 2/3 of the neighboring teeth was considered as positive detection, and others were considered false positive detections.

The result is shown in Table 1. The average detection rate was 77.4% with 5.8 false positives per image. When true positive detection boxes were applied to the tooth-type classification network trained in our previous study [8], the average classification accuracy was 77.1%. The classification accuracy was lower than in the previous study (91.0%). This result may be due to the impreciseness of the detected bounding boxes and a small number of test samples.

Figure 4 shows an example of detection result. In some cases, a tooth was separately detected by two boxes, and neighboring teeth were detected together in one box. The possible reason may be that small teeth such as incisors and large teeth such as molars were trained together in one network. In addition, interdental spaces are very narrow in frontal teeth, and it could be difficult to detect adjacent teeth separately. Such misdetection could be improved by including a preprocessing method for separating nearby teeth.

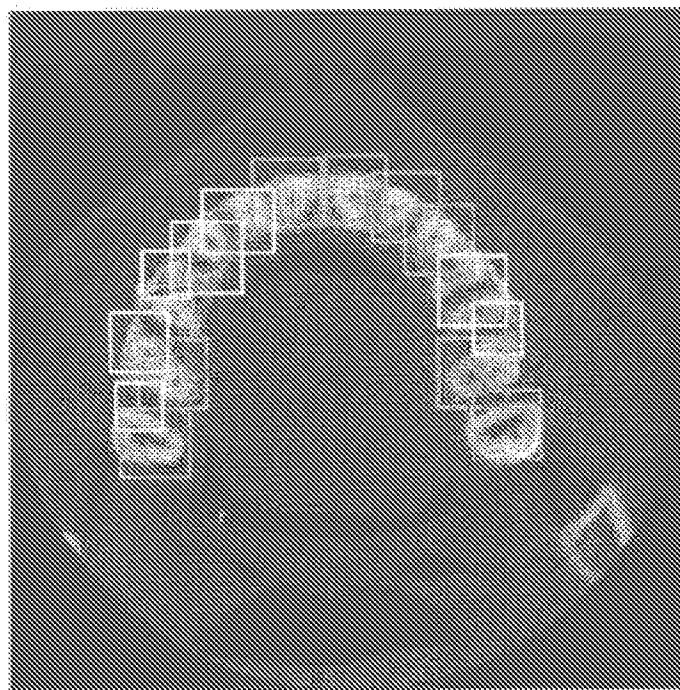


Figure 4. The result of tooth detection. Green and yellow boxes correspond to true and false detections, respectively.

Table 1. Tooth detection result for each test slice. The average detection rate was 77.4% with 5.8 false positive detection boxes per image. (TP: true positives, FP: false positives)

	Number of Teeth	Number of Detected box	TP	FP	Detection rate[%]
Case 1	16	16	14	2	87.5
Case 2	16	18	10	8	62.5
Case 3	14	18	10	8	71.4
Case 4	14	16	9	7	64.3
Case 5	12	17	12	5	100
Case 6	14	16	11	5	78.6

5. CONCLUSION

We investigated an application of CNN with a full convolution architecture for detection of tooth regions on dental cone-beam CT slices. As the preliminary study with a small number of test samples, the average detection rate was 77.4% with 5.8 false positives per image. Using the detected boxes as input data for tooth classification CNN, the classification

accuracy was 77.1%. These results indicate a potential usefulness of the proposed method for tooth localization and classification on dental cone-beam CT images. Optimization of network architecture and inclusion of preprocessing and post-processing techniques will be investigated in the future work.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was partly supported by a Grant-in-Aid for Scientific Research (B) (No. 26293402) by Japan Society for the Promotion of Science and a Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas (Multidisciplinary Computational Anatomy, No. 26108005) by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan.

REFERENCES

- [1] Jain, A. K. and Chen, H., "Matching of dental X-ray images for human identification," *Pat. Recogn.* 37, 1295-1305 (2015).
- [2] Zhou, J. and Abdel-Mitaleh, M., "A content based system for human identification based on bitewing dental X-ray images," *Pat. Recogn.* 38, 2132-2142 (2005).
- [3] Nassar, D. E., Abaza, A., Li, X., and Ammar, H., "Automatic construction of dental charts for postmortem identification," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security* 3, 234-246 (2008).
- [4] Yuniarti, A., Nugroho, A. S., Amaliah, B., and Arifin, A. Z., "Classification and numbering of dental radiographs for an automated human identification system," *TELKOMNIKA* 10, 137-146 (2012).
- [5] Momeni, M. and Zoroofi, R. A., "Automated dental recognition by wavelet descriptors in CT multi-slices data," *Int J CARS* 3, 533-542 (2008).
- [6] Hoshtalab, M., Zoroofi, R. A., Tehrani-Pard, A. A., and Shirani, G., "Classification and numbering of teeth in multi-slice CT images using wavelet-Fourier descriptor," *Int J CARS* 5, 237-249 (2010).
- [7] Duy, N. T., Lamcker, H., Kainmueller, D., and Zachow, S., "Automatic detection and classification of teeth in CT data," *MICCAI* 7510, 609-616 (2012).
- [8] Miki, Y., Muramatsu, C., Hayashi, T., Zhou, X., Hara, T., Katsumata, A., and Fujita, H., "Classification of teeth in cone-beam CT using deep convolutional neural network," *Computer in Biology and Medicine* 80, 24-29 (2017).
- [9] Krizhevsky, A., Sutskever, I., and Hinton, G. E., "ImageNet classification with deep convolutional neural network," in: *Advances in Neural Information processing Systems* 25, 1106-1114 (2012).
- [10] Farfadi, S. S., Saberian, M., and Li, L. J., "Multi-view face detection using deep convolutional neural networks," in: *Proc. ACM on Int Conf Multimedia Retrieval* 2015, 643-650 (2015).

Detection and Classification of Dental Caries in X-ray Images Using Deep Neural Networks

Ramzi Ben Ali, Ridha Ejbali and Mourad Zaid

REGIM-Lab.: REsearch Groups in Intelligent Machines, University of Sfax, ENIS,
Sfax, Tunisia

E-mail: {ramzi.benali.in, ridha.ejbali, mourad.zaid}@icse.org

Abstract—Dental caries, also known as dental cavities, is the most widespread pathology in the world. Up to a very recent period, almost all individuals had the experience of this pathology at least once in their life. Early detection of dental caries can help in a sharp decrease in the dental disease rate. Thanks to the growing accessibility to medical imaging, the clinical applications now have better impact on patient care. Recently, there has been interest in the application of machine learning strategies for classification and analysis of image data. In this paper, we propose a new method to detect and identify dental caries using X-ray images as dataset and deep neural network as technique. This technique is based on stacked sparse auto-encoder and a softmax classifier. These techniques, sparse auto-encoder and softmax, are used to train a deep neural network. The novelty here is to apply deep neural network to diagnosis of dental caries. This approach was tested on a real dataset and has demonstrated a good performance of detection.

Keywords—dental X-ray; classification; Deep Neural Networks; Stacked sparse auto-encoder; Softmax.

1. INTRODUCTION

The radiographs are essential to establish a good diagnosis and identify several problems that are impossible to visualize otherwise.

In orthodontics, dental radiography that is used frequently is the panoramic shot which offers a good "overview" of the teeth and jaws and provides the essential information for screening and diagnosis of several conditions and problems which can be detected at an early age.

Dental caries is an infectious disease. The enamel of the tooth is the first affected. A cavity forms in the tooth and then the decay spreads in depth. If the cavity is not treated, the hole expands and decay can affect the dentin (layer under the enamel) [1]. Pain is beginning to be felt, especially with the hot, cold or sweet things. Decay can affect the pulp of the tooth. We then speak about a toothache. Finally, a dental abscess may appear when the bacteria attack the periodontal ligament, the bone or the gum.

Cavities are very frequent. More than nine out of ten people would have had, at least one, tooth decay. In France, more than a third of 6 year-old children and more than half of 12 year-old children have been affected by this infection. In Canada, 57 percent of children aged between 6 and 12 years have had at least one tooth decay [2].

Dental radiography is an important element in the oral health follow up. It comes in addition to the visual examination done by the dentist. The x-ray allows dentist to "see" what is happening inside of the teeth and bones, thanks to x-rays of low intensity which can cross these structures. The types of radiography most common used by the dentist are: the retro-alveolar, the bite-wing, the panoramic radiograph [3].

The machine learning is defined as the ability to make an agent learn how to take a decision on the basis of observations [4]. In the biomedical context, the action of this agent is reflected by additional information to assist the dentists in making his decision. The patient management is found assigned to several steps, either at the level of diagnosis, of the treatment choice, or also in the surgical intervention. In the framework of this paper, the agent under focus has a role to classify biomedical images by machine learning with the intention of discovering clinically pertinent pathology patterns. These classification operations are based on decision-making tool. However, the inter patients variability poses many challenges for the traditional classification algorithms. These have for the most part been configured and parameterized on small data sets or on a very specific cohort.

During the last decade, the representations learning, a sub-domain of the machine learning, has experienced a huge comeback particularly in the computer vision domain. These representations algorithms have especially allowed crossing a significant step with regards to the objects recognition [7] and to speech recognition [8]. In machine learning, the model of Artificial Neural Networks (ANN) is a valuable tool. Although the ANN, was invented close to sixty years ago, it still remains an area of active research. Recently, with the deep learning, ANN has in fact allowed to dramatic improvements in many applications fields such as the computer vision. The increasing amount of available data and the computing power have made it easier to train high capacity models such as deep learning. However, the inherent difficulties involved in training such models, as an example the local minima, still have an important impact. The deep learning thus aims to find solutions through adding some regularization or improving the optimization. Unsupervised pre-training or dropout are examples of such solutions.

Our contribution is as follows: we propose a system of detection and classification of dental caries in X-ray images using deep neural network. This system can be very useful

for dentists to classify dental X-ray images into tooth decay or normal tooth images. A stacked sparse auto-encoder and a softmax classifier [8] are used in our deep neural network.

This paper will be structured as follows: Section 2 presents the recent work. In Section 3, we will describe our methodology and demonstrate how to train and classify tooth images with deep neural networks with a stacked sparse auto-encoder and a softmax classifier. In Section 4, we will give some results of testing experiments. Finally, Section 5 concludes this paper.

II. RELATED WORK

Primarily, the detection of dental caries has been a visual process, principally based on visual-tactile examination and radiographic examination [1]. In the recent literature, several techniques have been developed for the detection of dental caries. Kositbowornchai et al. [9] developed a neural network to detect artificial dental caries using images from a charged coupled device (CCD) camera and intra-oral digital radiography. The main disadvantage of this method is that the evaluation of the system was done using teeth with artificial carries, which are completely different from naturally affected ones. Saravanan et al. [10] developed a new method to detect dental caries in its early stage using histogram and power spectral analysis. In this method, the detection of tooth cavities is done based on the region of concentration of pixels with regard to the histogram and based on the magnitude values with regard to the spectrum. The main drawback of this study is that this method depends only on the intensity of pixels. Berdouses et al. [11] developed a computer-aided automated methodology for the detection and classification of occlusal caries from photographic color images. This method is based on the segmentation of photographic color images.

Even though there are many methods for caries detection in early stage, it is still necessary to develop accurate carries detection method to help dentist.

The problem of the classical approach of forms recognition is that it is very difficult to build a good characteristics extractor and that it must be readjusted for each new application. The deep learning is a class of methods whose principles are known since the end of 1980s, but whose use was really generalized since approximately 2012.

One of the perspectives of the techniques of deep learning is the replacement of work which still is relatively laborious by algorithmic models of supervised learning, non-supervised (i.e., not requiring specific knowledge of the problem studied) or by techniques of extraction of hierarchical characteristics.

The idea is very simple: the training system consists of a series of modules, each one represent a processing step. Each module can be trained, with adjustable parameters similar to the weight of the linear classifiers. The system is trained end-to-end: to each example, all the parameters of all the modules are adjusted to approximate the output produced by the system of the desired output. The deep qualifying term comes from the arrangement of these modules in successive layers [12].

To be able to train the system in this way, it must be known in which direction and how much to adjust each parameter of each module. For this, it is necessary to calculate a gradient. The calculation of this gradient is done by the method of back-propagation, practised since mid-1980s. A deep architecture can be viewed as a multilayer network of simple elements, similar to the linear classifiers, inter-connected by training weight. This is what is called a neural network multi-layers.

The advantage of deep architectures stems from their capacity to learn to represent the world in a hierarchical manner. As all layers can be trained, no need to build a characteristics extractor by hand. The training will do it [13]. In addition, the first layers extract some simple characteristics and after that the following layers will combine to form more and more complex concepts.

III. METHODOLOGY

In this section, we will describe and motivate how to train and classify tooth images with deep neural networks with multiple hidden layers. Multiple hidden layers neural networks can be very useful in solving classification problems with complex data, such as images. Each layer can learn features at a different level of abstraction. We will use, in our deep neural, stacked sparse auto-encoders for features extraction and a softmax layer to classify the teeth images.

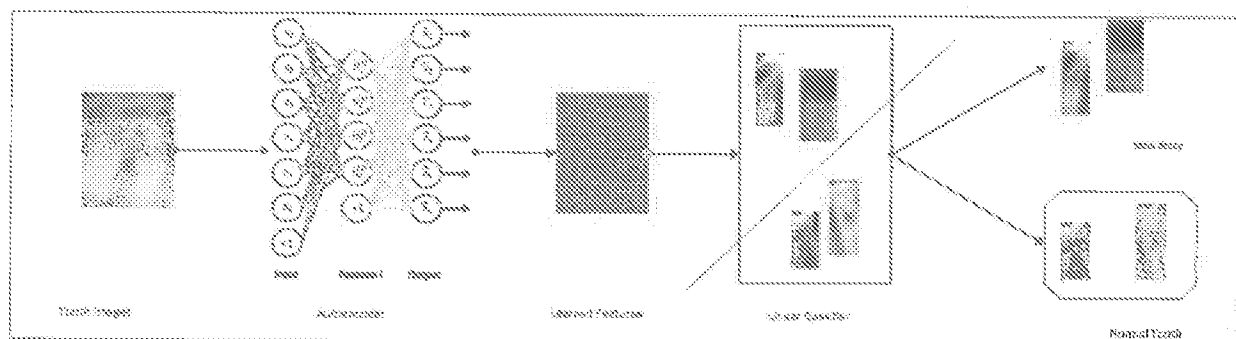


Figure 1. Schematization of our deep neural networks architecture

A. Stacked Sparse Auto-Encoder

A stacked auto-encoder is a neural network consisting of multiple layers of sparse auto-encoders in which the outputs of each layer is wired to the inputs of the successive layer [14].

In our work, we choose to use stacked sparse auto-encoder (SSAE) in our deep neural network. The size of tooth image is 64-by-64 pixels. The SSAE is trained, in an unsupervised fashion, in order to extract hidden features.

We begin by the training of the first auto-encoder without use of labels. The size of the input vector in the training data of the first auto-encoder is 4096 nodes. It will be minimized into 300 nodes in the first hidden layer. In the second step, we train another auto-encoder using data as the encoding of the inputs data provided by the previous auto-encoder. In this step, also, we decrease the size of the hidden representation to 150, so that the encoder in the second auto-encoder learns an even smaller representation of the input data. We repeat this step according to the number of the desired layers.

This method trains the parameters of each layer individually while freezing parameters for the remainder of the model. To produce better results, after this phase of training is complete, fine-tuning using back-propagation can be used to improve the results by tuning the parameters of all layers at the same time.

B. Softmax layer

The softmax classifier (SMC) is important in the field of machine learning because it can map a vector to a probability of a given output in binary classification. Softmax classifier is a supervised model which uses a logistic regression defined as:

$$h_{\theta} = \frac{1}{1 + \exp(-\theta^T x)}$$

Where θ represents a vector of weight, and x is a vector of input values learned by the previous SSAE.

In the softmax function, we suppose that the labels were binary: $y(i) \in \{0,1\}$. We used this classifier to distinguish

between decayed teeth and normal teeth. The SMC's parameter θ was trained to minimize the cost function. The output of this classifier, as we can see in Fig. 1, is two classes: decayed teeth or normal teeth.

As we can see in Fig. 3, our diagram of the stacked network is formed by the encoders from three auto-encoders and the softmax layer.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

In this section we report the results of testing experiments we carried out to evaluate our deep neural network to classify dental X-ray images. The data set of images was collected from many dentists.

The aim of this work is to classify dental X-ray images into decayed or normal teeth images. So, we have used 1/3 of images for training each class and the rest of other images in the dataset were used for the classification test [14].

The size of input images is 64-by-64 pixels which is an entry vector having as dimension 4096. The images have been adjusted in such way that the value of the pixels is between 0 and 1. For each image, there are two possible labels, corresponding to decayed or normal teeth images.

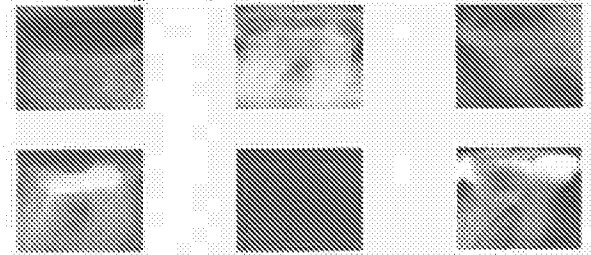


Figure 2. Some Dental X-ray images of our data set

As we can see in Fig. 2, we can view some of the images after loading the training data.

For this experience, all considered networks have a hidden layer containing 3 units and a layer of output. The structure of the different auto-encoders, as we can see in Fig. 3, is chosen in a consistent manner. Each experience has been repeated 20 times, with 500 iterations for the training and 400 iterations for the final learning.

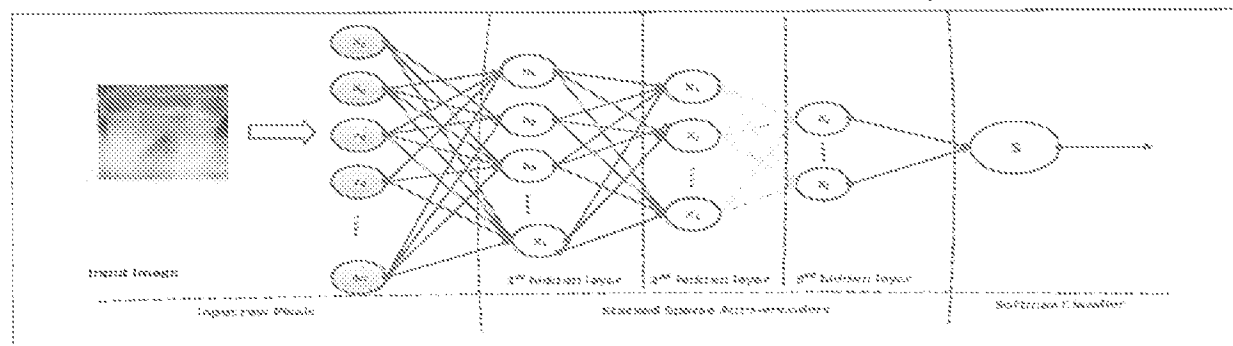


Figure 3. Schematization of stacked auto-encoder and a softmax classifier to classify dental X-ray images into tooth decay or normal tooth images

To measure the quality of our classification system, we perform the result by the confusion matrix (Table 1). The classification test of our deep neural networks shows very good performance with a rate that reaches 97%.

TABLE 1. QUALITATIVE RESULT OF OUR CLASSIFICATION APPROACH

Output class	Accuracy		Target Class		
	97%		Teeth Decay	Normal Teeth	Class prediction
	Teeth Decay	Normal Teeth	48 %	1%	98%
	Teeth Decay	Normal Teeth	2%	99%	96.1%
	Class recall		98%	99%	

In this Table, 48% of all tooth images are correctly classified as decayed teeth. Similarly, 49% cases are correctly classified as normal teeth. 1% of all images are incorrectly classified as decayed teeth. Similarly, 2% of all data are incorrectly classified as normal teeth. Out of teeth decay predictions, 98% are correct, and for the normal teeth predictions, 96.1% are correct. For all teeth decay cases, 96% are correctly predicted as decayed teeth. For all normal teeth cases, 98% are correctly classified. Overall, 97% of the predictions are correct.

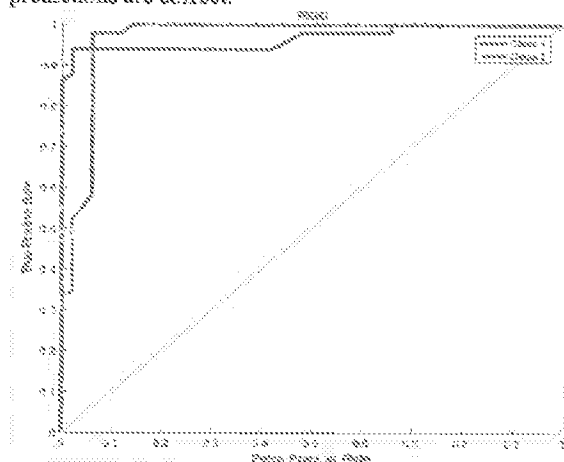


Figure 4. ROC Curve

Fig. 4 illustrates the performance of our classifier model by showing the TPR (True Positive Rate) against the FPR (False Positive Rate) for different threshold values.

V. CONCLUSION

In this paper, a deep neural network using Stacked Sparse Auto-encoder framework is presented for classification of dental X-ray images. The aim of this work is to classify dental X-ray images into decayed or normal teeth images.

In this work, we have used stacked sparse auto-encoder containing three hidden layers and a softmax classifier.

The conclusion we can draw from our experiments is: in comparison with the classic approach to random initialization of the network weight, this method promotes a convergence of the network to a better local minimum as well in classification with regression. This method gives a good

result, as approved in Table 1. However, the accuracy and reliability of our results can be improved using a larger dental database.

The implementation of training strategies on really deep structures with several hidden layers is a future extension of this work.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to acknowledge the financial support of this work by grants from General Direction of Scientific Research (DGRST), Tunisia, under the ARUB program.

REFERENCES

- [1] M. B. Diniel, J. Rodrigues, and A. Luzzi, "Traditional and Novel Caries Detection Methods", *Contemporary Approach to Dental Caries*, Eds Ming-Yu Li, Chapter 6, 2012.
- [2] C. Badet and B. Richard, "Dental caries", *EMC-Dentisterie*, pp. 40-48, 2004.
- [3] R. Ben Ali, R. Eljebli, and M. Zaid, "GPU-based Segmentation of Dental X-ray Images using Active Contours Without Edges", *15th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, pp. 505 - 510, 2015.
- [4] H. M. El Demarhoury, K. S. Fakhreddin, and M. A. Awad, "Effectiveness of teaching International Caries Detection and Assessment System II and its e-learning program to freshman dental students on occlusal caries detection," *European journal of dentistry*, pp. 493-497, 2014.
- [5] A. Vashishth, B. Kaushal, and A. Srivastava, "Caries Detection Technique for Radiographic and Intra Oral Camera Images," *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, pp. 2231-2307, Volume-4, Issue-2, 2014.
- [6] Y. Bengio, A. Courville, and P. Vincent, "Representation learning : A review and new perspectives," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, pp. 580-587, 2013.
- [7] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks", in *NIPS*, pp. 1097-1105, 2012.
- [8] J. Xu, L. Xiang, Q. Liu, H. Gilmore, J. Wu, J. Teng, and A. Madabhushi, "Stacked Sparse Autoencoder (SSAE) for Nuclei Detection on Breast Cancer Histopathology Images," *IEEE Trans Med* vol. 35, issue 1, pp. 119-130, 2016.
- [9] S. Koshbowonchaisi, S. Siritapawee, S. Pienkamon, S. Bureerat, D. Cheteholpak, "Anartificial neural network for detection of simulated dental caries," *Int.J.Comput.Assist.Radiol.Surg.*, pp. 91-96, 2006.
- [10] T. Saravanan, MS Raj, K. Gopalskrishnan, "Identification of Early Caries in Human Tooth Using Histogram and Power Spectral Analysis", *Middle-East Journal of Scientific Research*, pp. 871-875, 2014.
- [11] E. D. Berdouses, G. D. Koutsoun, E.F. Tripoliti, G. K. Matsopoulos, C. I. Oulis, and D. I. Fotiadis, "A computer-aided automated methodology for the detection and classification of occlusal caries from photographic color images," *Comput Biol Med.*, pp.119-135, 2015.
- [12] N. Srivastava, G. Hinton, A. Krizhevsky, I. Sutskever, and R. Salakhutdinov, "Dropout : A simple way to prevent neural networks from overfitting", *The Journal of Machine Learning Research*, vol. 15, no. 1, pp. 1929-1958, 2014.
- [13] D. Kumar, A. Wong, and D. A. Clausi, "Lung nodule classification using deep features in ct images," *Computer and Robot Vision (CRV)*, 2015 12th Conference on, pp. 133-138, 2015..
- [14] X. Zhang, H. Dou, T. Ju, Jun Xu, and S. Zhang, "Fusing Heterogeneous Features from Stacked Sparse Autoencoder for Histopathological Image Analysis", *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 2015.

- [15] A. B. Bad, I. B. M. Anna, M. S. M. Rahim, and H. Kadiwani, "Computer-Aided Dental Caries Detection System from X-Ray Images", in *Computational Intelligence in Information Systems* Springer International Publishing, pp.223-243, 2015.

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/267821630>

Knowledge discovery in panoramic X-rays for postmortem identification

Article · January 2010

CITATIONS

0

READS

17

5 authors, including:



Vinicius Tragante
deCODE genetics, Inc.

100 PUBLICATIONS 950 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Hendrik Blockeel
University of Leuven

410 PUBLICATIONS 6,366 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Learning Relational Latent Representation with Clustering View project



Genetic associations View project

All content following this page was uploaded by Vinicius Tragante on 02 March 2015.

The user has requested enhancement of the downloaded file

Knowledge discovery in panoramic X-rays for postmortem identification

Tom Van de Wiele ^a Vinicius Tragante do Ó ^a Hendrik Blockeel ^a

Ricardo Henrique Alves da Silva ^b

^a *Departement Computerwetenschappen, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium*

^b *Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Brazil*

Abstract

The estimated age and sex of an unknown person are important indicators in post mortem identification. In this study models are built for estimating these indicators automatically using panoramic X-rays. The used filtered dataset contains 303 images where the age group (7 groups) and sex is known. Two different techniques for extracting the features from the images are compared: automatic extraction (AE) and principal component analysis (PCA). To improve the quality of the prediction, feature selection is applied afterwards. This was done using both filter and wrapper techniques. The wrapper technique makes use of evolutionary algorithms. A novel evolutionary technique, adaptive binary continuous particle swarm optimization (ABCPSO) is introduced. The obtained results from the novel technique are comparable to the best studied standard evolutionary techniques, and present superior performance in some cases although not statistically significant. The results show that when the optimal subset of features is used the sex prediction reaches an average accuracy of 63.1% (AE) and 73.9% (PCA). For age prediction the adapted average accuracy is 34.5% and 36.0%, respectively. The Naive Bayes classifier produced the best results among five well known classifiers.

1 Introduction

Identity, by definition, is the ensemble of characteristics that allow the individualization of a person or an object, distinguishing it from any other person or object[1]. Identification is the act by which the identity of an individual is established, and it is unquestionable the value of *postmortem* human identification, since social relations and/or civil, administrative, commercial and legal demands claim this form of recognition.

By knowing that the main external factors that can limit the retrieval of information starting from the remainings of a body, and also restrict the whole process of human identification, are the elements present or associated to decomposition or physical agents (such as mutilations, fire, explosions, among others), the dental structure, capable of being evaluated with radiographic images, comes as an important element in this identification task and in Criminology, due to the high probability that the dental characteristics are never the same in any two persons, and also due to the high degree of physical and chemical resistance of the dental structure[2]–[4].

According to Mincer *et al.* (2008), the panoramic radiograph allows the visualization of all the teeth, jaw, mandible and some face bones, that is, the whole maxilomandibular complex, in a single picture. This technique presents several advantages, such as: symmetry of the images, a complete overview of the lower face, ease of generation of such images, lack of film in the oral cavity, lower dose of radiation and exposition time if compared to the complete intraoral radiographic exam[5].

However, this technique also presents several disadvantages: image distortion, as all structures are put in the same layer; the difficulty of performing such exam *postmortem*, regarding the position of the body and differences in density (due to the absence of some tissues and structure). However, the panoramic technique has been reasonably developed, and it is already possible to know in advance the magnification of each X-Ray equipment.

Manual radiograph comparison is highly time-consuming and requires high levels of ability and accuracy. With this in mind, the comparison of dental records via computer systems emerges as the most adequate method for manipulation of big volumes of information, keeping accuracy, consistency and low cost[6].

We present in this paper a comparison between evolutionary algorithms and also different classifiers in the task of finding relevant attributes for determining gender and age group based on panoramical radiographs, using two different techniques for attribute generation: Automatic Extracion (AE) via Image Processing techniques, based on general guidelines provided by forensic odontology experts, and Principal Component Analysis. The panoramical radiograph samples used in the current study belong to the Service of the Kernel for Culture and Extension Support in Odontological Diagnosis [Serviço do Núcleo de Apoio a Cultura e Extensão em Diagnóstico Odontológico (NACEDO), original name] from the School of Dentistry of Ribeirão Preto of the University of São Paulo (FORP-USP), and is an ensemble of radiographs taken with two different X-Ray equipments: Ortophos-Siemens®(Sirona Dental), analogical, and Veraviewepocs Digital Panoramic®(J. Morita Co.), digital. The analogical radiographs were digitalized with a professional Epson®Scanner.

2 Methodology

This work consists of three main parts. In the first part the images are preprocessed. This transformation ensures a uniform positioning of all images. In this part each input image is also enhanced to facilitate the detection of features. After detection of the features in the second part the found features are finally selected. In this step only the most relevant features for prediction of the sex and age are retained.

2.1 Preprocessing

Preprocessing of the images is twofold. In the first step the input image is transformed to a standard format which makes the automatic extraction of the features applicable. Afterwards the transformed image is enhanced by applying two image filters.

Automatic conversion to the standard format consists of four actions. All non-grayscale images are transformed to grayscale values in the first step. Then the vertically oriented images are rotated to obtain a uniform orientation. The last two steps consist of centralising the image around its vertical axis of symmetry and resizing the image to the standard pixel dimensions(500×945 pixels).

In order to make detections easier, an image enhancing step was performed. This comes down to the improvement of two characteristics: luminance and contrast. Two filters are used to obtain this: the INDANE filter[7] and the image sharpening filter[8]. First the INDANE filter is applied to the original image. The image sharpening filter is then applied to the obtained image.

2.2 Feature extraction

Two different techniques for automatic feature extraction are applied. The first technique, Automatic Extracion (AE), extracts the features by parsing the panoramical X-ray for the regions of interest. Based on the pixels representing these regions of interest, the features are calculated afterwards. The second technique calculates the features immediately based on the image itself using Principal Component Analysis (PCA). PCA is a well known transformation whereas the used AE is a novel approach. An overview of the feature extraction is presented in Figure 1.

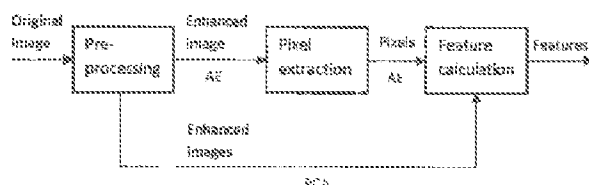


Figure 1: Overview of the feature extraction

2.2.1 Automatic extraction(AE)

In the automatic extraction of the features two regions of interest are considered: the chin line and the teeth. These regions are located by parsing the edges of the enhanced images. The canny filter[9] is chosen for the edge detection because of its good properties for detecting true weak edges. Features are then calculated for both the chin and the teeth using the location of the regions of interest (ROI).

2.2.2 Principal Component Analysis(PCA)

The second used technique for extracting features automatically is the Principal Component Analysis (PCA)[10]. It is a technique that is applied in several domains as it is able to reveal underlying structures in complex datasets using analytical solutions from linear algebra[11]. The idea is to represent a dataset using a limited number of relevant components, the principal components. When the dataset consists of facial images, these principal components are called *eigenfaces*. Based on the information from the AE the principal components are calculated for the 303 selected images by first applying the INDANE - and then the image sharpening filter. The 24 most significant eigenfaces are used as the features from the PCA. This number was chosen to be equal to the number of features in AE in order to be able to compare the results.

2.3 Feature selection

Feature selection is the selection of the relevant features for determination of a certain property. It is a technique that is applied in many fields such as data mining, machine learning, pattern recognition and signal processing[12]. When the number of involved features is huge, feature selection will be necessary. Also when there is a limited number of features it is an appropriate step when not all features are relevant. Previous works[12]–[13] on datasets with a limited number of features (<30) showed that feature selection was able to improve the accuracy of the prediction.

Algorithms for feature selection fall into two broad categories: wrappers, which use the learning algorithm itself to evaluate the usefulness of features; and filters which evaluate features according to heuristics based on general characteristics of the data[13]. Techniques from both categories are applied and results are compared.

2.3.1 Filter feature selection

Filter methods operate independently of any learning algorithm. Undesirable features are filtered out of the data before induction starts. Filters typically make use of all the available training data when selecting a subset of features. This approach has proven to be much faster than wrappers and hence can be applied to large data sets containing many features. Since they are more general, they can be used with any learner, unlike the wrapper, which must be re-run when switching from one learning algorithm to another. The problem with this approach is that there is no guarantee that the selected features will produce good results in combination with the used classifier.

Two well known filter techniques are used: the Fisher criterium[14] and the ReliefF algorithm[15].

2.3.2 Wrapper feature selection

Wrapper feature selection, on the other hand, evaluates the fitness of the features using the classifier itself. For every considered subset, the classifier needs to be retrained and its estimated global accuracy must be recalculated. In general, this approach yields better results than the filter methods because the search for an appropriate subset is guided by the generation process[16]. The main disadvantages of this approach are the high computational cost and the specific selection of the features for one classifier.

Evolutionary techniques The generation of the features is done using a variety of evolutionary and alternative algorithms. Genetic Algorithms(GA)[17]–[19] and Particle Swarm Optimization(PSO) techniques [12][16][18][20] have been used several times for this purpose. These methods search for an optimal subset in the binary search space with 2^N possible subsets, being N the number of features. With 24 features, exhaustive search in this search space would be too time consuming. In this work we use genetic, particle swarm and alternative search methods.

The standard genetic algorithm[21](SGA) is used, as well as some extensions. The first three insert random immigrants[22] (GARIS for the low rate:2% and GARIL for the high rate:30% of random immigrants) into the population. Two of them have a fixed number of random immigrants whereas the third[23] (SSORIGA) makes use of a dynamic rate. The last genetic algorithm makes use of a dynamic population size[24](VPGA).

As the particle swarm algorithms were originally constructed for continuous problems, an adaptation must be made to be able to represent binary values. The first used version of the PSO algorithm makes use of the standard algorithm (SPSO), in which all continuous values are converted to their corresponding binary values when the subsets are evaluated. As with the use of this technique all of the members of the swarm tend to converge to the same local optimum after a few generations, an improved binary continuous PSO was developed: ABCPSO. The last used PSO[26] represents the particles directly in a binary way(BPSO). In this implementation the represented binary representations are determined in each generation using a biased random process.

Two alternative search methods are considered: a hybrid PSO-GA algorithm[24](HGAPSO) and a random search process(RS). The hybrid algorithm makes use of both the standard GA and the ABCPSO. Every 5th generation a hybrid process takes place, and the information from both techniques is exchanged.

Adaptive binary continuous particle swarm optimization(ABCPSO) The proposed algorithm is the standard continuous PSO algorithm with 3 extensions. All particles have a range of [0,1] in all their dimensions and the corresponding binary value is equal to 1 when the continuous value is greater than 0.5, and 0 otherwise. Every dimension represents one feature.

Every particle X_i is represented by a point in the D -dimensional search space: $X_i = (x_{1,i}, x_{2,i}, \dots, x_{N,i})^T$ in the standard PSO algorithm. In the initial generation random vectors are chosen within the search space. The best visited position for each particle X_i is stored in the vector $P_i = (p_{1,i}, p_{2,i}, \dots, p_{N,i})^T$. The best visited position by the entire swarm is also taken into account. This point is represented by $P_g = (p_{1,g}, p_{2,g}, \dots, p_{N,g})^T$. These two vectors are initialized to the random initial vectors in the first generation. The positions of all particles are adapted every generation according to the speed vector V . This vector is also determined randomly in the first generation. The adaption of the speed and position vector for each particle goes as follows:

$$\begin{aligned} V_i &= w * V_i + c_1 * r() * (P_i - X_i) + c_2 * r() * (P_g - X_i) \\ X_i &= X_i + V_i \end{aligned}$$

This means that the new position is the old position added with the new speed. The speed is calculated using three factors:

- **Inertion** The inertion factor w is used to control the influence of the previous speed. The choice of this factor is a trade-off between local and global exploration of the particles. A high inertion factor facilitates global exploration while a lower value for w stimulates local exploration.
- **Personal factor** Every particle is attracted by its personal best position. This, in combination with the inertion, guarantees continuous exploration throughout the algorithm.
- **Social factor** The last part of the speed equation ensures that all particles are attracted by the best visited position so far.

Furthermore, there are two constants in the speed equation: c_1 a c_2 and a random function $r()$, which generates a random number in the interval [0,1]. The constants determine the magnitude of the attraction to the local and global maxima and are chosen as in[27]. In that work both constants are 1.49445 and the inertion factor is $0.5 + \frac{r(i)}{2}$.

An important advantage of this algorithm is the simplicity of the operations. The population size is kept constant and every particle survives from the first till the last generation. In each generation every particle is adapted with a rather simple equation.

When the evaluation of the function values is slow(which is the case in this work), the efficiency of the algorithm is less important and extensions can be made without a significant loss of time. Three extensions are made:

1. **Random immigrants** – The first extension is based on the random immigrants introduced in the genetic algorithm. When the new positions of the particles are calculated, the worst 10% of the particles are replaced by random particles. The aim of this extension is to increase the diversity in the population while there is no loss of information about the best members of the population.
2. **Repulsion** – This extension aims to increase the diversity in the population and is based on the natural movement of particles in a swarm. In order to avoid collision, the particles undergo a process of mutual repulsion after calculation of the new position. All couples are compared mutually, and if the Manhattan distance between the particles is lower than a certain threshold (here $\frac{\#features}{4}$), both particles are repelled in relation to each other. This happens in the opposite direction with a Manhattan distance of $\min(\frac{\#features}{4}, \frac{\#features}{20 \cdot distance^2})$.
3. **Local exploration** – The addition of the previous two extensions increases the diversity in the population but reduces the capacity of local exploration around the provisional maximum. To enable local exploration the population is split into two independent swarms every X generations (here 5). After these X generations the information of both swarms is combined and a new split of the population is calculated.

The first swarm (which contains 90 % of the particles in this work) executes the previously described standard PSO algorithm with the extensions of random immigrants and repulsion. The remaining randomly chosen part performs local exploration around the provisional best point in the search space. In this second swarm there are no random immigrants or repulsive forces. The previous speeds are randomized and the global and local bests are set to the provisional best point. In this way a randomized exploration around the maximum is guaranteed. The norm of the previous speeds is determined by the distribution of the particles. It is set to the mean distance from the provisional optimum to the best 5% of the population.

Despite the repulsion in the major part of the total swarm, convergence is still possible. Every X generations the two swarms are merged and the global maximum is set to the best value of both swarms. After calculation of the initial speeds for the new second swarm, the particles of the previous second swarm are put back to their previous positions such as their previous local best positions. This way the variation of those particles is restored.

2.3.3 Evaluation of the subsets

Evaluation of the subsets is performed using stratified K-fold cross validation. K is chosen to be 10 which is a rather high value. This ensures that a large part of the dataset can be used to train the classifier. Before the start of each run the images are selected in such a way that all considered classes have equal sizes. This ensures an unbiased prediction. The accuracy of a single prediction is 1 if the predicted class equals the actual class of the image and 0 otherwise. When the age class is predicted an adapted accuracy is used. A wrong prediction of an age by 1 age group is assigned an accuracy of $\frac{1}{4}$ when the actual age group is not the highest or the lowest age group and $\frac{1}{2}$ otherwise.

Five well known classifiers are compared: naive bayes, decision trees, 3 nearest neighbors, neural networks and support vector machines.

3 Results

3.1 Comparison of classifiers and evolutionary algorithms

To compare the classifiers, both the filter and wrapper approaches are used with all the classifiers to select the features of varying search spaces (by changing the selected images). Among all the classifiers, the naive bayes method resulted in the best accuracies in general. A comparison of all evolutionary techniques can be seen in table 1.

This table represents the results of applying all evolutionary techniques on 50 different search spaces for each used classifier. The population size(10) and number of generations(20) are chosen to be small. This way the techniques can be compared before they converge. All search spaces consist of the sex prediction using the features from the AE. Two indicators for the quality of the techniques are used. The first is the average function value of the best member of the population in all 250 simulations. The other indicator

represents the number of victories of each technique for a given search space and classifier. All technique(s) that obtain the best function value are considered victorious. It is very important to note that all considered evolutionary techniques have a comparable number of evaluations. All of them have a fixed number of generations and all but one have a fixed population size. The limits for the initial and maximal population in the genetic algorithm with variable population size are chosen in such a way that the number of evaluations is close to the number of evaluations in the other techniques.

The best five techniques(ranked on the average maximal function value) are retained for further simulations, these are underlined in table 1. All of the selected evolutionary techniques have a comparable average function value and number of victories. The developed ABCPSO improved the performance of the standard binary continuous PSO significantly. The binary PSO on the other hand produced the best results overall.

Table 1: Comparison of evolutionary techniques

Technique	Average maximal evaluation	Victories	Rank
SGA	.619	33	5
GARIS	.611	29	7
GARIL	.616	23	6
<u>SSORIGA</u>	.625	32	4
VPGA	.601	6	8
SPSO	.593	1	9
<u>ABCPSO</u>	.626	39	3
<u>BPSO</u>	.635	52	1
<u>HGAPSO</u>	.632	45	2
RS	.592	3	10

3.2 Used subsets

The results are compared for all the considered feature selection methods. Evaluation of the subsets of each size S where S varies from 1 to 24 features are plotted for all four sex/gender – AE/PCA couples. The subset of size S contains only those S features with the best evaluated function values. In the case of wrapper feature selection this function value is the number of times each feature is selected in the optimal subset of a run. 20 runs are used with a population size of 25 and 50 generations for all of the 5 best evolutionary techniques.

The results of sex prediction can be found in Figure 2. The results of the age prediction are displayed in Figure 3. In both images the results using the features from the AE are displayed on the left part. The results for the predictions using the features from the PCA are shown on the right.

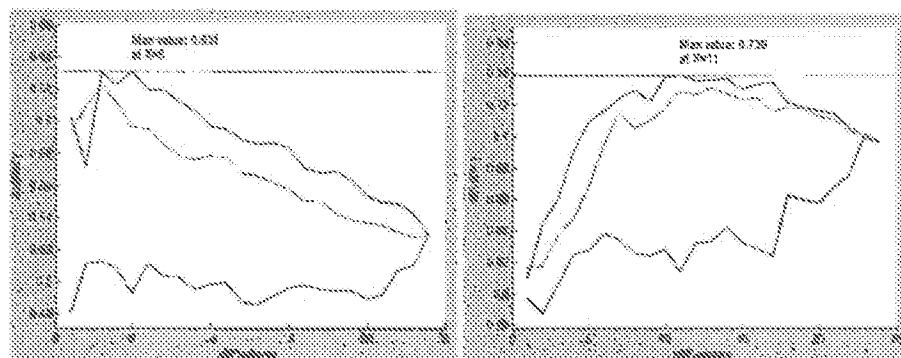


Figure 2: Sex prediction using AE (left) and PCA (right). The red color represents the Fisher method, Black is used for ReliefF and Blue stands for the Wrapper approach. The ReliefF method needs more attributes in order to achieve better performance. The Wrapper method obtains the best results overall.

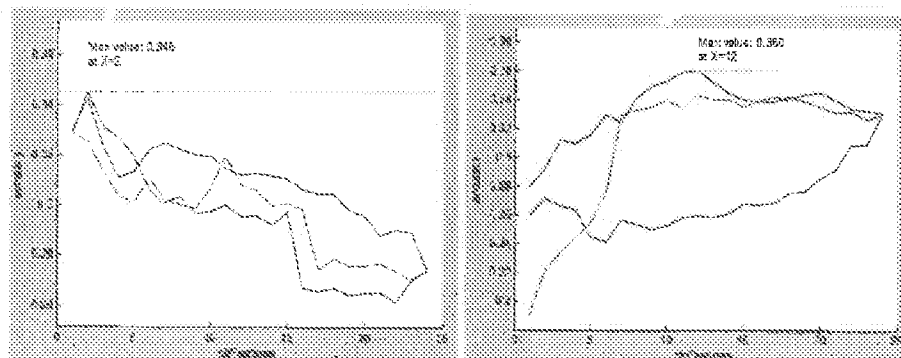


Figure 3: Age prediction using AE (left) and PCA (right). The red color represents the Fisher method, Black is used for ReliefF and Blue stands for the Wrapper approach. In most not all attributes are important for reaching a better accuracy, varying between 1 (Fisher with AE) and 24 (Relief F with PCA) for the optimal number of attributes.

4 Discussion

The obtained results show that the wrapper approach yields better results in 3 of the 4 considered predictions. At least one of the subsets generated by the filter techniques comes close to the predictive accuracy of the optimal subset generated by the wrapper approach in all of the 4 considered predictions. When using the wrapper approach there is only a marginal improvement, but at a very high computational cost, that doesn't compensate the gain in performance.

Another remark is the fact that the optimal subsets contain a lot more features when the eigenfaces are used. The reason for this is the higher number of irrelevant features in the features from the automatic extraction, despite these being suggested by the experts. The explanation for that is the difficulty in extracting exactly the parts that the experts point, since the quality of the radiographs varies, and not all the points suggested were detected by the algorithms.

The optimal subsets have an estimated predictive accuracy of 74% for sex prediction and 36% for the age group prediction. Better results are obtained for both sex- and age prediction when the eigenfaces are used as features, what implies that PCA is a suitable method for extracting useful information from radiographs. In the sequence of this work other types of radiographs will be investigated, since other parts of human faces can also be useful in the task of human identification.

References

- [1] G. Arbenz, *Identidade e identificação: conceitos gerais*, In: Medicina Legal e Antropologia Forense. Rio de Janeiro: Atheneu, 1998. p.105-127.
- [2] R. Oliveira, E. Daruge, L. Galvão, A. Tumang, *Contribuição da odontologia legal para a identificação "post-mortem"*, Rev Bras Odontol 1998; 55(2): 117-22.
- [3] H. Mincer, J. Chandhry, J. Blankenship, E. Turner, *Postmortem dental radiography*, J Forensic Sci 2008; 56(2):405-7.
- [4] R. Silva, S. Carvalho, A. Sales-Peres, C. Lopes-Junior, *A utilização de imagens na identificação humana em odontologia legal*, Radiol Bras 2009; 42(2):125-30.
- [5] M. Oliveira, M. Correia, J. Barata, *Aspectos relacionados ao emprego da radiografia panorâmica em pacientes infantis*, Rev Fac Odontol Porto Alegre 2006; 47:15-9.
- [6] Nassar DFM, Ammar HH. A neural network system for matching dental radiographs. Pattern Recognition 2007; 40: 65-79.

- [7] L. Tao, V. Asari, *An Integrated Neighborhood Dependent Approach for Nonlinear Enhancement of Color Images*, Proceedings of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing, 2004.
- [8] *imfilter*, in Matlab Web Server Manual, 27 April 2010, available at <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/images/imfilter.html>.
- [9] J. Canny, *A computational approach to edge detection*, in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986.
- [10] A. Miranda, Y. Le Borgne, G. Bontempi, *New Routes from Minimal Approximation Error to Principal Components*, Neural Processing Letters, Springer, Volume 27, Number 3, 2008.
- [11] Wikipedia, *Principal component analysis*, on Wikipedia 2 May 2010, available at http://en.wikipedia.org/wiki/Principal_component_analysis.
- [12] X. Wang, J. Yang, X. Teng, W. Xia, R. Jensen, *Feature selection based on rough sets and particle swarm optimization*, in Pattern Recognition Letters 28 (2007) 459-471.
- [13] M. Hall, *Correlation-Based Feature Selection for Discrete and Numeric Class Machine Learning*, Proceedings of the 17th International Conference on Machine Learning (2000) 359-366.
- [14] R. Duda, P. Hart, *Pattern classification and scene analysis*, Wiley, 1973.
- [15] I. Kononenko, S. Hong, *Attribute Selection for Modeling*, In: Future Generation Computer Systems, ISSN 0167 - 739X, 13 (2-3), 181-195, 1997.
- [16] Y. Liu, Z. Qin, Z. Xu, X. He, *Feature Selection with Particle Swarms*, in Computational and Information, Heidelberg: Springer-Verlag (2004) 425-430.
- [17] M. Dash, H. Liu, *Feature Selection for Classification*, in Intelligent Data Analysis, 1 (1997) 131-156.
- [18] Y. Saeyn, I. Inza, P. Larrañaga, *A review of feature selection techniques in bioinformatics*, in Bioinformatics, 19 (2007) 2507-2517.
- [19] H. Vafaie, I. Imam, *Feature selection methods: genetic algorithms vs. greedy-like search*, Proceedings of International Conference on Fuzzy and Intelligent Control Systems (1994).
- [20] L. Chuang, H. Chang, C. Tu, C. Yang, *Improved binary PSO for feature selection using gene expression data*, in Computational Biology and Chemistry, 32 (2008), 2938.
- [21] J. Holland, *Adaptation in natural and artificial systems*, Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- [22] J. Grefenstette, Genetic algorithms for changing environments. *Parallel Problem Solving from Nature*, Amsterdam, 2 (1992) 137-144.
- [23] V. Tragante, R. Tinós, *Control of the number of random immigrants in genetic algorithms for protein structure prediction*, in Proceedings of the 11th Annual conference on Genetic and evolutionary computation, 2009.
- [24] X. Shi, Y. Liang, H. Leeb, C. Lub, L. Wang, *An improved GA and a novel PSO-GA-based hybrid algorithm*, in Information Processing Letters, 93 (2005) 255-261.
- [25] R. Eberhart, Y. Shi, *Comparison between Genetic Algorithms and Particle Swarm Optimization*, Evolutionary Programming VII (1998), Lecture Notes in Computer Science 1447, 611-616. Springer.
- [26] J. Kennedy, R. Eberhart, *A Discrete Binary Version of the Particle Swarm Optimization*, in Proc. Of the conference on Systems, Man, and Cybernetics SMC97, 1997 4104-4109.
- [27] R. Eberhart, Y. Shi, *Tracking and optimizing dynamic systems with particle swarms*, in Proceedings of Congress on Evolutionary Computation. 2001, Seoul.



(51) Classification internationale des brevets :

C07D 471/04 (2006.01) G06T 7/00 (2006.01)
A61K 31/437 (2006.01) A61C 7/00 (2006.01)
A01N 43/40 (2006.01) A61C 9/00 (2006.01)
A61P 31/10 (2006.01)

(74) Mandataire : CABINET NONY; 3, rue de Penthièvre, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2015/074896

(22) Date de dépôt international :

27 octobre 2015 (27.10.2015)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

1460310 27 octobre 2014 (27.10.2014) FR
1460315 27 octobre 2014 (27.10.2014) FR
1552277 19 mars 2015 (19.03.2015) FR

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(71) Déposant : H43 DEVELOPMENT [LU/LU]; 124, boulevard de la Pétrusse, L-2330 Luxembourg (LU).

(72) Inventeurs : SALAH, Philippe; 18, rue Edouard Vaillant, F-93170 Bagnolet (FR). AVACHE, William; 18, rue Ancelle, F-92200 Neuilly-sur-Seine (FR). DEBRAUX, Laurent; 57, rue des Cascades, F-75020 Paris (FR). GHYSELINCK, Guillaume; 41, rue d'Arleux, F-59169 Cantin (FR). PELLISSARD, Thomas; 5, rue de la famille Solomon, F-95190 Goussainville (FR).

(54) Title : METHOD FOR MONITORING DENTITION

(54) Titre : PROCEDE DE CONTROLE DE LA DENTITION

(57) Abstract : The invention relates to a method for monitoring a property of the appearance of the teeth of a patient, said method including the following consecutive steps: A) acquiring, by means of a first acquisition apparatus, at least one first two-dimensional image of said teeth and of a first reference gauge, referred to as "initial image"; B) acquiring, by means of a second acquisition apparatus, at least one second two-dimensional image of said teeth and of a second reference gauge having the same appearance as the first reference gauge, referred to as "updated image"; C) standardising the initial and updated images such that the representations of the first and second reference gauges on the standardised initial and updated images have the same appearance; D) before or after step C, marking the same region of the teeth on the initial and updated images; and E) comparing the appearance of said region in the standardised initial and updated images.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de contrôle d'une propriété d'aspect de dents d'un patient, ledit procédé comportant les étapes successives suivantes: A) acquisition, au moyen d'un premier appareil d'acquisition, d'au moins une première image bidimensionnelle desdites dents et d'une première jauge de référence, dite « image initiale »; B) acquisition, au moyen d'un deuxième appareil d'acquisition, d'au moins une deuxième image bidimensionnelle desdites dents et d'une deuxième jauge de référence présentant un même aspect que la première jauge de référence, dite « image actualisée »; C) normalisation des images initiale et actualisée de manière que les représentations des première et deuxième jauges de référence sur les images initiale et actualisée normalisées présentent un même aspect; D) avant ou après l'étape C, repérage d'une même région des dents sur les images initiale et actualisée; E) comparaison de l'aspect de ladite région sur les images initiale et actualisée normalisées.

PROCEDE DE CONTROLE DE LA DENTITION

Domaine technique

La présente invention concerne un procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme et/ou de l'aspect de dents d'un patient et un programme informatique pour la mise en
5 œuvre de ce procédé.

Etat de la technique

Il est souhaitable que chacun fasse régulièrement contrôler sa dentition, notamment afin de vérifier que la position et/ou la forme et/ou l'aspect de ses dents n'évolue pas défavorablement.

- 10 Lors d'un traitement orthodontique, cette évolution défavorable peut notamment conduire à modifier le traitement. Après un traitement orthodontique, cette évolution défavorable, appelée « récidive », peut conduire à une reprise d'un traitement. Enfin, de manière plus générale et indépendamment de tout traitement, chacun peut souhaiter suivre les déplacements éventuels et/ou le changement de forme et/ou d'aspect de ses dents.
- 15 Classiquement, les contrôles sont effectués par un orthodontiste ou un dentiste qui seuls disposent d'un appareillage adapté. Ces contrôles sont donc coûteux. En outre, les visites sont contraignantes.

US 2009/0291417 décrit un procédé permettant de créer, puis de modifier des modèles tridimensionnels, notamment pour la fabrication d'appareils orthodontiques.

- 20 Un objectif de la présente invention est de répondre, au moins partiellement, aux problèmes susmentionnés.

Résumé de l'invention

L'invention fournit un procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme de dents d'un patient, ledit procédé comportant les étapes suivantes :

- 25 a) réalisation d'un modèle de référence tridimensionnel numérique d'au moins une partie d'une arcade, de préférence d'au moins une arcade du patient, ou « modèle de référence initial » et, de préférence, pour chaque dent, définition, à partir du modèle de référence initial, d'un modèle de référence tridimensionnel numérique de ladite dent, ou « modèle de dent » ;

- b) acquisition d'au moins une image bidimensionnelle des arcades du patient, dite « image actualisée », dans des conditions d'acquisition réelles ;
- c) analyse de chaque image actualisée et réalisation, pour chaque image actualisée, d'une carte actualisée relative à une information discriminante ;
- 5 d) optionnellement, détermination, pour chaque image actualisée, de conditions d'acquisition virtuelles grossières approximant lesdites conditions d'acquisition réelles ;
- e) recherche, pour chaque image actualisée, d'un modèle de référence final correspondant au positionnement et/ou à la forme des dents lors de l'acquisition
- 10 de l'image actualisée, la recherche étant de préférence effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé, et
- f) pour chaque modèle de dent, comparaison des positionnements dudit modèle de dent dans le modèle de référence initial et dans le modèle de référence obtenu à
- 15 l'issue des étapes précédentes, dit « modèle de référence final », afin de déterminer le déplacement des dents entre les étapes a) et b), et/ou
- comparaison des formes du modèle de référence initial et du modèle de référence obtenu à l'issue des étapes précédentes, dit « modèle de référence final », afin de déterminer la déformation et/ou le déplacement de dents entre les
- 20 étapes a) et b).

Comme on le verra plus en détail dans la suite de la description, un procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme de dents selon l'invention permet, à partir d'une simple image des dents, prise sans pré-positionnement précis des dents par rapport à l'appareil d'acquisition d'images, par exemple d'une photographie prise par le patient, d'évaluer avec

25 précision le déplacement et/ou la déformation des dents depuis la réalisation du modèle de référence initial. Cette évaluation peut en outre être effectuée par un simple ordinateur, un serveur ou un téléphone mobile.

De préférence, l'étape e) comporte

- une première opération d'optimisation permettant de rechercher des conditions
- 30 d'acquisition virtuelles correspondant au mieux aux conditions d'acquisition réelles dans un modèle de référence à tester déterminé à partir du modèle de référence initial, et

– une deuxième opération d'optimisation permettant de rechercher, en testant une pluralité de dits modèles de référence à tester, le modèle de référence correspondant au mieux au positionnement et/ou à la forme des dents du patient lors de l'acquisition de l'image actualisée à l'étape b).

5 De préférence, une première opération d'optimisation est effectuée pour chaque test d'un modèle de référence à tester lors de la deuxième opération d'optimisation.

De préférence, la première opération d'optimisation et/ou la deuxième opération d'optimisation, de préférence la première opération d'optimisation et la deuxième opération d'optimisation mettent en œuvre une méthode métaheuristique, de préférence
10 évolutionniste, de préférence un recuit simulé.

De préférence, l'étape e) comporte les étapes suivantes :

- e1) définition d'un modèle de référence à tester comme étant le modèle de référence initial puis,
- e2) suivant les étapes suivantes, test de conditions d'acquisition virtuelles
15 avec le modèle de référence à tester afin d'approximer finement lesdites conditions d'acquisition réelles ;
 - e21) détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester;
 - e22) réalisation d'une image de référence bidimensionnelle du modèle de référence à tester dans lesdites conditions d'acquisition virtuelles à
20 tester ;
 - e23) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de référence représentant, au moins partiellement, ladite information discriminante ;
 - e24) comparaison des cartes actualisée et de référence de manière à
25 déterminer une valeur pour une première fonction d'évaluation, ladite valeur pour la première fonction d'évaluation dépendant des différences entre lesdites cartes actualisée et de référence et correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche de conditions d'acquisition virtuelles approxinant lesdites
30 conditions d'acquisition réelles avec plus d'exactitude que lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester déterminées à la dernière occurrence de l'étape e21) ;

e25) si ladite valeur pour la première fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification des conditions d'acquisition virtuelles à tester, puis reprise à l'étape e22) ;

5 e3) détermination d'une valeur pour une deuxième fonction d'évaluation, ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation dépendant des différences entre les cartes actualisée et de référence dans les conditions d'acquisition virtuelles approximant au mieux lesdites conditions d'acquisition réelles et résultant de la dernière occurrence de l'étape e2),
10 ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche d'un modèle de référence approximant la forme et/ou le positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée avec plus d'exactitude que ledit modèle de référence à tester utilisé à la dernière occurrence de l'étape e2), et si ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation correspond
15 à une décision de poursuivre ladite recherche, modification du modèle de référence à tester par déformation du modèle de référence à tester et/ou par déplacement et/ou déformation d'un ou plusieurs modèles de dents, puis reprise à l'étape e2).

20

Un procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme de dents selon l'invention peut encore comporter une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :

– à l'étape a), on détermine un plan d'occlusion suivant les opérations suivantes :

- 25 I. détermination des points du modèle de référence initial qui appartiennent à une arcade et qui sont à une distance de l'autre arcade qui est inférieure à une distance prédéterminée, de préférence à une distance inférieure à 3 mm de l'autre arcade, dits « points de contact » ;
- II. optionnellement, filtrage d'une partie des points de contact, de préférence de manière que le nombre de points de contact appartenant à l'arcade supérieure soit identique au nombre de points de contact appartenant à
30 l'arcade inférieure, de préférence en éliminant les points d'une arcade les plus éloignés de l'autre arcade ;

III. régression linéaire, de préférence par la méthode des moindres carrés, sur l'ensemble des points de contact restant de manière à déterminer le plan d'occlusion ;

– à l'étape a), on effectue les opérations suivantes :

- 5 i. projection, dans un plan d'occlusion, des points de contact entre les dents des arcades supérieure et inférieure du patient, les points de contact et/ou le plan d'occlusion étant de préférence déterminés, suivant les étapes I à III ;
 - 10 ii. détermination du barycentre des projections desdits points de contact et création d'un référentiel, dans le plan d'occlusion, centré sur ledit barycentre ;
 - 15 iii. détermination, dans ledit référentiel, de la fonction parabolique, présentant le plus grand coefficient de corrélation avec l'ensemble des projections des points de contact ;
 - 20 iv. rotation de l'ensemble des projections des points de contact autour du barycentre, et reprise de l'opération précédente *iii* jusqu'à ce que l'ensemble des projections des points de contact ait parcouru un secteur déterminé, de préférence supérieur à 90° , supérieur à 180° , voire d'environ 360° ;
 - 25 v. identification du coefficient de corrélation le plus élevé pour l'ensemble des positions angulaires de l'ensemble des projections des points de contact autour du barycentre, et de l'axe de la fonction parabolique correspondante ;
 - 30 vi. détermination d'un plan longitudinal médian du modèle de référence initial, ledit plan passant par ledit axe et étant perpendiculaire au plan d'occlusion ;
- à l'étape a), on délimite au moins partiellement un modèle de dent en suivant les opérations suivantes :
- 30 i'. détermination, au moins partielle, des bords gingivaux intérieur et extérieur de l'arcade de la dent concernée, de préférence par analyse des variations de l'orientation de la surface du modèle de référence initial ;
 - ii'. projection, dans le plan d'occlusion, des bords gingivaux intérieur et extérieur ;

- iii'. identification des déformations des projections des bords gingivaux intérieur et extérieur correspondant aux régions interdentaires, les sommets de ces déformations étant appelés « point de rapprochement » (dans une région interdentaire, les deux projections présentent chacune une pointe, les deux pointes pointant sensiblement l'une vers l'autre, l'extrémité d'une pointe étant un point de rapprochement) ;
- iv'. détermination du plus court chemin, à la surface du modèle de référence initial, entre deux points de rapprochement de bords gingivaux intérieur et extérieur, respectivement, d'une région interdentaire, de préférence par une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé, ledit plus court chemin délimitant au moins partiellement un modèle de dent ;
- une image actualisée est acquise moins de 7 jours après l'étape a), puis les étapes c) à f) sont mises en œuvre à partir de cette image actualisée ;
 - l'intervalle de temps entre les étapes a) et b) ou entre les étapes A et B peut être supérieur à 1 semaine, à 2 semaines, à 1 mois, à 2 mois ou à 6 mois ;
 - à l'étape b), on utilise un appareil d'acquisition porté à la main (et en particulier qui n'est pas immobilisé, par exemple au moyen d'un support reposant sur le sol) et/ou la tête du patient n'est pas immobilisée ;
 - on utilise un appareil individuel choisi dans le groupe formé par un appareil photo connecté, une montre intelligente, une tablette numérique, un scanner 3D portable et un ordinateur couplé un système d'acquisition d'images, telle une webcam ou un appareil photo numérique, pour mettre en œuvre l'étape b) et, de préférence au moins une des étapes, de préférence toutes les étapes c) à f) ;
 - à l'étape b), on utilise un écarteur comportant une, de préférence plus de deux marques de repérage, de préférence non alignées, et, de préférence, on utilise la représentation des marques de repérage sur l'image actualisée pour
 - à l'étape c), redécouper l'image et/ou,
 - à l'étape d), évaluer grossièrement les conditions d'acquisition réelles ;
 - à l'étape c), l'information discriminante est choisie dans le groupe constitué par une information de contour, une information de couleur, une information de densité, une

- information de distance, une information de brillance, une information de saturation, une information sur les reflets et des combinaisons de ces informations ;
- à l'étape c), l'information discriminante est une information discriminante optimale obtenue au moyen d'un procédé d'optimisation selon l'invention, décrit ci-après ;
 - 5 - à l'étape d), on utilise des données fournies par l'appareil d'acquisition et, de préférence, concernant son orientation ;
 - à l'étape e2), les conditions d'acquisition virtuelles recherchées comprennent des paramètres de calibration de l'appareil d'acquisition mis en œuvre à l'étape b) ;
 - on met en œuvre une optimisation par une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé pour :
 - 10 - à l'étape a), déterminer au moins partiellement un bord gingival délimitant un modèle de dent, et/ou
 - à l'étape e2), rechercher les conditions d'acquisition virtuelles correspondant aux conditions d'acquisition réelles, et/ou
 - 15 - à l'étape e), rechercher un modèle de référence correspondant à l'image actualisée ;
 - ladite méthode métaheuristique est choisie dans le groupe formé par
 - les algorithmes évolutionnistes, de préférence choisie parmi:
 - 20 les stratégies d'évolution, les algorithmes génétiques, les algorithmes à évolution différentielle, les algorithmes à estimation de distribution, les systèmes immunitaires artificiels, la recombinaison de chemin Shuffled Complex Evolution, le recuit simulé, les algorithmes de colonies de fourmis, les algorithmes d'optimisation par essaims particuliers, la recherche avec tabous, et la méthode GRASP ;
 - 25 - l'algorithme du kangourou,
 - la méthode de Fletcher et Powell,
 - la méthode du bruitage,
 - la tunnelisation stochastique,
 - l'escalade de collines à recommencements aléatoires,
 - 30 - la méthode de l'entropie croisée, et
 - les méthodes hybrides entre les méthodes métaheuristicques citées ci-dessus ;

- à partir de la comparaison à l'étape f), on produit une cartographie faisant apparaître les changements de forme du modèle de référence initial et/ou le déplacement d'un ou plusieurs modèles de dent ;
 - l'information discriminante utilisée pour la carte actualisée et/ou pour la carte de référence est, préalablement à cette utilisation, optimisée au moyen d'un procédé d'optimisation selon l'invention décrit ci-après, comportant des étapes C1. à C3., l'image acquise étant l'image actualisée ou l'image de référence, respectivement, et le modèle de référence étant le modèle de référence initial ou le modèle de référence à tester, respectivement.
- 5
- 10 L'invention concerne aussi l'utilisation d'un procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention pour
- détecter une récurrence, et/ou
 - déterminer une vitesse d'évolution d'un changement de positionnement des dents, et/ou
- 15
- optimiser la date de prise de rendez-vous chez un orthodontiste ou un dentiste, et/ou
 - évaluer l'efficacité d'un traitement orthodontique, et/ou
 - évaluer l'évolution du positionnement de dents vers un modèle théorique correspondant à un positionnement déterminé des dents, en particulier un
- 20
- positionnement amélioré des dents, et/ou
 - en dentisterie.

Le procédé peut notamment être mis en œuvre pendant un traitement orthodontique, notamment pour en contrôler le déroulement, l'étape a) étant mise en œuvre moins de 3 mois, moins de 2 mois, moins de 1 mois, moins d'une semaine, moins de 2 jours après le

25

début du traitement, c'est-à-dire après la pose d'un appareil destiné à corriger le positionnement des dents du patient, dit « appareil de contention actif ».

Le procédé peut être également mis en œuvre après un traitement orthodontique, pour vérifier que le positionnement des dents n'évolue pas de façon défavorable (« récurrence »). L'étape a) est alors de préférence mise en œuvre moins de 3 mois, moins de 2 mois, moins

30

de 1 mois, moins d'une semaine, moins de 2 jours après la fin du traitement, c'est-à-dire après la pose d'un appareil destiné maintenir les dents en position, dit « appareil de contention passif ».

Dans un mode de réalisation, pour contrôler exclusivement le déplacement des dents, on considère que les modèles de dents sont indéformables lors de l'étape e). En particulier, à l'étape e3), le modèle de référence à tester ne peut être modifié que par déplacement d'un ou plusieurs modèles de dents.

- 5 L'invention concerne aussi l'utilisation d'un procédé de contrôle de la forme de dents selon l'invention pour :
- visualiser et/ou mesurer et/ou détecter une plaque dentaire, et/ou un début de carie, et/ou une microfissure, et/ou une usure, par exemple résultant de bruxisme ou de la mise en œuvre d'un appareil orthodontique, actif ou passif, notamment
 - 10 en cas de rupture ou de détachement d'un arc orthodontique ;
 - visualiser et/ou mesurer et/ou détecter un changement de volume, en particulier lors de la croissance des dents ou suite à une intervention d'un dentiste ou d'un orthodontiste, par exemple un dépôt de colle à la surface des dents ;
 - évaluer l'opportunité d'un traitement interceptif, avant tout traitement
 - 15 orthodontique, notamment pour évaluer l'intérêt d'un traitement orthodontique.

Dans un mode de réalisation, pour contrôler exclusivement la déformation des dents, on considère, lors de l'étape e), que les modèles de dents sont fixes, c'est-à-dire ne se sont pas déplacés entre les étapes a) et b). En particulier, à l'étape e3), le modèle de référence à tester ne peut être modifié que par déformation d'un ou plusieurs modèles de dents.

- 20 La comparaison des formes du modèle de référence initial et du modèle de référence final afin de déterminer la déformation de dents entre les étapes a) et b) peut en particulier résulter d'une comparaison de la forme d'un ou plusieurs modèles de dent dans le modèle de référence initial et dans le modèle de référence final.
- 25 L'invention concerne encore un procédé de contrôle d'une propriété d'aspect de dents d'un patient, ledit procédé comportant les étapes successives suivantes :
- A. acquisition, au moyen d'un premier appareil d'acquisition, d'au moins une première image bidimensionnelle desdites dents et d'une première jauge de référence, dite « image initiale » ;
 - 30 B. acquisition, au moyen d'un deuxième appareil d'acquisition, d'au moins une deuxième image bidimensionnelle desdites dents et d'une deuxième jauge de

- référence présentant un même aspect que la première jauge de référence, dite « image actualisée » ;
- 5 C. normalisation des images initiale et actualisée de manière que les représentations des première et deuxième jauges de référence sur les images initiale et actualisée normalisées présentent un même aspect ;
- D. avant ou après l'étape C., repérage d'une même région des dents sur les images initiale et actualisée ;
- E. comparaison de l'aspect de ladite région sur les images initiale et actualisée normalisées.
- 10 Un procédé de contrôle d'une propriété d'aspect de dents selon l'invention comporte de préférence une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :
- l'intervalle de temps entre les étapes A. et B. est supérieur à 1 semaine ;
 - le premier appareil d'acquisition et/ou le deuxième appareil d'acquisition sont des appareils photo et/ou des téléphones mobiles ;
 - 15 - les acquisitions aux étapes A. et/ou B. sont effectuées sous l'éclairage d'un flash ;
 - les jauges de référence utilisées pour chacune des étapes A. et B. présentent un même aspect ;
 - les jauges de référence utilisées pour chacune des étapes A. et B. sont fixées sur un écarteur dentaire ;
 - 20 - les acquisitions aux étapes A. et/ou B. sont effectuées au moyen d'un kit d'acquisition selon l'invention, décrit ci-après ;
 - les jauges de référence utilisées pour chacune des étapes A. et B. sont des marques de repérage ;
 - le premier appareil d'acquisition et/ou le deuxième appareil d'acquisition comporte un
 - 25 programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour repérer, en temps réel, la ou les marques de repérage sur l'écarteur, analyser sa ou leurs positions et/ou dimensions, en particulier les positions relatives de plusieurs marques de repérage et, en conséquence, fournir une information, de préférence lumineuse ou sonore, de manière à informer l'utilisateur dudit appareil d'acquisition ;

- à l'étape D., le repérage comprend une comparaison d'informations discriminantes communes aux deux images initiale et actualisée, puis une identification de la position de ladite région par rapport aux dites informations discriminantes communes ;
- à l'étape D., le repérage de la région sur les images initiale et/ou actualisée comprend
5 une recherche de conditions d'acquisition virtuelles dans lesquelles le premier et/ou deuxième appareil d'acquisition, respectivement, aurait acquis ladite image initiale et/ou actualisée, respectivement, en observant un modèle de référence tridimensionnel numérique des arcades du patient.
- à l'étape D., le repérage de la région sur les images initiale et/ou actualisée comprend la
10 mise en œuvre d'un procédé d'évaluation des conditions d'acquisition réelles selon l'invention, décrit ci-après.

L'invention concerne également un kit d'acquisition, notamment pour la mise en œuvre d'une étape b), A. ou B., ledit kit d'acquisition comportant :

- 15 - un écarteur dentaire destiné à être placé dans la bouche d'un patient et comportant une marque de repérage ;
- un appareil d'acquisition d'images comportant ;
 - un écran de visualisation,
 - une mémoire informatique contenant des informations sur des conditions
20 d'acquisition cibles,
 - un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour afficher simultanément, sur ledit écran, une image acquérable et une référence, ladite référence étant dans une position telle que, lorsque la marque de repérage correspond à la référence sur l'écran,
25 l'appareil d'acquisition respecte les conditions d'acquisition cibles.

Un kit d'acquisition selon l'invention peut notamment être mis en œuvre à l'étape b) d'un procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme des dents selon l'invention, ou aux étapes A. et/ou B. d'un procédé de contrôle d'une propriété d'aspect de dents, et plus généralement pour tout procédé comportant une évaluation des conditions d'acquisition
30 d'une image.

Comme on le verra plus en détail dans la suite de la description, un kit d'acquisition selon l'invention permet en particulier de positionner l'appareil d'acquisition dans une position

qui correspond sensiblement à une position prédéterminée, par exemple considérée comme optimale pour le contrôle souhaité. Un kit d'acquisition selon l'invention permet donc d'améliorer considérablement la rapidité du traitement des informations pour la mise en œuvre des procédés de contrôle selon l'invention.

5 Un kit d'acquisition selon l'invention présente de préférence une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :

- l'appareil d'acquisition est un téléphone mobile ;
- la référence est choisie dans le groupe constitué par
 - un point,
 - 10 - une forme géométrique, de préférence un cercle, un carré, un rectangle ou une ligne,
 - une zone colorée de la même couleur que ladite marque de repérage,
 - une forme identique à la forme de ladite marque de repérage,
 - une forme complémentaire à la forme de ladite marque de repérage, en particulier
 - 15 pour constituer une forme ayant un sens, comme une forme géométrique, une lettre ou un texte, un dessin, ou un motif, et
 - leurs combinaisons ;
- l'écarteur comporte plusieurs marques de repérage non alignées et, de préférence coplanaires ;
- 20 - la marque de repérage est disposée de manière que, lorsqu'elle correspond à ladite référence sur l'écran, elle est à moins de 1 cm d'un bord de l'écran.

L'invention concerne aussi un procédé d'acquisition d'une image bidimensionnelle d'une partie d'une arcade dentaire, ou d'une arcade dentaire ou des deux arcades dentaires d'un patient au moyen d'un kit d'acquisition selon l'invention, notamment pour la mise en œuvre d'une étape b), A. et/ou B.. Ce procédé est remarquable en ce qu'il comporte les

25 étapes successives suivantes :

- (a) détermination de conditions d'acquisition cibles, par exemple en fonction d'un traitement à appliquer, en particulier d'un traitement orthodontique, et détermination de conditions de correspondance adaptées pour qu'une mise
- 30 en correspondance d'une marque de repérage de l'écarteur avec une

référence affichée sur l'écran de l'appareil d'acquisition résulte dans l'application des conditions d'acquisition cibles;

- (b) programmation de l'appareil d'acquisition de manière à afficher la référence dans une position telle que ladite mise en correspondance résulte en l'application des conditions d'acquisition cibles ;
- (c) mise en place de l'écarteur dans la bouche du patient ;
- (d) positionnement de l'appareil d'acquisition de manière à faire correspondre la marque de repérage et la référence et ainsi appliquer les conditions d'acquisition cibles ;
- (e) acquisition de l'image acquérable dans le positionnement de l'appareil d'acquisition adopté à l'étape précédente.

Les conditions d'acquisition cibles sont les conditions permettant un positionnement adapté de l'appareil d'acquisition, de préférence un positionnement optimal de l'appareil d'acquisition pour acquérir l'image. De préférence, les conditions d'acquisition cibles sont donc déterminées en fonction des dents à observer.

De préférence un procédé d'acquisition selon l'invention est mis en œuvre pour les étapes des procédés de contrôle selon l'invention nécessitant l'acquisition d'une image bidimensionnelle d'une partie d'une arcade ou d'une arcade dentaire ou des deux arcades dentaires d'un patient, en en particulier pour les étapes b).

- De préférence, le cycle des étapes (a) à (e) est répété plusieurs fois, de préférence plus de deux fois, voire plus de trois fois, avec des conditions d'acquisition cibles différentes.

Par exemple, pour mesurer le déplacement d'une dent, des premières conditions d'acquisition cibles pourront correspondre à un positionnement à 40 cm de l'écarteur, en face et à hauteur de l'écarteur. Des deuxièmes et troisièmes conditions d'acquisition cibles pourront correspondre à un positionnement à 40 cm de l'écarteur, à hauteur de l'écarteur, à 45° à droite et à gauche du plan sagittal, respectivement.

De préférence, les étapes (c), (d) et (e) sont exécutées par une personne sans formation universitaire à l'orthodontie et/ou en dehors de tout cabinet médical, de dentisterie ou d'orthodontie, et/ou sans recours à un dispositif de stabilisation mécanique de l'appareil d'acquisition et/ou sans recours à d'autres appareils qu'un téléphone mobile et/ou sans recours à une jauge étalon de calibration.

L'invention concerne aussi un procédé d'optimisation d'une information discriminante extraite d'une image bidimensionnelle des arcades dentaires d'un patient, dite « image acquise », au moyen d'un modèle de référence tridimensionnel numérique d'au moins une partie d'une arcade du patient, ou d'une arcade ou des deux arcades du patient ledit

5 procédé comportant les étapes suivantes :

- C1. évaluation de la qualité de l'information discriminante et d'un seuil de qualité, filtrage de manière à ne retenir que de l'information discriminante présentant une qualité supérieure au seuil de qualité, et définition de « l'information discriminante à tester » comme étant l'information discriminante retenue ;
- 10 C2. test d'une concordance entre l'information discriminante à tester et ledit modèle de référence ;
- C3. évaluation du résultat du test, et en fonction de ladite évaluation :
 - ajout d'information discriminante non retenue à l'information discriminante à tester et/ou suppression d'information discriminante dans
 - 15 l'information discriminante à tester, puis reprise à l'étape C2. ou,
 - définition de l'information discriminante optimale comme étant l'information discriminante à tester.

De préférence, un procédé d'optimisation selon l'invention comporte encore une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :

- 20 - l'information discriminante est choisie dans le groupe constitué par une information de contour, une information de couleur, une information de densité, une information de distance, une information de brillance, une information de saturation, une information sur les reflets, et les combinaisons de ces informations ;
- l'étape C2. comporte les étapes suivantes :
 - 25 - recherche de conditions d'acquisition virtuelles approximant, de préférence de manière optimale, des conditions d'acquisition réelles dans lesquelles ladite image acquise a été acquise et observation du modèle de référence dans lesdites conditions d'acquisitions virtuelles de manière à obtenir une image de référence ;
 - 30 - traitement de l'image acquise et de l'image de référence pour réaliser au moins une carte acquise et une carte de référence, respectivement, lesdites cartes acquise et de référence représentant de ladite information discriminante ;

- comparaison des cartes acquise et de référence de manière à déterminer un degré de concordance, le résultat du test de l'étape C2. dépendant, de préférence étant égal audit degré de concordance ;
 - la recherche des conditions d'acquisition virtuelles approximant des conditions d'acquisition réelles comporte les étapes suivantes :
 - 01) optionnellement, détermination de conditions d'acquisition virtuelles grossières approximant lesdites conditions d'acquisition réelles, de préférence par analyse de la représentation, sur l'image acquise, d'un écarteur utilisé lors de l'acquisition de l'image acquise;
 - 02) détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester;
 - 03) réalisation d'une image de référence bidimensionnelle du modèle de référence observé dans les conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
 - 04) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de référence représentant ladite information discriminante ;
 - 05) comparaison des cartes acquise et de référence de manière à déterminer une valeur pour une fonction d'évaluation, ladite valeur pour la fonction d'évaluation dépendant des différences entre lesdites cartes acquise et de référence et correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche de conditions d'acquisition virtuelles approximant les conditions d'acquisition réelles avec plus d'exactitude que lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
si ladite valeur pour la fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification desdites conditions d'acquisition virtuelles à tester, puis reprise à l'étape 03) ;
sinon, évaluation des conditions d'acquisition réelles par lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
 - la détermination de l'information discriminante à ajouter et/ou à ajouter à l'étape C3. résulte de la mise en œuvre d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste.
- L'invention concerne aussi un procédé d'évaluation des conditions d'acquisition réelles d'une image bidimensionnelle des dents d'un patient, dite « image acquise », ledit procédé comportant les étapes suivantes :

001) réalisation d'un modèle de référence tridimensionnel numérique d'au moins une partie d'une arcade, de préférence d'une arcade, de préférence des deux arcades du patient ;

5 002) analyse de l'image acquise et réalisation d'une carte relative à une information discriminante, dite « carte acquise » ;

003) recherche des conditions d'acquisition virtuelles approximant lesdites conditions d'acquisition réelles, de préférence suivant les étapes 01) à 05).

Une ou plusieurs des caractéristiques, éventuellement optionnelles, de l'étape a) sont applicables à l'étape 001). En particulier, le modèle de référence peut être préparé, par un scan, à partir de mesures effectuées sur les dents du patient ou sur un modèle physique de ses dents, par exemple un modèle en plâtre.

Une ou plusieurs des caractéristiques, éventuellement optionnelles, de l'étape c) sont applicables à l'étape 002).

15 L'invention concerne également :

- un programme d'ordinateur, et en particulier un applicatif spécialisé pour téléphone mobile, comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution d'une ou plusieurs, de préférence toutes les étapes b) à f) ou A. à E. ou C1 à C3, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur,
- 20 - un support informatique sur lequel est enregistré un tel programme, par exemple une mémoire ou un CD-ROM, et
- un appareil personnel, en particulier un téléphone mobile ou une tablette, dans lequel est chargé un tel programme.

L'invention concerne aussi un système comportant

- 25 - un scanner tridimensionnel apte à mettre en œuvre l'étape a) d'un procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme de dents selon l'invention, ou une étape 001).
- un appareil personnel, de préférence un téléphone mobile, chargé avec un programme selon l'invention.

30 **Définitions**

Par « patient », on entend toute personne pour laquelle un procédé est mis en œuvre afin d'en contrôler les dents, que cette personne soit malade ou non, ou que cette personne soit en cours de traitement ou non.

Par « professionnel des soins dentaires », on entend un dentiste, un orthodontiste ou un
5 laboratoire d'orthodontie.

Par « dentiste », on entend un dentiste ou un assistant dentaire travaillant sous la responsabilité d'un dentiste.

Par « dentition », on entend les deux arcades dentaires du patient.

Une image d'une arcade est bien entendu une représentation partielle de cette arcade.

10 On appelle "téléphone mobile" un appareil de moins de 500 g, doté d'un capteur lui permettant de capturer des images, capable d'échanger des données avec un autre appareil éloigné de plus de 500 km du téléphone mobile, et capable d'afficher lesdites données, et notamment lesdites images.

Pour un procédé de contrôle du positionnement des dents, les « conditions d'acquisition »
15 précisent la position et l'orientation dans l'espace d'un appareil d'acquisition d'images relativement aux dents du patient ou à un modèle de dents du patient, et de préférence la calibration de cet appareil d'acquisition d'images.

La « calibration » d'un appareil d'acquisition est constituée par l'ensemble des valeurs des paramètres de calibration. Un paramètre de calibration est un paramètre intrinsèque à
20 l'appareil d'acquisition (à la différence de sa position et de son orientation) dont la valeur influence l'image acquise. Par exemple, l'ouverture de diaphragme est un paramètre de calibration qui modifie la profondeur de champ. Le temps d'exposition est un paramètre de calibration qui modifie la luminosité (ou « l'exposition ») de l'image. La distance focale est un paramètre de calibration qui modifie l'angle de vue, c'est-à-dire le degré de
25 « zoom ». La « sensibilité » est un paramètre de calibration qui modifie la réaction du capteur d'un appareil d'acquisition numérique à la lumière incidente.

De préférence, les paramètres de calibration sont choisis dans le groupe formé par l'ouverture de diaphragme, le temps d'exposition, la distance focale et la sensibilité.

Le "plan d'occlusion" est le plan qui fournit la meilleure corrélation linéaire avec
30 l'ensemble des points de contact entre les dents de l'arcade supérieure d'une part et les dents de l'arcade inférieure d'autre part.

Le "plan longitudinal médian" est le plan sensiblement vertical lorsque le patient tient la tête droite, qui sépare de manière sensiblement symétrique des parties droite et gauche de chaque arcade.

Une « tablette » est un ordinateur portable à écran tactile.

- 5 Un scanner 3D est un appareil permettant d'obtenir une représentation en trois dimensions d'un objet.

Par "image", on entend une image en deux dimensions, comme une photographie. Une image est formée de pixels.

- 10 Une image « acquérable » ("preview") est l'image que l'appareil d'acquisition peut enregistrer à un instant donné. Pour un appareil photo ou un téléphone, c'est l'image qui apparaît sur l'écran lorsque l'applicatif d'acquisition de photo ou de vidéo est en fonctionnement.

- 15 Une "information discriminante" est une information caractéristique qui peut être extraite d'une image ("*image feature*"), classiquement par un traitement informatique de cette image.

Une information discriminante peut présenter un nombre variable de valeurs. Par exemple, une information de contour peut être égale à 1 ou 0 selon qu'un pixel appartient ou non à un contour. Une information de brillance peut prendre un grand nombre de valeurs. Le traitement de l'image permet d'extraire et de quantifier l'information discriminante.

- 20 Des conditions d'acquisition sont dites "virtuelles" lorsqu'elles correspondent à une simulation dans laquelle l'appareil d'acquisition serait dans lesdites conditions d'acquisition (positionnement et de préférence calibration théoriques de l'appareil d'acquisition).

Par "comprenant un" ou "comportant un" ou "présentant un", on entend "comportant au moins un", sauf indication contraire.

- 25 Dans les différents procédés décrits, les références des étapes sont identiques si ces étapes sont similaires ou identiques.

Brève description des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description détaillée qui va suivre et à l'examen du dessin annexé dans lequel :

- la figure 1 représente un logigramme illustrant la mise en œuvre d'un procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme de dents selon l'invention,
- la figure 2 représente un exemple de modèle de référence initial,
- la figure 3 illustre le traitement effectué pour déterminer le plan d'occlusion,
- 5 - la figure 4 (4a-4d) illustre l'étape nécessaire pour déterminer les modèles de dent dans un modèle de référence,
- la figure 5 (5a-5d) illustre l'acquisition d'images actualisées, ainsi que l'opération de découpage,
- la figure 6 (6a-6b) illustre le traitement d'une image actualisée permettant de
- 10 déterminer le contour des dents,
- la figure 7 illustre schématiquement la position relative de marques de repérage 12 sur des images actualisées 14₁ et 14₂ d'un écarteur 10, selon la direction d'observation (trait interrompu),
- la figure 8 représente une cartographie résultant de la mise en œuvre d'un procédé de
- 15 contrôle de la forme de dents d'un patient selon l'invention,
- la figure 9 représente un logigramme illustrant la mise en œuvre d'un procédé de contrôle de l'aspect de dents selon l'invention,
- la figure 10 représente un logigramme illustrant la mise en œuvre d'un procédé de d'optimisation d'une information discriminante selon l'invention, et
- 20 - la figure 11 représente, sur une image acquise, une carte de référence établie pour une information de reflet, et
- les figures 12a et 12b illustrent deux vues d'un modèle tridimensionnel avec deux distances focales différentes.

Description détaillée d'un procédé de contrôle du positionnement des dents

- 25 Un procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention comporte les étapes mentionnées ci-dessus.

A l'étape a), un modèle de référence initial des arcades, ou d'une partie des arcades du patient est créé (voir figure 2).

- Le modèle de référence initial est un modèle numérique en trois dimensions des arcades du
- 30 patient, par exemple du type .stl ou .Obj, .DXF 3D, IGES, STEP, VDA, ou Nuages de points. Avantagusement, un tel modèle, dit « 3D », peut être observé selon un angle quelconque.

Pour le suivi d'un traitement orthodontique, le modèle de référence initial est de préférence préparé au début du traitement. Le modèle de référence initial peut correspondre à un positionnement des dents du patient avant le traitement ou à un positionnement des dents du patient que le traitement se propose d'atteindre. Dans ce cas, le modèle de référence
5 initial est classiquement calculé à partir d'un premier modèle tridimensionnel correspondant au positionnement des dents du patient avant le traitement.

Pour le contrôle de la récurrence, le modèle de référence initial est de préférence préparé moins de six mois, de préférence moins de trois mois, de préférence encore moins d'un mois après la fin du traitement orthodontique, généralement immédiatement après la fin du
10 traitement. Il correspond ainsi à un positionnement sensiblement optimal des dents.

Le modèle de référence initial peut être également préparé indépendamment de tout traitement, par exemple parce que le patient souhaite surveiller les mouvements de ses dents.

Le modèle de référence initial peut être préparé à partir de mesures effectuées sur les dents
15 du patient ou sur un modèle physique de ses dents, par exemple un modèle en plâtre.

Le modèle de référence initial est de préférence créé au moyen d'un appareil professionnel, par exemple au moyen d'un scanner 3D, de préférence mis en œuvre par un professionnel de la santé, par exemple par un orthodontiste ou un laboratoire d'orthodontie. Dans un cabinet d'orthodontie, le patient ou le modèle physique de ses dents peuvent être
20 avantageusement disposés dans une position précise et l'appareil professionnel peut être perfectionné. Il en résulte un modèle de référence initial très précis. Le modèle de référence initial fournit de préférence une information sur le positionnement des dents avec une erreur inférieure à 5/10 mm, de préférence inférieure à 3/10 mm, de préférence inférieure à 1/10 mm.

25 Orientation du modèle de référence initial :

De préférence, on détermine l'orientation du modèle de référence initial dans l'espace, et notamment, de préférence, le plan d'occlusion et le plan longitudinal médian.

Le plan d'occlusion et le plan longitudinal médian peuvent être déterminés manuellement, de manière approximative. Les inventeurs ont cependant découvert des procédés
30 permettant de déterminer ces plans par traitement informatique.

De préférence, le modèle de référence est un modèle des arcades bouche fermée, c'est-à-dire dans une position dans laquelle des dents de l'arcade supérieure sont en contact avec des dents de l'arcade inférieure.

Classiquement, le modèle de référence initial fourni par un scanner tridimensionnel permet
5 de distinguer l'arcade supérieure de l'arcade inférieure. Généralement, le modèle est fourni sous la forme de deux fichiers correspondant respectivement à ces arcades, et comportant des données permettant de positionner les modèles de ces arcades l'un par rapport à l'autre dans la position d'occlusion.

De préférence, pour estimer les points de contact entre les dents des arcades supérieure et
10 inférieure, on détermine l'ensemble des points du modèle de l'arcade supérieure et de l'arcade inférieure qui sont à une distance inférieure à une limite prédéterminée, cette limite étant de préférence inférieure à 3 mm, de préférence d'environ 2 mm. Tous les autres points de ces modèles sont ensuite ignorés, ce qui conduit à la représentation de la figure 3b. Une régression linéaire permet alors de déterminer le plan d'occlusion (« plan
15 1 » sur la figure 3c).

Le modèle de référence initial peut ainsi être orienté suivant le plan d'occlusion (Fig. 3d).

Si le modèle de référence initial ne comporte pas de données permettant de positionner les arcades supérieure et inférieure l'une par rapport à l'autre, on utilise de préférence un
20 mordu d'occlusion faisant apparaître les points de contact entre les dents supérieures et les dents inférieures, puis on repositionne les modèles des arcades supérieure et inférieure par rapport à ce mordu d'occlusion.

Le plan longitudinal médian est perpendiculaire au plan d'occlusion, mais son orientation n'est pas connue.

De préférence, on procède de la manière suivante pour déterminer l'orientation du plan
25 longitudinal médian :

On considère des axes [Ox) et [Oy) dans le plan d'occlusion, le point O étant le barycentre des projections normales des points de contact sur le plan d'occlusion.

– Dans ce référentiel (xOy), on recherche la courbe, de préférence parabolique, présentant le plus grand coefficient de corrélation avec l'ensemble desdites
30 projections.

- L'ensemble des projections des points de contact est ensuite déplacé dans le plan d'occlusion, par rotation autour du point O, et on recommence l'étape précédente à partir de cette nouvelle position angulaire des projections des points de contact.

- Le cycle des opérations précédentes est poursuivi, de préférence jusqu'à avoir fait tourner l'ensemble des points de contact de 360° autour du barycentre O. On compare ensuite les
- 5 coefficients de corrélation correspondant aux différentes orientations de l'ensemble des points de contact. L'axe de la courbe qui conduit au coefficient de corrélation le plus élevé est alors considéré comme inclus dans le plan longitudinal médian, ce qui permet de définir exactement l'orientation de ce dernier.
- 10 L'orientation dans l'espace du modèle de référence initial est ainsi parfaitement déterminée, de manière rapide.

Création des modèles de dent

- Dans le modèle de référence initial, une partie qui correspond à une dent, ou « modèle de dent », est délimitée par un bord gingival qui peut être décomposé en un bord gingival
- 15 intérieur (du côté de l'intérieur de la bouche par rapport à la dent), un bord gingival extérieur (orienté vers l'extérieur de la bouche par rapport à la dent) et deux bords gingivaux latéraux. Les bords gingivaux correspondent à des régions dans lesquelles l'orientation de la surface définie par le modèle de référence initial subit des modifications de fortes amplitudes. Ces variations d'orientation peuvent être identifiées selon des
- 20 techniques connues, par exemple en identifiant les changements de direction de la normale à la surface modélisée. La figure 4a représente une vue du modèle de référence initial traitée pour faire apparaître ces changements de direction. La figure 4b montre le bord gingival intérieur qui peut être extrait par l'analyse de l'image de la figure 4a.

- Plusieurs vues du modèle de référence initial sont ainsi analysées, ce qui permet de
- 25 déterminer les bords gingivaux intérieur et extérieur en trois dimensions, comme représenté sur la figure 4c.

- Par ailleurs, en projection dans le plan d'occlusion, les contours gingivaux intérieur et extérieur d'une arcade se rapprochent de part et d'autre d'une dent. Pour déterminer un bord gingival latéral d'une dent, on recherche le plus court chemin, sur la surface du modèle de
- 30 référence initial, entre les deux points des bords gingivaux intérieur et extérieur ainsi rapprochés et qui se font sensiblement face. La recherche du plus court chemin entre deux points sur un modèle tridimensionnel fait appel à des techniques d'optimisation bien

connues. De préférence, cette recherche résulte d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence d'un recuit simulé.

Deux bords gingivaux latéraux adjacents et les parties des bords gingivaux intérieur et extérieur qui connectent ces bords gingivaux latéraux permettent ainsi de délimiter une dent au niveau de la gencive. En tenant compte du fait qu'une dent s'étend depuis le contour gingival vers le plan d'occlusion, il est ainsi possible de déterminer les parties du modèle de référence initial qui correspondent aux différentes dents (« modèles de dent »). La figure 4d représente l'ensemble des modèles de dent d'une arcade.

Le modèle de référence initial peut être stocké dans une base de données centralisée, regroupant les modèles de référence initiaux d'une pluralité de patients. Cette base de données peut être physiquement installée dans un établissement spécialisé. Elle peut être également installée dans un laboratoire ou un cabinet d'orthodontie, ce qui limite les transferts d'informations confidentielles.

Dans un mode de réalisation, le modèle de référence initial est remis au patient. De préférence, un fichier informatique correspondant au modèle de référence initial est enregistré sur un support amovible, par exemple sur une clé USB ou sur une carte électronique, de préférence sur un téléphone mobile, une tablette ou un ordinateur portable du patient, et en particulier sur l'appareil personnel qui sera de préférence utilisé aux étapes b) et suivantes. De préférence, le patient ou un professionnel des soins dentaires charge le modèle de référence initial dans ledit appareil individuel ou le met à disposition pour chargement dans ledit appareil individuel. Le patient charge de préférence le modèle de référence initial à partir d'internet.

Dans un mode de réalisation préféré, le modèle de référence n'est pas remis au patient. De préférence, le modèle de référence est seulement rendu disponible à un établissement spécialisé pour mettre en œuvre les étapes c) à f). Il peut rester stocké dans l'établissement dans lequel il a été réalisé à l'étape a) et où, de préférence, les étapes c) à f) sont mises en œuvre.

A l'étape b), on prend une image actualisée d'une partie d'une arcade, d'une arcade ou des arcades au moyen d'un appareil d'acquisition d'images. L'étape b) est de préférence réalisée par le patient ou un proche du patient, mais peut être réalisée par un dentiste.

Moment de l'acquisition

De préférence, l'image actualisée est prise après un intervalle de temps Δt après l'étape a). L'intervalle de temps Δt peut être prédéterminé. Il peut être constant, quelle que soit l'occurrence du procédé, c'est-à-dire que cet intervalle concerne la première exécution du procédé ou une exécution ultérieure. Il peut être variable, et dépendre par exemple des
5 résultats obtenus suite à une exécution antérieure du procédé. En particulier, pour le contrôle de la récurrence, l'intervalle de temps Δt peut être d'autant plus court que cette exécution a permis de détecter une dérive importante.

Dans un mode de réalisation préféré, l'intervalle de temps Δt est déterminé par l'orthodontiste, en fonction d'un planning des contrôles. En fonction de l'évolution de la
10 position des dents, l'orthodontiste peut modifier ce planning et modifier en conséquence l'intervalle de temps Δt . Dans un mode de réalisation, le procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention est exécuté plusieurs fois, les intervalles de temps entre chaque exécution pouvant être identiques ou différents. Les intervalles des temps entre deux exécutions successives peuvent être tous déterminés avant la première
15 exécution pour correspondre à un planning de contrôles élaboré par l'orthodontiste.

L'intervalle de temps Δt peut être également indéterminé et dépendre par exemple de décisions du patient. Par exemple, la création d'une image actualisée peut être effectuée à l'occasion d'un rendez-vous chez le dentiste ou à tout moment lorsque le patient le souhaite, voire indépendamment de tout traitement orthodontique.

20 L'intervalle de temps Δt est de préférence déterminé pour correspondre à une évolution potentiellement significative du positionnement des dents.

Par exemple, pour le contrôle de la récurrence, l'intervalle de temps Δt est de préférence inférieur à trois mois lors de la première année après le traitement. Après cette première année, l'intervalle de temps Δt est de préférence supérieur à un mois, voire supérieur à six
25 mois ou supérieur à douze mois. En particulier pour la détection d'une dérive des dents, un intervalle de temps compris entre six mois et dix-huit mois est adapté.

De préférence, au moins un rappel informant le patient de la nécessité de créer une image actualisée est adressé au patient. Ce rappel peut être sous forme papier ou, de préférence, sous forme électronique, par exemple sous la forme d'un courriel, d'une alerte automatique
30 de l'appliquatif spécialisé mobile ou d'un SMS. Un tel rappel peut être envoyé par le cabinet ou le laboratoire d'orthodontie ou par le dentiste ou par l'appliquatif spécialisé mobile du patient, par exemple.

Dans un mode de réalisation préféré, une image actualisée est acquise avant que les dents n'aient pu se déplacer significativement, sensiblement au même moment que la création du modèle de référence initial, de préférence moins de 7 jours, moins de 3 jours, moins de 1 jour après l'étape a), c'est-à-dire avant que les dents n'aient pu se déplacer significativement. La mise en œuvre du procédé avec cette image actualisée permet
5 avantageusement de vérifier que le procédé ne conduit à la détection d'aucune différence entre les modèles de référence initial et final, et donc fonctionne correctement.

Dans un mode de réalisation, l'image actualisée peut être acquise avant la création du modèle de référence initial. Par exemple, les étapes a) et b) peuvent être effectuées à la fin
10 et au début d'un traitement orthodontique, respectivement. Il est ainsi notamment possible d'évaluer l'efficacité du traitement en l'absence de modèle 3D en début de traitement. L'intervalle de temps $\Delta t'$ séparant les étapes a) et b) dans ce mode de réalisation peut notamment prendre les valeurs décrites ci-dessus pour Δt .

Appareil d'acquisition d'images

De préférence, l'appareil d'acquisition d'images est un appareil personnel couramment
15 disponible dans le commerce, par exemple un téléphone mobile, un appareil photo dit « connecté », une montre dite « intelligente », ou « smartwatch », ou une tablette ou un ordinateur personnel, fixe ou portable, comportant un système d'acquisition d'images, comme une webcam ou un appareil photo, de préférence un appareil photo numérique.
20 Même si l'image actualisée peut en particulier être créée par un dentiste, elle l'est de préférence par le patient lui-même ou par un de ses proches.

En particulier, l'image actualisée peut être créée par une personne qui n'a pas de connaissances particulières en orthodontie, et en particulier qui ne possède aucun diplôme d'orthodontie ou de dentisterie.

De préférence, le même appareil d'acquisition est utilisé pour prendre toutes les images
25 actualisées.

L'appareil d'acquisition d'images pèse de préférence moins de 3 kg, moins de 2 kg, moins de 1 kg, moins de 500 g, de préférence moins de 300 g.

L'étape b) peut donc avantageusement être réalisée à distance de l'étape a), c'est-à-dire
30 dans un lieu différent de celui dans lequel est réalisée l'étape a), en particulier à plus de 50 m, plus de 100 m, plus de 1 km du lieu où est réalisée l'étape a), en particulier hors cabinet

orthodontique. Dans un mode de réalisation, l'étape b) n'est pas réalisée dans un cabinet dentaire, un cabinet d'orthodontie ou un laboratoire d'orthodontie, sauf, éventuellement, lors d'une séance destinée à former le patient.

De préférence, l'image actualisée est une photographie, en particulier une photographie panoramique. Dans un mode de réalisation, l'image actualisée est extraite d'un film.

Dans un mode de réalisation préféré, le procédé utilise plusieurs images actualisées pour disposer d'au moins une représentation de chaque dent, de préférence au moins trois images actualisées correspondant à une vue de face, une vue à droite et une vue à gauche des dents du patient.

De préférence, à l'étape b), on prend au moins une image actualisée en position bouche fermée et au moins une image actualisée en position bouche ouverte. L'image bouche fermée permet avantageusement d'identifier les déplacements relatifs entre les deux arcades. L'image actualisée bouche ouverte permet avantageusement de bien identifier les contours des dents, sans que les dents de l'arcade supérieure ne viennent masquer les dents de l'arcade inférieure ou réciproquement.

Des images actualisées peuvent être prises soit pour l'arcade supérieure, soit pour l'arcade inférieure, soit, de préférence, pour les deux arcades, en tout ou partie.

Plusieurs images similaires (représentant sensiblement les mêmes dents) peuvent être également utiles afin de rechercher le meilleur score. En fonction des conditions d'acquisition, une information discriminante pourra en particulier conduire à des scores différents selon l'image actualisée utilisée.

De préférence, on utilise un écarteur dentaire lors de l'étape b), comme représenté sur les figures 5a et 5c. La première fonction de l'écarteur est d'écarter les lèvres afin d'améliorer la visibilité des dents. De préférence, un écarteur est remis au patient, par exemple lors d'un rendez-vous avec son orthodontiste ou son dentiste.

L'appareil d'acquisition d'images fournit de préférence des images en couleurs, et/ou des images infrarouges de la bouche du patient, voire du visage du patient. Les images en couleurs représentent de préférence la bouche du patient avec les couleurs réelles de cette bouche. Les images infrarouges permettent avantageusement de faire apparaître les dents avec un excellent contraste.

De préférence, l'appareil d'acquisition d'images comporte un applicatif spécialisé permettant de mettre en œuvre l'étape b), mais aussi, de préférence, des étapes suivantes, de préférence l'ensemble des étapes suivantes. De préférence encore, cet applicatif gère des rappels et informe le patient de la nécessité de créer une image actualisée.

- 5 De préférence, l'applicatif spécialisé est chargé dans l'appareil d'acquisition d'images à partir d'un support physique comme une clé USB ou un CD-ROM, ou est téléchargé sur internet ou par voie hertzienne. Dans un mode de réalisation, l'applicatif spécialisé est fourni au patient par le cabinet et/ou le laboratoire d'orthodontie. Il peut en particulier prendre la forme d'un applicatif du type de ceux couramment téléchargés sur les iPhones de
10 la marque Apple® ou les appareils de toutes marques mettant en œuvre les systèmes d'exploitation Android® ou tout autre système d'exploitation.

L'appareil d'acquisition d'images comporte de préférence un appareil photo ou une caméra vidéo ou infrarouge, que l'utilisateur, par exemple le patient ou un de ses proches, positionne au moyen d'un viseur ou d'un écran, avant de l'actionner.

15 Moyens détrompeurs et kit d'acquisition

Un procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention ne requiert pas un positionnement précis de l'appareil d'acquisition d'images par rapport aux dents.

- Dans un mode de réalisation, aucune contrainte de positionnement permettant d'assurer une disposition de l'appareil d'acquisition d'images à moins de 30 cm, moins de 20 cm, de 10
20 cm ou moins de 5 cm d'un emplacement déterminé n'est imposée.

De préférence, l'appareil d'acquisition d'images comporte cependant des moyens détrompeurs facilitant son positionnement approximatif par rapport au patient avant l'acquisition de l'image actualisée.

- L'utilisateur peut être guidé par des messages écrits et/ou vocaux pour l'acquisition. Par
25 exemple, l'appareil personnel peut annoncer « prenez une photo de face », émettre un signal pour informer l'utilisateur que la photo est acceptable ou qu'au contraire, il doit refaire une photo, annoncer « prenez une photo de droite », de préférence en affichant une flèche pour orienter l'utilisateur, etc. La fin du processus d'acquisition peut être également annoncée par l'appareil. L'appareil peut également aider au positionnement, par exemple
30 par des messages visuels (par exemple par affichage de flèches), et/ou sonores (comme une

succession de bips dont la fréquence augmente à mesure que le positionnement de l'appareil s'améliore), et/ou écrits et/ou vocaux (« plus haut », plus bas », etc.).

Les moyens détrompeurs peuvent en particulier comporter des références qui apparaissent sur le viseur ou l'écran. Les références peuvent par exemple comporter une ligne destinée à être alignée avec la direction générale de la jointure entre les dents supérieures et les dents inférieures lorsque les dents sont serrées par le patient, et/ou une ligne verticale destinée à être alignée avec la jointure entre les deux incisives supérieures. Les références peuvent également faire référence à d'autres parties du patient. Par exemple, elles peuvent être constituées par des marques correspondant à la position des yeux ou prendre la forme d'un contour dans lequel doit être positionné la bouche ou le visage du patient.

La ou les références sont de préférence "immobiles" sur l'écran, c'est-à-dire qu'elles ne se déplacent pas sur l'écran lorsque l'appareil d'acquisition est en mouvement.

Dans un mode de réalisation préféré, la ou les références correspondent chacune à une marque de repérage portée par un référentiel rapporté sur le patient, c'est-à-dire que le patient ne présentait pas avant la mise en œuvre du procédé, de préférence portée par un écarteur dentaire. Un référentiel peut être également une pièce mordue par le patient.

La marque de repérage peut présenter une surface supérieure à $0,5 \text{ mm}^2$, de préférence supérieure à 1 mm^2 , de préférence supérieure à 2 mm^2 , de préférence supérieure à 5 mm^2 , de préférence supérieure à 10 mm^2 , voire supérieure à 20 mm^2 , voire supérieure à 30 mm^2 , et/ou inférieure à 50 mm^2 .

De grandes dimensions conférées à une marque de repérage ou une multiplication des marques de repérage permettent avantageusement d'améliorer la précision du positionnement de l'appareil d'acquisition.

Les marques de repérage peuvent être identiques ou différentes.

Les marques de repérage peuvent être notamment différentes selon leur position, par exemple selon qu'elles sont en partie supérieure ou en partie inférieure du référentiel, et en particulier de l'écarteur, ou à droite ou à gauche du référentiel, et en particulier de l'écarteur.

La marque de repérage peut être identique ou différente de la référence correspondante.

Elle est de préférence de forme géométrique, par exemple un point, un ou plusieurs traits,

par exemple parallèles, une étoile, un cercle, un oval, un polygone régulier, notamment un carré, un rectangle ou un losange.

La marque de repérage peut être également une image, une lettre, un chiffre ou une séquence de lettres et/ou de chiffres.

- 5 La marque de repérage est de préférence d'une couleur différente de la surface de l'écarteur qui l'environne, de préférence de manière à offrir un contraste élevé.

Une marque de repérage peut être visible ou invisible à l'œil nu, pourvu qu'elle apparaisse sur l'écran de l'appareil d'acquisition.

- 10 Pour améliorer la précision, les marques de repérage sont de préférence écartées les unes des autres de manière que, lorsqu'elles correspondent à leurs références respectives sur l'écran, au moins des première et deuxième marques de repérage soient à moins de 3 cm, de préférence moins de 2 cm, de préférence moins de 1 cm, de préférence moins de 0,5 cm, de premier et deuxième bords, respectivement, de l'écran. Les premier et deuxième bords sont de préférence des bords opposés de l'écran.

- 15 La marque de repérage peut présenter une ou plusieurs dimensions et/ou une forme et/ou une couleur identique(s) ou différente(s) de celle(s) de la référence correspondante.

- La « correspondance » d'une référence et d'une marque de repérage est une disposition prédéfinie de l'une par rapport à l'autre. Elle indique un positionnement particulier de l'appareil d'acquisition par rapport à la marque de repérage. La correspondance dépend de
20 la nature de la référence et de la marque de repérage. La situation prédéfinie, qui correspond à des conditions d'acquisition cibles, peut notamment être une superposition, totale ou partielle, une juxtaposition, ou un alignement de la référence et de la marque de repérage.

- La superposition exacte de la référence et de la marque de repérage permet non seulement
25 déterminer la direction vers laquelle l'objectif de l'appareil d'acquisition doit pointer et/ou la distance entre l'appareil d'acquisition et l'écarteur, mais aussi, si la référence et/ou la marque de repérage sont asymétriques, l'orientation de l'appareil d'acquisition autour de cette direction.

- Les dimensions et/ou les surfaces d'une marque de repérage et de la référence
30 correspondante et/ou la distance entre plusieurs marques de repérage et entre des

références correspondantes peuvent être utilisées pour régler la distance entre l'appareil d'acquisition et les arcades.

La référence peut être par exemple

- 5 – une ligne fixe, sur laquelle l'utilisateur doit par exemple aligner des marques de repérage,
- une forme, de préférence asymétrique, correspondant à la forme d'une marque de repérage à superposer, par exemple un point que l'utilisateur doit par exemple superposer à la marque de repérage, ou un cercle dans lequel l'utilisateur doit par exemple placer la marque de repérage,
- 10 – une forme colorée correspondant à la couleur d'une marque de repérage à superposer,
- une forme complémentaire à la forme d'une marque de repérage, de préférence de manière que la mise en correspondance de la marque de repérage et de la référence conduise à une forme ayant un sens, comme une forme géométrique,
- 15 une lettre ou un texte, un dessin, ou un motif, par exemple.

Dans un mode de réalisation préféré, les références sont définies, au moins partiellement, à partir d'informations fournies par le modèle de référence initial. Par exemple, suivant les principes de la « réalité augmentée », la référence peut être une vue du modèle de référence initial, par exemple une vue de face ou une vue de droite ou une vue de gauche du modèle
20 de référence initial, rendue visible, en transparence, sur l'écran de l'appareil d'acquisition d'images lors de l'acquisition. Il est ainsi très facile pour le patient de superposer approximativement une telle vue avec les dents qu'il doit prendre en photo.

Dans un mode de réalisation préféré, l'acquisition est effectuée au moyen d'un kit d'acquisition selon l'invention comportant :

- 25 – un écarteur dentaire, de préférence en un matériau biocompatible, comportant une marque de repérage ;
- un appareil d'acquisition d'images, de préférence du type décrit ci-dessus, comportant un écran de visualisation d'une image acquérable, et un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour afficher au
30 moins une référence sur ledit écran, ladite référence étant de préférence immobile sur l'écran, et disposée dans une position dite "position de correspondance" dans laquelle, lorsque la marque de repérage correspond à la

référence sur l'écran, l'image acquérable représente l'écarteur sous un angle de vue et/ou à une distance prédéterminé(e)(s).

Un kit selon l'invention permet avantageusement une acquisition d'images sans avoir recours à une personne spécialisée, notamment un orthodontiste. L'acquisition d'images
5 peut être en particulier effectuée par le patient lui-même ou par un de ses proches, avec un simple téléphone portable, n'importe où, et en particulier en dehors d'un cabinet médical, dentaire ou d'orthodontie.

En outre, l'appareil d'acquisition d'images n'a pas besoin d'être stabilisé mécaniquement, par exemple au moyen d'un trépied ou par intégration dans un appareil posé sur le sol.

10 Bien entendu, un kit d'acquisition ne permet pas un positionnement très précis de l'appareil d'acquisition par rapport aux dents.

En particulier, la précision du positionnement de l'écarteur par rapport aux dents est limitée. La personne qui crée les images positionne également l'appareil d'acquisition d'images de manière approximative, en dépit de la mise en correspondance de la marque de repérage par rapport à la référence sur l'écran. Comme on le verra plus en détails dans la
15 suite de la description, le traitement des images ne nécessite cependant pas une grande précision du positionnement de l'appareil d'acquisition au moment où les images sont acquises.

A la différence de la technique antérieure, par exemple décrite dans WO2006/065955, il
20 n'est notamment pas nécessaire, au moment de l'acquisition d'images, d'utiliser des marques de repérage dont le positionnement est parfaitement défini par rapport aux dents, en particulier parce qu'elles ont été fixées sur les dents elles-mêmes ou parce qu'elles résultent d'une modification locale, à un endroit précis, d'une dent, par exemple par laser. La possibilité d'acquérir les images avec une précision limitée constitue un avantage
25 considérable, puisqu'elle rend possible cette acquisition en tout lieu et par toute personne. Le patient n'a en particulier plus besoin de se déplacer chez l'orthodontiste.

De préférence, aucune mesure sur les dents n'est effectuée pour disposer l'appareil d'acquisition dans la position de correspondance.

De préférence, aucune marque de repérage correspondant à une référence apparaissant sur
30 l'écran n'est fixée directement sur les dents ou sur la gencive ou sur une arcade dentaire du patient.

L'appareil d'acquisition peut être en particulier un téléphone mobile et le programme peut être un applicatif spécialisé pour téléphone mobile.

L'écarteur peut présenter les caractéristiques des écarteurs utilisés jusqu'à présent. Il comporte classiquement un support muni d'un rebord s'étendant autour d'une ouverture et agencé de manière que les lèvres du patient puissent y reposer en laissant les dents du patient apparaître à travers ladite ouverture (figure 5a et figure 5c).

Le support, par exemple en plastique, présente de préférence une forme sensiblement plane et un poids inférieur à 500 g, de préférence inférieur à 300 g. L'ouverture est de préférence ménagée sensiblement au centre du support. La surface de l'ouverture est de préférence supérieure à 15 cm², supérieure à 30 cm², supérieure à 40 cm², supérieure à 50 cm², et/ou inférieure à 100 cm², inférieure à 80 cm², inférieure à 60 cm².

De préférence, comme représenté sur la figure 5a, l'écarteur comporte plusieurs marques de repérage, de préférence non alignées, de préférence coplanaires.

De préférence, l'écarteur comporte au moins trois marques de repérage et le programme d'ordinateur permet d'afficher sur l'écran de l'appareil d'acquisition une ou plusieurs références correspondantes.

Dans un mode de réalisation, le positionnement de l'appareil d'acquisition d'images résulte de la seule mise en concordance de références apparaissant sur l'écran dudit appareil d'acquisition avec des marques de repérage correspondantes, de préférence avec des marques de repérage d'un écarteur dentaire.

Dans un mode de réalisation, la ou les références qui apparaissent sur l'écran sont déterminées en fonction du patient et/ou du traitement thérapeutique. Autrement dit, le programme d'ordinateur est paramétré en fonction du patient afin que les images acquises correspondent spécifiquement aux besoins du patient. Avantagusement, au moment de l'acquisition des images, l'appareil d'acquisition est donc positionné dans une position sensiblement optimale au regard des particularités du patient et/ou du traitement thérapeutique appliqué.

Comme on le verra plus en détails dans la suite de la description, les marques de repérage de l'écarteur ont de préférence plusieurs fonctions. Elles permettent d'abord de guider le positionnement de l'appareil d'acquisition d'images au moment de l'acquisition des images, au moyen de références correspondantes apparaissant sur l'écran de l'appareil d'acquisition.

Elles permettent également, à l'étape c), un redécoupage des images actualisées. Enfin, les marques de repérage de l'écarteur, qui apparaissent sur les images, permettent, à l'étape d), de déterminer grossièrement des conditions d'acquisition virtuelles approximant les conditions d'acquisition réelles, ce qui permet d'accélérer le traitement informatique.

- 5 Les étapes c) et suivantes sont de préférence réalisées soit sur un appareil personnel du patient, de préférence avec l'appareil utilisé à l'étape b), soit avec un applicatif chez un professionnel des soins dentaires, soit avec un serveur tiers dédié.

A l'étape c), chaque image actualisée est analysée de manière à réaliser, pour chaque image actualisée, une carte actualisée relative à au moins une information discriminante.

10

Redécoupage

- L'analyse de l'image peut comporter un redécoupage de l'image actualisée afin d'isoler la partie pertinente, en particulier pour supprimer, au moins partiellement, de l'image actualisée les éléments qui n'ont pas fait l'objet du modèle de référence initial, comme le nez ou les yeux du patient ou l'écarteur. Ce redécoupage, ou « croppage », est facilité par la représentation de marques de repérage sur l'image actualisée.
- 15

- En particulier, de préférence, comme représenté sur les figures 5a et 5c, l'écarteur 10 porte au moins trois marques de repérage 12 non alignées. Si l'écarteur est en plusieurs parties, par exemple classiquement en deux parties, chaque partie porte de préférence au moins trois marques de repérage non alignées.
- 20

La forme d'une marque de repérage, par exemple une forme asymétrique, peut être également utilisée pour repérer la position de l'écarteur sur l'image actualisée.

- De préférence, les marques de repérage présentent des formes et/ou des couleurs facilitant leur identification sur une image actualisée. Par exemple, elles peuvent être de couleur noire alors que le reste de l'écarteur est de couleur blanche.
- 25

Dans un mode de réalisation, les marques de repérage présentent des formes et/ou des couleurs permettant de les identifier individuellement. Par exemple, elles peuvent être chacune de couleur différente.

- L'identification des marques de repérage sur l'image actualisée permet d'identifier la zone de l'image actualisée contenant les éléments ayant fait l'objet du modèle de référence
- 30

initial, c'est-à-dire les dents et les gencives. L'image actualisée peut alors être rognée en conséquence. La comparaison des figures 5a et 5b, ou 5c et 5d, illustre l'effet du redécoupage sur une image actualisée.

Carte actualisée

- 5 Une carte actualisée représente une information discriminante dans le référentiel de l'image actualisée. Par exemple, la figure 6b est une carte actualisée relative au contour des dents obtenue à partir de l'image actualisée de la figure 6a.

L'information discriminante est de préférence choisie dans le groupe constitué par une information de contour, une information de couleur, une information de densité, une
10 information de distance, une information de brillance, une information de saturation, une information sur les reflets et des combinaisons de ces informations.

L'homme de l'art sait comment traiter une image actualisée pour faire apparaître l'information discriminante. Ce traitement comporte par exemple l'application de masques ou de filtres bien connus, fournis avec des logiciels de traitement d'images. De tels
15 traitements permettent par exemple de détecter les régions de fort contraste pour déterminer des contours.

Ces traitements comprennent notamment une ou plusieurs des méthodes connues et préférées suivantes, à savoir :

- 20 - par application d'un filtre Canny, notamment pour rechercher des contours en utilisant l'algorithme de Canny ;
- par application d'un filtre Sobel, notamment pour calculer des dérivées au moyen de l'opérateur étendu de Sobel;
- par application d'un filtre de Laplace, pour calculer le laplacien d'une image;
- par détection tâches sur une image (« Blobdetecor ») ;
- 25 - par application d'un seuil (« Threshold ») pour appliquer un seuil fixe à chaque élément d'un vecteur ;
- par redimensionnement, en utilisant des relations entre les zones de pixels (« Resize(Area) ») ou des interpolations bi-cubiques sur l'environnement des pixels ;
- 30 - par érosion de l'image au moyen de d'un élément spécifique structurant ;
- par dilatation, de l'image au moyen de d'un élément spécifique structurant ;

- par retouche, en particulier en utilisant des régions au voisinage de la zone restaurée ;
- par application d'un filtre bilatéral ;
- par application d'un flou gaussien ;
- 5 - par application d'un filtre d'Otsu, pour rechercher le seuil qui minimise la variance intra-classes ;
- par application d'un filtre A*, pour rechercher un chemin entre des points ;
- par application d'un seuil adaptatif (« Adaptive Threshold ») pour appliquer un seuil adaptatif à un vecteur ;
- 10 - par application d'un filtre d'égalisation d'un histogramme d'une image en nuances de gris en particulier;
- par détection de flou ("BlurDetection"), pour calculer l'entropie d'une image en utilisant son laplacien ;
- par détection de contours (« FindContour ») d'une image binaire ;
- 15 - par remplissage de couleurs ("FloodFill"), notamment pour remplir un élément connecté avec une couleur déterminée.

Les méthodes non limitatives suivantes, bien qu'elles ne soient pas préférées, peuvent être également mises en œuvre :

- par application d'un filtre "MeanShift", de manière à trouver un objet sur une
- 20 projection de l'image ;
- par application d'un filtre « CLAHE », pour « Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization » ;
- par application d'un filtre « Kmeans », pour déterminer le centre de clusters et de groupes d'échantillons autour de clusters ;
- 25 - par application d'un filtre DFT, de manière à effectuer une transformation de Fourier discrète, directe ou inverse d'un vecteur ;
- par calcul de moments ;
- par application d'un filtre « HuMoments » pour calculer des invariants de Hu invariants ;
- 30 - par calcul de l'intégrale d'une image ;
- par application d'un filtre Scharr, permettant de calculer une dérivée de l'image en mettant en œuvre un opérateur de Scharr ;
- par recherche de l'enveloppe convexe de points ("ConvexHull") ;

- par recherche de points de convexité d'un contour ("ConvexityDefects") ;
- par comparaison de formes (« MatchShapes ») ;
- par vérification si des points sont dans un contour (« PointPolygonTest ») ; Par
- détection des contours Harris (« CornerHarris ») ;
- 5 - par la recherche des valeurs propres minimales de matrices de gradients, pour
- détecter les coins ("CornerMinEigenVal") ;
- par application d'une transformée de Hough pour trouver des cercles dans une
- image en nuances de gris (« HoughCircles ») ;
- par "Active contour modeling" (traçage du contour d'un objet à partir d'une image
- 10 2D potentiellement « bruitée » ;
- par calcul d'un champ de forces, appelées GVF ("gradient vector flow"), dans une
- partie de l'image ;
- par classement en cascade (« CascadeClassification ») ;
- par « Deeplerning ».
- 15 De préférence, l'information discriminante est optimisée au moyen d'un procédé
- d'optimisation selon l'invention comportant des étapes C1 à C3.

A l'étape optionnelle d), on détermine, de manière grossière, les conditions d'acquisition réelles lors de l'étape b). Autrement dit, on détermine au moins la position relative de l'appareil d'acquisition d'images au moment où il a pris l'image actualisée (position de

20 l'appareil d'acquisition dans l'espace et orientation de cet appareil). L'étape d) permet avantageusement de limiter le nombre de tests sur des conditions d'acquisition virtuelles lors de l'étape e), et permet donc d'accélérer considérablement l'étape e).

On utilise de préférence une ou plusieurs règles heuristiques. Par exemple, de préférence, on exclut des conditions d'acquisition virtuelles susceptibles d'être testées à l'étape c), les

25 conditions qui correspondent à une position de l'appareil d'acquisition d'images derrière les dents ou à une distance des dents supérieure à 1 m.

Dans un mode de réalisation préféré, comme illustré sur la figure 7, on utilise des marques de repérage représentées sur l'image actualisée, et en particulier des marques de repérage

12 de l'écarteur, pour déterminer une région de l'espace sensiblement conique délimitant

30 des conditions d'acquisition virtuelles susceptibles d'être testées à l'étape e), ou "cône de test".

Précisément, on dispose de préférence au moins trois marques de repérage 12 non alignées sur l'écarteur 10, par exemple, et on mesure précisément leurs positions relatives sur l'écarteur.

Les marques de repérage sont ensuite repérées sur l'image actualisée, comme décrit
5 précédemment. De simples calculs trigonométriques permettent de déterminer approximativement la direction selon laquelle l'image actualisée a été prise. Un cône orienté selon cette direction, dont le sommet est au niveau de l'écarteur et dont le demi-angle au sommet est de préférence inférieur à 10° , de préférence inférieur à 5° , par exemple de 3° peut alors être défini comme "cône de test". Le demi-angle au sommet
10 correspond à un degré d'incertitude. Plus le demi-angle au sommet est petit, plus grande est la probabilité que les conditions d'acquisition virtuelles correspondant aux conditions d'acquisition réelles soient hors du cône de test.

Par exemple, lorsque l'image actualisée est prise perpendiculairement au plan des trois marques de repérage sur l'écarteur, on peut en déduire que l'appareil d'acquisition était
15 sensiblement dans un cône de test dont l'axe est sensiblement perpendiculaire à ce plan lors de la prise de l'image actualisée. Si les positions relatives des trois marques de repérage sur l'image actualisée sont différentes de celles que les marques de repérage occupent sur l'écarteur, l'axe du cône de test dans lequel est limitée la recherche du positionnement de l'appareil d'acquisition lors de l'acquisition de l'image actualisée est
20 incliné par rapport au plan des marques de repérage, comme représenté sur la figure 7.

Dans un mode de réalisation particulier, comme illustré sur les figures 5a et 5c, l'écarteur comporte des parties gauche et droite indépendantes, qui comportent chacune au moins trois marques de repérage, de préférence au moins quatre marques de repérage. Un cône de test gauche peut être ainsi déterminé au moyen des marques de repérage de la partie
25 gauche et un cône de test droit peut être déterminé au moyen des marques de repérage de la partie droite de l'écarteur. Les conditions d'acquisition virtuelles susceptibles d'être testées peuvent être ensuite limitées à des positions de l'appareil d'acquisition dans l'espace appartenant à ces deux cônes de test. On peut aussi considérer que la meilleure évaluation de la position de l'appareil d'acquisition correspond à la position moyenne entre la
30 meilleure position dans le cône de test gauche et la meilleure position dans le cône de recherche droit.

La position des marques de repérage sur l'image actualisée permet également d'évaluer l'assiette de l'appareil d'acquisition lors de la capture de l'image actualisée. Par exemple, si on sait que deux marques de repérage sont sensiblement alignées selon une direction horizontale lors de l'acquisition de l'image actualisée, la direction de la droite contenant ces deux points sur l'image actualisée fournit une indication sur l'orientation de l'appareil d'acquisition dans les conditions d'acquisition réelles.

Enfin, la taille et la surface des marques de repérage sur l'image actualisée ou leur espacement peuvent permettre d'évaluer la distance entre l'appareil d'acquisition d'images et les dents lors de l'acquisition de l'image actualisée, et donc de réduire le cône de test à un tronc de cône.

A l'étape optionnelle d), on peut également utiliser des données fournies par l'appareil d'acquisition et concernant son orientation, par exemple des données gyroscopiques.

De préférence, à l'étape d), on détermine, de manière grossière, la calibration de l'appareil d'acquisition réelle lors de l'étape b).

La façon dont chaque paramètre de calibration agit sur l'image acquise est bien connue. En particulier, le fonctionnement d'un appareil d'acquisition peut être classiquement modélisé de manière à pouvoir tester une calibration particulière sur l'image acquise. Les inventeurs ont inversé un tel modèle, sans difficulté technique particulière, afin que par l'analyse de la représentation de l'écarteur, il soit possible d'évaluer grossièrement la calibration de l'appareil d'acquisition lors de l'étape b).

Par exemple, le rapport entre la surface des marques de repérage sur l'image actualisée et la surface de l'image actualisée permet d'évaluer la distance focale de l'appareil d'acquisition lors de l'étape b). La représentation d'une marque de repérage dont on connaît les caractéristiques optiques permettent d'évaluer le temps d'exposition et la sensibilité.

Dans un mode de réalisation préféré, une marque de repérage est un relief qui ne s'étend pas exclusivement dans le plan général de l'écarteur, correspondant à un plan parallèle au frontal (ou coronal). De préférence, une marque de repérage est un relief qui s'étend dans un plan sensiblement perpendiculaire au plan général de l'écarteur. Le relief peut en particulier présenter la forme d'une languette qui, lorsque l'écarteur est dans sa position de service, s'étend vers le fond de la bouche.

L'analyse de la représentation de ce relief permet avantageusement d'évaluer la profondeur de champ. Alternativement, deux marques de repérage qui ne sont pas dans un même plan frontal peuvent être utilisées à cet effet.

L'étape d) ne permet qu'une évaluation grossière des conditions d'acquisition réelles.

- 5 L'étape d) permet cependant de déterminer un ensemble restreint de conditions d'acquisition virtuelles susceptibles de correspondre aux conditions d'acquisition réelles, et, dans cet ensemble, des conditions d'acquisition virtuelles constituant le meilleur point de départ pour l'étape e1) décrite ci-après.

- 10 L'étape d) permet également de détecter des images actualisées inadaptées pour la poursuite du procédé, par exemple une image actualisée qui ne ferait pas apparaître les marques de repérage. De préférence, le procédé est alors repris à l'étape c) avec une nouvelle image actualisée.

Bien entendu, les différentes méthodes pouvant être mises en œuvre à l'étape d) peuvent être combinées.

- 15 L'objectif de l'étape e) est de modifier le modèle de référence initial jusqu'à obtenir un modèle de référence final qui corresponde à l'image actualisée. Idéalement, le modèle de référence final est donc un modèle de référence tridimensionnel numérique à partir duquel l'image actualisée aurait pu être prise si ce modèle avait été réel.

- 20 On teste donc une succession de modèles de référence « à tester », le choix d'un modèle de référence à tester étant de préférence dépendant du niveau de correspondance des modèles de référence « à tester » précédemment testés avec l'image actualisée. Ce choix est de préférence effectué en suivant un procédé d'optimisation connu, en particulier choisi parmi les procédés d'optimisation métaheuristiques, de préférence évolutionnistes, en particulier dans les procédés de recuit simulé.

- 25 **A l'étape e1),** on détermine que le modèle de référence à tester est le modèle de référence initial lors de la première exécution de l'étape e2).

- A l'étape e2),** on commence par déterminer des conditions d'acquisition virtuelles à tester, c'est-à-dire une position et une orientation virtuelles susceptibles de correspondre à la position et l'orientation réelles de l'appareil d'acquisition lors de la capture de l'image
30 actualisée, mais aussi, de préférence, une calibration virtuelle susceptible de correspondre à la calibration réelle de l'appareil d'acquisition lors de la capture de l'image actualisée.

Les premières conditions d'acquisition virtuelles à tester peuvent être aléatoires. De préférence, elles sont choisies dans l'ensemble limité déterminé à l'étape d), et de préférence encore, correspondent à des conditions d'acquisition virtuelles correspondant, d'après l'étape d), aux conditions d'acquisition virtuelles les plus prometteuses, c'est-à-dire constituant le meilleur tremplin pour approcher, le plus rapidement possible, les conditions d'acquisition réelles (étape e21)).

On configure ensuite virtuellement l'appareil d'acquisition d'images dans les conditions d'acquisition virtuelles à tester afin d'acquérir une image de référence du modèle de référence dans ces conditions d'acquisition virtuelles à tester. L'image de référence correspond donc à l'image qu'aurait prise l'appareil d'acquisition d'images s'il avait été placé, par rapport au modèle de référence à tester, et optionnellement calibré dans les conditions d'acquisition virtuelles à tester (étape e22)).

Si l'image actualisée a été prise au même moment que le modèle de référence a été réalisé, et si les conditions d'acquisition virtuelles sont exactement les conditions d'acquisition réelles, l'image de référence est donc exactement superposable à l'image actualisée. Les différences entre l'image actualisée et l'image de référence résultent d'erreurs dans l'évaluation des conditions d'acquisition virtuelles (si elles ne correspondent pas exactement aux conditions d'acquisition réelles) et de déplacements des dents entre l'étape b) et le modèle de référence à tester.

Pour comparer les images actualisée et de référence, on compare l'information discriminante sur ces deux images. Plus précisément, on réalise, à partir de l'image de référence, une carte de référence représentant l'information discriminante (étape e23)).

Les cartes actualisée et de référence, portant toutes les deux sur la même information discriminante, sont ensuite comparées et on évalue la différence entre ces deux cartes au moyen d'un score. Par exemple, si l'information discriminante est le contour des dents, on peut comparer la distance moyenne entre les points du contour des dents qui apparaît sur l'image de référence et les points du contour correspondant qui apparaît sur l'image actualisée, le score étant d'autant plus élevé que cette distance est faible.

De préférence, les conditions d'acquisition virtuelles comprennent les paramètres de calibration de l'appareil d'acquisition. Le score est d'autant plus élevé que les valeurs des paramètres de calibration testées sont proches des valeurs des paramètres de calibration de l'appareil d'acquisition utilisé à l'étape b). Par exemple, si l'ouverture de diaphragme

testée est éloignée de celle de l'appareil d'acquisition utilisé à l'étape b), l'image de référence présente des régions floues et des régions nettes qui ne correspondent pas aux régions floues et aux régions nettes de l'image actualisée. Si l'information discriminante est le contour des dents, les cartes actualisée et de référence ne représenteront donc pas les
5 mêmes contours et le score sera faible.

Le score peut être par exemple un coefficient de corrélation.

Le score est ensuite évalué au moyen d'une première fonction d'évaluation. La première fonction d'évaluation permet de décider si le cyclage sur l'étape e2) doit être poursuivi ou stoppé. La première fonction d'évaluation peut par exemple être égale à 0 si le cyclage doit
10 être stoppé ou être égale à 1 si le cyclage doit se poursuivre.

La valeur de la première fonction d'évaluation peut dépendre du score atteint. Par exemple, il peut être décidé de poursuivre le cyclage sur l'étape e2) si le score ne dépasse pas un premier seuil. Par exemple, si une correspondance exacte entre les images actualisée et de référence conduit à un score de 100%, le premier seuil peut être, par exemple, de 95%.
15 Bien entendu, plus le premier seuil sera élevé, meilleure sera la précision de l'évaluation des conditions d'acquisition virtuelles si le score parvient à dépasser ce premier seuil.

La valeur de la première fonction d'évaluation peut également dépendre de scores obtenus avec des conditions d'acquisition virtuelles testées précédemment.

La valeur de la première fonction d'évaluation peut également dépendre de paramètres aléatoires et/ou du nombre de cycles de l'étape e2) déjà effectués.
20

En particulier, il est possible qu'en dépit de la répétition des cycles, on ne parvienne pas à trouver des conditions d'acquisition virtuelles qui soient suffisamment proches des conditions d'acquisition réelles pour que le score atteigne ledit premier seuil. La première fonction d'évaluation peut alors conduire à la décision de quitter le cyclage bien que le
25 meilleur score obtenu n'ait pas atteint ledit premier seuil. Cette décision peut résulter, par exemple, d'un nombre de cycles supérieur à un nombre maximal prédéterminé.

Un paramètre aléatoire dans la première fonction d'évaluation peut également autoriser la poursuite de tests de nouvelles conditions d'acquisition virtuelles, bien que le score apparaisse satisfaisant.

Les fonctions d'évaluation classiquement utilisées dans les procédés d'optimisation métaheuristiques, de préférence évolutionnistes, en particulier dans les procédés de recuit simulé, peuvent être utilisées pour la deuxième fonction d'évaluation.

Si la valeur de la première fonction d'évaluation indique qu'il est décidé de poursuivre le cyclage sur l'étape e2), on modifie les conditions d'acquisition virtuelles testées (étape e25)) et on recommence un cycle (étape e2)) consistant à réaliser une image de référence et une carte de référence, puis à comparer cette carte de référence avec la carte actualisée pour déterminer un score.

La modification des conditions d'acquisition virtuelles correspond à un déplacement virtuel dans l'espace et/ou à une modification de l'orientation et/ou, de préférence, à une modification de la calibration de l'appareil d'acquisition. Cette modification peut être aléatoire, à condition cependant que les nouvelles conditions d'acquisition virtuelles à tester appartiennent toujours à l'ensemble déterminé à l'étape d). La modification est de préférence guidée par des règles heuristiques, par exemple en favorisant les modifications qui, d'après une analyse des précédents scores obtenus, apparaissent les plus favorables pour augmenter le score.

Les figures 12a et 12b illustrent par exemple l'effet d'une modification des conditions d'acquisition virtuelles, en l'occurrence d'une modification de la distance focale, sur l'image de référence.

Le cyclage sur e2) est poursuivi jusqu'à ce que la valeur de la première fonction d'évaluation indique qu'il est décidé de sortir de ce cyclage et de poursuivre à l'étape e3), par exemple si le score atteint ou dépasse ledit premier seuil.

L'optimisation des conditions d'acquisition virtuelles à l'étape e2) est de préférence effectuée en utilisant une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence un algorithme de recuit simulé. Un tel algorithme est bien connu pour l'optimisation non linéaire.

Si on a quitté le cyclage sur l'étape e2), sans qu'un score satisfaisant ait pu être obtenu, par exemple sans que le score ait pu atteindre ledit premier seuil, le procédé peut être arrêté (situation d'échec) ou repris à l'étape c) avec une nouvelle information discriminante et/ou avec une nouvelle image actualisée. Le procédé peut être également poursuivi avec les conditions d'acquisition virtuelles correspondant au meilleur score atteint. Un avertissement peut être émis afin d'informer l'utilisateur de l'erreur sur le résultat.

Si on a quitté le cyclage sur l'étape e2) alors qu'un score satisfaisant a pu être obtenu, par exemple parce que le score a atteint, voire dépassé ledit premier seuil, les conditions d'acquisition virtuelles correspondent sensiblement aux conditions d'acquisition réelles.

De préférence, les conditions d'acquisition virtuelles comprennent les paramètres de calibration de l'appareil d'acquisition. Le procédé conduit permet ainsi d'évaluer les valeurs de ces paramètres sans qu'il soit nécessaire de connaître la nature de l'appareil d'acquisition ou son réglage. L'étape b) peut donc être réalisée sans précaution particulière, par exemple par le patient lui-même au moyen de son téléphone portable.

En outre, la recherche de la calibration réelle est effectuée en comparant une image actualisée avec des vues d'un modèle de référence initial dans des conditions d'acquisition virtuelles que l'on teste. Avantagusement, elle ne nécessite pas que l'image actualisée fasse apparaître une jauge étalon de calibration, c'est-à-dire une jauge dont on connaît précisément les caractéristiques permettant déterminer la calibration de l'appareil d'acquisition.

WO2006/065955, incorporé par référence, décrit l'utilisation d'images pour fabriquer des modèles tridimensionnels dans le domaine des traitements orthodontiques. Cependant, ce document ne décrit pas de procédé permettant d'utiliser de simples photographies, présentant classiquement des images partielles des dents, des portions d'image floues et des reflets variables, prises généralement de manière non simultanée, sans avoir besoin de sélectionner des points remarquables sur les images, et avec un appareil d'acquisition dont la calibration n'est pas connue.

Dans un procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention, les images actualisées ne servent pas à créer un modèle tridimensionnel actualisé totalement nouveau, mais seulement à modifier le modèle de référence initial, très précis. Un modèle tridimensionnel actualisé totalement nouveau créé à partir de simples photographies prises sans précautions particulières serait en particulier trop imprécis pour qu'une comparaison avec le modèle de référence initial puisse conduire à des conclusions sur le déplacement des dents.

Des différences peuvent subsister entre les conditions d'acquisition virtuelles déterminées et les conditions d'acquisition réelles, en particulier si des dents se sont déplacées entre les étapes a) et b). La corrélation entre les images actualisée et de référence peut alors être

encore améliorée en reprenant l'étape e2), le modèle de référence à tester étant alors modifié par déplacement d'un ou plusieurs modèles de dents (étape e3)).

La recherche du modèle de référence approximant au mieux le positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée peut être effectuée comme la recherche des conditions d'acquisition virtuelles approximant au mieux les conditions d'acquisition réelles (étape e2)).

En particulier, le score est évalué au moyen d'une deuxième fonction d'évaluation. La deuxième fonction d'évaluation permet de décider si le cyclage sur les étapes e2) et e3) doit être poursuivi ou stoppé. La deuxième fonction d'évaluation peut par exemple être égale à 0 si le cyclage doit être stoppé ou être égale à 1 si le cyclage doit se poursuivre.

La valeur de la deuxième fonction d'évaluation dépend de préférence du meilleur score obtenu avec le modèle de référence à tester, c'est-à-dire des différences entre les cartes actualisée et de référence, dans les conditions d'acquisition virtuelles approximant au mieux lesdites conditions d'acquisition réelles.

La valeur de la deuxième fonction d'évaluation peut également dépendre du meilleur score obtenu avec un ou plusieurs modèles de référence testés précédemment.

Par exemple, il peut être décidé de poursuivre le cyclage si le score ne dépasse pas un deuxième seuil minimal. La valeur de la deuxième fonction d'évaluation peut également dépendre de paramètres aléatoires et/ou du nombre de cycles des étapes e2) et e3) déjà effectués.

Les fonctions d'évaluation classiquement utilisées dans les procédés d'optimisation métaheuristiques, de préférence évolutionnistes, en particulier dans les procédés de recuit simulé, peuvent être utilisées pour la deuxième fonction d'évaluation.

Si la valeur de la deuxième fonction d'évaluation indique qu'il est décidé de poursuivre le cyclage sur les étapes e2) et e3), on modifie le modèle de référence à tester et on recommence un cycle (étapes e2) et e3)) avec le nouveau modèle de référence à tester.

La modification du modèle de référence à tester correspond à un déplacement d'un ou plusieurs modèles de dents. Cette modification peut être aléatoire. La modification est de préférence guidée par des règles heuristiques, par exemple en favorisant les modifications qui, d'après une analyse des précédents scores obtenus, apparaissent les plus favorables pour augmenter le score.

De préférence, on recherche le déplacement d'un modèle de dent qui a le plus fort impact sur le score, on modifie le modèle de référence à tester en déplaçant ce modèle de dent, puis on poursuit le cyclage sur les étapes e2) et e3) de manière à optimiser le score. On peut ensuite rechercher, parmi les autres modèles de dent, celui qui a le plus fort impact sur
5 l'amélioration du score, et à nouveau rechercher le déplacement optimal de cet autre modèle de dent sur le score. On peut poursuivre ainsi avec chaque modèle de dent.

Ensuite, il est possible de reprendre un cycle sur l'ensemble des modèles de dent et de poursuivre ainsi jusqu'à l'obtention d'un score supérieur à au deuxième seuil. Bien entendu, d'autres stratégies peuvent être utilisées pour déplacer un ou plusieurs modèles de
10 dent dans le modèle de référence à tester et rechercher le score maximal.

Le cyclage sur les étapes e2) et e3) est poursuivi jusqu'à ce que la valeur de la deuxième fonction d'évaluation indique qu'il est décidé de sortir de ce cyclage et de poursuivre à l'étape f), par exemple si le score atteint ou dépasse ledit deuxième seuil.

La recherche d'un modèle de référence avec un cyclage sur les étapes e2) et e3) pour
15 rechercher les positions des modèles de dent qui optimisent le score est de préférence effectuée en utilisant une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence un algorithme de recuit simulé. Un tel algorithme est bien connu pour l'optimisation non linéaire.

Si on a quitté le cyclage sur les étapes e2) et e3) sans qu'un score satisfaisant ait pu être
20 obtenu, par exemple sans que le score ait pu atteindre ledit deuxième seuil, le procédé peut être arrêté (situation d'échec) ou repris à l'étape c) avec une nouvelle information discriminante et/ou avec une nouvelle image actualisée.

S'il est décidé de relancer le procédé à l'étape c) à partir d'une autre information discriminante et/ou d'une autre image actualisée parce que le premier seuil ou le deuxième
25 seuil n'a pas été atteint, le choix de la nouvelle information discriminante et/ou de la nouvelle image actualisée peut dépendre des scores obtenus précédemment, afin de favoriser l'information discriminante et/ou l'image actualisée qui, au regard de ces scores, apparaissent les plus prometteuses.

Une nouvelle information discriminante, obtenue par exemple par combinaison d'autres
30 informations discriminantes déjà testées, peut être utilisée. Le cas échéant, il peut être également demandé d'acquérir une ou plusieurs nouvelles images actualisées. De préférence, on fournit des indications permettant de guider le positionnement de l'appareil

d'acquisition pour la capture de cette nouvelle image actualisée. Par exemple, on peut indiquer au patient qu'il devrait prendre une photo de la partie droite de son arcade inférieure.

Si on a quitté le cyclage sur les étapes e2) et e3) sans qu'un score satisfaisant ait pu être obtenu, le procédé peut être également poursuivi avec le modèle de référence et les conditions d'acquisition virtuelles correspondant au meilleur score atteint. Un avertissement peut être émis afin d'informer l'utilisateur de l'erreur sur le résultat.

Si on a quitté le cyclage sur les étapes e2) et e3) alors qu'un score satisfaisant a pu être obtenu, par exemple parce que le score a atteint, voire dépassé ledit deuxième seuil, les conditions d'acquisition virtuelles correspondent sensiblement aux conditions d'acquisition réelles et les modèles de dents dans le modèle de référence obtenu (dit « modèle de référence final ») sont sensiblement dans la position des dents du patient au moment de l'étape b).

Le cyclage sur les étapes e2) et e3) permet avantageusement d'améliorer l'évaluation des paramètres de calibration de l'appareil d'acquisition à l'étape b).

A l'étape f), on compare le modèle de référence final, résultant de l'optimisation par déplacement des modèles de dents, avec le modèle de référence initial. Le modèle de référence final correspond sensiblement à l'image actualisée. La comparaison de l'étape f) permet donc d'observer les différences entre le positionnement des dents à l'étape a) (modèle de référence initial) et lors de l'acquisition de l'image actualisée (étape b)). Le procédé permet ainsi de déterminer précisément, pour chacune des dents, les mouvements entre ces deux étapes.

En répétant les étapes b) et suivantes, il est également possible d'évaluer la vitesse d'évolution de la position des dents, et ainsi de mesurer, par exemple, l'efficacité d'un traitement orthodontique. Un procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention peut par exemple être utilisé pour suivre à distance l'évolution d'un traitement orthodontique, et ainsi optimiser les rendez-vous des patients chez leurs orthodontistes.

Dans un mode de réalisation préféré, le procédé de contrôle selon l'invention est mis en œuvre plusieurs fois pour un même patient, de préférence successivement avec plusieurs informations discriminantes, de préférence plus de 2, plus de 3, plus de 5 informations discriminantes pour chaque image actualisée et/ou avec plusieurs images actualisées, de préférence plus de 2, plus de 3, plus de 5 images actualisées. L'évaluation du déplacement

d'une dent peut être ainsi affinée en tenant compte des différents scores obtenus. La comparaison de ces scores permet également, le cas échéant, d'écarter les informations discriminantes et/ou les images actualisées insatisfaisantes.

En fonction du déplacement mesuré, une information pratique peut être générée. Si le déplacement est faible, cette information pratique peut être qu'aucune action n'est à engager. Au contraire, si une ou plusieurs dents se sont sensiblement déplacées, l'information peut être de planifier une visite chez le dentiste ou l'orthodontiste. De préférence, l'information pratique dépend du degré de déplacement des dents. Dans un mode de réalisation, un rendez-vous peut être automatiquement pris chez le dentiste ou l'orthodontiste, en fonction de l'amplitude et/ou de la nature des déplacements détectés.

Dans un mode de réalisation, l'information pratique est utilisée pour modifier l'intervalle de temps après lequel le patient devra être averti qu'une nouvelle image actualisée doit être créée.

Dans un mode de réalisation, l'appareil individuel permet d'afficher des images, voire une séquence d'images montrant le positionnement des dents à différentes dates. Ces images peuvent être présentées sous la forme d'une animation, par exemple sous la forme d'un diaporama ou d'un film.

De préférence, l'appareil d'acquisition d'images est un téléphone qui permet de transmettre les résultats obtenus par la mise en œuvre du procédé, de préférence de manière sécurisée.

La communication peut être par exemple effectuée, au moins en partie, par la voie hertzienne, de préférence suivant au moins un protocole choisi parmi les protocoles edge, 3G, 4G, udmsa, hpdmsa, bluetooth, et wifi, ou par tout autre protocole, adapté aux équipements mobiles ou nomades, par synchronisation filaire avec l'ordinateur personnel, ou par transmission optique.

Comme cela apparaît clairement à présent, un procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention permet un contrôle précis et efficace du positionnement des dents du patient, sensiblement sans contrainte pour le patient. En particulier, de simples photographies prises sans précaution particulière, par exemple avec un téléphone mobile, suffit. Le patient peut donc facilement mettre en œuvre ce procédé.

Description détaillée d'un procédé de contrôle de la forme des dents

L'invention concerne également un procédé de contrôle de la forme de dents d'un patient. A l'étape a), la définition des modèles de dents n'est cependant pas indispensable pour ce contrôle.

De préférence, à l'étape e), on recherche, pour chaque image actualisée, un modèle de
5 référence final correspondant à la forme des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée, la recherche étant de préférence effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé, en particulier au moyen d'une des méthodes métaheuristiques décrites précédemment.

De préférence, comme décrit pour l'étape e), cette recherche comporte deux boucles
10 d'optimisation imbriquées.

Lors de la première opération d'optimisation, on optimise d'abord, dans un modèle de référence à tester qui est initialement le modèle de référence initial, des conditions d'acquisition virtuelles qui correspondent au mieux aux conditions d'acquisition réelles. En particulier, on recherche la position virtuelle de l'appareil d'acquisition par rapport au
15 modèle de référence à tester qui offre la vue de ce modèle de référence à tester, c'est-à-dire l'image de référence, qui est la plus proche de l'image actualisée.

De préférence, comme décrit précédemment, on recherche également une calibration virtuelle susceptible de correspondre à la calibration réelle de l'appareil d'acquisition lors de la capture de l'image actualisée.

Lors de la deuxième opération d'optimisation, on modifie ensuite le modèle de référence à tester, on relance le première l'opération d'optimisation, puis on recommence ces deux opérations jusqu'à trouver le modèle de référence à tester et la position virtuelle de l'appareil d'acquisition qui permettent d'obtenir l'image de référence qui est la plus proche de l'image actualisée.

25 Ces opérations sont similaires à celles décrites pour le procédé de contrôle du positionnement des dents et les caractéristiques optionnelles de ce dernier contrôle sont optionnellement applicables.

Cependant, suivant le procédé de contrôle du positionnement des dents décrit précédemment, la modification du modèle de référence résulte d'un déplacement d'un ou
30 plusieurs modèles de dents. Aucune déformation des modèles de dent ou du modèle de référence initial n'est nécessaire.

Pour contrôler la forme des dents, la modification du modèle de référence résulte d'une modification de la forme du modèle de référence à tester, en particulier d'un ou plusieurs modèles de dents. Aucun déplacement des modèles de dent n'est nécessaire.

Bien entendu, il est préférable d'effectuer les deux types de modifications du modèle de
5 référence à tester afin de déterminer un modèle de référence final qui tienne compte à la fois du déplacement des dents et de leur déformation.

Par exemple, on peut mettre en œuvre une troisième opération d'optimisation portant sur le déplacement des dents et encadrant les deux premières opérations d'optimisation, la deuxième optimisation portant sur la forme des modèles de dent ou du modèle de référence
10 à tester. Il est également possible de ne mettre en œuvre que les deux premières opérations d'optimisation, en modifiant, éventuellement simultanément, la forme et la position des modèles de dents lors de la deuxième opération d'optimisation.

On peut aussi mettre en œuvre une troisième opération d'optimisation portant sur la forme des modèles de dent ou du modèle de référence à tester et encadrant les deux premières
15 opérations d'optimisation, la deuxième opération d'optimisation portant sur le déplacement des modèles de dents. Par exemple, on recherche d'abord un modèle de référence final « à tester » tenant compte, au mieux, du déplacement des modèles de dent, le modèle de référence final à tester correspondant au modèle de référence final d'une étape e) d'un procédé de contrôle du positionnement des dents décrit précédemment, puis on recherche
20 si une déformation du modèle de référence final à tester peut conduire à une meilleure concordance (« matching ») avec l'image actualisée. Pour cette recherche, on déforme le modèle de référence final à tester, on recommence les deux premières opérations d'optimisation, puis, en fonction de la concordance obtenue, on arrête la recherche ou on la poursuit en effectuant une nouvelle déformation du modèle de référence final à tester et en
25 relançant une exécution des deux premières opérations d'optimisation.

De préférence, la première opération d'optimisation et/ou la deuxième opération d'optimisation et/ou la troisième opération d'optimisation, de préférence la première opération d'optimisation et la deuxième opération d'optimisation et la troisième opération d'optimisation mettent en œuvre une méthode métaheuristique, de préférence
30 évolutionnistes, de préférence un recuit simulé, en particulier d'une des méthodes métaheuristicques citées précédemment.

De préférence, pour contrôler la déformation des dents, l'étape e) comporte

- une première opération d'optimisation permettant de rechercher des conditions d'acquisition virtuelles correspondant au mieux aux conditions d'acquisition réelles dans un modèle de référence à tester déterminé à partir du modèle de référence initial, et
- une deuxième opération d'optimisation permettant de rechercher, en testant une pluralité de dits modèles de référence à tester, le modèle de référence correspondant au mieux à la forme des dents du patient lors de l'acquisition de l'image actualisée à l'étape b), de préférence correspondant au mieux à la forme et au positionnement des dents du patient lors de l'acquisition de l'image actualisée à l'étape b).

De préférence, une première opération d'optimisation est effectuée pour chaque test d'un modèle de référence à tester lors de la deuxième opération d'optimisation.

L'étape e) peut notamment comporter les étapes suivantes :

- e'1) définition du modèle de référence à tester comme étant le modèle de référence initial puis,
- e'2) suivant les étapes suivantes, test de conditions d'acquisition virtuelles avec le modèle de référence à tester afin d'approximer finement lesdites conditions d'acquisition réelles ;
- e'21) détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester;
- e'22) réalisation d'une image de référence bidimensionnelle du modèle de référence à tester dans lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- e'23) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de référence représentant ladite information discriminante ;
- e'24) comparaison des cartes actualisée et de référence de manière à déterminer une valeur pour une première fonction d'évaluation, ladite valeur pour la première fonction d'évaluation dépendant des différences entre lesdites cartes actualisée et de référence et correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche de conditions d'acquisition virtuelles approxinant lesdites conditions d'acquisition réelles avec plus d'exactitude que lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester déterminées à la dernière occurrence de l'étape e'21) ;

- e'25) si ladite valeur pour la première fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, reprise à l'étape e'21) en modifiant les conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- 5 e'3) sinon détermination d'une valeur pour une deuxième fonction d'évaluation, ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation dépendant des différences entre les cartes actualisée et de référence dans les conditions d'acquisition virtuelles approximant au mieux lesdites conditions d'acquisition réelles et résultant de la dernière occurrence de l'étape e'2), ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation
- 10 correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche d'un modèle de référence approximant la forme, et éventuellement le positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée avec plus d'exactitude que ledit modèle de référence à tester utilisé à la dernière occurrence de l'étape e'2), et
- 15 si ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification du modèle de référence à tester par déformation d'un ou plusieurs modèles de dents, ou du modèle de référence à tester, et éventuellement par déplacement d'un ou plusieurs modèles de dents, puis reprise à l'étape e'2).
- 20 A l'issue de ce procédé, on aboutit à un modèle de référence à tester, dit « modèle de référence final », qui correspond au modèle de référence initial déformé pour correspondre au mieux à l'image actualisée.
- La comparaison des modèles de référence initial et actualisé comprend la comparaison des coordonnées spatiales des points des surfaces définies par ces deux modèles de référence.
- 25 On peut ainsi en déduire les modifications de forme éventuelles entre l'étape a) et l'étape b).
- De préférence, on produit une cartographie de la dent faisant apparaître les changements de forme. De préférence, comme représenté sur la figure 8, la couleur d'une zone de la cartographie est fonction de l'ampleur de changement de forme de cette zone. La
- 30 cartographie de la figure 8 fait en particulier apparaître une zone 16 indiquant une rupture d'une dent.

Bien entendu, le procédé de contrôle de la forme de dents d'un patient peut être utilisé pour détecter une addition ou une soustraction de matière, mais aussi une déformation à volume constant. Ce procédé permet également de détecter des déplacements de dents, même sans modèle de dents. Cependant, en l'absence de modèle de dent, il ne permet pas de distinguer
5 les déformations des dents d'une part et les déplacements des dents d'autre part.

Description détaillée d'un procédé de contrôle de l'aspect des dents

Le contrôle de l'évolution de la couleur de dents à partir de photographies prises dans des positions de l'appareil photo ou dans des environnements lumineux différents montre que cette comparaison ne permet pas d'évaluer une évolution de l'aspect de ces dents.

10 Un tel contrôle de la couleur des dents nécessite donc des précautions particulières, notamment pour définir avec précision la position de l'appareil photo et son environnement lumineux.

Il existe donc un besoin pour un procédé permettant de contrôler la couleur, et plus généralement une propriété d'aspect, des dents de manière plus simple, et notamment en
15 évitant ces précautions particulières.

Un objectif de l'invention est de répondre à ce besoin.

L'invention fournit un procédé de contrôle d'une propriété d'aspect de dents d'un patient, ledit procédé comportant les étapes A. à E. décrites ci-dessus, représentées sur la figure 9.

Comme on le verra plus en détail dans la suite de la description, ce procédé permet
20 d'évaluer si l'aspect, en particulier la couleur d'une ou plusieurs des dents a été modifié, même lorsque les conditions d'acquisition des photographies de dents d'un patient ne sont pas prédéfinies, par exemple parce que les photographies ont été prises dans un environnement lumineux ou dans une position quelconque de l'appareil d'acquisition, en particulier par le patient.

25 Par « propriété d'aspect », on entend une propriété relative à l'apparence. La propriété d'aspect peut être en particulier choisie dans le groupe constitué par la couleur, l'opalescence, la fluorescence, la brillance (« gloss »), la transparence, et les combinaisons de ces propriétés.

Par « aspect », on entend une valeur ou un ensemble de valeurs permettant de quantifier
30 une propriété d'aspect. Sauf indication contraire, les « aspects » mentionnés dans la présente description concernent la propriété d'aspect que le procédé permet de contrôler.

Etapes A. et B.

Les étapes A. et B. peuvent être réalisées comme l'étape b) décrite ci-dessus.

Les étapes A. et B. sont de préférence réalisées par le patient ou un proche du patient, mais peuvent être réalisées par un dentiste.

- 5 L'intervalle de temps entre ces étapes peut être celui décrit ci-dessus entre les étapes a) et b), par exemple supérieur à 1 semaine, à 2 semaines, à 1 mois ou à 3 mois.

Le premier appareil d'acquisition peut être identique ou différent du deuxième appareil d'acquisition. Il peut être un appareil d'acquisition choisi parmi ceux pouvant être utilisés pour l'étape b), notamment un appareil photo ou un téléphone mobile.

- 10 De préférence, les acquisitions aux étapes A. et/ou B. sont effectuées en ayant recours à un flash. Les résultats en sont améliorés. De préférence, l'image initiale et/ou actualisée est surexposée.

- Les jauges de référence utilisées pour chacune des étapes A. et B. présentent un même aspect. De préférence, lors de chacune des étapes, elles sont disposées dans la même
15 position par rapport aux dents du patient.

- De préférence, des écarteurs dentaires sont utilisés pour chacune des étapes A. et B.. Ces écarteurs peuvent être identiques ou différents. De préférence la jauge de référence est portée par un écarteur pour au moins une des étapes A. et B., de préférence pour chacune des étapes A. et B.. De préférence, même si les écarteurs utilisés pour chacune des étapes
20 A. et B. sont différents, les jauges de référence sont disposées sur les écarteurs dans la même position par rapport à l'ouverture 14 de l'écarteur qui laisse apparaître les dents du patient (figure 5a).

- De préférence, la jauge de référence est disposée sur l'écarteur de manière à être à proximité des dents dont la propriété d'aspect doit être contrôlée. De préférence, la jauge
25 de référence est disposée à moins de 3 cm, de préférence moins de 2 cm, de préférence moins de 1 cm de la partie de l'écarteur destinée à être introduite dans la bouche du patient.

- De préférence, chaque écarteur comporte plusieurs jauges de référence, identiques ou différentes. De préférence, plusieurs jauges de référence différentes d'un même écarteur présentent des aspects différents. Les conclusions tirées de la comparaison des images
30 normalisées peuvent être avantageusement plus riches.

Une jauge de référence peut être par exemple un point repérable sur l'écarteur et dont l'aspect est connu, par exemple dont les paramètres de couleur L^* , et/ou a^* et/ou b^* , mesurés selon la norme NF ISO 7724, sont connus. La jauge de référence peut être notamment une marque de repérage d'un écarteur tel que décrit ci-dessus.

- 5 Les conditions d'acquisition précisent la position dans l'espace et/ou l'orientation de l'appareil d'acquisition par rapport à l'écarteur.

Pour améliorer la précision du contrôle d'aspect, il est préférable que les conditions d'acquisition soient sensiblement les mêmes aux étapes A. et B.. Par exemple, il est préférable que les deux images soient prises sensiblement de face. De préférence,
10 l'appareil d'acquisition d'images utilisé pour au moins une, de préférence pour chacune des étapes A. et B. comporte des moyens détrompeurs facilitant son positionnement par rapport au patient avant l'acquisition de l'image.

Les moyens détrompeurs interagissent de préférence avec des marques de repérage disposées sur l'écarteur. De préférence, l'appareil d'acquisition est programmé de manière
15 à, en temps réel, repérer les marques de repérage sur l'écarteur, analyser leurs positions relatives ou leurs dimensions et, en conséquence, informer l'utilisateur de l'appareil d'acquisition afin qu'il modifie en conséquence la position de l'appareil d'acquisition par rapport aux dents du patient.

Ces moyens détrompeurs peuvent présenter une ou plusieurs des caractéristiques des
20 moyens détrompeurs décrits ci-dessus pour l'étape b).

De préférence, pour au moins une, de préférence pour chacune des étapes A. et B. on utilise un kit d'acquisition selon l'invention et, de préférence, un procédé d'acquisition comportant des étapes (a) à (e). De préférence, les conditions d'acquisition cibles sont les mêmes dans la mémoire des premier et deuxième appareils d'acquisition de sorte que
25 l'appareil d'acquisition guide son utilisateur pour que les images initiale et actualisée soient prises dans des conditions d'acquisition sensiblement identiques.

De préférence, les conditions d'acquisition cibles sont déterminées en fonction des dents dont la propriété d'aspect est à contrôler. Par exemple, les conditions d'acquisition cibles correspondent de préférence à une prise d'image face au patient pour un contrôle portant
30 sur une incisive et elles correspondent de préférence à une prise d'image latérale pour un contrôle portant sur une molaire.

Etape C.

L'étape C. consiste à normaliser, c'est-à-dire « corriger » l'image initiale et/ou l'image actualisée de manière que, après correction, les représentations de la jauge de référence sur ces images présentent un même aspect. La jauge de référence n'ayant pas changé d'aspect
5 entre les étapes A. et B., les différences d'aspect éventuelles présentées par les représentations des dents sur les images initiale et actualisée normalisées correspondent donc à des différences d'aspect réelles sur lesdites dents.

On recherche d'abord la jauge de référence sur l'image initiale et sur l'image actualisée. Une simple analyse d'image suffit à cet effet.

10 La normalisation peut être effectuée sur l'image initiale seulement afin de modifier la représentation de la jauge de référence pour que son aspect soit identique à celui de la représentation de ladite jauge de référence sur l'image actualisée. La normalisation peut être alternativement effectuée sur l'image actualisée seulement afin de modifier la représentation de la jauge de référence pour que son aspect soit identique à celui de la
15 représentation de ladite jauge de référence sur l'image initiale. Enfin la normalisation peut être effectuée sur l'image actualisée et sur l'image initiale afin de modifier les représentations des jauges de référence pour que leurs aspects soient identiques à celui d'une jauge étalon.

La normalisation d'une image est une technique bien connue dans le domaine du
20 traitement d'images. La balance de blancs est un exemple de normalisation d'images.

Etape D.

Avant ou après l'étape C., il convient d'identifier, sur chacune des images initiale et actualisée, une région des dents dont on souhaite évaluer l'évolution d'aspect.

L'utilisation de marques de repérage ou de jauges de référence est possible, mais reste
25 imprécise. De préférence, les images initiale et actualisée sont analysées afin de représenter une information discriminante, du type de celles décrites ci-dessus, par exemple le contour des dents.

L'analyse des images initiale et actualisée peut comporter une ou plusieurs caractéristiques de l'étape c), notamment relatives à la nature de l'information discriminante et au
30 traitement pour déterminer l'information discriminante. L'information discriminante est de

préférence optimisée au moyen d'un procédé d'optimisation comportant des étapes C1 à C3.

On recherche alors des informations discriminantes communes aux deux images initiale et actualisée.

- 5 Les informations discriminantes communes aux deux images initiale et actualisée peuvent alors servir de référentiel pour localiser ladite région sur ces deux images. Par exemple, le contour des gencives peut présenter une succession de « pointes » entre les dents. Ce contour dépend des dents considérées et peut donc servir de référentiel.

Dans un mode de réalisation perfectionné, les images initiale et actualisée sont repérées par rapport à un modèle de référence, de préférence réalisé conformément à l'étape a) (modèle de référence initial) ou résultant de la mise en œuvre d'un procédé de contrôle de la forme et/ou du positionnement des dents selon l'invention (modèle de référence final).

Ce repérage peut être effectué comme décrit ci-dessus pour repérer l'image actualisée dans le cadre des procédés de contrôle de la forme et/ou du positionnement des dents. A la différence de ces procédés, la modification du modèle de référence initial pour parvenir au modèle de référence final est cependant optionnelle.

Pour repérer une image par rapport au modèle de référence, il suffit de rechercher les conditions d'acquisition virtuelles dans lesquelles l'appareil d'acquisition aurait acquis ladite image en observant ledit modèle de référence. Cette recherche est de préférence effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique, telle que celles décrites ci-dessus.

Pour cette recherche, on utilise de préférence un procédé d'évaluation des conditions d'acquisition réelles selon l'invention, décrit ci-après. Ce procédé est de préférence mis en œuvre pour chacune des images initiale et actualisée au moyen du modèle de référence. Il permet de « projeter » ces images sur le modèle de référence et donc de repérer un point de ces images sur le modèle de référence.

Une région des dents dont on souhaite évaluer l'évolution d'aspect peut ainsi être identifiée avec une grande précision sur chacune des images initiale et actualisée.

Etape E.

Il est alors possible de mesurer les aspects de ladite région sur chacune des images initiale et actualisée et de les comparer afin de détecter et évaluer des différences de la propriété d'aspect.

Un procédé de contrôle de l'aspect des dents selon l'invention peut être utilisé à des fins thérapeutiques ou non thérapeutiques. Il peut en particulier être utilisé pour :

- 5 - détecter et/ou mesurer un changement de couleur des dents ou l'apparition et/ou l'évolution de tâches sur les dents, ou détecter et/ou mesurer une calcification des dents;
 - vérifier les effets sur l'aspect des dents d'une habitude alimentaire ou d'une hygiène alimentaire ou d'un traitement, par exemple d'un traitement de blanchiment, ou d'un produit, notamment d'un dentifrice, en particulier pour blanchir les dents ou pour lutter contre la calcification ou l'apparition de tâches.
- 10 Par exemple, un procédé de contrôle de l'aspect des dents selon l'invention peut être utilisé pour vérifier les effets sur l'aspect des dents du mâchage d'un chewing-gum ou de l'ingestion de café ou de thé, ou de la consommation de tabac ou de drogue, ou du brossage des dents.

 Dans un mode de réalisation préféré, il suffit au patient de prendre régulièrement des
15 photographies avec son téléphone mobile pour constituer des images actualisées. De préférence, grâce à un applicatif chargé dans ce téléphone, il peut ensuite comparer les aspects des dents sur ces photographies.

 Dans un mode de réalisation, l'applicatif normalise les photographies afin de les rendre comparables, puis propose une visualisation dynamique des photographies corrigées, par
20 exemple sous la forme d'un diaporama ou d'un film.

Description détaillée d'un procédé d'évaluation de conditions d'acquisition réelles

 Notamment pour la mise en œuvre d'un procédé de contrôle de la forme, du positionnement et/ou de l'aspect de dents selon l'invention ou pour optimiser la qualité d'une l'information discriminante, l'invention fournit un procédé d'évaluation, à partir
25 d'une image bidimensionnelle des arcades dentaires d'un patient, dite « image acquise », des conditions d'acquisition réelles (position de l'appareil d'acquisition dans l'espace, orientation de cet appareil, et, de préférence, calibration de l'appareil d'acquisition) de ladite image acquise, ledit procédé comportant les étapes suivantes :

- 30 001) réalisation d'un modèle de référence tridimensionnel numérique d'au moins une partie d'une arcade du patient, de préférence d'une arcade, de préférence de deux arcades du patient,

- 002) analyse de l'image acquise et réalisation d'une carte relative à une information discriminante, dite « carte acquise » ;
- 003) recherche des conditions d'acquisition virtuelles approximant, de manière optimale, lesdites conditions d'acquisition réelles, suivant les étapes 01) à 05) suivantes :
- 5 01) optionnellement, détermination de conditions d'acquisition virtuelles grossières approximant lesdites conditions d'acquisition réelles, de préférence par analyse de la représentation, sur l'image acquise, d'un écarteur utilisé lors de l'acquisition de l'image acquise ;
- 10 02) détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester;
- 03) réalisation d'une image de référence bidimensionnelle du modèle de référence observé dans les conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- 04) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de référence représentant de ladite information discriminante ;
- 15 05) comparaison des cartes acquise et de référence de manière à déterminer une valeur pour une fonction d'évaluation, ladite valeur pour la fonction d'évaluation dépendant des différences entre lesdites cartes acquise et de référence et correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche de conditions d'acquisition virtuelles approximant les
- 20 conditions d'acquisition réelles avec plus d'exactitude que lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- 06) si ladite valeur pour la fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification desdites conditions d'acquisition virtuelles à tester, puis reprise à l'étape 03) ;
- 25 sinon, évaluation des conditions d'acquisition réelles par lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester.

De préférence, les conditions d'acquisition réelles à évaluer comprennent un ou plusieurs des paramètres de calibration suivants : l'ouverture de diaphragme, le temps d'exposition, le temps d'exposition, la distance focale et la sensibilité.

- 30 Dans le procédé d'évaluation, la modification apportée aux conditions d'acquisition virtuelles à tester à l'étape 06) est de préférence effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé, de préférence au moyen d'une des méthodes métaheuristiques citées précédemment.

Un procédé d'évaluation selon l'invention est de préférence utilisé à chaque fois qu'il est nécessaire d'évaluer les conditions d'acquisition réelles d'une image. Cette image, qui peut en particulier être une image actualisée acquise lors d'une étape b) ou B. ou une image initiale acquise lors d'une étape A., est appelée « image acquise ».

- 5 La réalisation du modèle de référence à l'étape 001) peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques, même optionnelles, de l'étape a).

L'acquisition de l'image acquise peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques, même optionnelles, de l'étape b). De préférence, elle met en œuvre un kit d'acquisition selon l'invention, et de préférence un procédé d'acquisition selon l'invention.

- 10 L'étape 01) de détermination des conditions d'acquisition virtuelles grossières peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques, même optionnelles, de l'étape c).

Les étapes 02) à 06) peuvent comporter une ou plusieurs des caractéristiques, même optionnelles, des étapes e21) à e25), respectivement.

Description détaillée d'un procédé d'optimisation d'une information discriminante

- 15 Un procédé d'optimisation ou de "sélection" d'une information discriminante selon l'invention est destiné à améliorer la fiabilité d'une information discriminante initiale extraite d'une image bidimensionnelle des arcades dentaires d'un patient, ou « image acquise », notamment d'une image initiale issue d'une étape A. ou d'une image actualisée issue d'une étape B. ou b), acquise dans des conditions d'acquisition réelles.

- 20 "L'optimisation" de l'information discriminante est donc une sélection d'informations discriminantes, suivant une démarche itérative, de manière à sélectionner de l'image l'information discriminante la plus pertinente pour contrôler au mieux le positionnement et/ou la forme des dents du patient.

Ce procédé repose sur un modèle de référence tridimensionnel numérique d'au moins une
25 partie d'une arcade du patient, en particulier d'un modèle de référence initial d'une étape a).

Comme illustré sur la figure 10, il comporte les étapes suivantes :

- 30 C1. évaluation de la qualité de l'information discriminante initiale et d'un seuil de qualité, filtrage de manière à ne retenir que de l'information discriminante initiale, de préférence toute l'information discriminante initiale présentant une qualité supérieure au seuil de qualité, et définition de « l'information discriminante à tester » comme étant l'information discriminante retenue ;

C2. test de la concordance (en anglais « matching ») entre l'information discriminante à tester et le modèle de référence ;

C3. en fonction du résultat et d'une fonction d'évaluation du résultat du test :

- 5 - ajout d'information discriminante non retenue à l'information discriminante à tester et/ou suppression d'information discriminante dans l'information discriminante à tester, puis reprise à l'étape C2. ou,
- définition de l'information discriminante optimale comme étant l'information discriminante à tester.

10 L'information discriminante peut être notamment une quelconque des informations discriminantes décrites précédemment. A titre d'exemple, l'information discriminante peut être une information de contour.

L'information discriminante initiale résulte classiquement de l'analyse de l'image acquise, comme décrit pour l'étape c).

15 Les procédés selon l'invention qui utilisent une telle information discriminante initiale mettent en œuvre des optimisations qui fournissent de meilleurs résultats si l'information discriminante est à la fois abondante et de bonne qualité. Un objectif du procédé d'optimisation est donc d'améliorer la qualité de l'information discriminante initiale.

A l'étape C1., on évalue la qualité de l'information discriminante initiale. Dans l'exemple d'un contour, l'analyse du contraste fournit par exemple des informations plus ou moins
20 fiables : une zone de fort contraste peut être assimilée à une zone correspondant à un contour avec une probabilité élevée et la qualité des points de cette zone sera donc élevée. Au contraire, une zone de faible contraste, par exemple une zone floue, peut être assimilée à une zone correspondant à un contour avec une probabilité faible et la qualité des points de cette zone sera donc faible. Dans cet exemple, la probabilité pour un point de l'image
25 acquise d'appartenir au contour peut être choisie comme indicateur de la « qualité » de l'information discriminante.

Un seuil de qualité est utilisé pour filtrer l'information discriminante initiale. Si le seuil de qualité est élevé, l'information discriminante retenue suite au filtrage sera peu nombreuse, mais très fiable. Si le seuil de qualité est faible, l'information discriminante retenue sera
30 abondante, mais peu fiable. Dans l'exemple d'une information de contour, l'analyse de l'image conduira alors à retenir des « faux » points de contour, c'est-à-dire, des points qui,

du fait de l'analyse, seront considérés par erreur comme appartenant au contour des dents et des gencives.

Dans un mode de réalisation préféré, le seuil de qualité est élevé afin de ne retenir que de l'information discriminante à tester très fiable.

- 5 A l'étape C2., on teste la concordance, c'est-à-dire que l'on détermine un degré de concordance, entre l'information discriminante à tester et le modèle de référence.

De préférence, on réalise une carte « acquise » de l'information discriminante à tester résultant du traitement de l'image acquise.

- De préférence, on procède ensuite suivant les étapes 01) à 06), et en particulier les étapes
10 suivantes :

- 02) détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester;
- 03) réalisation d'une image de référence bidimensionnelle du modèle de référence observé dans les conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- 04) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de
15 référence représentant de l'information discriminante ;
- 05) comparaison des cartes acquise et de référence de manière à déterminer une valeur pour une fonction d'évaluation, ladite valeur pour la fonction d'évaluation dépendant des différences entre lesdites cartes acquise et de référence et correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la
20 recherche de conditions d'acquisition virtuelles approximant les conditions d'acquisition réelles avec plus d'exactitude que lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- 06) si ladite valeur pour la fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification desdites conditions d'acquisition virtuelles à tester, puis reprise à l'étape 03) ;
25 sinon, évaluation des conditions d'acquisition réelles par lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester.

- A l'étape 04), le traitement de l'image de référence permet de réaliser une carte de référence représentant de ladite information discriminante. Les critères de sélection de
30 l'information discriminante représentée sur la carte de référence peuvent être identiques ou différents de ceux utilisés pour sélectionner l'information discriminante à tester.

De préférence, l'information discriminante représentée sur la carte de référence est sélectionnée avec les mêmes critères que l'information discriminante à tester.

Dans l'exemple d'un contour, le traitement de l'image de référence peut consister à retenir les points de l'image de référence correspondant à un contour avec une probabilité élevée.

La probabilité pour un point de l'image de référence d'appartenir au contour peut être déterminée comme pour le traitement de l'image acquise et également servir d'indicateur de la qualité de l'information discriminante. Le seuil de qualité peut être également identique à celui utilisé pour le traitement de l'image acquise. Le contour représenté sur la carte de référence est alors similaire à celui représenté sur la carte acquise, et en particulier présente une longueur sensiblement identique.

Les étapes 01) à 06) permettent de déterminer, avec le modèle de référence, des conditions d'acquisition virtuelles approxinant les conditions d'acquisition réelles de l'image acquise. L'observation du modèle de référence dans ces conditions d'acquisition virtuelles fournit donc une vue qui correspond au mieux à l'image acquise. La recherche des conditions d'acquisition virtuelles se fonde cependant sur l'information discriminante à tester. Le degré de correspondance dépend donc de l'information discriminante à tester. Plus la qualité et la quantité de l'information discriminante à tester sont élevées, meilleur est le degré de correspondance entre la vue du modèle de référence dans les conditions d'acquisition virtuelles et l'image acquise, et plus élevé est le degré de concordance entre l'information discriminante à tester et le modèle de référence.

Le degré de concordance peut être par exemple mesuré par l'inverse de l'écart entre

- la carte de référence relative à l'image du modèle de référence observé dans les conditions d'acquisition virtuelles approxinant au mieux les conditions d'acquisition réelles en conséquence de l'exécution des étapes 01) à 06), et
- la carte « acquise » représentant l'information discriminante à tester correspondant à l'image acquise

pondéré par la quantité d'information discriminante à tester.

Pour un contour par exemple, le degré de concordance peut être le rapport du nombre de points qui appartiennent à la fois au contour de la carte de référence et au contour de la carte acquise, sur le nombre de points total du contour de la carte acquise, ou le produit de l'inverse de la distance moyenne entre les contours représentés sur lesdites cartes acquise et de référence, et de la longueur du contour représenté sur la carte acquise.

L'approximation « au mieux » des conditions d'acquisition réelles à partir d'une information discriminante à tester peut être évaluée par un résultat ou « score », par

exemple par le degré de concordance. Le cycle des étapes C2. et C3. a pour but d'optimiser ce résultat en agissant sur l'information discriminante à tester.

Cette optimisation est analogue à celle mise en œuvre pour les procédés de contrôle du positionnement et/ou de la forme des dents. Ces procédés agissent cependant sur le modèle de référence initial, par déplacement des modèles de dents et/ou par déformation du modèle de référence, alors que le procédé d'optimisation de l'information discriminante agit sur l'information discriminante utilisée pour établir la carte acquise.

L'opération effectuée à l'étape C3. est déterminée par une fonction d'évaluation du résultat du test de l'étape C2.. De préférence, la fonction d'évaluation prend en considération des résultats obtenus lors de cycles C2.-C3. précédents.

En particulier, le procédé peut être arrêté si la fonction d'évaluation indique que la poursuite de cycles C2.-C3. ne permet pas d'améliorer le résultat, par exemple parce que un ou plusieurs cycles C2.-C3. n'ont pas permis de l'améliorer ou n'ont pas permis de l'améliorer significativement. L'information discriminante testée lors du cycle C2.-C3. ayant conduit au meilleur résultat est alors considérée comme optimale.

Sinon, un nouveau cycle C2.-C3. peut être lancé, après modification de l'information discriminante à tester. La modification à apporter à l'information discriminante qui vient d'être testée peut consister en un ajout ou en une suppression d'information discriminante. Un ajout d'information discriminante peut par exemple être décidé si le dernier résultat est le meilleur obtenu jusqu'alors et si, d'après la fonction d'évaluation, le résultat peut être encore amélioré. De préférence, l'information discriminante ajoutée est celle qui, parmi l'information discriminante non retenue à l'étape C1. et qui n'a pas encore été testée, présente la meilleure qualité.

Par exemple, lorsque l'information discriminante est une information de contour, l'ajout d'information discriminante peut consister à ajouter des points de l'image non retenus initialement, encore jamais ajoutés et dont la qualité, telle qu'évaluée à l'étape C1., est la plus élevée, c'est-à-dire dont l'ajout est le plus susceptible d'améliorer le résultat du test de l'étape C2..

Une suppression d'information discriminante peut par exemple être décidée si le dernier résultat est pire que le précédent. En particulier, l'information discriminante ajoutée lors du cycle précédent peut être supprimée et un ajout d'une autre information discriminante peut être effectué, comme décrit précédemment.

La détermination de l'information discriminante à ajouter et/ou à supprimer peut être aléatoire. Cependant, de préférence, elle résulte de la mise en œuvre d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé, de préférence du type de celles décrites ci-dessus.

5 Exemple

A titre d'exemple, la figure 11 représente, superposée à l'image acquise, une carte de référence relative à une information de reflet (information discriminante).

L'image acquise, de préférence acquise au moyen d'un kit d'acquisition selon l'invention, est une photographie prise dans une position et une orientation particulières de l'appareil
10 photo. Cette position et cette orientation constituent les conditions d'acquisition réelles de l'image acquise.

L'homme de l'art sait que, sur l'image acquise, plus la luminosité d'un point est élevée, plus la probabilité que ce point appartienne à une zone de reflet est élevée. La luminosité peut donc servir d'indicateur de la « qualité » de l'information de reflet.

15 Le filtrage à l'étape C1. peut consister à ne retenir que les zones de l'image acquise qui présentent une luminosité supérieure à un seuil de qualité, par exemple de 70%.

La carte acquise représente ces zones, qui constituent l'information discriminante à tester.

A l'étape C2., on procède de préférence selon les étapes 01) à 06) pour tester si les zones retenues concordent avec l'observation du modèle de référence.

20 A l'étape 01), on analyse l'image acquise pour évaluer grossièrement les conditions d'acquisition réelles par des conditions d'acquisition virtuelles. Cette évaluation résulte de préférence d'une analyse de la position et/ou de la forme de la représentation, sur l'image acquise, de marques de repérage d'un écarteur utilisé lors de l'acquisition.

Les conditions d'acquisition virtuelles évaluées grossièrement peuvent constituer les
25 « conditions d'acquisition virtuelles à tester » à l'étape 02).

A l'étape 03), en observant le modèle de référence à partir de conditions d'acquisition virtuelle à tester, on obtient une image de référence.

A l'étape 04), comme représenté sur la figure 11, on peut projeter, sur l'image de référence, des vecteurs (traits noirs 20), tous de même longueur, perpendiculaires aux faces
30 du modèle de référence. Les cercles 22 représentent ces vecteurs lorsqu'ils sont observés selon leur longueur. La carte de référence est ainsi constituée par ces traits noirs 20 et cercles 22.

L'homme de l'art sait que les cercles 22 correspondent normalement à des zones de l'image correspondant à des reflets. Sur la carte de référence, l'information discriminante, à savoir l'information de reflet, est donc représentée par les traits noirs 20 et par les cercles 22, l'inverse de la longueur des traits noirs pouvant servir d'indicateur de la « qualité » de l'information de reflet sur la carte de référence, un cercle correspondant à une longueur nulle, et donc à une qualité maximale.

5 A l'étape 05), une comparaison des cartes acquise et de référence peut par exemple consister à vérifier si les traits 20 et les cercles 22 sont à l'intérieur de zones de la carte acquise (qui correspondent initialement à une luminosité supérieure à 70%). La fonction d'évaluation peut être par exemple le rapport R entre

- la différence entre le nombre de cercles 22 et le nombre de traits qui sont à l'intérieur de zones de l'image acquise et
- le nombre total de cercles 22.

15 La décision peut être de poursuivre la recherche en modifiant les conditions d'acquisition virtuelles à tester jusqu'à atteindre un maximum pour la fonction d'acquisition.

A l'étape 06), si ce maximum est considéré comme atteint, on sort de la boucle des étapes 03) à 06). Sinon, on détermine, de préférence au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, une modification à apporter aux conditions d'acquisition virtuelles à tester et on reprend l'étape 03).

20 A la sortie des étapes 03) à 06), le rapport R est donc maximal, pour cette image acquise, par exemple de 95%. Ce rapport R représente alors le résultat du test de concordance effectué à l'étape C2..

A l'étape C3, ce résultat est évalué au moyen d'une fonction d'évaluation.

25 Cette fonction d'évaluation détermine de préférence si le résultat est optimal ou non. Si le résultat est considéré optimal, par exemple parce qu'aucun meilleur résultat ne peut plus être obtenu après plusieurs cycles des étapes C2. – C3., on considère que les zones de la carte acquise correspondante constituent une information discriminante optimale.

30 Sinon, on modifie la carte acquise, par exemple en ajoutant des points de l'image acquise, par exemple en ajoutant des points qui présentent une luminosité supérieure à 71%. Cet ajout conduit à l'ajout de cercles dans les zones de la carte acquise, ce qui améliore le rapport R, mais aussi à l'ajout de traits noirs, ce qui dégrade le rapport R. Réciproquement, il est possible d'extraire les points qui présentent une luminosité supérieure à 69%. Cet suppression conduit à la suppression de cercles dans les zones de la carte acquise, ce qui

dégrade le rapport R, mais aussi à la suppression de traits noirs, ce qui améliore le rapport R.

La modification à apporter est de préférence guidée par une méthode métaheuristique de préférence évolutionniste.

- 5 A partir de la nouvelle carte acquise, qui définit l'information discriminante à tester, on reprend à l'étape C2..

Le cyclage des étapes C2. et C3. peut être poursuivi jusqu'à déterminer un résultat optimal. L'information discriminante à tester est alors considérée comme optimale.

- 10 Comme cela apparaît clairement à présent, un procédé d'optimisation d'une information discriminante selon l'invention permet de construire une information discriminante de bonne qualité et abondante. En particulier, il permet, à partir d'un contour initial partiel, mais de bonne qualité, de construire progressivement un contour plus complet mais toujours de bonne qualité.

- 15 Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits ci-dessus et représentés.

En particulier, sauf indication contraires, les caractéristiques optionnelles décrites dans le cadre d'une étape d'un premier procédé selon l'invention sont applicables dans le cadre d'une étape analogue ou portant la même référence d'un deuxième procédé selon l'invention.

- 20 Le procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme des dents peut être mis en œuvre successivement pour chacune des deux arcades ou simultanément pour les deux arcades. En outre, pour ces procédés, plusieurs appareils différents peuvent être mis en œuvre. Par exemple, l'acquisition peut être effectuée avec un téléphone mobile et les étapes suivantes avec un ordinateur fixe.
- 25 Enfin, le patient n'est pas limité à un être humain. En particulier, un procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention peut être utilisé pour un autre animal.

REVENDICATIONS

1. Procédé de contrôle d'une propriété d'aspect de dents d'un patient, ledit procédé comportant les étapes successives suivantes :
 - 5 A. acquisition, au moyen d'un premier appareil d'acquisition, d'au moins une première image bidimensionnelle desdites dents et d'une première jauge de référence, dite « image initiale » ;
 - B. acquisition, au moyen d'un deuxième appareil d'acquisition, d'au moins une deuxième image bidimensionnelle desdites dents et d'une deuxième jauge de référence présentant un même aspect que la première jauge de référence,
10 dite « image actualisée » ;
 - C. normalisation des images initiale et actualisée de manière que les représentations des première et deuxième jauges de référence sur les images initiale et actualisée normalisées présentent un même aspect ;
 - 15 D. avant ou après l'étape C., repérage d'une même région des dents sur les images initiale et actualisée ;
 - E. comparaison de l'aspect de ladite région sur les images initiale et actualisée normalisées.
2. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel l'intervalle de temps entre les
20 étapes A. et B. est supérieur à 1 semaine.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le premier appareil d'acquisition et/ou le deuxième appareil d'acquisition sont des appareils photo et/ou des téléphones mobiles, les acquisitions aux étapes A. et/ou B. étant effectuées sous l'éclairage d'un flash.
- 25 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les acquisitions aux étapes A. et/ou B. sont effectuées au moyen d'un kit d'acquisition comportant :
 - un écarteur dentaire destiné à être placé dans la bouche d'un patient et comportant une marque de repérage ;
 - 30 - un appareil d'acquisition d'images comportant
 - un écran de visualisation,

- une mémoire informatique contenant des informations sur des conditions d'acquisition cibles,
 - un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour afficher simultanément, sur ledit écran, une image acquérable et une référence, ladite référence étant dans une position telle que, lorsque la marque de repérage correspond à la référence sur l'écran, l'appareil d'acquisition respecte les conditions d'acquisition cibles.
- 5
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
5. Procédé selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel les conditions d'acquisition cibles sont déterminées en fonction des dents dont la propriété d'aspect est à contrôler.
 6. Procédé selon l'une quelconque des deux revendications immédiatement précédentes, dans lequel les acquisitions aux étapes A. et B. sont effectuées au moyen de kits d'acquisition dans lesquels les conditions d'acquisition cibles sont identiques.
 7. Procédé selon l'une quelconque des trois revendications immédiatement précédentes, dans lequel le premier et/ou le deuxième appareil d'acquisition comporte un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour repérer, en temps réel, la ou les marques de repérage sur l'écarteur, analyser sa ou leurs positions ou dimensions et, en conséquence, fournir une information.
 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape D., le repérage comprend une comparaison d'informations discriminantes communes aux deux images initiale et actualisée, puis une identification de ladite région par rapport aux dites informations discriminantes communes.
 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape D., le repérage de ladite région sur les images initiale et/ou actualisée comprend une recherche de conditions d'acquisition virtuelles dans lesquelles le premier appareil d'acquisition et/ou le deuxième appareil d'acquisition, respectivement, aurait acquis ladite image initiale et/ou actualisée en observant un modèle de référence tridimensionnel numérique d'au moins une partie d'une arcade du patient.
 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape D., le repérage de la région sur l'image initiale et/ou actualisée, dite « image acquise »,

comprend la mise en œuvre d'un procédé d'évaluation des conditions d'acquisition réelles de l'image acquise, ledit procédé comportant les étapes suivantes :

- 001) réalisation d'un modèle de référence tridimensionnel numérique d'au moins une partie d'une arcade du patient ;
- 5 002) analyse de l'image acquise et réalisation d'une carte relative à une information discriminante, dite « carte acquise » ;
- 003) recherche des conditions d'acquisition virtuelles approximant, de manière optimale, lesdites conditions d'acquisition réelles, suivant les étapes 01) à 05) suivantes :
- 10 01) optionnellement, détermination de conditions d'acquisition virtuelles grossières approximant lesdites conditions d'acquisition réelles, de préférence par analyse de la représentation, sur l'image acquise, d'un écarteur utilisé lors de l'acquisition de l'image acquise;
- 02) détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester;
- 15 03) réalisation d'une image de référence bidimensionnelle du modèle de référence observé dans les conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- 04) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de référence représentant de ladite information discriminante ;
- 05) comparaison des cartes acquise et de référence de manière à déterminer
20 une valeur pour une fonction d'évaluation, ladite valeur pour la fonction d'évaluation dépendant des différences entre lesdites cartes acquise et de référence et correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche de conditions d'acquisition virtuelles approximant les conditions d'acquisition réelles avec plus d'exactitude que lesdites
25 conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- 06) si ladite valeur pour la fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification desdites conditions d'acquisition virtuelles à tester, puis reprise à l'étape 03) ;
sinon, évaluation des conditions d'acquisition réelles par lesdites
30 conditions d'acquisition virtuelles à tester.

1/7

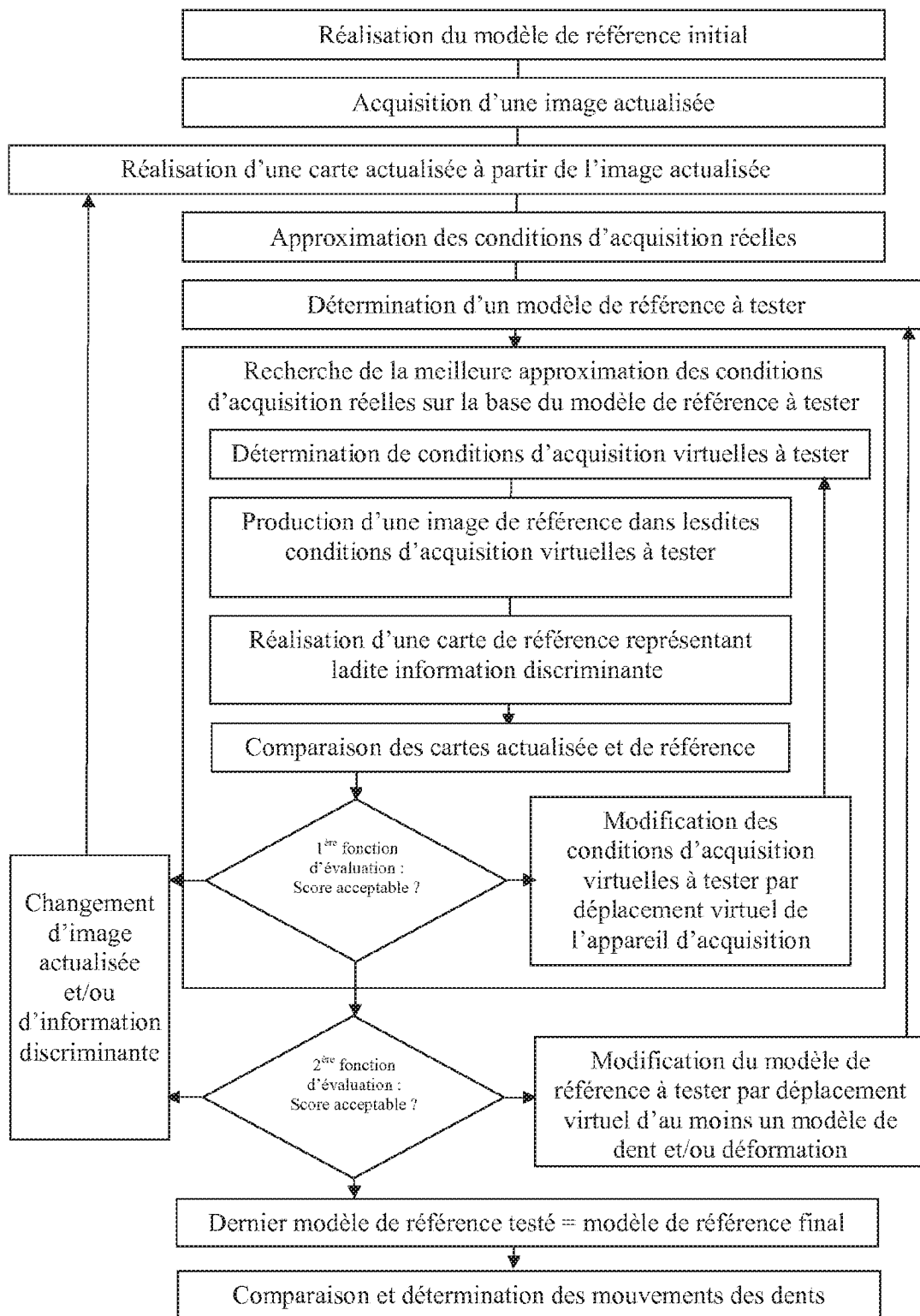


Fig. 1

2/7

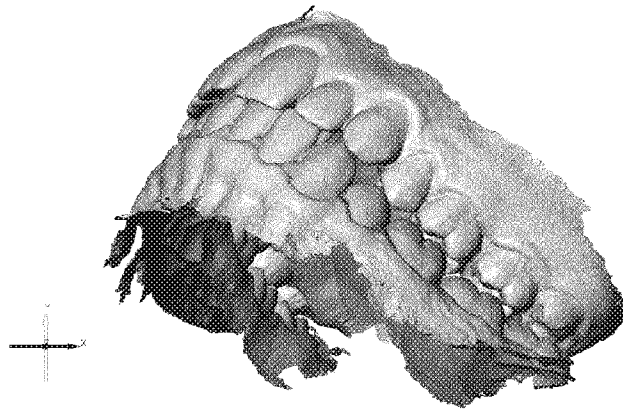


Fig.2

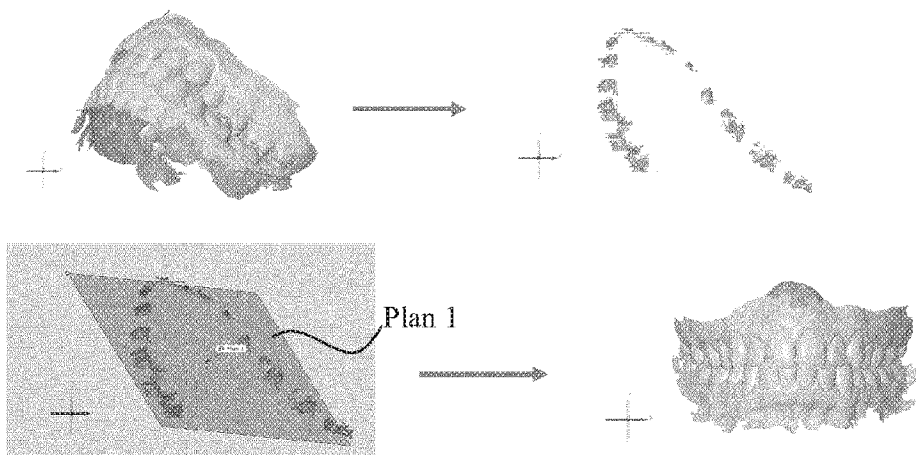


Fig.3

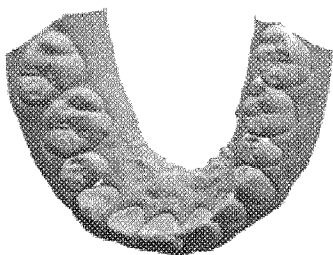


Fig. 4a



Fig. 4b

3/7



Fig. 4c

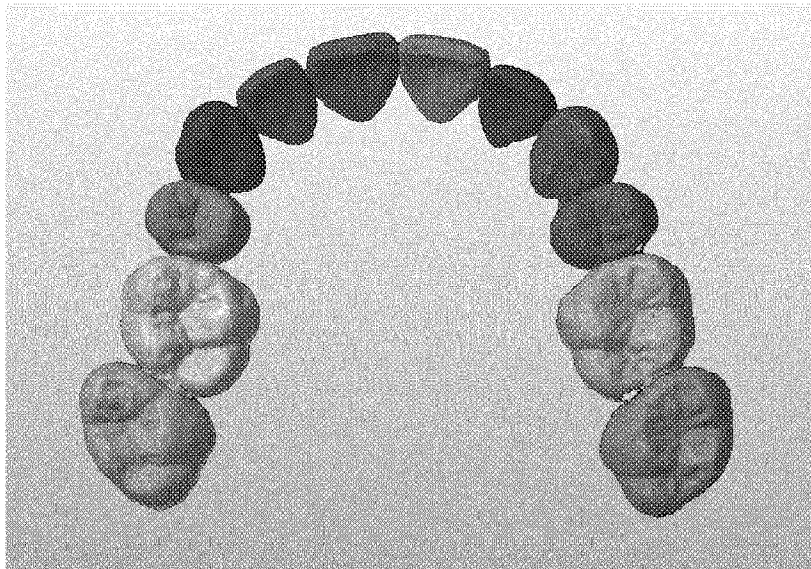


Fig. 4d

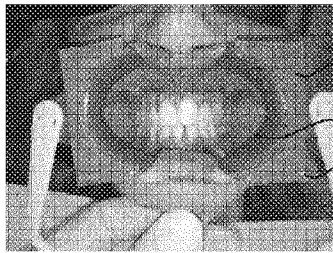


Fig. 5a

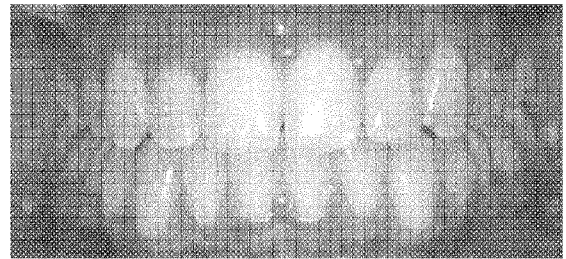


Fig. 5b

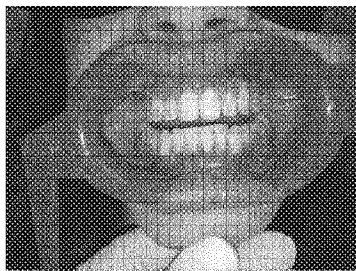


Fig. 5c

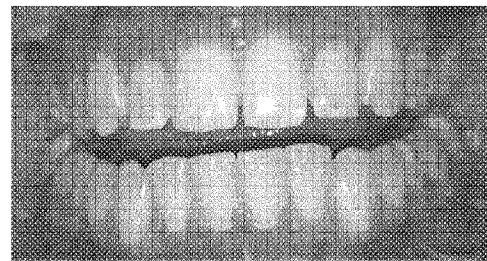


Fig. 5d

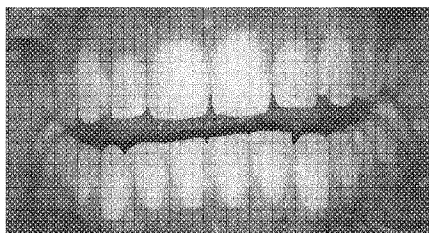


Fig. 6a

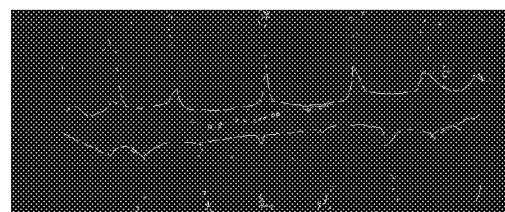


Fig. 6b

5/7

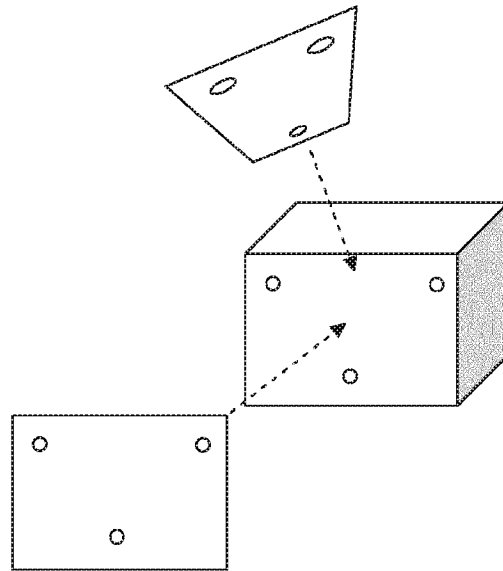


Fig. 7

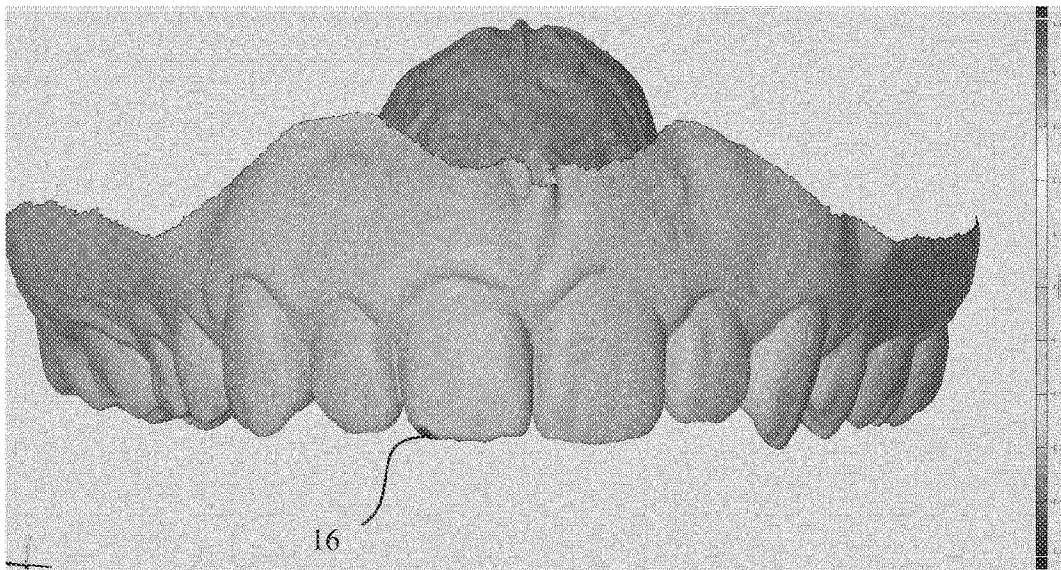


Fig. 8

6/7

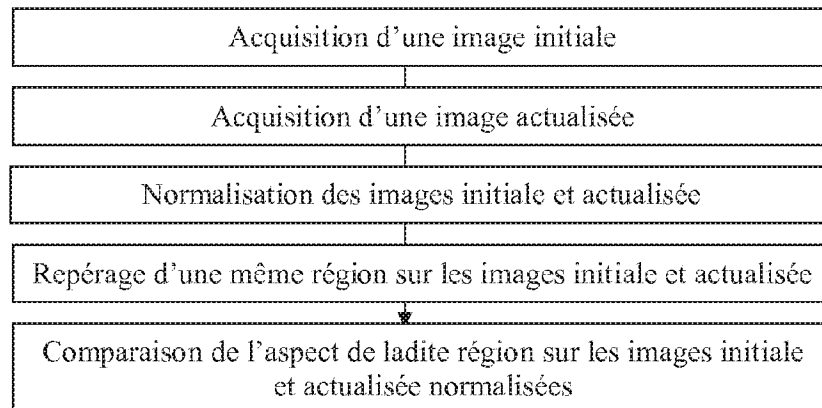


Fig. 9

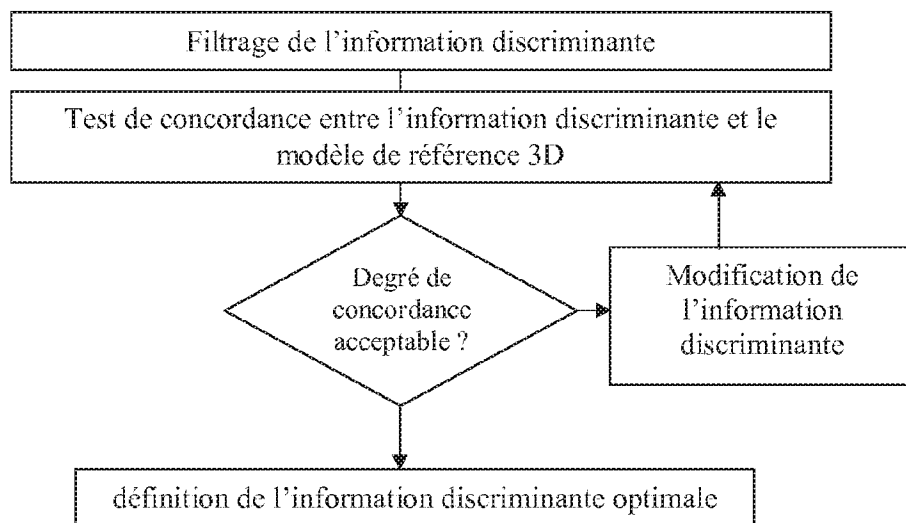


Fig. 10

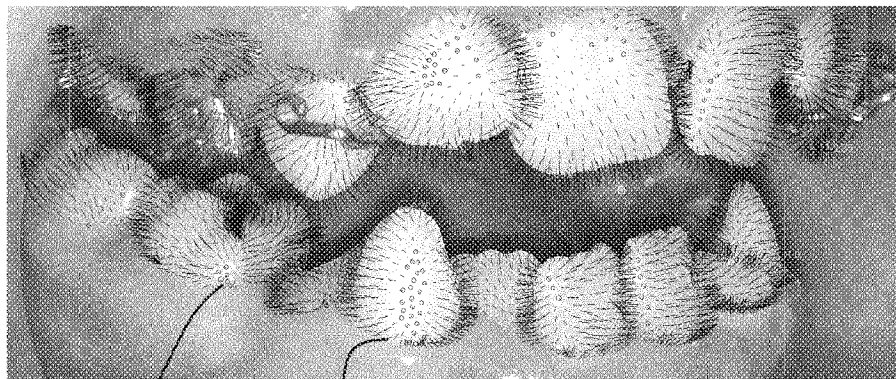


Fig. 11

22

20

7/7

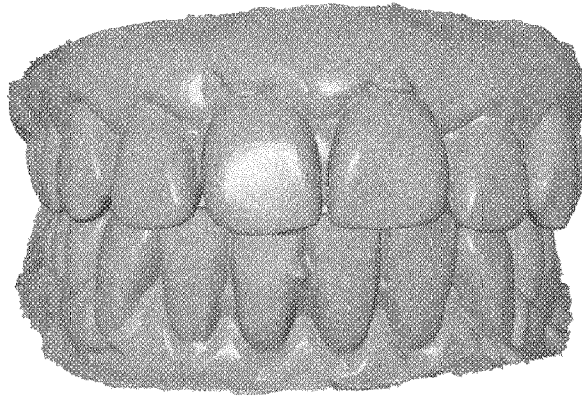


Fig. 12a

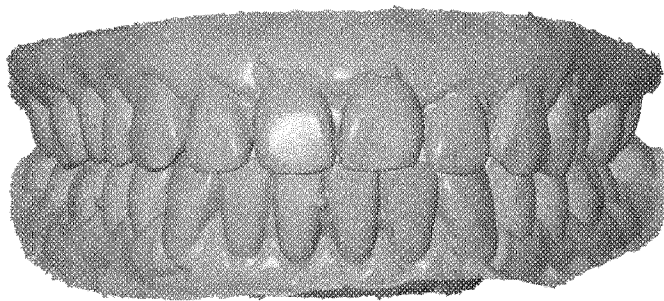


Fig. 12b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2015/074896

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. C07D471/04 A61K31/437 A01N43/40 A61P31/10 G06T7/00
 A61C7/00 A61C9/00

ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C07D A61K A61N A61P G06T A61C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 01/51005 A2 (BRITESMILE INC [US]) 19 July 2001 (2001-07-19) page 4, line 1 - page 6, line 10 page 21, lines 7-19 page 22, lines 1-3	1-10
A	----- WO 2006/065955 A2 (ORTHOCLEAR HOLDINGS INC; WEN HUAFENG [US]) 22 June 2006 (2006-06-22) paragraphs [0032], [0034], [0057], [0058], [0060], [0061] -----	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 December 2015

Date of mailing of the international search report

12/01/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kerner, Bodo

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/074896

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0151005	A2	19-07-2001	
		AU 4900601 A	24-07-2001
		BR 0016969 A	15-07-2003
		CA 2396913 A1	19-07-2001
		EP 1250105 A2	23-10-2002
		JP 2003523232 A	05-08-2003
		MX PA02006862 A	05-04-2004
		NO 20023369 A	09-09-2002
		PL 364876 A1	27-12-2004
		US 2005084826 A1	21-04-2005
		WO 0151005 A2	19-07-2001

WO 2006065955	A2	22-06-2006	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2015/074896

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. C07D471/04 A61K31/437 A01N43/40 A61P31/10 G06T7/00
 A61C7/00 A61C9/00
 ADD.

Selon la classification internationale des brevets (OIB) ou à la fois selon la classification nationale et la OIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

C07D A61K A61N A61P G06T A61C

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 01/51005 A2 (BRITESMILE INC [US]) 19 juillet 2001 (2001-07-19) page 4, ligne 1 - page 6, ligne 10 page 21, lignes 7-19 page 22, lignes 1-3 -----	1-10
A	WO 2006/065955 A2 (ORTHOCLER HOLDINGS INC; WEN HUAFENG [US]) 22 juin 2006 (2006-06-22) alinéas [0032], [0034], [0057], [0058], [0060], [0061] -----	1-10

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
 "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
 "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
 "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
 "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
 "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
 "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
 "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

17 décembre 2015

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

12/01/2016

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Kerner, Bodo

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2015/074896

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0151005	A2	19-07-2001	
		AU 4900601 A	24-07-2001
		BR 0016969 A	15-07-2003
		CA 2396913 A1	19-07-2001
		EP 1250105 A2	23-10-2002
		JP 2003523232 A	05-08-2003
		MX PA02006862 A	05-04-2004
		NO 20023369 A	09-09-2002
		PL 364876 A1	27-12-2004
		US 2005084826 A1	21-04-2005
		WO 0151005 A2	19-07-2001

WO 2006065955	A2	22-06-2006	AUCUN



(51) Classification internationale des brevets :
A61C 7/00 (2006.01) A61C 7/08 (2006.01)

d'Arleux, 59169 CANTIN (FR). DEBRAUX, Laurent ; 57,
rue des cascades, 75020 PARIS (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2017/059555

(74) Mandataire : NONY ; 11 rue Saint-Georges, 75009 PARIS
(FR).

(22) Date de dépôt international :
21 avril 2017 (21.04.2017)

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BZ, CA,
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK,
MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,
PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1653595 22 avril 2016 (22.04.2016) FR

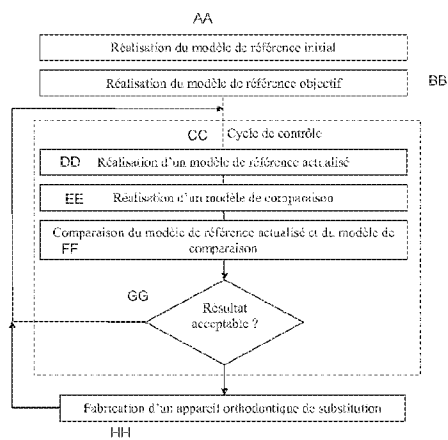
(71) Déposant : DENTAL MONITORING [FR/FR] ; 47, ave-
nue Hoche, 75008 PARIS (FR).

(72) Inventeurs : SALAH, Philippe ; 18, rue Edouard Vaillant,
93170 BAGNOLET (FR). AYACHE, William ; 18, rue
Ancelle, 92200 NEUILLY SUR SEINE (FR). SALAH,
Emmanuel ; 22, avenue Jules Jouy, 93600 AULNAY
SOUS BOIS (FR). GHYSELINCK, Guillaume ; 41, rue

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM,
KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM),
européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES,

(54) Title: DENTITION CONTROL METHOD

(54) Titre : PROCÉDE DE CONTROLE DE LA DENTITION



AA Production of the initial reference model
BB Production of the objective reference model
CC Control cycle
DD Production of an updated reference model
EE Production of a comparison model
FF Comparison of the updated reference model and the comparison model
GG Acceptable result?
HH Production of a substitution orthodontic appliance

(57) Abstract: A method for adapting an orthodontic appliance comprising the following steps: a') Producing an initial three-dimensional digital reference model of at least a part of a dental arcade of the patient; b') Producing, before step d'), an objective three-dimensional digital reference model corresponding to a positioning of the teeth of the patient, as desired at a treatment time; c') Acquiring at least one updated image and searching, by deforming the initial reference model, for an updated reference model; d') Determining, depending on the initial and/or objective reference model, a comparison model corresponding to a positioning of the teeth as anticipated for the time of said acquisition; e') Comparing the updated reference model with the comparison model.

(57) Abrégé : Procédé d'adaptation d'un appareil orthodontique comportant les étapes suivantes : a') Réalisation d'un modèle de référence initial tridimensionnel numérique d'au moins une partie d'une arcade du patient; b') Réalisation avant l'étape d') d'un modèle de référence objectif tridimensionnel numérique correspondant à un positionnement, souhaité à un instant du traitement, des dents du patient; c') Acquisition d'au moins une image actualisée et recherche, par déformation du modèle de référence initial, d'un modèle de référence actualisé; d') Détermination, en fonction du modèle de référence initial et/ou objectif, d'un modèle de comparaison correspondant à un positionnement des dents anticipé pour l'instant de ladite acquisition; e') Comparaison du modèle de référence actualisé avec le modèle de comparaison.

FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK,
MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

PROCEDE DE CONTROLE DE LA DENTITION

Domaine technique

La présente invention concerne un procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme et/ou de l'aspect de dents d'un patient et un programme informatique pour la mise en œuvre de ce procédé. L'invention concerne également un procédé d'adaptation d'un
5 appareil orthodontique porté par un patient.

Etat de la technique

Il est souhaitable que chacun fasse régulièrement contrôler sa dentition, notamment afin de vérifier que la position et/ou la forme et/ou l'aspect de ses dents n'évolue pas
10 défavorablement.

Lors d'un traitement orthodontique, cette évolution défavorable peut notamment conduire à modifier le traitement. Après un traitement orthodontique, cette évolution défavorable, appelée « récurrence », peut conduire à une reprise d'un traitement. Enfin, de manière plus générale et indépendamment de tout traitement, chacun peut souhaiter suivre les
15 déplacements éventuels et/ou le changement de forme et/ou d'aspect de ses dents.

Classiquement, les contrôles sont effectués par un orthodontiste ou un dentiste qui seuls disposent d'un appareillage adapté. Ces contrôles sont donc coûteux. En outre, les visites sont contraignantes.

US 2009/0291417 décrit un procédé permettant de créer, puis de modifier des modèles tridimensionnels, notamment pour la fabrication d'appareils orthodontiques.
20

Un objectif de la présente invention est de répondre, au moins partiellement, aux problèmes susmentionnés.

Résumé de l'invention

L'invention fournit un procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme de dents d'un patient, ledit procédé comportant les étapes suivantes :
25

- a) réalisation d'un modèle de référence tridimensionnel numérique d'au moins une partie d'une arcade, de préférence d'au moins une arcade du patient, ou « modèle de référence initial » et, de préférence, pour chaque dent, définition, à

- partir du modèle de référence initial, d'un modèle de référence tridimensionnel numérique de ladite dent, ou « modèle de dent » ;
- b) acquisition d'au moins une image bidimensionnelle des arcades du patient, dite « image actualisée », dans des conditions d'acquisition réelles ;
- 5 c) analyse de chaque image actualisée et réalisation, pour chaque image actualisée, d'une carte actualisée relative à une information discriminante ;
- d) optionnellement, détermination, pour chaque image actualisée, de conditions d'acquisition virtuelles grossières approximant lesdites conditions d'acquisition réelles ;
- 10 e) recherche, pour chaque image actualisée, d'un modèle de référence actualisé correspondant au positionnement et/ou à la forme des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée, la recherche étant de préférence effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé, et
- 15 f) pour chaque modèle de dent, comparaison des positionnements dudit modèle de dent dans le modèle de référence initial et dans le modèle de référence obtenu à l'issue des étapes précédentes, dit « modèle de référence actualisé », afin de déterminer le déplacement des dents entre les étapes a) et b), et/ou
- 20 comparaison des formes du modèle de référence initial et du modèle de référence obtenu à l'issue des étapes précédentes, dit « modèle de référence actualisé », afin de déterminer la déformation et/ou le déplacement de dents entre les étapes a) et b).

Comme on le verra plus en détail dans la suite de la description, un procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme de dents selon l'invention permet, à partir d'une simple

25 image des dents, prise sans pré-positionnement précis des dents par rapport à l'appareil d'acquisition d'images, par exemple d'une photographie prise par le patient, d'évaluer avec précision le déplacement et/ou la déformation des dents depuis la réalisation du modèle de référence initial. Cette évaluation peut en outre être effectuée par un simple ordinateur, un serveur ou un téléphone mobile.

De préférence, l'étape e) comporte :

- une première opération d'optimisation permettant de rechercher des conditions d'acquisition virtuelles correspondant au mieux aux conditions d'acquisition réelles dans un modèle de référence à tester déterminé à partir du modèle de référence initial, et
- 5 - une deuxième opération d'optimisation permettant de rechercher, en testant une pluralité de dits modèles de référence à tester, le modèle de référence correspondant au mieux au positionnement et/ou à la forme des dents du patient lors de l'acquisition de l'image actualisée à l'étape b).

De préférence, une première opération d'optimisation est effectuée pour chaque test d'un
10 modèle de référence à tester lors de la deuxième opération d'optimisation.

De préférence, la première opération d'optimisation et/ou la deuxième opération d'optimisation, de préférence la première opération d'optimisation et la deuxième opération d'optimisation mettent en œuvre une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence un recuit simulé.

15 De préférence, l'étape e) comporte les étapes suivantes :

- e1) définition d'un modèle de référence à tester comme étant le modèle de référence initial puis,
- e2) suivant les étapes suivantes, test de conditions d'acquisition virtuelles avec le modèle de référence à tester afin d'approximer finement lesdites
20 conditions d'acquisition réelles ;
- e21) détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester;
- e22) réalisation d'une image de référence bidimensionnelle du modèle de référence à tester dans lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- 25 e23) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de référence représentant, au moins partiellement, ladite information discriminante ;
- e24) comparaison des cartes actualisée et de référence de manière à déterminer une valeur pour une première fonction d'évaluation, ladite valeur pour la première fonction d'évaluation dépendant des
30 différences entre lesdites cartes actualisée et de référence et

- correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche de conditions d'acquisition virtuelles approximant lesdites conditions d'acquisition réelles avec plus d'exactitude que lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester déterminées à la dernière occurrence de l'étape e21) ;
- 5 e25) si ladite valeur pour la première fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification des conditions d'acquisition virtuelles à tester, puis reprise à l'étape e22) ;
- 10 e3) détermination d'une valeur pour une deuxième fonction d'évaluation, ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation dépendant des différences entre les cartes actualisée et de référence dans les conditions d'acquisition virtuelles approximant au mieux lesdites conditions d'acquisition réelles et résultant de la dernière occurrence de l'étape e2),
- 15 ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche d'un modèle de référence approximant la forme et/ou le positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée avec plus d'exactitude que ledit modèle de référence à tester utilisé à la dernière occurrence de l'étape e2), et si ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation correspond
- 20 à une décision de poursuivre ladite recherche, modification du modèle de référence à tester par déformation du modèle de référence à tester et/ou par déplacement et/ou déformation d'un ou plusieurs modèles de dents, puis reprise à l'étape e2).
- 25 Un procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme de dents selon l'invention peut encore comporter une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :
- à l'étape a), on détermine un plan d'occlusion suivant les opérations suivantes :
 - I. détermination des points du modèle de référence initial qui appartiennent à une arcade et qui sont à une distance de l'autre arcade qui est inférieure à
 - 30 une distance prédéterminée, de préférence à une distance inférieure à 3 mm de l'autre arcade, dits « points de contact » ;

- II. optionnellement, filtrage d'une partie des points de contact, de préférence de manière que le nombre de points de contact appartenant à l'arcade supérieure soit identique au nombre de points de contact appartenant à l'arcade inférieure, de préférence en éliminant les points d'une arcade les plus éloignés de l'autre arcade ;
- 5 III. régression linéaire, de préférence par la méthode des moindres carrés, sur l'ensemble des points de contact restant de manière à déterminer le plan d'occlusion ;
- à l'étape a), on effectue les opérations suivantes :
- 10 i. projection, dans un plan d'occlusion, des points de contact entre les dents des arcades supérieure et inférieure du patient, les points de contact et/ou le plan d'occlusion étant de préférence déterminés, suivant les étapes I à III ;
- 15 ii. détermination du barycentre des projections desdits points de contact et création d'un référentiel, dans le plan d'occlusion, centré sur ledit barycentre ;
- iii. détermination, dans ledit référentiel, de la fonction parabolique, présentant le plus grand coefficient de corrélation avec l'ensemble des projections des points de contact ;
- 20 iv. rotation de l'ensemble des projections des points de contact autour du barycentre, et reprise de l'opération précédente *iii* jusqu'à ce que l'ensemble des projections des points de contact ait parcouru un secteur déterminé, de préférence supérieur à 90° , supérieur à 180° , voire d'environ 360° ;
- 25 v. identification du coefficient de corrélation le plus élevé pour l'ensemble des positions angulaires de l'ensemble des projections des points de contact autour du barycentre, et de l'axe de la fonction parabolique correspondante ;
- vi. détermination d'un plan longitudinal médian du modèle de référence initial,
- 30 ledit plan passant par ledit axe et étant perpendiculaire au plan d'occlusion ;

- à l'étape a), on délimite au moins partiellement un modèle de dent en suivant les opérations suivantes :
- i'. détermination, au moins partielle, des bords gingivaux intérieur et extérieur de l'arcade de la dent concernée, de préférence par analyse des variations de l'orientation de la surface du modèle de référence initial ;
 - ii'. projection, dans le plan d'occlusion, des bords gingivaux intérieur et extérieur ;
 - iii'. identification des déformations des projections des bords gingivaux intérieur et extérieur correspondant aux régions interdentaires, les sommets de ces déformations étant appelés « point de rapprochement » (dans une région interdentaire, les deux projections présentent chacune une pointe, les deux pointes pointant sensiblement l'une vers l'autre, l'extrémité d'une pointe étant un point de rapprochement) ;
 - iv'. détermination du plus court chemin, à la surface du modèle de référence initial, entre deux points de rapprochement de bords gingivaux intérieur et extérieur, respectivement, d'une région interdentaire, de préférence par une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé, ledit plus court chemin délimitant au moins partiellement un modèle de dent ;
- une image actualisée est acquise moins de 7 jours après l'étape a), puis les étapes c) à f) sont mises en œuvre à partir de cette image actualisée ;
- l'intervalle de temps entre les étapes a) et b) ou entre les étapes A et B peut être supérieur à 1 semaine, à 2 semaines, à 1 mois, à 2 mois ou à 6 mois ;
- à l'étape b), on utilise un appareil d'acquisition porté à la main (et en particulier qui n'est pas immobilisé, par exemple au moyen d'un support reposant sur le sol) et/ou la tête du patient n'est pas immobilisée ;
- on utilise un appareil individuel choisi dans le groupe formé par un appareil photo connecté, une montre intelligente, une tablette numérique, un scanner 3D portable et un ordinateur couplé un système d'acquisition d'images, telle une webcam ou un appareil photo numérique, pour mettre en œuvre l'étape b) et, de préférence au moins une des étapes, de préférence toutes les étapes c) à f) ;

- à l'étape b), on utilise un écarteur comportant une, de préférence plus de deux marques de repérage, de préférence non alignées, et, de préférence, on utilise la représentation des marques de repérage sur l'image actualisée pour
 - à l'étape c), redécouper l'image et/ou,
- 5 - à l'étape d), évaluer grossièrement les conditions d'acquisition réelles ;
- à l'étape c), l'information discriminante est choisie dans le groupe constitué par une information de contour, une information de couleur, une information de densité, une information de distance, une information de brillance, une information de saturation, une information sur les reflets et des combinaisons de ces informations ;
- 10 - à l'étape c), l'information discriminante est une information discriminante optimale obtenue au moyen d'un procédé d'optimisation selon l'invention, décrit ci-après ;
- à l'étape d), on utilise des données fournies par l'appareil d'acquisition et, de préférence, concernant son orientation ;
- à l'étape e2), les conditions d'acquisition virtuelles recherchées comprennent des paramètres de calibration de l'appareil d'acquisition mis en œuvre à l'étape b) ;
- 15 - on met en œuvre une optimisation par une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé pour :
 - à l'étape a), déterminer au moins partiellement un bord gingival délimitant un modèle de dent, et/ou
- 20 - à l'étape e2), rechercher les conditions d'acquisition virtuelles correspondant aux conditions d'acquisition réelles, et/ou
- à l'étape e), rechercher un modèle de référence correspondant à l'image actualisée ;
- ladite méthode métaheuristique est choisie dans le groupe formé par
- 25 - les algorithmes évolutionnistes, de préférence choisie parmi: les stratégies d'évolution, les algorithmes génétiques, les algorithmes à évolution différentielle, les algorithmes à estimation de distribution, les systèmes immunitaires artificiels, la recombinaison de chemin Shuffled Complex Evolution, le recuit simulé, les algorithmes de colonies de fourmis,
- 30 les algorithmes d'optimisation par essais particuliers, la recherche avec tabous, et la méthode GRASP ;

- l'algorithme du kangourou,
- la méthode de Fletcher et Powell,
- la méthode du bruitage,
- la tunnelisation stochastique,
- 5 - l'escalade de collines à recommencements aléatoires,
- la méthode de l'entropie croisée, et
- les méthodes hybrides entre les méthodes métaheuristiques citées ci-dessus ;
- à partir de la comparaison à l'étape f), on produit une cartographie faisant apparaître les changements de forme du modèle de référence initial et/ou le déplacement d'un ou
- 10 plusieurs modèles de dent ;
- l'information discriminante utilisée pour la carte actualisée et/ou pour la carte de référence est, préalablement à cette utilisation, optimisée au moyen d'un procédé d'optimisation selon l'invention décrit ci-après, comportant des étapes C1. à C3., l'image acquise étant l'image actualisée ou l'image de référence, respectivement, et le
- 15 modèle de référence étant le modèle de référence initial ou le modèle de référence à tester, respectivement.

L'invention concerne aussi l'utilisation d'un procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention pour

- détecter une récurrence, et/ou
- 20 - déterminer une vitesse d'évolution d'un changement de positionnement des dents, et/ou
- optimiser la date de prise de rendez-vous chez un orthodontiste ou un dentiste, et/ou
- évaluer l'efficacité d'un traitement orthodontique, et/ou
- 25 - évaluer l'évolution du positionnement de dents vers un modèle théorique correspondant à un positionnement déterminé des dents, en particulier un positionnement amélioré des dents, et/ou
- en dentisterie.

Le procédé peut notamment être mis en œuvre pendant un traitement orthodontique, notamment pour en contrôler le déroulement, l'étape a) étant mise en œuvre moins de 3

30 mois, moins de 2 mois, moins de 1 mois, moins d'une semaine, moins de 2 jours après le

début du traitement, c'est-à-dire après la pose d'un appareil destiné à corriger le positionnement des dents du patient, dit « appareil de contention actif ».

Le procédé peut être également mis en œuvre après un traitement orthodontique, pour vérifier que le positionnement des dents n'évolue pas de façon défavorable (« récidive »).

- 5 L'étape a) est alors de préférence mise en œuvre moins de 3 mois, moins de 2 mois, moins de 1 mois, moins d'une semaine, moins de 2 jours après la fin du traitement, c'est-à-dire après la pose d'un appareil destiné maintenir les dents en position, dit « appareil de contention passif ».

- 10 Dans un mode de réalisation, pour contrôler exclusivement le déplacement des dents, on considère que les modèles de dents sont indéformables lors de l'étape e). En particulier, à l'étape e3), le modèle de référence à tester ne peut être modifié que par déplacement d'un ou plusieurs modèles de dents.

L'invention concerne encore un procédé d'adaptation d'un appareil orthodontique en fonction de résultats obtenus avec ledit appareil orthodontique.

- 15 Classiquement, au début d'un traitement orthodontique, l'orthodontiste détermine le positionnement des dents qu'il souhaite obtenir à l'issue du traitement, dit "set-up final". Le set-up final peut être défini au moyen d'une empreinte ou à partir d'un scan tridimensionnel des dents du patient. L'orthodontiste fabrique alors, en conséquence, un appareil orthodontique adapté à ce traitement.

- 20 A intervalles réguliers, le patient se déplace chez l'orthodontiste pour un contrôle visuel. En fonction de son diagnostic, l'orthodontiste modifie éventuellement l'appareil orthodontique.

- Par exemple, dans le cas où l'appareil orthodontique est un appareil comportant un arc orthodontique métallique attaché aux dents, il peut modifier la tension exercée par l'arc orthodontique. Le cas échéant, il peut également faire fabriquer un nouvel appareil orthodontique mieux ajusté.

- L'appareil orthodontique peut être une gouttière (« aligner » en anglais). Une gouttière orthodontique se présente classiquement sous la forme un appareil monobloc amovible, classiquement en un matériau polymère transparent, qui comporte une goulotte conformée pour que plusieurs dents d'une arcade, généralement toutes les dents d'une arcade, puissent
- 30

y être logées. La forme de la goulotte est adaptée pour maintenir en position la gouttière sur les dents, tout en exerçant une action de correction de la position de certaines dents.

Le traitement au moyen de gouttières est avantageusement moins contraignant pour le patient. En particulier, le nombre de rendez-vous chez l'orthodontiste est limité. En outre,
5 la douleur est plus faible qu'avec un arc orthodontique métallique attaché aux dents.

Le marché des gouttières orthodontiques est donc en croissance.

Dans le cas où l'appareil orthodontique est une gouttière, on détermine classiquement, au début du traitement, les formes que doivent prendre les différentes gouttières à différents moments du traitement, puis on fait fabriquer l'ensemble des gouttières correspondantes. A
10 des instants prédéterminés, le patient change de gouttière. Des contrôles peuvent être effectués à intervalles réguliers. Si l'orthodontiste diagnostique une inadaptation du traitement, il effectue une nouvelle empreinte des dents, ou, de manière équivalente, un nouveau scan tridimensionnel des dents, puis commande une nouvelle série de gouttières. On considère qu'en moyenne, le nombre de gouttières finalement fabriquées est d'environ
15 45, au lieu des 20 gouttières classiquement prévues au début du traitement.

WO2008/149221 décrit un procédé permettant de détecter une dérive dans le traitement. Cette dérive peut être mesurée en comparant des modèles numériques des dents du patient. En cas de dérive, le traitement peut être recalculé. WI 2008/149221 ne suggère cependant aucune solution permettant d'obtenir une mesure précise de la dérive sans rendez-vous
20 chez l'orthodontiste.

La nécessité de devoir se déplacer chez l'orthodontiste est une contrainte pour le patient. La confiance du patient en son orthodontiste peut être également entamée. Enfin, il en résulte un coût supplémentaire.

Le nombre de contrôles chez l'orthodontiste doit donc être limité.

25 Un but de l'invention est de répondre, au moins partiellement, à ce problème.

L'invention propose un procédé d'adaptation d'un appareil orthodontique porté par un patient, le procédé comportant les étapes suivantes :

a') Réalisation d'un modèle de référence initial d'au moins une partie d'une arcade, de préférence d'au moins une arcade, de préférence des deux arcades du patient,
30 conformément à l'étape a) ;

- b') Indépendamment des étapes a') et c'), mais avant l'étape d'), réalisation d'un modèle de référence tridimensionnel numérique, dit "modèle de référence objectif", correspondant à un positionnement, souhaité à un instant du traitement, en particulier souhaité à la fin du traitement avec ledit appareil orthodontique, des dents de ladite au moins une partie de ladite arcade du patient ;
- c') Acquisition d'au moins une image actualisée, dans des conditions d'acquisition réelles, et recherche, par déformation du modèle de référence initial, d'un modèle de référence actualisé correspondant au positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée, la recherche étant de préférence effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé, de préférence conformément aux étapes b) à e) ;
- d') Détermination, en fonction du modèle de référence initial et/ou du modèle de référence objectif, d'un modèle de comparaison dans lequel les dents du modèle de référence initial sont dans un positionnement anticipé, de préférence tel que prévu sensiblement pour l'instant de l'acquisition réalisée à l'étape c') ;
- e') Comparaison du modèle de référence actualisé avec le modèle de comparaison ;
- f') Si, à l'étape c'), ladite comparaison aboutit à un résultat insatisfaisant, fabrication d'un appareil orthodontique de substitution, par modification de l'appareil orthodontique porté ou par fabrication d'un nouvel appareil orthodontique, l'appareil orthodontique de substitution étant configuré en fonction dudit résultat.

L'appareil orthodontique de substitution est conçu en fonction des résultats de la comparaison entre un positionnement réel des dents, évalué au moyen du modèle de référence actualisé, et un positionnement anticipé, correspondant au modèle de comparaison. L'appareil orthodontique de substitution est configuré au moment du cycle de contrôle (étapes c') à f')) et peut donc être bien adapté à la réalité du traitement.

Avantageusement, le cycle de contrôle peut être fait à distance, à partir de simples photographies prises par un téléphone mobile, sans que le patient ait à se déplacer, chez l'orthodontiste en particulier. Comme on le verra plus en détail dans la suite de la description, la fabrication du modèle de référence actualisé à l'étape c') est en effet possible sans précaution particulière, notamment parce que le positionnement réel des dents est mesuré avec un modèle de référence actualisé qui résulte d'une déformation du modèle de référence initial afin qu'il corresponde aux observations fournies par les images actualisées,

c'est-à-dire afin que les images actualisées soient des vues du modèle de référence initial déformé.

Le patient et/ou l'orthodontiste peuvent donc facilement évaluer le traitement, et en particulier l'efficacité de l'appareil orthodontique porté par le patient, sans avoir besoin de
5 se déplacer chez un orthodontiste. L'étape c') peut donc être répétée autant que souhaité.

En outre, il devient possible, en pratique, de ne prévoir un rendez-vous chez l'orthodontiste que lorsque la comparaison de l'étape e') aboutit à un résultat insatisfaisant et qu'un appareil orthodontique de substitution doit être fabriqué.

Par ailleurs, la précision du modèle de référence initial permet d'obtenir un modèle de
10 référence actualisé également très précis, sans qu'un nouveau scan des dents ne soit nécessaire. Les essais effectués ont montré que les images actualisées, et en particulier les photographies prises à l'étape c') suffisent pour déterminer, avec précision, la déformation à appliquer au modèle de référence initial. La position des dents représentées sur les images actualisées déterminée par déformation du modèle de référence initial par analyse
15 des images actualisées correspond avec une très grande précision à la réalité mesurée.

Pour améliorer encore la précision, on utilise de préférence plusieurs images actualisées.

Le modèle de référence actualisé est avantageusement exclusivement déterminé à partir d'informations relatives au patient, indépendamment de toute considération statistique sur des traitements orthodontiques de tiers. Le modèle de référence actualisé est ainsi
20 spécifique au patient.

L'invention repose donc sur la possibilité de combiner deux sources d'informations de natures différentes, à savoir un modèle de référence initial précis mais n'apportant aucune information sur le déplacement des dents, et une ou plusieurs images actualisées comportant peu d'informations sur le positionnement précis des dents mais dont l'analyse
25 permet, au moyen du modèle de référence initial, de déterminer avec précision le déplacement des dents représentées depuis l'instant auquel le modèle de référence initial a été créé. De préférence, la déformation du modèle est effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique par laquelle l'image actualisée est comparée à une succession de modèles de référence obtenus par déformation du modèle de référence initial, le modèle le plus
30 proche de l'image actualisée, c'est-à-dire permettant une observation dudit modèle

correspondant à l'image actualisée, étant retenu pour constituer le modèle de référence actualisé.

Dans le cas d'un traitement orthodontique au moyen de gouttières, le procédé permet également de limiter le nombre de gouttières fabriquées. Les gouttières peuvent être en particulier fabriquées tout au long du traitement, ce qui leur permet d'être parfaitement
5 adaptées à la situation réelle au moment où elles doivent être utilisées.

Enfin, le coût et la durée de traitement en sont réduits.

Le procédé d'adaptation peut encore comporter, notamment, une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :

- 10 – le modèle de comparaison peut être en particulier le modèle de référence objectif ou, de préférence, un modèle tridimensionnel numérique fournissant une estimation du positionnement, prévu pour un instant intermédiaire, des dents du modèle de référence initial, dit "modèle de référence intermédiaire" ;
- de préférence, le modèle de comparaison correspond à un positionnement des dents
15 anticipé sensiblement pour l'instant de ladite acquisition. De préférence, il fournit une estimation du positionnement, prévu pour un instant intermédiaire, des dents du modèle de référence initial, la durée entre ledit instant intermédiaire et l'instant de l'acquisition réalisée à l'étape c') étant inférieur à 1 mois, de préférence inférieur à 1 semaine, de préférence inférieur à 24 heures ;
- 20 – le procédé comporte plus de 2, plus de 5, plus de 10, voire plus de 20 cycles de contrôle, chaque cycle de contrôle étant constitué par une exécution des étapes c') à f') ;
- à l'étape d'), le modèle de comparaison est déterminé en fonction de modèles de référence actualisés déterminés lors d'une ou plusieurs étapes c') de cycles de contrôle antérieurs au cycle de contrôle comportant ladite étape d'), en particulier en fonction du
25 ou des modèles de référence actualisés déterminés lors d'étapes c') de cycles de contrôle précédant immédiatement le cycle de contrôle comportant ladite étape d') ;
- à l'étape c'), ladite image actualisée est acquise au moyen d'un téléphone du patient, la recherche du modèle de référence actualisé est de préférence réalisée au moyen dudit téléphone, et le modèle de référence actualisé est transmis, par ledit téléphone, à un
30 orthodontiste ;

- avant chaque date prévue pour une étape c'), de préférence moins de 3 semaines, de préférence moins de 2 semaines, de préférence moins d'une semaine avant ladite date, on envoie un message de rappel au patient, de préférence sur son téléphone, afin qu'il effectue ladite étape c') ;
- 5 - les étapes c') à e') de chaque cycle de contrôle sont effectuées « à distance », c'est-à-dire sans que le patient se déplace chez l'orthodontiste ;
- à l'étape d'), le modèle de comparaison est déterminé en fonction de valeurs de paramètres de l'appareil orthodontique porté ;
- à l'étape e'), on établit, à partir de ladite comparaison, un rapport fournissant des
10 informations de diagnostic et/ou des préconisations pour modifier le traitement du patient ;
- à l'étape e'),
 - on établit, à partir de ladite comparaison, un score, dit « actualisé », représentatif de l'efficacité du traitement, et,
 - 15 - de préférence, on compare ledit score actualisé à un score de référence représentatif de l'efficacité d'un traitement standard équivalent et on présente au patient le résultat de la comparaison entre les scores actualisé et de référence ;
- à l'étape f'), on modifie la tension d'un arc orthodontique de l'appareil orthodontique porté et/ou on change un arc orthodontique de l'appareil orthodontique porté et/ou on
20 fabrique une gouttière orthodontique pour remplacer l'appareil orthodontique porté ;
- à l'étape f'), on détermine plusieurs traitements potentiels permettant d'atteindre un positionnement des dents correspondant au modèle de référence objectif, on présente lesdits traitements potentiels au patient et/ou à un orthodontiste de manière qu'il(s) choisisse(nt) un desdits traitements potentiels, puis on fabrique ledit appareil
25 orthodontique de substitution correspondant au traitement choisi ;
- à l'étape f'), le patient détermine si le résultat est insatisfaisant ;
- l'appareil orthodontique porté est une première gouttière, et l'appareil orthodontique de substitution est une deuxième gouttière et, de préférence, on envoie ladite deuxième gouttière au patient.

L'invention concerne également un procédé d'évaluation du comportement d'un appareil orthodontique comportant

- 5 – une mise en œuvre, à plusieurs reprises, d'un procédé d'adaptation selon l'invention, avec ledit appareil orthodontique et/ou des appareils orthodontiques du même type,
- pour chaque occurrence du procédé d'adaptation, une collecte de données, lesdites données comportant au moins le modèle de référence initial et/ou le modèle de référence objectif, d'une part, et un ou plusieurs modèles de référence actualisés d'autre part, ainsi que des valeurs de paramètres de l'appareil orthodontique porté
10 par le patient pendant ladite occurrence,
- une analyse statistique desdites données de manière à établir une corrélation entre un paramètre du ou des appareils orthodontiques porté(s) pendant lesdites occurrences et le comportement du ou desdits appareils orthodontiques porté(s).

En facilitant les contrôles, le procédé d'adaptation selon l'invention permet la collecte d'un
15 grand nombre de données sur l'action des appareils orthodontiques. Avantageusement, il rend possible une exploitation statistique de ces données.

Le procédé d'évaluation du comportement d'un appareil orthodontique peut encore comporter, notamment, une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :

- 20 – ledit procédé d'adaptation est mis en œuvre plus de 10, de préférence plus de 100, de préférence plus de 1 000, de préférence plus de 10 000, de préférence plus de 100 000 fois, c'est-à-dire pour un grand nombre de patients ;
- après ladite analyse statistique, on utilise les résultats de ladite analyse statistique pour optimiser :
 - 25 – la conception d'un appareil orthodontique, et/ou
 - le choix d'un appareil orthodontique pour un traitement particulier, et/ou
 - l'établissement d'un diagnostic, et/ou
 - la fabrication d'un appareil orthodontique de substitution, et/ou
 - la détermination d'un modèle prédictif pour fabriquer un modèle de comparaison.

30 L'invention concerne encore un procédé de suivi de l'efficacité d'un appareil orthodontique porté par un patient, le procédé comportant les étapes suivantes :

- a") Réalisation d'un modèle de référence initial d'au moins une partie d'une arcade, de préférence d'au moins une arcade, de préférence des deux arcades du patient, conformément à l'étape a) ;
- 5 b") Acquisition d'au moins une image actualisée, dans des conditions d'acquisition réelles, et recherche, par déformation du modèle de référence initial, d'un modèle de référence actualisé correspondant au positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée, la recherche étant de préférence effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé, de préférence
- 10 conformément aux étapes b) à e) ;
- c") détermination, pour au moins un point d'une dent, de la valeur d'au moins un paramètre de positionnement dans le modèle de référence actualisé ;
- d") répétition du cycle des étapes b'') et c'') et, à chaque cycle, représentation graphique de ladite valeur dudit paramètre de positionnement de manière à
- 15 visualiser l'évolution temporelle de ladite valeur.

Un paramètre de positionnement est un paramètre utile pour déterminer la position ou l'orientation d'une dent. Par exemple, x , y et z sont des paramètres de positionnement dans un référentiel Oxyz cartésien. La coordonnée radiale, souvent notée r ou ρ , et appelée rayon, la coordonnée angulaire, également appelée angle polaire ou azimut, et souvent

20 notée t ou θ , et la hauteur, souvent notée h ou z , sont des paramètres de positionnement dans un référentiel cylindrique. Les valeurs de ces paramètres de positionnement permettent de définir la position d'un point dans l'espace.

Un procédé de suivi de l'efficacité d'un appareil orthodontique permet de visualiser la dynamique de déplacement d'au moins un point d'une dent. De préférence, ce point est un

25 point remarquable, choisi pour être représentatif de l'intensité de l'action de l'appareil orthodontique.

Le point de la dent est de préférence le barycentre de la dent. Il peut être également, par exemple, le centre de la face vestibulaire de la couronne.

Le paramètre de positionnement est de préférence choisi en fonction de l'action souhaitée

30 pour l'appareil orthodontique.

La représentation graphique, de préférence une courbe, l'échelle du temps étant de préférence linéaire, permet immédiatement de percevoir la dynamique de l'action de l'appareil orthodontique. En particulier, le constat que la courbe croît ou décroît moins vite à mesure que le temps s'écoule, peut être interprété comme signifiant que l'appareil
5 orthodontique perd de son efficacité.

Une telle courbe est particulièrement simple à comprendre, ce qui rend son utilisation possible par le patient lui-même.

Dans un mode de réalisation préféré, la représentation graphique comporte des indications sur le caractère satisfaisant ou insatisfaisant de ladite évolution. Par exemple, la courbe
10 peut changer de couleur si la pente est considérée comme anormale. De préférence, la courbe peut être affichée sur un appareil d'acquisition, de préférence sur un téléphone mobile, ayant servi à ladite acquisition. En particulier, elle peut être visualisable par le patient. Avantageusement, le patient peut ainsi décider de lui-même, au moment le plus opportun, de prendre des mesures pour modifier ou changer son appareil orthodontique,
15 par exemple de prendre rendez-vous chez l'orthodontiste.

L'invention concerne encore un document, électronique ou papier, présentant ladite représentation graphique.

Dans un mode de réalisation, le nombre de paramètres de positionnement dont l'évolution est représentée graphiquement est inférieur à 10, de préférence inférieur à 5, de préférence
20 inférieur à 4, de préférence inférieur à 3, de préférence inférieur à 2. Dans un mode de réalisation, le nombre de points de dent pour lesquels l'évolution d'un ou plusieurs paramètres de positionnement est représentée graphiquement est inférieur à 10, de préférence inférieur à 5, de préférence inférieur à 4, de préférence inférieur à 3, de préférence inférieur à 2. La prise de décision en est facilitée.

25 La réduction du nombre de paramètres de positionnement dont l'évolution est représentée graphiquement et du nombre de points de dents exige cependant un choix approprié de ces paramètres et de ces points de dent.

L'invention concerne aussi l'utilisation d'un procédé de contrôle de la forme de dents selon l'invention pour :

- 30 - visualiser et/ou mesurer et/ou détecter une plaque dentaire, et/ou un début de carie, et/ou une microfissure, et/ou une usure, par exemple résultant de bruxisme

ou de la mise en œuvre d'un appareil orthodontique, actif ou passif, notamment en cas de rupture ou de détachement d'un arc orthodontique ;

- 5 - visualiser et/ou mesurer et/ou détecter un changement de volume, en particulier lors de la croissance des dents ou suite à une intervention d'un dentiste ou d'un orthodontiste, par exemple un dépôt de colle à la surface des dents ;
- évaluer l'opportunité d'un traitement interceptif, avant tout traitement orthodontique, notamment pour évaluer l'intérêt d'un traitement orthodontique.

Dans un mode de réalisation, pour contrôler exclusivement la déformation des dents, on considère, lors de l'étape e), que les modèles de dents sont fixes, c'est-à-dire ne se sont pas
10 déplacés entre les étapes a) et b). En particulier, à l'étape e3), le modèle de référence à tester ne peut être modifié que par déformation d'un ou plusieurs modèles de dents.

La comparaison des formes du modèle de référence initial et du modèle de référence actualisé afin de déterminer la déformation de dents entre les étapes a) et b) peut en particulier résulter d'une comparaison de la forme d'un ou plusieurs modèles de dent dans
15 le modèle de référence initial et dans le modèle de référence actualisé.

L'invention concerne encore un procédé de contrôle d'une propriété d'aspect de dents d'un patient, ledit procédé comportant les étapes successives suivantes :

- 20 A. acquisition, au moyen d'un premier appareil d'acquisition, d'au moins une première image bidimensionnelle desdites dents et d'une première jauge de référence, dite « image initiale » ;
- B. acquisition, au moyen d'un deuxième appareil d'acquisition, d'au moins une deuxième image bidimensionnelle desdites dents et d'une deuxième jauge de référence présentant un même aspect que la première jauge de référence, dite
25 « image actualisée » ;
- C. normalisation des images initiale et actualisée de manière que les représentations des première et deuxième jauges de référence sur les images initiale et actualisée normalisées présentent un même aspect ;
- 30 D. avant ou après l'étape C., repérage d'une même région des dents sur les images initiale et actualisée ;

E. comparaison de l'aspect de ladite région sur les images initiale et actualisée normalisées.

Un procédé de contrôle d'une propriété d'aspect de dents selon l'invention comporte de préférence une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :

- 5 - l'intervalle de temps entre les étapes A. et B. est supérieur à 1 semaine ;
- le premier appareil d'acquisition et/ou le deuxième appareil d'acquisition sont des appareils photo et/ou des téléphones mobiles ;
- les acquisitions aux étapes A. et/ou B. sont effectuées sous l'éclairage d'un flash ;
- les jauges de référence utilisées pour chacune des étapes A. et B. présentent un même
10 aspect ;
- les jauges de référence utilisées pour chacune des étapes A. et B. sont fixées sur un écarteur dentaire ;
- les acquisitions aux étapes A. et/ou B. sont effectuées au moyen d'un kit d'acquisition selon l'invention, décrit ci-après ;
- 15 - les jauges de référence utilisées pour chacune des étapes A. et B. sont des marques de repérage ;
- le premier appareil d'acquisition et/ou le deuxième appareil d'acquisition comporte un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour repérer, en temps réel, la ou les marques de repérage sur l'écarteur, analyser sa ou leurs
20 positions et/ou dimensions, en particulier les positions relatives de plusieurs marques de repérage et, en conséquence, fournir une information, de préférence lumineuse ou sonore, de manière à informer l'utilisateur dudit appareil d'acquisition ;
- à l'étape D., le repérage comprend une comparaison d'informations discriminantes communes aux deux images initiale et actualisée, puis une identification de la position
25 de ladite région par rapport aux dites informations discriminantes communes ;
- à l'étape D., le repérage de la région sur les images initiale et/ou actualisée comprend une recherche de conditions d'acquisition virtuelles dans lesquelles le premier et/ou deuxième appareil d'acquisition, respectivement, aurait acquis ladite image initiale et/ou actualisée, respectivement, en observant un modèle de référence tridimensionnel
30 numérique des arcades du patient.

- à l'étape D., le repérage de la région sur les images initiale et/ou actualisée comprend la mise en œuvre d'un procédé d'évaluation des conditions d'acquisition réelles selon l'invention, décrit ci-après.

5 L'invention concerne également un kit d'acquisition, notamment pour la mise en œuvre d'une étape b), A. ou B., ledit kit d'acquisition comportant :

- un écarteur dentaire destiné à être placé dans la bouche d'un patient et comportant une marque de repérage ;
- un appareil d'acquisition d'images comportant ;
- 10 - un écran de visualisation,
- une mémoire informatique contenant des informations sur des conditions d'acquisition cibles,
- un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour afficher simultanément, sur ledit écran, une image
- 15 acquérable et une référence, ladite référence étant dans une position telle que, lorsque la marque de repérage correspond à la référence sur l'écran, l'appareil d'acquisition respecte les conditions d'acquisition cibles.

Un kit d'acquisition selon l'invention peut notamment être mis en œuvre à l'étape b) d'un procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme des dents selon l'invention, ou

20 aux étapes A. et/ou B. d'un procédé de contrôle d'une propriété d'aspect de dents, et plus généralement pour tout procédé comportant une évaluation des conditions d'acquisition d'une image.

Comme on le verra plus en détail dans la suite de la description, un kit d'acquisition selon l'invention permet en particulier de positionner l'appareil d'acquisition dans une position

25 qui correspond sensiblement à une position prédéterminée, par exemple considérée comme optimale pour le contrôle souhaité. Un kit d'acquisition selon l'invention permet donc d'améliorer considérablement la rapidité du traitement des informations pour la mise en œuvre des procédés de contrôle selon l'invention.

Un kit d'acquisition selon l'invention présente de préférence une ou plusieurs des

30 caractéristiques optionnelles suivantes :

- l'appareil d'acquisition est un téléphone mobile ;

- la référence est choisie dans le groupe constitué par
 - un point,
 - une forme géométrique, de préférence un cercle, un carré, un rectangle ou une ligne,
 - 5 - une zone colorée de la même couleur que ladite marque de repérage,
 - une forme identique à la forme de ladite marque de repérage,
 - une forme complémentaire à la forme de ladite marque de repérage, en particulier pour constituer une forme ayant un sens, comme une forme géométrique, une lettre ou un texte, un dessin, ou un motif, et
 - 10 - leurs combinaisons ;
 - l'écarteur comporte plusieurs marques de repérage non alignées et, de préférence coplanaires ;
 - la marque de repérage est disposée de manière que, lorsqu'elle correspond à ladite référence sur l'écran, elle est à moins de 1 cm d'un bord de l'écran.
- 15 L'invention concerne aussi un procédé d'acquisition d'une image bidimensionnelle d'une partie d'une arcade dentaire, ou d'une arcade dentaire ou des deux arcades dentaires d'un patient au moyen d'un kit d'acquisition selon l'invention, notamment pour la mise en œuvre d'une étape b), A. et/ou B.. Ce procédé est remarquable en ce qu'il comporte les étapes successives suivantes :
- 20 (a) détermination de conditions d'acquisition cibles, par exemple en fonction d'un traitement à appliquer, en particulier d'un traitement orthodontique, et détermination de conditions de correspondance adaptées pour qu'une mise en correspondance d'une marque de repérage de l'écarteur avec une référence affichée sur l'écran de l'appareil d'acquisition résulte dans
 - 25 l'application des conditions d'acquisition cibles;
 - (b) programmation de l'appareil d'acquisition de manière à afficher la référence dans une position telle que ladite mise en correspondance résulte en l'application des conditions d'acquisition cibles ;
 - (c) mise en place de l'écarteur dans la bouche du patient ;
 - 30 (d) positionnement de l'appareil d'acquisition de manière à faire correspondre la marque de repérage et la référence et ainsi appliquer les conditions d'acquisition cibles ;

(e) acquisition de l'image acquérable dans le positionnement de l'appareil d'acquisition adopté à l'étape précédente.

Les conditions d'acquisition cibles sont les conditions permettant un positionnement adapté de l'appareil d'acquisition, de préférence un positionnement optimal de l'appareil d'acquisition pour acquérir l'image. De préférence, les conditions d'acquisition cibles sont donc déterminées en fonction des dents à observer.

De préférence un procédé d'acquisition selon l'invention est mis en œuvre pour les étapes des procédés de contrôle selon l'invention nécessitant l'acquisition d'une image bidimensionnelle d'une partie d'une arcade ou d'une arcade dentaire ou des deux arcades dentaires d'un patient, en particulier pour les étapes b).

De préférence, le cycle des étapes (a) à (e) est répété plusieurs fois, de préférence plus de deux fois, voire plus de trois fois, avec des conditions d'acquisition cibles différentes.

Par exemple, pour mesurer le déplacement d'une dent, des premières conditions d'acquisition cibles pourront correspondre à un positionnement à 40 cm de l'écarteur, en face et à hauteur de l'écarteur. Des deuxièmes et troisièmes conditions d'acquisition cibles pourront correspondre à un positionnement à 40 cm de l'écarteur, à hauteur de l'écarteur, à 45° à droite et à gauche du plan sagittal, respectivement.

De préférence, les étapes (c), (d) et (e) sont exécutées par une personne sans formation universitaire à l'orthodontie et/ou en dehors de tout cabinet médical, de dentisterie ou d'orthodontie, et/ou sans recours à un dispositif de stabilisation mécanique de l'appareil d'acquisition et/ou sans recours à d'autres appareils qu'un téléphone mobile et/ou sans recours à une jauge étalon de calibration.

L'invention concerne aussi un procédé d'optimisation d'une information discriminante extraite d'une image bidimensionnelle des arcades dentaires d'un patient, dite « image acquise », au moyen d'un modèle de référence tridimensionnel numérique d'au moins une partie d'une arcade du patient, ou d'une arcade ou des deux arcades du patient ledit procédé comportant les étapes suivantes :

C1. évaluation de la qualité de l'information discriminante et d'un seuil de qualité, filtrage de manière à ne retenir que de l'information discriminante présentant

une qualité supérieure au seuil de qualité, et définition de « l'information discriminante à tester » comme étant l'information discriminante retenue ;

C2. test d'une concordance entre l'information discriminante à tester et ledit modèle de référence ;

5 C3. évaluation du résultat du test, et en fonction de ladite évaluation :

- ajout d'information discriminante non retenue à l'information discriminante à tester et/ou suppression d'information discriminante dans l'information discriminante à tester, puis reprise à l'étape C2. ou,
- définition de l'information discriminante optimale comme étant l'information discriminante à tester.

10

De préférence, un procédé d'optimisation selon l'invention comporte encore une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :

15 - l'information discriminante est choisie dans le groupe constitué par une information de contour, une information de couleur, une information de densité, une information de distance, une information de brillance, une information de saturation, une information sur les reflets, et les combinaisons de ces informations ;

20 - l'étape C2. comporte les étapes suivantes :

- recherche de conditions d'acquisition virtuelles approximant, de préférence de manière optimale, des conditions d'acquisition réelles dans lesquelles ladite image acquise a été acquise et observation du modèle de référence dans lesdites conditions d'acquisitions virtuelles de manière à obtenir une image de référence ;

25 - traitement de l'image acquise et de l'image de référence pour réaliser au moins une carte acquise et une carte de référence, respectivement, lesdites cartes acquise et de référence représentant de ladite information discriminante ;

- comparaison des cartes acquise et de référence de manière à déterminer un degré de concordance, le résultat du test de l'étape C2. dépendant, de préférence étant égal audit degré de concordance ;

30 - la recherche des conditions d'acquisition virtuelles approximant des conditions d'acquisition réelles comporte les étapes suivantes :

- 01) optionnellement, détermination de conditions d'acquisition virtuelles grossières approxinant lesdites conditions d'acquisition réelles, de préférence par analyse de la représentation, sur l'image acquise, d'un écarteur utilisé lors de l'acquisition de l'image acquise;
- 5 02) détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester;
- 03) réalisation d'une image de référence bidimensionnelle du modèle de référence observé dans les conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- 04) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de référence représentant ladite information discriminante ;
- 10 05) comparaison des cartes acquise et de référence de manière à déterminer une valeur pour une fonction d'évaluation, ladite valeur pour la fonction d'évaluation dépendant des différences entre lesdites cartes acquise et de référence et correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche de conditions d'acquisition virtuelles approxinant les conditions
- 15 d'acquisition réelles avec plus d'exactitude que lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- si ladite valeur pour la fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification desdites conditions d'acquisition virtuelles à tester, puis reprise à l'étape 03) ;
- 20 sinon, évaluation des conditions d'acquisition réelles par lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- la détermination de l'information discriminante à ajouter et/ou à ajouter à l'étape C3. résulte de la mise en œuvre d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste.
- 25 L'invention concerne aussi un procédé d'évaluation des conditions d'acquisition réelles d'une image bidimensionnelle des dents d'un patient, dite « image acquise », ledit procédé comportant les étapes suivantes :
- 001) réalisation d'un modèle de référence tridimensionnel numérique d'au moins une partie d'une arcade, de préférence d'une arcade, de préférence des deux
- 30 arcades du patient ;
- 002) analyse de l'image acquise et réalisation d'une carte relative à une information discriminante, dite « carte acquise » ;

003) recherche des conditions d'acquisition virtuelles approximant lesdites conditions d'acquisition réelles, de préférence suivant les étapes 01) à 05).

Une ou plusieurs des caractéristiques, éventuellement optionnelles, de l'étape a) sont applicables à l'étape 001). En particulier, le modèle de référence peut être préparé, par un scan, à partir de mesures effectuées sur les dents du patient ou sur un modèle physique de ses dents, par exemple un modèle en plâtre.

Une ou plusieurs des caractéristiques, éventuellement optionnelles, de l'étape c) sont applicables à l'étape 002).

L'invention concerne également :

- 10 - un programme d'ordinateur, et en particulier un applicatif spécialisé pour téléphone mobile, comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution d'une ou plusieurs, de préférence toutes les étapes b) à f) ou A. à E. ou C1 à C3, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur,
- 15 - un support informatique sur lequel est enregistré un tel programme, par exemple une mémoire ou un CD-ROM, et
- un appareil personnel, en particulier un téléphone mobile ou une tablette, dans lequel est chargé un tel programme.

L'invention concerne aussi un système comportant :

- 20 - un scanner tridimensionnel apte à mettre en œuvre l'étape a) d'un procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme de dents selon l'invention, ou une étape 001).
- un appareil personnel, de préférence un téléphone mobile, chargé avec un programme selon l'invention.

Définitions

25 Par « patient », on entend toute personne pour laquelle un procédé est mis en œuvre afin d'en contrôler les dents, que cette personne soit malade ou non, ou que cette personne soit en cours de traitement ou non.

Par « professionnel des soins dentaires », on entend un dentiste, un orthodontiste ou un laboratoire d'orthodontie.

Par « dentiste », on entend un dentiste ou un assistant dentaire travaillant sous la responsabilité d'un dentiste.

Par « dentition », on entend les deux arcades dentaires du patient.

Une image d'une arcade est bien entendu une représentation partielle de cette arcade.

- 5 On appelle "téléphone mobile" un appareil de moins de 500 g, doté d'un capteur lui permettant de capturer des images, capable d'échanger des données avec un autre appareil éloigné de plus de 500 km du téléphone mobile, et capable d'afficher lesdites données, et notamment lesdites images.

- 10 Pour un procédé de contrôle du positionnement des dents, les « conditions d'acquisition » précisent la position et l'orientation dans l'espace d'un appareil d'acquisition d'images relativement aux dents du patient ou à un modèle de dents du patient, et de préférence la calibration de cet appareil d'acquisition d'images.

- 15 La « calibration » d'un appareil d'acquisition est constituée par l'ensemble des valeurs des paramètres de calibration. Un paramètre de calibration est un paramètre intrinsèque à l'appareil d'acquisition (à la différence de sa position et de son orientation) dont la valeur influence l'image acquise. Par exemple, l'ouverture de diaphragme est un paramètre de calibration qui modifie la profondeur de champ. Le temps d'exposition est un paramètre de calibration qui modifie la luminosité (ou « l'exposition ») de l'image. La distance focale est un paramètre de calibration qui modifie l'angle de vue, c'est-à-dire le degré de
20 « zoom ». La « sensibilité » est un paramètre de calibration qui modifie la réaction du capteur d'un appareil d'acquisition numérique à la lumière incidente.

De préférence, les paramètres de calibration sont choisis dans le groupe formé par l'ouverture de diaphragme, le temps d'exposition, la distance focale et la sensibilité.

- 25 Le "plan d'occlusion" est le plan qui fournit la meilleure corrélation linéaire avec l'ensemble des points de contact entre les dents de l'arcade supérieure d'une part et les dents de l'arcade inférieure d'autre part.

Le "plan longitudinal médian" est le plan sensiblement vertical lorsque le patient tient la tête droite, qui sépare de manière sensiblement symétrique des parties droite et gauche de chaque arcade.

- 30 Une « tablette » est un ordinateur portable à écran tactile.

Un scanner 3D est un appareil permettant d'obtenir une représentation en trois dimensions d'un objet.

Par "image", on entend une image en deux dimensions, comme une photographie. Une image est formée de pixels.

- 5 Une image « acquérable » ("preview") est l'image que l'appareil d'acquisition peut enregistrer à un instant donné. Pour un appareil photo ou un téléphone, c'est l'image qui apparaît sur l'écran lorsque l'applicatif d'acquisition de photo ou de vidéo est en fonctionnement.

- 10 Une "information discriminante" est une information caractéristique qui peut être extraite d'une image ("*image feature*"), classiquement par un traitement informatique de cette image.

- 15 Une information discriminante peut présenter un nombre variable de valeurs. Par exemple, une information de contour peut être égale à 1 ou 0 selon qu'un pixel appartient ou non à un contour. Une information de brillance peut prendre un grand nombre de valeurs. Le traitement de l'image permet d'extraire et de quantifier l'information discriminante.

Des conditions d'acquisition sont dites "virtuelles" lorsqu'elles correspondent à une simulation dans laquelle l'appareil d'acquisition serait dans lesdites conditions d'acquisition (positionnement et de préférence calibration théoriques de l'appareil d'acquisition).

- 20 Par "comportant un" ou "comportant un" ou "présentant un", on entend "comportant au moins un", sauf indication contraire.

Dans les différents procédés décrits, les références des étapes sont identiques si ces étapes sont similaires ou identiques.

Brève description des figures

- 25 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description détaillée qui va suivre et à l'examen du dessin annexé dans lequel :

- la figure 1 représente un logigramme illustrant la mise en œuvre d'un procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme de dents selon l'invention,
- la figure 2 représente un exemple de modèle de référence initial,
- la figure 3 illustre le traitement effectué pour déterminer le plan d'occlusion,

- la figure 4 (4a-4d) illustre l'étape nécessaire pour déterminer les modèles de dent dans un modèle de référence,
- la figure 5 (5a-5d) illustre l'acquisition d'images actualisées, ainsi que l'opération de découpage,
- 5 - la figure 6 (6a-6b) illustre le traitement d'une image actualisée permettant de déterminer le contour des dents,
- la figure 7 illustre schématiquement la position relative de marques de repérage 12 sur des images actualisées 14₁ et 14₂ d'un écarteur 10, selon la direction d'observation (trait interrompu),
- 10 - la figure 8 représente une cartographie résultant de la mise en œuvre d'un procédé de contrôle de la forme de dents d'un patient selon l'invention,
- la figure 9 représente un logigramme illustrant la mise en œuvre d'un procédé de contrôle de l'aspect de dents selon l'invention,
- la figure 10 représente un logigramme illustrant la mise en œuvre d'un procédé de
- 15 d'optimisation d'une information discriminante selon l'invention, et
- la figure 11 représente, sur une image acquise, une carte de référence établie pour une information de reflet,
- les figures 12a et 12b illustrent deux vues d'un modèle tridimensionnel avec deux distances focales différentes,
- 20 - la figure 13 représente un exemple d'évolutions réelle et théorique de la valeur d'un paramètre de quantité de mouvement, en fonction du temps. L'axe des abscisses fournit le temps, en semaines. L'axe des ordonnées fournit la valeur du paramètre, en pourcentage par rapport à la valeur souhaitée en fin de traitement,
- la figure 14 représente un logigramme illustrant la mise en œuvre d'un procédé
- 25 d'adaptation d'un appareil orthodontique selon l'invention.

Description détaillée d'un procédé de contrôle du positionnement des dents

Un procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention comporte les étapes mentionnées ci-dessus.

A l'étape a), un modèle de référence initial des arcades, ou d'une partie des arcades du patient est créé (voir figure 2).

Le modèle de référence initial est un modèle numérique en trois dimensions des arcades du patient, par exemple du type .stl ou .Obj, .DXF 3D, IGES, STEP, VDA, ou Nuages de points. Avantageusement, un tel modèle, dit « 3D », peut être observé selon un angle quelconque.

- 5 Pour le suivi d'un traitement orthodontique, le modèle de référence initial est de préférence préparé au début du traitement. Le modèle de référence initial peut correspondre à un positionnement des dents du patient avant le traitement ou à un positionnement des dents du patient que le traitement se propose d'atteindre. Dans ce cas, le modèle de référence initial est classiquement calculé à partir d'un premier modèle tridimensionnel
- 10 correspondant au positionnement des dents du patient avant le traitement.

Pour le contrôle de la récurrence, le modèle de référence initial est de préférence préparé moins de six mois, de préférence moins de trois mois, de préférence encore moins d'un mois après la fin du traitement orthodontique, généralement immédiatement après la fin du traitement. Il correspond ainsi à un positionnement sensiblement optimal des dents.

- 15 Le modèle de référence initial peut être également préparé indépendamment de tout traitement, par exemple parce que le patient souhaite surveiller les mouvements de ses dents.

Le modèle de référence initial peut être préparé à partir de mesures effectuées sur les dents du patient ou sur un modèle physique de ses dents, par exemple un modèle en plâtre.

- 20 Le modèle de référence initial est de préférence créé au moyen d'un appareil professionnel, par exemple au moyen d'un scanner 3D, de préférence mis en œuvre par un professionnel de la santé, par exemple par un orthodontiste ou un laboratoire d'orthodontie. Dans un cabinet d'orthodontie, le patient ou le modèle physique de ses dents peuvent être avantagement disposés dans une position précise et l'appareil professionnel peut être
- 25 perfectionné. Il en résulte un modèle de référence initial très précis. Le modèle de référence initial fournit de préférence une information sur le positionnement des dents avec une erreur inférieure à 5/10 mm, de préférence inférieure à 3/10 mm, de préférence inférieure à 1/10 mm.

Orientation du modèle de référence initial :

- 30 De préférence, on détermine l'orientation du modèle de référence initial dans l'espace, et notamment, de préférence, le plan d'occlusion et le plan longitudinal médian.

Le plan d'occlusion et le plan longitudinal médian peuvent être déterminés manuellement, de manière approximative. Les inventeurs ont cependant découvert des procédés permettant de déterminer ces plans par traitement informatique.

De préférence, le modèle de référence est un modèle des arcades bouche fermée, c'est-à-dire dans une position dans laquelle des dents de l'arcade supérieure sont en contact avec des dents de l'arcade inférieure.

Classiquement, le modèle de référence initial fourni par un scanner tridimensionnel permet de distinguer l'arcade supérieure de l'arcade inférieure. Généralement, le modèle est fourni sous la forme de deux fichiers correspondant respectivement à ces arcades, et comportant des données permettant de positionner les modèles de ces arcades l'un par rapport à l'autre dans la position d'occlusion.

De préférence, pour estimer les points de contact entre les dents des arcades supérieure et inférieure, on détermine l'ensemble des points du modèle de l'arcade supérieure et de l'arcade inférieure qui sont à une distance inférieure à une limite prédéterminée, cette limite étant de préférence inférieure à 3 mm, de préférence d'environ 2 mm. Tous les autres points de ces modèles sont ensuite ignorés, ce qui conduit à la représentation de la figure 3b. Une régression linéaire permet alors de déterminer le plan d'occlusion (« plan 1 » sur la figure 3c).

Le modèle de référence initial peut ainsi être orienté suivant le plan d'occlusion (Fig. 3d).

Si le modèle de référence initial ne comporte pas de données permettant de positionner les arcades supérieure et inférieure l'une par rapport à l'autre, on utilise de préférence un mordu d'occlusion faisant apparaître les points de contact entre les dents supérieures et les dents inférieures, puis on repositionne les modèles des arcades supérieure et inférieure par rapport à ce mordu d'occlusion.

Le plan longitudinal médian est perpendiculaire au plan d'occlusion, mais son orientation n'est pas connue.

De préférence, on procède de la manière suivante pour déterminer l'orientation du plan longitudinal médian :

On considère des axes [Ox) et [Oy) dans le plan d'occlusion, le point O étant le barycentre des projections normales des points de contact sur le plan d'occlusion.

- Dans ce repère (xOy), on recherche la courbe, de préférence parabolique, présentant le plus grand coefficient de corrélation avec l'ensemble desdites projections.
- L'ensemble des projections des points de contact est ensuite déplacé dans le plan d'occlusion, par rotation autour du point O, et on recommence l'étape précédente à partir de cette nouvelle position angulaire des projections des points de contact.

Le cycle des opérations précédentes est poursuivi, de préférence jusqu'à avoir fait tourner l'ensemble des points de contact de 360° autour du barycentre O. On compare ensuite les coefficients de corrélation correspondant aux différentes orientations de l'ensemble des points de contact. L'axe de la courbe qui conduit au coefficient de corrélation le plus élevé est alors considéré comme inclus dans le plan longitudinal médian, ce qui permet de définir exactement l'orientation de ce dernier.

L'orientation dans l'espace du modèle de référence initial est ainsi parfaitement déterminée, de manière rapide.

Création des modèles de dent

- 15 Dans le modèle de référence initial, une partie qui correspond à une dent, ou « modèle de dent », est délimitée par un bord gingival qui peut être décomposé en un bord gingival intérieur (du côté de l'intérieur de la bouche par rapport à la dent), un bord gingival extérieur (orienté vers l'extérieur de la bouche par rapport à la dent) et deux bords gingivaux latéraux. Les bords gingivaux correspondent à des régions dans lesquelles
- 20 l'orientation de la surface définie par le modèle de référence initial subit des modifications de fortes amplitudes. Ces variations d'orientation peuvent être identifiées selon des techniques connues, par exemple en identifiant les changements de direction de la normale à la surface modélisée. La figure 4a représente une vue du modèle de référence initial traitée pour faire apparaître ces changements de direction. La figure 4b montre le bord
- 25 gingival intérieur qui peut être extrait par l'analyse de l'image de la figure 4a.

Plusieurs vues du modèle de référence initial sont ainsi analysées, ce qui permet de déterminer les bords gingivaux intérieur et extérieur en trois dimensions, comme représenté sur la figure 4c.

- Par ailleurs, en projection dans le plan d'occlusion, les contours gingivaux intérieur et extérieur d'une arcade se rapprochent de part et d'autre d'une dent. Pour déterminer un bord gingival latéral d'une dent, on recherche le plus court chemin, sur la surface du modèle de

référence initial, entre les deux points des bords gingivaux intérieur et extérieur ainsi rapprochés et qui se font sensiblement face. La recherche du plus court chemin entre deux points sur un modèle tridimensionnel fait appel à des techniques d'optimisation bien connues. De préférence, cette recherche résulte d'une méthode métaheuristique, de
5 préférence évolutionniste, de préférence d'un recuit simulé.

Deux bords gingivaux latéraux adjacents et les parties des bords gingivaux intérieur et extérieur qui connectent ces bords gingivaux latéraux permettent ainsi de délimiter une dent au niveau de la gencive. En tenant compte du fait qu'une dent s'étend depuis le contour gingival vers le plan d'occlusion, il est ainsi possible de déterminer les parties du
10 modèle de référence initial qui correspondent aux différentes dents (« modèles de dent »). La figure 4d représente l'ensemble des modèles de dent d'une arcade.

Le modèle de référence initial peut être stocké dans une base de données centralisée, regroupant les modèles de référence initiaux d'une pluralité de patients. Cette base de données peut être physiquement installée dans un établissement spécialisé. Elle peut être
15 également installée dans un laboratoire ou un cabinet d'orthodontie, ce qui limite les transferts d'informations confidentielles.

Dans un mode de réalisation, le modèle de référence initial est remis au patient. De préférence, un fichier informatique correspondant au modèle de référence initial est enregistré sur un support amovible, par exemple sur une clé USB ou sur une carte
20 électronique, de préférence sur un téléphone mobile, une tablette ou un ordinateur portable du patient, et en particulier sur l'appareil personnel qui sera de préférence utilisé aux étapes b) et suivantes. De préférence, le patient ou un professionnel des soins dentaires charge le modèle de référence initial dans ledit appareil individuel ou le met à disposition pour chargement dans ledit appareil individuel. Le patient charge de préférence le modèle
25 de référence initial à partir d'internet.

Dans un mode de réalisation préféré, le modèle de référence n'est pas remis au patient. De préférence, le modèle de référence est seulement rendu disponible à un établissement spécialisé pour mettre en œuvre les étapes c) à f). Il peut rester stocké dans l'établissement dans lequel il a été réalisé à l'étape a) et où, de préférence, les étapes c) à f) sont mises en
30 œuvre.

A l'étape b), on prend une image actualisée d'une partie d'une arcade, d'une arcade ou des arcades au moyen d'un appareil d'acquisition d'images. L'étape b) est de préférence réalisée par le patient ou un proche du patient, mais peut être réalisée par un dentiste.

Moment de l'acquisition

- 5 De préférence, l'image actualisée est prise après un intervalle de temps Δt après l'étape a). L'intervalle de temps Δt peut être prédéterminé. Il peut être constant, quelle que soit l'occurrence du procédé, c'est-à-dire que cet intervalle concerne la première exécution du procédé ou une exécution ultérieure. Il peut être variable, et dépendre par exemple des résultats obtenus suite à une exécution antérieure du procédé. En particulier, pour le
- 10 contrôle de la récurrence, l'intervalle de temps Δt peut être d'autant plus court que cette exécution a permis de détecter une dérive importante.

Dans un mode de réalisation préféré, l'intervalle de temps Δt est déterminé par l'orthodontiste, en fonction d'un planning des contrôles. En fonction de l'évolution de la position des dents, l'orthodontiste peut modifier ce planning et modifier en conséquence

15 l'intervalle de temps Δt . Dans un mode de réalisation, le procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention est exécuté plusieurs fois, les intervalles de temps entre chaque exécution pouvant être identiques ou différents. Les intervalles des temps entre deux exécutions successives peuvent être tous déterminés avant la première exécution pour correspondre à un planning de contrôles élaboré par l'orthodontiste.

- 20 L'intervalle de temps Δt peut être également indéterminé et dépendre par exemple de décisions du patient. Par exemple, la création d'une image actualisée peut être effectuée à l'occasion d'un rendez-vous chez le dentiste ou à tout moment lorsque le patient le souhaite, voire indépendamment de tout traitement orthodontique.

L'intervalle de temps Δt est de préférence déterminé pour correspondre à une évolution

25 potentiellement significative du positionnement des dents.

Par exemple, pour le contrôle de la récurrence, l'intervalle de temps Δt est de préférence inférieur à trois mois lors de la première année après le traitement. Après cette première année, l'intervalle de temps Δt est de préférence supérieur à un mois, voire supérieur à six mois ou supérieur à douze mois. En particulier pour la détection d'une dérive des dents, un

30 intervalle de temps compris entre six mois et dix-huit mois est adapté.

De préférence, au moins un rappel informant le patient de la nécessité de créer une image actualisée est adressé au patient. Ce rappel peut être sous forme papier ou, de préférence, sous forme électronique, par exemple sous la forme d'un courriel, d'une alerte automatique de l'appliquatif spécialisé mobile ou d'un SMS. Un tel rappel peut être envoyé par le cabinet
5 ou le laboratoire d'orthodontie ou par le dentiste ou par l'appliquatif spécialisé mobile du patient, par exemple.

Dans un mode de réalisation préféré, une image actualisée est acquise avant que les dents n'aient pu se déplacer significativement, sensiblement au même moment que la création du modèle de référence initial, de préférence moins de 7 jours, moins de 3 jours, moins de 1
10 jour après l'étape a), c'est-à-dire avant que les dents n'aient pu se déplacer significativement. La mise en œuvre du procédé avec cette image actualisée permet avantageusement de vérifier que le procédé ne conduit à la détection d'aucune différence entre les modèles de référence initial et actualisé, et donc fonctionne correctement.

Dans un mode de réalisation, l'image actualisée peut être acquise avant la création du
15 modèle de référence initial. Par exemple, les étapes a) et b) peuvent être effectuées à la fin et au début d'un traitement orthodontique, respectivement. Il est ainsi notamment possible d'évaluer l'efficacité du traitement en l'absence de modèle 3D en début de traitement. L'intervalle de temps $\Delta t'$ séparant les étapes a) et b) dans ce mode de réalisation peut notamment prendre les valeurs décrites ci-dessus pour Δt .

20 Appareil d'acquisition d'images

De préférence, l'appareil d'acquisition d'images est un appareil personnel couramment disponible dans le commerce, par exemple un téléphone mobile, un appareil photo dit « connecté », une montre dite « intelligente », ou « smartwatch », ou une tablette ou un ordinateur personnel, fixe ou portable, comportant un système d'acquisition d'images,
25 comme une webcam ou un appareil photo, de préférence un appareil photo numérique. Même si l'image actualisée peut en particulier être créée par un dentiste, elle l'est de préférence par le patient lui-même ou par un de ses proches.

En particulier, l'image actualisée peut être créée par une personne qui n'a pas de connaissances particulières en orthodontie, et en particulier qui ne possède aucun diplôme
30 d'orthodontie ou de dentisterie.

De préférence, le même appareil d'acquisition est utilisé pour prendre toutes les images actualisées.

L'appareil d'acquisition d'images pèse de préférence moins de 3 kg, moins de 2 kg, moins de 1 kg, moins de 500 g, de préférence moins de 300 g.

- 5 L'étape b) peut donc avantageusement être réalisée à distance de l'étape a), c'est-à-dire dans un lieu différent de celui dans lequel est réalisée l'étape a), en particulier à plus de 50 m, plus de 100 m, plus de 1 km du lieu où est réalisée l'étape a), en particulier hors cabinet orthodontique. Dans un mode de réalisation, l'étape b) n'est pas réalisée dans un cabinet dentaire, un cabinet d'orthodontie ou un laboratoire d'orthodontie, sauf, éventuellement,
- 10 lors d'une séance destinée à former le patient.

De préférence, l'image actualisée est une photographie, en particulier une photographie panoramique. Dans un mode de réalisation, l'image actualisée est extraite d'un film.

- Dans un mode de réalisation préféré, le procédé utilise plusieurs images actualisées pour disposer d'au moins une représentation de chaque dent, de préférence au moins trois
- 15 images actualisées correspondant à une vue de face, une vue à droite et une vue à gauche des dents du patient.

- De préférence, à l'étape b), on prend au moins une image actualisée en position bouche fermée et au moins une image actualisée en position bouche ouverte. L'image bouche fermée permet avantageusement d'identifier les déplacements relatifs entre les deux
- 20 arcades. L'image actualisée bouche ouverte permet avantageusement de bien identifier les contours des dents, sans que les dents de l'arcade supérieure ne viennent masquer les dents de l'arcade inférieure ou réciproquement.

Des images actualisées peuvent être prises soit pour l'arcade supérieure, soit pour l'arcade inférieure, soit, de préférence, pour les deux arcades, en tout ou partie.

- 25 Plusieurs images similaires (représentant sensiblement les mêmes dents) peuvent être également utiles afin de rechercher le meilleur score. En fonction des conditions d'acquisition, une information discriminante pourra en particulier conduire à des scores différents selon l'image actualisée utilisée.

- De préférence, on utilise un écarteur dentaire lors de l'étape b), comme représenté sur les
- 30 figures 5a et 5c. La première fonction de l'écarteur est d'écarter les lèvres afin d'améliorer

la visibilité des dents. De préférence, un écarteur est remis au patient, par exemple lors d'un rendez-vous avec son orthodontiste ou son dentiste.

L'appareil d'acquisition d'images fournit de préférence des images en couleurs, et/ou des images infrarouges de la bouche du patient, voire du visage du patient. Les images en couleurs représentent de préférence la bouche du patient avec les couleurs réelles de cette
5 bouche. Les images infrarouges permettent avantageusement de faire apparaître les dents avec un excellent contraste.

De préférence, l'appareil d'acquisition d'images comporte un applicatif spécialisé permettant de mettre en œuvre l'étape b), mais aussi, de préférence, des étapes suivantes,
10 de préférence l'ensemble des étapes suivantes. De préférence encore, cet applicatif gère des rappels et informe le patient de la nécessité de créer une image actualisée.

De préférence, l'applicatif spécialisé est chargé dans l'appareil d'acquisition d'images à partir d'un support physique comme une clé USB ou un CD-ROM, ou est téléchargé sur internet ou par voie hertzienne. Dans un mode de réalisation, l'applicatif spécialisé est
15 fourni au patient par le cabinet et/ou le laboratoire d'orthodontie. Il peut en particulier prendre la forme d'un applicatif du type de ceux couramment téléchargés sur les iPhones de la marque Apple® ou les appareils de toutes marques mettant en œuvre les systèmes d'exploitation Android® ou tout autre système d'exploitation.

L'appareil d'acquisition d'images comporte de préférence un appareil photo ou une caméra vidéo ou infrarouge, que l'utilisateur, par exemple le patient ou un de ses proches,
20 positionne au moyen d'un viseur ou d'un écran, avant de l'actionner.

Moyens détrompeurs et kit d'acquisition

Un procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention ne requiert pas un positionnement précis de l'appareil d'acquisition d'images par rapport aux dents.

25 Dans un mode de réalisation, aucune contrainte de positionnement permettant d'assurer une disposition de l'appareil d'acquisition d'images à moins de 30 cm, moins de 20 cm, de 10 cm ou moins de 5 cm d'un emplacement déterminé n'est imposée.

De préférence, l'appareil d'acquisition d'images comporte cependant des moyens détrompeurs facilitant son positionnement approximatif par rapport au patient avant
30 l'acquisition de l'image actualisée.

L'utilisateur peut être guidé par des messages écrits et/ou vocaux pour l'acquisition. Par exemple, l'appareil personnel peut annoncer « prenez une photo de face », émettre un signal pour informer l'utilisateur que la photo est acceptable ou qu'au contraire, il doit refaire une photo, annoncer « prenez une photo de droite », de préférence en affichant une
5 flèche pour orienter l'utilisateur, etc. La fin du processus d'acquisition peut être également annoncée par l'appareil. L'appareil peut également aider au positionnement, par exemple par des messages visuels (par exemple par affichage de flèches), et/ou sonores (comme une succession de bips dont la fréquence augmente à mesure que le positionnement de l'appareil s'améliore), et/ou écrits et/ou vocaux (« plus haut », plus bas », etc.).

10 Les moyens détrompeurs peuvent en particulier comporter des références qui apparaissent sur le viseur ou l'écran. Les références peuvent par exemple comporter une ligne destinée à être alignée avec la direction générale de la jointure entre les dents supérieures et les dents inférieures lorsque les dents sont serrées par le patient, et/ou une ligne verticale destinée à être alignée avec la jointure entre les deux incisives supérieures. Les références peuvent
15 également faire référence à d'autres parties du patient. Par exemple, elles peuvent être constituées par des marques correspondant à la position des yeux ou prendre la forme d'un contour dans lequel doit être positionné la bouche ou le visage du patient.

La ou les références sont de préférence "immobiles" sur l'écran, c'est-à-dire qu'elles ne se déplacent pas sur l'écran lorsque l'appareil d'acquisition est en mouvement.

20 Dans un mode de réalisation préféré, la ou les références correspondent chacune à une marque de repérage portée par un référentiel rapporté sur le patient, c'est-à-dire que le patient ne présentait pas avant la mise en œuvre du procédé, de préférence portée par un écarteur dentaire. Un référentiel peut être également une pièce mordue par le patient.

La marque de repérage peut présenter une surface supérieure à $0,5 \text{ mm}^2$, de préférence supérieure à 1 mm^2 , de préférence supérieure à 2 mm^2 , de préférence supérieure à 5 mm^2 ,
25 de préférence supérieure à 10 mm^2 , voire supérieure à 20 mm^2 , voire supérieure à 30 mm^2 , et/ou inférieure à 50 mm^2 .

De grandes dimensions conférées à une marque de repérage ou une multiplication des marques de repérage permettent avantageusement d'améliorer la précision du
30 positionnement de l'appareil d'acquisition.

Les marques de repérage peuvent être identiques ou différentes.

Les marques de repérage peuvent être notamment différentes selon leur position, par exemple selon qu'elles sont en partie supérieure ou en partie inférieure du référentiel, et en particulier de l'écarteur, ou à droite ou à gauche du référentiel, et en particulier de l'écarteur.

- 5 La marque de repérage peut être identique ou différente de la référence correspondante. Elle est de préférence de forme géométrique, par exemple un point, un ou plusieurs traits, par exemple parallèles, une étoile, un cercle, un oval, un polygone régulier, notamment un carré, un rectangle ou un losange.

La marque de repérage peut être également une image, une lettre, un chiffre ou une
10 séquence de lettres et/ou de chiffres.

La marque de repérage est de préférence d'une couleur différente de la surface de l'écarteur qui l'environne, de préférence de manière à offrir un contraste élevé.

Une marque de repérage peut être visible ou invisible à l'œil nu, pourvu qu'elle apparaisse sur l'écran de l'appareil d'acquisition.

- 15 Pour améliorer la précision, les marques de repérage sont de préférence écartées les unes des autres de manière que, lorsqu'elles correspondent à leurs références respectives sur l'écran, au moins des première et deuxième marques de repérage soient à moins de 3 cm, de préférence moins de 2 cm, de préférence moins de 1 cm, de préférence moins de 0,5 cm, de premier et deuxième bords, respectivement, de l'écran. Les premier et deuxième bords
20 sont de préférence des bords opposés de l'écran.

La marque de repérage peut présenter une ou plusieurs dimensions et/ou une forme et/ou une couleur identique(s) ou différente(s) de celle(s) de la référence correspondante.

- La « correspondance » d'une référence et d'une marque de repérage est une disposition prédéfinie de l'une par rapport à l'autre. Elle indique un positionnement particulier de
25 l'appareil d'acquisition par rapport à la marque de repérage. La correspondance dépend de la nature de la référence et de la marque de repérage. La situation prédéfinie, qui correspond à des conditions d'acquisition cibles, peut notamment être une superposition, totale ou partielle, une juxtaposition, ou un alignement de la référence et de la marque de repérage.

La superposition exacte de la référence et de la marque de repérage permet non seulement déterminer la direction vers laquelle l'objectif de l'appareil d'acquisition doit pointer et/ou la distance entre l'appareil d'acquisition et l'écarteur, mais aussi, si la référence et/ou la marque de repérage sont asymétriques, l'orientation de l'appareil d'acquisition autour de
5 cette direction.

Les dimensions et/ou les surfaces d'une marque de repérage et de la référence correspondante et/ou la distance entre plusieurs marques de repérage et entre des références correspondantes peuvent être utilisées pour régler la distance entre l'appareil d'acquisition et les arcades.

10 La référence peut être par exemple

- une ligne fixe, sur laquelle l'utilisateur doit par exemple aligner des marques de repérage,
- une forme, de préférence asymétrique, correspondant à la forme d'une marque de repérage à superposer, par exemple un point que l'utilisateur doit par exemple
15 superposer à la marque de repérage, ou un cercle dans lequel l'utilisateur doit par exemple placer la marque de repérage,
- une forme colorée correspondant à la couleur d'une marque de repérage à superposer,
- une forme complémentaire à la forme d'une marque de repérage, de préférence
20 de manière que la mise en correspondance de la marque de repérage et de la référence conduise à une forme ayant un sens, comme une forme géométrique, une lettre ou un texte, un dessin, ou un motif, par exemple.

Dans un mode de réalisation préféré, les références sont définies, au moins partiellement, à partir d'informations fournies par le modèle de référence initial. Par exemple, suivant les
25 principes de la « réalité augmentée », la référence peut être une vue du modèle de référence initial, par exemple une vue de face ou une vue de droite ou une vue de gauche du modèle de référence initial, rendue visible, en transparence, sur l'écran de l'appareil d'acquisition d'images lors de l'acquisition. Il est ainsi très facile pour le patient de superposer approximativement une telle vue avec les dents qu'il doit prendre en photo.

30 Dans un mode de réalisation préféré, l'acquisition est effectuée au moyen d'un kit d'acquisition selon l'invention comportant :

- un écarteur dentaire, de préférence en un matériau biocompatible, comportant une marque de repérage ;
- un appareil d'acquisition d'images, de préférence du type décrit ci-dessus, comportant un écran de visualisation d'une image acquérable, et un programme
5 d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour afficher au moins une référence sur ledit écran, ladite référence étant de préférence immobile sur l'écran, et disposée dans une position dite "position de correspondance" dans laquelle, lorsque la marque de repérage correspond à la référence sur l'écran, l'image acquérable représente l'écarteur sous un angle de
10 vue et/ou à une distance prédéterminé(e)(s).

Un kit selon l'invention permet avantageusement une acquisition d'images sans avoir recours à une personne spécialisée, notamment un orthodontiste. L'acquisition d'images peut être en particulier effectuée par le patient lui-même ou par un de ses proches, avec un simple téléphone mobile, n'importe où, et en particulier en dehors d'un cabinet médical,
15 dentaire ou d'orthodontie.

En outre, l'appareil d'acquisition d'images n'a pas besoin d'être stabilisé mécaniquement, par exemple au moyen d'un trépied ou par intégration dans un appareil posé sur le sol.

Bien entendu, un kit d'acquisition ne permet pas un positionnement très précis de l'appareil d'acquisition par rapport aux dents.

20 En particulier, la précision du positionnement de l'écarteur par rapport aux dents est limitée. La personne qui crée les images positionne également l'appareil d'acquisition d'images de manière approximative, en dépit de la mise en correspondance de la marque de repérage par rapport à la référence sur l'écran. Comme on le verra plus en détails dans la suite de la description, le traitement des images ne nécessite cependant pas une grande
25 précision du positionnement de l'appareil d'acquisition au moment où les images sont acquises.

A la différence de la technique antérieure, par exemple décrite dans WO2006/065955, il n'est notamment pas nécessaire, au moment de l'acquisition d'images, d'utiliser des marques de repérage dont le positionnement est parfaitement défini par rapport aux dents,
30 en particulier parce qu'elles ont été fixées sur les dents elles-mêmes ou parce qu'elles résultent d'une modification locale, à un endroit précis, d'une dent, par exemple par laser.

La possibilité d'acquérir les images avec une précision limitée constitue un avantage considérable, puisqu'elle rend possible cette acquisition en tout lieu et par toute personne. Le patient n'a en particulier plus besoin de se déplacer chez l'orthodontiste.

De préférence, aucune mesure sur les dents n'est effectuée pour disposer l'appareil
5 d'acquisition dans la position de correspondance.

De préférence, aucune marque de repérage correspondant à une référence apparaissant sur l'écran n'est fixée directement sur les dents ou sur la gencive ou sur une arcade dentaire du patient.

L'appareil d'acquisition peut être en particulier un téléphone mobile et le programme peut
10 être un applicatif spécialisé pour téléphone mobile.

L'écarteur peut présenter les caractéristiques des écarteurs utilisés jusqu'à présent. Il comporte classiquement un support muni d'un rebord s'étendant autour d'une ouverture et agencé de manière que les lèvres du patient puissent y reposer en laissant les dents du patient apparaître à travers ladite ouverture (figure 5a et figure 5c).

15 Le support, par exemple en plastique, présente de préférence une forme sensiblement plane et un poids inférieur à 500 g, de préférence inférieur à 300 g. L'ouverture est de préférence ménagée sensiblement au centre du support. La surface de l'ouverture est de préférence supérieure à 15 cm², supérieure à 30 cm², supérieure à 40 cm², supérieure à 50 cm², et/ou inférieure à 100 cm², inférieure à 80 cm², inférieure à 60 cm².

20 De préférence, comme représenté sur la figure 5a, l'écarteur comporte plusieurs marques de repérage, de préférence non alignées, de préférence coplanaires.

De préférence, l'écarteur comporte au moins trois marques de repérage et le programme d'ordinateur permet d'afficher sur l'écran de l'appareil d'acquisition une ou plusieurs références correspondantes.

25 Dans un mode de réalisation, le positionnement de l'appareil d'acquisition d'images résulte de la seule mise en concordance de références apparaissant sur l'écran dudit appareil d'acquisition avec des marques de repérage correspondantes, de préférence avec des marques de repérage d'un écarteur dentaire.

Dans un mode de réalisation, la ou les références qui apparaissent sur l'écran sont
30 déterminées en fonction du patient et/ou du traitement thérapeutique. Autrement dit, le

programme d'ordinateur est paramétré en fonction du patient afin que les images acquises correspondent spécifiquement aux besoins du patient. Avantageusement, au moment de l'acquisition des images, l'appareil d'acquisition est donc positionné dans une position sensiblement optimale au regard des particularités du patient et/ou du traitement
5 thérapeutique appliqué.

Comme on le verra plus en détails dans la suite de la description, les marques de repérage de l'écarteur ont de préférence plusieurs fonctions. Elles permettent d'abord de guider le positionnement de l'appareil d'acquisition d'images au moment de l'acquisition des images, au moyen de références correspondantes apparaissant sur l'écran de l'appareil d'acquisition.
10 Elles permettent également, à l'étape c), un redécoupage des images actualisées. Enfin, les marques de repérage de l'écarteur, qui apparaissent sur les images, permettent, à l'étape d), de déterminer grossièrement des conditions d'acquisition virtuelles approximant les conditions d'acquisition réelles, ce qui permet d'accélérer le traitement informatique.

Les étapes c) et suivantes sont de préférence réalisées soit sur un appareil personnel du patient, de préférence avec l'appareil utilisé à l'étape b), soit avec un applicatif chez un
15 professionnel des soins dentaires, soit avec un serveur tiers dédié.

A l'étape c), chaque image actualisée est analysée de manière à réaliser, pour chaque image actualisée, une carte actualisée relative à au moins une information discriminante.

Redécoupage

20 L'analyse de l'image peut comporter un redécoupage de l'image actualisée afin d'isoler la partie pertinente, en particulier pour supprimer, au moins partiellement, de l'image actualisée les éléments qui n'ont pas fait l'objet du modèle de référence initial, comme le nez ou les yeux du patient ou l'écarteur. Ce redécoupage, ou « croppage », est facilité par la représentation de marques de repérage sur l'image actualisée.

25 En particulier, de préférence, comme représenté sur les figures 5a et 5c, l'écarteur 10 porte au moins trois marques de repérage 12 non alignées. Si l'écarteur est en plusieurs parties, par exemple classiquement en deux parties, chaque partie porte de préférence au moins trois marques de repérage non alignées.

La forme d'une marque de repérage, par exemple une forme asymétrique, peut être
30 également utilisée pour repérer la position de l'écarteur sur l'image actualisée.

De préférence, les marques de repérage présentent des formes et/ou des couleurs facilitant leur identification sur une image actualisée. Par exemple, elles peuvent être de couleur noire alors que le reste de l'écarteur est de couleur blanche.

5 Dans un mode de réalisation, les marques de repérage présentent des formes et/ou des couleurs permettant de les identifier individuellement. Par exemple, elles peuvent être chacune de couleur différente.

L'identification des marques de repérage sur l'image actualisée permet d'identifier la zone de l'image actualisée contenant les éléments ayant fait l'objet du modèle de référence initial, c'est-à-dire les dents et les gencives. L'image actualisée peut alors être rognée en
10 conséquence. La comparaison des figures 5a et 5b, ou 5c et 5d, illustre l'effet du redécoupage sur une image actualisée.

Carte actualisée

Une carte actualisée représente une information discriminante dans le référentiel de l'image actualisée. Par exemple, la figure 6b est une carte actualisée relative au contour des
15 dents obtenue à partir de l'image actualisée de la figure 6a.

L'information discriminante est de préférence choisie dans le groupe constitué par une information de contour, une information de couleur, une information de densité, une information de distance, une information de brillance, une information de saturation, une information sur les reflets et des combinaisons de ces informations.

20 L'homme de l'art sait comment traiter une image actualisée pour faire apparaître l'information discriminante. Ce traitement comporte par exemple l'application de masques ou de filtres bien connus, fournis avec des logiciels de traitement d'images. De tels traitements permettent par exemple de détecter les régions de fort contraste pour déterminer des contours.

25 Ces traitements comprennent notamment une ou plusieurs des méthodes connues et préférées suivantes, à savoir :

- par application d'un filtre Canny, notamment pour rechercher des contours en utilisant l'algorithme de Canny ;
- par application d'un filtre Sobel, notamment pour calculer des dérivées au moyen
30 de l'opérateur étendu de Sobel;

- par application d'un filtre de Laplace, pour calculer le laplacien d'une image;
- par détection tâches sur une image (« Blobdetecor ») ;
- par application d'un seuil (« Threshold ») pour appliquer un seuil fixe à chaque élément d'un vecteur ;
- 5 - par redimensionnement, en utilisant des relations entre les zones de pixels (« Resize(Area) ») ou des interpolations bi-cubiques sur l'environnement des pixels ;
- par érosion de l'image au moyen de d'un élément spécifique structurant ;
- par dilatation, de l'image au moyen de d'un élément spécifique structurant ;
- 10 - par retouche, en particulier en utilisant des régions au voisinage de la zone restaurée ;
- par application d'un filtre bilatéral ;
- par application d'un flou gaussien ;
- par application d'un filtre d'Otsu, pour rechercher le seuil qui minimise la variance intra-classes ;
- 15 - par application d'un filtre A*, pour rechercher un chemin entre des points ;
- par application d'un seuil adaptatif (« Adaptive Threshold ») pour appliquer un seuil adaptatif à un vecteur ;
- par application d'un filtre d'égalisation d'un histogramme d'une image en nuances de gris en particulier;
- 20 - par détection de flou ("BlurDetection"), pour calculer l'entropie d'une image en utilisant son laplacien ;
- par détection de contours (« FindContour ») d'une image binaire ;
- par remplissage de couleurs ("FloodFill"), notamment pour remplir un élément
- 25 connecté avec une couleur déterminée.

Les méthodes non limitatives suivantes, bien qu'elles ne soient pas préférées, peuvent être également mises en œuvre :

- par application d'un filtre "MeanShift", de manière à trouver un objet sur une projection de l'image ;
- 30 - par application d'un filtre « CLAHE », pour « Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization » ;

- par application d'un filtre « Kmeans », pour déterminer le centre de clusters et de groupes d'échantillons autour de clusters ;
- par application d'un filtre DFT, de manière à effectuer une transformation de Fourier discrète, directe ou inverse d'un vecteur ;
- 5 - par calcul de moments ;
- par application d'un filtre « HuMoments » pour calculer des invariants de Hu invariants ;
- par calcul de l'intégrale d'une image ;
- par application d'un filtre Scharr, permettant de calculer une dérivée de l'image en mettant en œuvre un opérateur de Scharr ;
- 10 - par recherche de l'enveloppe convexe de points ("ConvexHull") ;
- par recherche de points de convexité d'un contour ("ConvexityDefects") ;
- par comparaison de formes (« MatchShapes ») ;
- par vérification si des points sont dans un contour (« PointPolygonTest ») ; Par
- 15 - détection des contours Harris (« CornerHarris ») ;
- par la recherche des valeurs propres minimales de matrices de gradients, pour détecter les coins ("CornerMinEigenVal") ;
- par application d'une transformée de Hough pour trouver des cercles dans une image en nuances de gris (« HoughCircles ») ;
- 20 - par "Active contour modeling" (traçage du contour d'un objet à partir d'une image 2D potentiellement « bruitée ») ;
- par calcul d'un champ de forces, appelées GVF ("gradient vector flow"), dans une partie de l'image ;
- par classement en cascade (« CascadeClassification ») ;
- 25 - par « Deeplerning ».

De préférence, l'information discriminante est optimisée au moyen d'un procédé d'optimisation selon l'invention comportant des étapes C1 à C3.

- A l'étape optionnelle d),** on détermine, de manière grossière, les conditions d'acquisition réelles lors de l'étape b). Autrement dit, on détermine au moins la position relative de
- 30 l'appareil d'acquisition d'images au moment où il a pris l'image actualisée (position de l'appareil d'acquisition dans l'espace et orientation de cet appareil). L'étape d) permet

avantageusement de limiter le nombre de tests sur des conditions d'acquisition virtuelles lors de l'étape e), et permet donc d'accélérer considérablement l'étape e).

On utilise de préférence une ou plusieurs règles heuristiques. Par exemple, de préférence, on exclut des conditions d'acquisition virtuelles susceptibles d'être testées à l'étape e), les conditions qui correspondent à une position de l'appareil d'acquisition d'images derrière les dents ou à une distance des dents supérieure à 1 m.

Dans un mode de réalisation préféré, comme illustré sur la figure 7, on utilise des marques de repérage représentées sur l'image actualisée, et en particulier des marques de repérage 12 de l'écarteur, pour déterminer une région de l'espace sensiblement conique délimitant des conditions d'acquisition virtuelles susceptibles d'être testées à l'étape e), ou "cône de test".

Précisément, on dispose de préférence au moins trois marques de repérage 12 non alignées sur l'écarteur 10, par exemple, et on mesure précisément leurs positions relatives sur l'écarteur.

Les marques de repérage sont ensuite repérées sur l'image actualisée, comme décrit précédemment. De simples calculs trigonométriques permettent de déterminer approximativement la direction selon laquelle l'image actualisée a été prise. Un cône orienté selon cette direction, dont le sommet est au niveau de l'écarteur et dont le demi-angle au sommet est de préférence inférieur à 10° , de préférence inférieur à 5° , par exemple de 3° peut alors être défini comme "cône de test". Le demi-angle au sommet correspond à un degré d'incertitude. Plus le demi-angle au sommet est petit, plus grande est la probabilité que les conditions d'acquisition virtuelles correspondant aux conditions d'acquisition réelles soient hors du cône de test.

Par exemple, lorsque l'image actualisée est prise perpendiculairement au plan des trois marques de repérage sur l'écarteur, on peut en déduire que l'appareil d'acquisition était sensiblement dans un cône de test dont l'axe est sensiblement perpendiculaire à ce plan lors de la prise de l'image actualisée. Si les positions relatives des trois marques de repérage sur l'image actualisée sont différentes de celles que les marques de repérage occupent sur l'écarteur, l'axe du cône de test dans lequel est limitée la recherche du positionnement de l'appareil d'acquisition lors de l'acquisition de l'image actualisée est incliné par rapport au plan des marques de repérage, comme représenté sur la figure 7.

Dans un mode de réalisation particulier, comme illustré sur les figures 5a et 5c, l'écarteur comporte des parties gauche et droite indépendantes, qui comportent chacune au moins trois marques de repérage, de préférence au moins quatre marques de repérage. Un cône de test gauche peut être ainsi déterminé au moyen des marques de repérage de la partie gauche et un cône de test droit peut être déterminé au moyen des marques de repérage de la partie droite de l'écarteur. Les conditions d'acquisition virtuelles susceptibles d'être testées peuvent être ensuite limitées à des positions de l'appareil d'acquisition dans l'espace appartenant à ces deux cônes de test. On peut aussi considérer que la meilleure évaluation de la position de l'appareil d'acquisition correspond à la position moyenne entre la meilleure position dans le cône de test gauche et la meilleure position dans le cône de recherche droit.

La position des marques de repérage sur l'image actualisée permet également d'évaluer l'assiette de l'appareil d'acquisition lors de la capture de l'image actualisée. Par exemple, si on sait que deux marques de repérage sont sensiblement alignées selon une direction horizontale lors de l'acquisition de l'image actualisée, la direction de la droite contenant ces deux points sur l'image actualisée fournit une indication sur l'orientation de l'appareil d'acquisition dans les conditions d'acquisition réelles.

Enfin, la taille et la surface des marques de repérage sur l'image actualisée ou leur espacement peuvent permettre d'évaluer la distance entre l'appareil d'acquisition d'images et les dents lors de l'acquisition de l'image actualisée, et donc de réduire le cône de test à un tronc de cône.

A l'étape optionnelle d), on peut également utiliser des données fournies par l'appareil d'acquisition et concernant son orientation, par exemple des données gyroscopiques.

De préférence, à l'étape d), on détermine, de manière grossière, la calibration de l'appareil d'acquisition réelle lors de l'étape b).

La façon dont chaque paramètre de calibration agit sur l'image acquise est bien connue. En particulier, le fonctionnement d'un appareil d'acquisition peut être classiquement modélisé de manière à pouvoir tester une calibration particulière sur l'image acquise. Les inventeurs ont inversé un tel modèle, sans difficulté technique particulière, afin que par l'analyse de la représentation de l'écarteur, il soit possible d'évaluer grossièrement la calibration de l'appareil d'acquisition lors de l'étape b).

Par exemple, le rapport entre la surface des marques de repérage sur l'image actualisée et la surface de l'image actualisée permet d'évaluer la distance focale de l'appareil d'acquisition lors de l'étape b). La représentation d'une marque de repérage dont on connaît les caractéristiques optiques permettent d'évaluer le temps d'exposition et la sensibilité.

- 5 Dans un mode de réalisation préféré, une marque de repérage est un relief qui ne s'étend pas exclusivement dans le plan général de l'écarteur, correspondant à un plan parallèle au frontal (ou coronal). De préférence, une marque de repérage est un relief qui s'étend dans un plan sensiblement perpendiculaire au plan général de l'écarteur. Le relief peut en particulier présenter la forme d'une languette qui, lorsque l'écarteur est dans sa position de
10 service, s'étend vers le fond de la bouche.

L'analyse de la représentation de ce relief permet avantageusement d'évaluer la profondeur de champ. Alternativement, deux marques de repérage qui ne sont pas dans un même plan frontal peuvent être utilisées à cet effet.

L'étape d) ne permet qu'une évaluation grossière des conditions d'acquisition réelles.

- 15 L'étape d) permet cependant de déterminer un ensemble restreint de conditions d'acquisition virtuelles susceptibles de correspondre aux conditions d'acquisition réelles, et, dans cet ensemble, des conditions d'acquisition virtuelles constituant le meilleur point de départ pour l'étape e1) décrite ci-après.

- 20 L'étape d) permet également de détecter des images actualisées inadaptées pour la poursuite du procédé, par exemple une image actualisée qui ne ferait pas apparaître les marques de repérage. De préférence, le procédé est alors repris à l'étape c) avec une nouvelle image actualisée.

Bien entendu, les différentes méthodes pouvant être mises en œuvre à l'étape d) peuvent être combinées.

- 25 L'objectif de l'étape e) est de modifier le modèle de référence initial jusqu'à obtenir un modèle de référence actualisé qui corresponde à l'image actualisée. Idéalement, le modèle de référence actualisé est donc un modèle de référence tridimensionnel numérique à partir duquel l'image actualisée aurait pu être prise si ce modèle avait été réel.

- 30 On teste donc une succession de modèles de référence « à tester », le choix d'un modèle de référence à tester étant de préférence dépendant du niveau de correspondance des modèles de référence « à tester » précédemment testés avec l'image actualisée. Ce choix est de

préférence effectué en suivant un procédé d'optimisation connu, en particulier choisi parmi les procédés d'optimisation métaheuristiques, de préférence évolutionnistes, en particulier dans les procédés de recuit simulé.

5 **A l'étape e1)**, on détermine que le modèle de référence à tester est le modèle de référence initial lors de la première exécution de l'étape e2).

10 **A l'étape e2)**, on commence par déterminer des conditions d'acquisition virtuelles à tester, c'est-à-dire une position et une orientation virtuelles susceptibles de correspondre à la position et l'orientation réelles de l'appareil d'acquisition lors de la capture de l'image actualisée, mais aussi, de préférence, une calibration virtuelle susceptible de correspondre à la calibration réelle de l'appareil d'acquisition lors de la capture de l'image actualisée.

15 Les premières conditions d'acquisition virtuelles à tester peuvent être aléatoires. De préférence, elles sont choisies dans l'ensemble limité déterminé à l'étape d), et de préférence encore, correspondent à des conditions d'acquisition virtuelles correspondant, d'après l'étape d), aux conditions d'acquisition virtuelles les plus prometteuses, c'est-à-dire constituant le meilleur tremplin pour approcher, le plus rapidement possible, les conditions d'acquisition réelles (étape e21)).

20 On configure ensuite virtuellement l'appareil d'acquisition d'images dans les conditions d'acquisition virtuelles à tester afin d'acquérir une image de référence du modèle de référence à tester dans ces conditions d'acquisition virtuelles à tester. L'image de référence correspond donc à l'image qu'aurait prise l'appareil d'acquisition d'images s'il avait été placé, par rapport au modèle de référence à tester, et optionnellement calibré, dans les conditions d'acquisition virtuelles à tester (étape e22)).

25 Si l'image actualisée a été prise alors que la position des dents était exactement celle dans le modèle de référence à tester, et si les conditions d'acquisition virtuelles sont exactement les conditions d'acquisition réelles, l'image de référence est donc exactement superposable à l'image actualisée. Les différences entre l'image actualisée et l'image de référence résultent d'erreurs dans l'évaluation des conditions d'acquisition virtuelles (si elles ne correspondent pas exactement aux conditions d'acquisition réelles) et de déplacements des dents entre l'étape b) et le modèle de référence à tester.

Pour comparer les images actualisées et de référence, on compare l'information discriminante sur ces deux images. Plus précisément, on réalise, à partir de l'image de référence, une carte de référence représentant l'information discriminante (étape e23)).

- Les cartes actualisées et de référence, portant toutes les deux sur la même information discriminante, sont ensuite comparées et on évalue la différence entre ces deux cartes au moyen d'un score. Par exemple, si l'information discriminante est le contour des dents, on peut comparer la distance moyenne entre les points du contour des dents qui apparaît sur l'image de référence et les points du contour correspondant qui apparaît sur l'image actualisée, le score étant d'autant plus élevé que cette distance est faible.
- 10 De préférence, les conditions d'acquisition virtuelles comprennent les paramètres de calibration de l'appareil d'acquisition. Le score est d'autant plus élevé que les valeurs des paramètres de calibration testées sont proches des valeurs des paramètres de calibration de l'appareil d'acquisition utilisé à l'étape b). Par exemple, si l'ouverture de diaphragme testée est éloignée de celle de l'appareil d'acquisition utilisé à l'étape b), l'image de
- 15 référence présente des régions floues et des régions nettes qui ne correspondent pas aux régions floues et aux régions nettes de l'image actualisée. Si l'information discriminante est le contour des dents, les cartes actualisées et de référence ne représenteront donc pas les mêmes contours et le score sera faible.

Le score peut être par exemple un coefficient de corrélation.

- 20 Le score est ensuite évalué au moyen d'une première fonction d'évaluation. La première fonction d'évaluation permet de décider si le cyclage sur l'étape e2) doit être poursuivi ou stoppé. La première fonction d'évaluation peut par exemple être égale à 0 si le cyclage doit être stoppé ou être égale à 1 si le cyclage doit se poursuivre.

- La valeur de la première fonction d'évaluation peut dépendre du score atteint. Par exemple,
- 25 il peut être décidé de poursuivre le cyclage sur l'étape e2) si le score ne dépasse pas un premier seuil. Par exemple, si une correspondance exacte entre les images actualisée et de référence conduit à un score de 100%, le premier seuil peut être, par exemple, de 95%. Bien entendu, plus le premier seuil sera élevé, meilleure sera la précision de l'évaluation des conditions d'acquisition virtuelles si le score parvient à dépasser ce premier seuil.

- 30 La valeur de la première fonction d'évaluation peut également dépendre de scores obtenus avec des conditions d'acquisition virtuelles testées précédemment.

La valeur de la première fonction d'évaluation peut également dépendre de paramètres aléatoires et/ou du nombre de cycles de l'étape e2) déjà effectués.

En particulier, il est possible qu'en dépit de la répétition des cycles, on ne parvienne pas à trouver des conditions d'acquisition virtuelles qui soient suffisamment proches des conditions d'acquisition réelles pour que le score atteigne ledit premier seuil. La première
5 fonction d'évaluation peut alors conduire à la décision de quitter le cyclage bien que le meilleur score obtenu n'ait pas atteint ledit premier seuil. Cette décision peut résulter, par exemple, d'un nombre de cycles supérieur à un nombre maximal prédéterminé.

Un paramètre aléatoire dans la première fonction d'évaluation peut également autoriser la
10 poursuite de tests de nouvelles conditions d'acquisition virtuelles, bien que le score apparaisse satisfaisant.

Les fonctions d'évaluation classiquement utilisées dans les procédés d'optimisation métaheuristiques, de préférence évolutionnistes, en particulier dans les procédés de recuit simulé, peuvent être utilisées pour la deuxième fonction d'évaluation.

15 Si la valeur de la première fonction d'évaluation indique qu'il est décidé de poursuivre le cyclage sur l'étape e2), on modifie les conditions d'acquisition virtuelles testées (étape e25)) et on recommence un cycle (étape e2)) consistant à réaliser une image de référence et une carte de référence, puis à comparer cette carte de référence avec la carte actualisée pour déterminer un score.

20 La modification des conditions d'acquisition virtuelles correspond à un déplacement virtuel dans l'espace et/ou à une modification de l'orientation et/ou, de préférence, à une modification de la calibration de l'appareil d'acquisition. Cette modification peut être aléatoire, à condition cependant que les nouvelles conditions d'acquisition virtuelles à tester appartiennent toujours à l'ensemble déterminé à l'étape d). La modification est de
25 préférence guidée par des règles heuristiques, par exemple en favorisant les modifications qui, d'après une analyse des précédents scores obtenus, apparaissent les plus favorables pour augmenter le score.

Les figures 12a et 12b illustrent par exemple l'effet d'une modification des conditions d'acquisition virtuelles, en l'occurrence d'une modification de la distance focale, sur
30 l'image de référence.

Le cyclage sur e2) est poursuivi jusqu'à ce que la valeur de la première fonction d'évaluation indique qu'il est décidé de sortir de ce cyclage et de poursuivre à l'étape e3), par exemple si le score atteint ou dépasse ledit premier seuil.

5 L'optimisation des conditions d'acquisition virtuelles à l'étape e2) est de préférence effectuée en utilisant une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence un algorithme de recuit simulé. Un tel algorithme est bien connu pour l'optimisation non linéaire.

Si on a quitté le cyclage sur l'étape e2), sans qu'un score satisfaisant ait pu être obtenu, par exemple sans que le score ait pu atteindre ledit premier seuil, le procédé peut être arrêté
10 (situation d'échec) ou repris à l'étape c) avec une nouvelle information discriminante et/ou avec une nouvelle image actualisée. Le procédé peut être également poursuivi avec les conditions d'acquisition virtuelles correspondant au meilleur score atteint. Un avertissement peut être émis afin d'informer l'utilisateur de l'erreur sur le résultat.

Si on a quitté le cyclage sur l'étape e2) alors qu'un score satisfaisant a pu être obtenu, par
15 exemple parce que le score a atteint, voire dépassé ledit premier seuil, les conditions d'acquisition virtuelles correspondent sensiblement aux conditions d'acquisition réelles.

De préférence, les conditions d'acquisition virtuelles comprennent les paramètres de calibration de l'appareil d'acquisition. Le procédé conduit permet ainsi d'évaluer les valeurs de ces paramètres sans qu'il soit nécessaire de connaître la nature de l'appareil
20 d'acquisition ou son réglage. L'étape b) peut donc être réalisée sans précaution particulière, par exemple par le patient lui-même au moyen de son téléphone mobile.

En outre, la recherche de la calibration réelle est effectuée en comparant une image actualisée avec des vues d'un modèle de référence initial dans des conditions d'acquisition virtuelles que l'on teste. Avantageusement, elle ne nécessite pas que l'image actualisée
25 fasse apparaître une jauge étalon de calibration, c'est-à-dire une jauge dont on connaît précisément les caractéristiques permettant déterminer la calibration de l'appareil d'acquisition.

WO2006/065955, incorporé par référence, décrit l'utilisation d'images pour fabriquer des modèles tridimensionnels dans le domaine des traitements orthodontiques. Cependant, ce
30 document ne décrit pas de procédé permettant d'utiliser de simples photographies, présentant classiquement des images partielles des dents, des portions d'image floues et

des reflets variables, prises généralement de manière non simultanée, sans avoir besoin de sélectionner des points remarquables sur les images, et avec un appareil d'acquisition dont la calibration n'est pas connue.

5 Dans un procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention, les images actualisées ne servent pas à créer un modèle tridimensionnel actualisé totalement nouveau, mais seulement à modifier le modèle de référence initial, très précis. Un modèle tridimensionnel actualisé totalement nouveau créé à partir de simples photographies prises sans précautions particulières serait en particulier trop imprécis pour qu'une comparaison avec le modèle de référence initial puisse conduire à des conclusions sur le déplacement
10 des dents.

Des différences peuvent subsister entre les conditions d'acquisition virtuelles déterminées et les conditions d'acquisition réelles, en particulier si des dents se sont déplacées entre les étapes a) et b). La corrélation entre les images actualisée et de référence peut alors être encore améliorée en reprenant l'étape e2), le modèle de référence à tester étant alors
15 modifié par déplacement d'un ou plusieurs modèles de dents (étape e3)).

La recherche du modèle de référence approximant au mieux le positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée peut être effectuée comme la recherche des conditions d'acquisition virtuelles approximant au mieux les conditions d'acquisition réelles (étape e2)).

20 En particulier, le score est évalué au moyen d'une deuxième fonction d'évaluation. La deuxième fonction d'évaluation permet de décider si le cyclage sur les étapes e2) et e3) doit être poursuivi ou stoppé. La deuxième fonction d'évaluation peut par exemple être égale à 0 si le cyclage doit être stoppé ou être égale à 1 si le cyclage doit se poursuivre.

La valeur de la deuxième fonction d'évaluation dépend de préférence du meilleur score obtenu avec le modèle de référence à tester, c'est-à-dire des différences entre les cartes actualisée et de référence, dans les conditions d'acquisition virtuelles approximant au mieux lesdites conditions d'acquisition réelles.
25

La valeur de la deuxième fonction d'évaluation peut également dépendre du meilleur score obtenu avec un ou plusieurs modèles de référence testés précédemment.

30 Par exemple, il peut être décidé de poursuivre le cyclage si le score ne dépasse pas un deuxième seuil minimal. La valeur de la deuxième fonction d'évaluation peut également

dépendre de paramètres aléatoires et/ou du nombre de cycles des étapes e2) et e3) déjà effectués.

Les fonctions d'évaluation classiquement utilisées dans les procédés d'optimisation métaheuristiques, de préférence évolutionnistes, en particulier dans les procédés de recuit simulé, peuvent être utilisées pour la deuxième fonction d'évaluation.

Si la valeur de la deuxième fonction d'évaluation indique qu'il est décidé de poursuivre le cyclage sur les étapes e2) et e3), on modifie le modèle de référence à tester et on recommence un cycle (étapes e2) et e3)) avec le nouveau modèle de référence à tester.

La modification du modèle de référence à tester correspond à un déplacement d'un ou plusieurs modèles de dents. Cette modification peut être aléatoire. La modification est de préférence guidée par des règles heuristiques, par exemple en favorisant les modifications qui, d'après une analyse des précédents scores obtenus, apparaissent les plus favorables pour augmenter le score.

De préférence, on recherche le déplacement d'un modèle de dent qui a le plus fort impact sur le score, on modifie le modèle de référence à tester en déplaçant ce modèle de dent, puis on poursuit le cyclage sur les étapes e2) et e3) de manière à optimiser le score. On peut ensuite rechercher, parmi les autres modèles de dent, celui qui a le plus fort impact sur l'amélioration du score, et à nouveau rechercher le déplacement optimal de cet autre modèle de dent sur le score. On peut poursuivre ainsi avec chaque modèle de dent.

Ensuite, il est possible de reprendre un cycle sur l'ensemble des modèles de dent et de poursuivre ainsi jusqu'à l'obtention d'un score supérieur au deuxième seuil. Bien entendu, d'autres stratégies peuvent être utilisées pour déplacer un ou plusieurs modèles de dent dans le modèle de référence à tester et rechercher le score maximal.

Le cyclage sur les étapes e2) et e3) est poursuivi jusqu'à ce que la valeur de la deuxième fonction d'évaluation indique qu'il est décidé de sortir de ce cyclage et de poursuivre à l'étape f), par exemple si le score atteint ou dépasse ledit deuxième seuil.

La recherche d'un modèle de référence avec un cyclage sur les étapes e2) et e3) pour rechercher les positions des modèles de dent qui optimisent le score est de préférence effectuée en utilisant une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence un algorithme de recuit simulé. Un tel algorithme est bien connu pour l'optimisation non linéaire.

Si on a quitté le cyclage sur les étapes e2) et e3) sans qu'un score satisfaisant ait pu être obtenu, par exemple sans que le score ait pu atteindre ledit deuxième seuil, le procédé peut être arrêté (situation d'échec) ou repris à l'étape c) avec une nouvelle information discriminante et/ou avec une nouvelle image actualisée.

- 5 S'il est décidé de relancer le procédé à l'étape c) à partir d'une autre information discriminante et/ou d'une autre image actualisée parce que le premier seuil ou le deuxième seuil n'a pas été atteint, le choix de la nouvelle information discriminante et/ou de la nouvelle image actualisée peut dépendre des scores obtenus précédemment, afin de favoriser l'information discriminante et/ou l'image actualisée qui, au regard de ces scores,
- 10 apparaissent les plus prometteuses.

Une nouvelle information discriminante, obtenue par exemple par combinaison d'autres informations discriminantes déjà testées, peut être utilisée. Le cas échéant, il peut être également demandé d'acquérir une ou plusieurs nouvelles images actualisées. De préférence, on fournit des indications permettant de guider le positionnement de l'appareil

15 d'acquisition pour la capture de cette nouvelle image actualisée. Par exemple, on peut indiquer au patient qu'il devrait prendre une photo de la partie droite de son arcade inférieure.

Si on a quitté le cyclage sur les étapes e2) et e3) sans qu'un score satisfaisant ait pu être obtenu, le procédé peut être également poursuivi avec le modèle de référence et les

20 conditions d'acquisition virtuelles correspondant au meilleur score atteint. Un avertissement peut être émis afin d'informer l'utilisateur de l'erreur sur le résultat.

Si on a quitté le cyclage sur les étapes e2) et e3) alors qu'un score satisfaisant a pu être obtenu, par exemple parce que le score a atteint, voire dépassé ledit deuxième seuil, les conditions d'acquisition virtuelles correspondent sensiblement aux conditions d'acquisition

25 réelles et les modèles de dents dans le modèle de référence obtenu (dit « modèle de référence actualisé ») sont sensiblement dans la position des dents du patient au moment de l'étape b).

Le cyclage sur les étapes e2) et e3) permet avantageusement d'améliorer l'évaluation des paramètres de calibration de l'appareil d'acquisition à l'étape b).

- 30 **A l'étape f)**, on compare le modèle de référence actualisé, résultant de l'optimisation par déplacement des modèles de dents, avec le modèle de référence initial. Le modèle de

référence actualisé correspond sensiblement à l'image actualisée. La comparaison de l'étape f) permet donc d'observer les différences entre le positionnement des dents à l'étape a) (modèle de référence initial) et lors de l'acquisition de l'image actualisée (étape b)). Le procédé permet ainsi de déterminer précisément, pour chacune des dents, les
5 mouvements entre ces deux étapes.

En répétant les étapes b) et suivantes, il est également possible d'évaluer la vitesse d'évolution de la position des dents, et ainsi de mesurer, par exemple, l'efficacité d'un traitement orthodontique. Un procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention peut par exemple être utilisé pour suivre à distance l'évolution d'un traitement
10 orthodontique, et ainsi optimiser les rendez-vous des patients chez leurs orthodontistes.

Dans un mode de réalisation préféré, le procédé de contrôle selon l'invention est mis en œuvre plusieurs fois pour un même patient, de préférence successivement avec plusieurs informations discriminantes, de préférence plus de 2, plus de 3, plus de 5 informations discriminantes pour chaque image actualisée et/ou avec plusieurs images actualisées, de
15 préférence plus de 2, plus de 3, plus de 5 images actualisées. L'évaluation du déplacement d'une dent peut être ainsi affinée en tenant compte des différents scores obtenus. La comparaison de ces scores permet également, le cas échéant, d'écarter les informations discriminantes et/ou les images actualisées insatisfaisantes.

En fonction du déplacement mesuré, une information pratique peut être générée. Si le
20 déplacement est faible, cette information pratique peut être qu'aucune action n'est à engager. Au contraire, si une ou plusieurs dents se sont sensiblement déplacées, l'information peut être de planifier une visite chez le dentiste ou l'orthodontiste. De préférence, l'information pratique dépend du degré de déplacement des dents. Dans un mode de réalisation, un rendez-vous peut être automatiquement pris chez le dentiste ou
25 l'orthodontiste, en fonction de l'amplitude et/ou de la nature des déplacements détectés.

Dans un mode de réalisation, l'information pratique est utilisée pour modifier l'intervalle de temps après lequel le patient devra être averti qu'une nouvelle image actualisée doit être créée.

Dans un mode de réalisation, l'appareil individuel permet d'afficher des images, voire une
30 séquence d'images montrant le positionnement des dents à différentes dates. Ces images

peuvent être présentées sous la forme d'une animation, par exemple sous la forme d'un diaporama ou d'un film.

De préférence, l'appareil d'acquisition d'images est un téléphone qui permet de transmettre les résultats obtenus par la mise en œuvre du procédé, de préférence de manière sécurisée.

- 5 La communication peut être par exemple effectuée, au moins en partie, par la voie hertzienne, de préférence suivant au moins un protocole choisi parmi les protocoles edge, 3G, 4G, udmsa, hpdmsa, bluetooth, et wifi, ou par tout autre protocole, adapté aux équipements mobiles ou nomades, par synchronisation filaire avec l'ordinateur personnel, ou par transmission optique.
- 10 Comme cela apparaît clairement à présent, un procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention permet un contrôle précis et efficace du positionnement des dents du patient, sensiblement sans contrainte pour le patient. En particulier, de simples photographies prises sans précaution particulière, par exemple avec un téléphone mobile, suffit. Le patient peut donc facilement mettre en œuvre ce procédé.

15 **Description détaillée d'un procédé d'adaptation d'un appareil orthodontique porté**

L'appareil orthodontique porté par le patient peut être le premier appareil orthodontique initialement mis à sa disposition pour son traitement orthodontique ou un appareil de substitution mis à sa disposition ultérieurement.

Le premier appareil orthodontique peut être fabriqué suivant un procédé conventionnel.

- 20 En particulier, pour un traitement au moyen de gouttières, l'orthodontiste peut, au début du traitement, déterminer une première série de gouttières adaptée pour que les dents atteignent une position correspondant à un modèle de référence objectif, représentant de préférence un set-up final, fabriqué suivant une étape b'), comme décrit ci-après. Cette détermination peut être réalisée de manière classique.
- 25 De préférence, seule la première gouttière de cette première série est réalisée et fournie au patient.

La possibilité d'évaluer le positionnement des dents à partir de simples photographies, prises sans précaution particulière, notamment à partir d'un téléphone mobile, permet de multiplier les contrôles lors d'un traitement orthodontique. Le traitement peut donc être

adapté très régulièrement, notamment par adaptation ou changement de l'appareil orthodontique.

De manière générique, on appelle « appareil orthodontique de substitution » l'appareil résultant de cette adaptation du traitement. L'appareil orthodontique de substitution peut donc être l'appareil orthodontique qui était porté jusque-là, désigné par « appareil orthodontique porté », et adapté, par exemple par changement de l'arc orthodontique fixé aux dents ou modification de sa tension. L'appareil orthodontique de substitution peut être également un nouvel appareil orthodontique, notamment lorsque des gouttières actives sont utilisées pour le traitement.

- 10 Un procédé d'adaptation d'un appareil orthodontique selon l'invention comporte les étapes a') à f') décrites ci-dessus, et illustrées sur la figure 14.

L'étape a') est identique à l'étape a) et peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles de l'étape a) décrites dans la présente description. Elle conduit à un modèle de référence initial qui représente numériquement, en trois dimensions, au moins la partie des arcades qui comporte les dents du patient à traiter. La fabrication du modèle de référence initial peut être effectuée par toutes les méthodes conventionnelles connues.

L'étape a') est de préférence la première étape. En particulier, le modèle de référence objectif est classiquement déterminé à partir du modèle de référence initial.

- 20 **L'étape b')** consiste à fabriquer un modèle de référence objectif qui représente numériquement, en trois dimensions, les dents à traiter dans une position à atteindre à un instant du traitement, en particulier à la fin du traitement (« set-up final ») ou à une étape intermédiaire prédéterminée du traitement (« set-up intermédiaire »), par exemple à un instant prévu pour changer de gouttière ou modifier la tension de l'arc orthodontique.

- 25 Tous les "set-ups intermédiaires" peuvent être réalisés au début de traitement. Le nombre de set-ups intermédiaires peut être supérieur à 1, à 2, à 10, à 20, à 30, à 40, à 50 ou à 60. La durée entre deux set-ups intermédiaires successifs peut être notamment inférieure à 10 semaines, à 8 semaines, à 6 semaines, à 4 semaines, à 2 semaines, ou à une semaine.

- 30 La fabrication du modèle de référence objectif peut être effectuée par toutes les méthodes conventionnelles connues.

De préférence, le modèle de référence objectif résulte d'une déformation du modèle de référence initial. En particulier, de préférence, les modèles de dent qui correspondent aux dents à traiter sont classiquement déplacés virtuellement jusqu'à leur position souhaitée.

Alternativement, un modèle physique, par exemple en plâtre, représentant les dents dans leur position souhaitée peut être également fabriqué, puis scanné en trois dimensions.

L'étape b') est de préférence effectuée sensiblement au même moment que l'étape a'). Elle peut cependant être réalisée à tout moment jusqu'à la première utilisation du modèle de référence objectif.

L'étape c') de réalisation d'un modèle de référence actualisé est identique à l'ensemble des étapes b) à e) et peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles de ces étapes décrites dans la présente description.

Elle est de préférence exécutée au moment où l'orthodontiste décide que le patient doit effectuer un contrôle de l'efficacité de son traitement, par exemple plus de 1 semaine ou plus de 2 semaines après l'étape a') de réalisation du modèle de référence initial. Elle peut être également décidée par le patient ou être planifiée.

Le modèle de référence actualisé est obtenu par déformation du modèle de référence initial, de préférence par déplacement des modèles de dent, en utilisant des informations issues des images actualisées. Plus précisément, la déformation est optimisée, de préférence par une méthode évolutionniste, de préférence par recuit simulé, pour que les images actualisées correspondent au mieux ("best fit") à des vues du modèle de référence initial déformé, alors appelé "modèle de référence actualisé". Autrement dit, ces vues sont sensiblement identiques aux images actualisées.

De préférence, le modèle de référence actualisé est rendu accessible à l'orthodontiste en temps réel. En particulier, s'il est déterminé avec un appareil du patient, par exemple avec son téléphone, il peut être envoyé à l'orthodontiste. Avantageusement, l'orthodontiste est ainsi averti et peut intervenir en conséquence.

L'utilisation des seules images actualisées, sans le modèle de référence initial, ne permet pas de construire un modèle tridimensionnel précis. C'est l'utilisation de ces images pour modifier le modèle de référence initial (qui est d'une grande précision, notamment lorsqu'il est obtenu par un scan) qui conduit à un modèle de référence actualisé précis, alors même que les images actualisées ont été prises sans précaution particulière.

Le modèle de référence actualisé fournit ainsi des valeurs de paramètres de positionnement au moment de l'acquisition des images actualisées pour des points des dents.

De préférence, la valeur d'un paramètre de positionnement pour un point d'une dent, par exemple du barycentre de la dent, est représentée sur un graphique.

- 5 De préférence, le graphique représente, pour chaque cycle de contrôle, la valeur de ce paramètre de positionnement, pour ce point de la dent. De préférence, une courbe relie ces points. De préférence encore, l'échelle des temps, de préférence en abscisse, est linéaire. La dynamique du traitement, pour ce qui concerne ce paramètre, est avantageusement immédiatement perceptible. L'orthodontiste et/ou le patient peuvent ainsi immédiatement
- 10 percevoir une perte d'efficacité de l'appareil orthodontique et agir en conséquence.

L'étape d') de détermination d'un modèle de comparaison peut être exécutée à tout moment avant l'étape e').

- De préférence, le modèle de comparaison fournit des positions théoriques des dents, ou de points de dents, à des instants intermédiaires entre le début et la fin du traitement. De
- 15 préférence, le modèle de comparaison est un modèle numérique tridimensionnel. Il permet avantageusement une comparaison visuelle avec le modèle de référence actualisé. De préférence, la position théorique d'une dent ou d'un point d'une dent résulte d'un traitement du modèle de référence initial et du modèle de référence objectif, en particulier d'une interpolation, de préférence non linéaire, entre les positions de cette dent ou de ce point
- 20 entre ces deux modèles.

- Par exemple, la position (x,y,z) d'un point M d'une dent peut être définie dans un repère tridimensionnel, par exemple orthonormé. La position de ce point dans le modèle de
- référence initial, à l'instant t_0 , et dans le modèle de référence objectif, à l'instant t_G , peut être notée (x_0,y_0,z_0) et (x_G,y_G,z_G) , respectivement. Si on considère que le déplacement est
- 25 rectiligne et évolue linéairement avec le temps, la position théorique intermédiaire de ce point à l'instant intermédiaire t_i au milieu du traitement sera (x_i,y_i,z_i) , avec $x_i = (x_0 + x_G)/2$, $y_i = (y_0 + y_G)/2$ et $z_i = (z_0 + z_G)/2$.

- De préférence encore, le modèle de comparaison dépend d'un ou plusieurs modèles de référence actualisés antérieurs et/ou d'un ou plusieurs modèles de comparaison antérieurs
- 30 (établis lors de cycles de contrôle précédents, c'est-à-dire notamment d'étapes c') antérieures). La précision en est considérablement améliorée.

De préférence, la détermination du modèle de comparaison dépend des évolutions entre plusieurs modèles de référence actualisés, de préférence successifs. Par exemple, des modèles de référence actualisés peuvent avoir été réalisés il y a trois mois, deux mois et un mois, à t_3 , t_2 et t_1 , respectivement. Le déplacement du barycentre d'une dent le long de l'axe Ox) entre t_3 et t_2 peut être par exemple de 100 μm et le déplacement entre t_2 et t_1 peut être de 80 μm . On peut alors, par simple extrapolation linéaire, considérer que le déplacement, selon l'axe Ox), entre t_1 et aujourd'hui (t_0), sera de 60 μm , ce qui permet de créer une modèle de comparaison à t_0 avec une grande précision.

Toutes les méthodes classiques de prédiction peuvent être utilisées, une méthode de prédiction étant un procédé permettant d'établir, à partir d'un modèle prédictif, une prédiction en fonction de données connues.

Un modèle prédictif est donc un modèle permettant de simuler le déplacement futur des dents à partir de données passées, et notamment des déplacements passés desdites dents et/ou du comportement passé ou calculé de l'appareil orthodontique.

De préférence, le modèle prédictif tient compte de l'action de l'appareil orthodontique sur les dents. Ainsi, dans l'exemple ci-dessus s'il est connu que l'action de l'appareil orthodontique sur le déplacement du barycentre d'une dent selon l'axe Ox) décroît avec le temps, le déplacement, selon l'axe Ox), entre t_1 et aujourd'hui (t_0) pourra-t-il être estimé à 50 μm et non pas à 60 μm .

Des outils permettant de simuler les déplacements des dents entre deux positions extrêmes en tenant compte des interactions entre les dents, comme Clincheck de Align Technology, Suresmile® de Orametrix, Virtual Setup de Harmony ou Insignia de Ormco, sont bien connus. De préférence, on utilise également un modèle de l'appareil orthodontique permettant de simuler son action, dans le temps, sur les dents, en fonction de leurs positions, et notamment de leur position dans le modèle de référence initial et/ou de leur position dans le modèle de référence actualisé. Comme on le verra plus en détail dans la suite de la description, un procédé d'évaluation du comportement d'un appareil orthodontique selon l'invention permet de concevoir et/ou d'affiner de tels modèles prédictifs.

De préférence, on construit un modèle dynamique, capable de fournir la position théorique des dents ou d'un ensemble de points de dents, de préférence de chaque modèle de dent, à

tout instant entre le début et la fin du traitement ou, plus généralement, entre les instants correspondant aux modèles de référence initial et objectif. Un logiciel peut être utilisé à cet effet.

L'étape d') peut être réalisée immédiatement après que les étapes a') et b') ont été réalisées, par exemple moins de 3 mois, moins d'un mois ou moins d'une semaine après que les étapes a') et b') ont été réalisées.

De préférence, le modèle de comparaison est déterminé pour correspondre à une simulation de la position des dents traitées à un instant t_c le plus proche possible de l'instant d'exécution de l'étape c'), et en particulier de l'instant t_a auquel les images actualisées ont été acquises. De préférence, ces deux instants sont séparés de moins de 1 mois, moins de deux semaines, de préférence de moins d'une semaine, de préférence de moins d'une journée.

Sur la figure 13, les deux instants t_c et t_a sont confondus, ce qui est notamment possible lorsqu'on dispose d'un modèle tridimensionnel dynamique, capable de fournir la position théorique des dents, à tout instant entre le début et la fin du traitement. Connaissant l'instant t_a , il suffit en effet de choisir, comme modèle de comparaison, le modèle dynamique à l'instant t_a .

Dans un mode de réalisation, le modèle de comparaison est toujours le modèle de référence objectif. La précision de l'adaptation de l'appareil orthodontique n'est cependant pas optimale.

A l'étape e'), le modèle de référence actualisé, qui correspond à la situation observée au moment du contrôle, est comparé avec le modèle de comparaison, théorique.

La comparaison peut être faite par le patient et/ou l'orthodontiste.

La comparaison comporte de préférence une détermination, pour chaque point d'un ensemble de points des dents du modèle de référence actualisé, de préférence pour au moins trois points non coplanaires de chaque dent du modèle de référence actualisé, du déplacement (vecteur) entre les représentations de ce point sur les modèles de comparaison et actualisé. Ce déplacement est de préférence quantifié au moyen de distances et/ou d'angles dans un repère tridimensionnel Oxyz, par exemple dans un repère orthonormé. Le déplacement peut par exemple être déterminé en coordonnées cartésiennes ou cylindriques.

L'analyse du déplacement de quelques points des dents peut être difficile à présenter ou à analyser. Les points d'une même dent sont considérés comme rigidement liés les uns aux autres. De préférence, l'analyse du déplacement des points d'une même dent est généralisée pour évaluer le déplacement de tous les points de cette dent, c'est-à-dire le
5 déplacement du modèle de dent correspondant.

En particulier, la connaissance du déplacement de trois points non coplanaires d'une dent permet d'évaluer le mouvement de cette dent entre sa représentation (c'est-à-dire le modèle de dent correspondant) dans le modèle de référence actualisé et sa représentation dans le modèle de comparaison, ou « quantité de mouvement ». La quantité de mouvement peut
10 être exprimée par des différences de valeurs d'un ensemble de paramètres de positionnement permettant de fixer la position et l'orientation d'un objet dans l'espace, par exemple de coordonnées cartésiennes d'un point de la dent, par exemple de son barycentre, et de valeurs d'angles autour d'un repère fixe, par exemple orthonormé (différences entre les valeurs dans le modèle de référence actualisé et dans le modèle de comparaison).

15 De préférence, on détermine pour chacun des paramètres de positionnement, le chemin à parcourir, depuis le modèle de référence actualisé, pour atteindre le modèle de comparaison, par exemple la distance à parcourir par le barycentre de la dent selon chacun des axes d'un repère orthonormé fixe et la rotation à effectuer autour de chacun de ces axes.

20 De préférence, à l'étape e'), on évalue la vitesse des déplacements des points considérés, en utilisant de préférence le modèle de référence initial, et de préférence un ou plusieurs modèles de référence actualisés déterminés antérieurement, en particulier lors de cycles de contrôle antérieurs. La vitesse de déplacement d'un point d'une dent, selon une direction, entre deux modèles de référence actualisés successifs peut être simplement évaluée en
25 divisant la distance entre les représentations de ce point sur ces deux modèles, suivant cette direction, par la durée écoulée entre la réalisation de ces deux modèles.

De préférence encore, on évalue le ralentissement ou l'accélération du déplacement des points des dents, par comparaison des vitesses de deux périodes successives.

Si le modèle de référence objectif est un set-up final ou intermédiaire, la comparaison
30 permet d'évaluer les quantités de mouvement encore nécessaires pour terminer le traitement ou atteindre la fin de l'étape intermédiaire de traitement, respectivement. La

comparaison permet aussi d'évaluer la vitesse des déplacements des dents jusqu'à la fin de l'étape intermédiaire ou la fin du traitement, respectivement.

Cette comparaison ne permet cependant pas d'estimer avec précision si le traitement se déroule comme prévu si elle n'est pas effectuée à un instant proche de la fin de l'étape intermédiaire ou de la fin du traitement. La détection d'une situation anormale, ou plus
5 généralement d'une situation nécessitant une adaptation de l'appareil orthodontique, nécessite alors de grandes capacités d'analyse.

C'est pourquoi, de préférence, comme indiqué ci-dessus, le modèle de comparaison est un modèle qui correspond à une estimation de la position des dents espérée sensiblement à
10 l'instant t_a de l'étape c'), par exemple déterminée en début de traitement ou suite au cycle de contrôle immédiatement précédent.

La comparaison entre la situation réelle, évaluée avec le modèle de référence actualisé déterminé à l'étape c'), et la situation attendue, évaluée avec le modèle de comparaison, permet de déterminer si l'appareil orthodontique remplit correctement sa fonction.

15 Le cas échéant, elle permet également de déterminer ce qui fait défaut, par exemple une force trop élevée sur une dent, selon une direction.

On considère que le résultat de la comparaison est insatisfaisant si un écart entre le modèle de référence actualisé et le modèle de comparaison dépasse une valeur de seuil. Par exemple, si le modèle de comparaison correspond à un positionnement des dents prévu
20 pour l'instant de la création du modèle de référence actualisé, un écart de plus de 50 μm de la position du barycentre selon l'axe Ox) peut être considéré comme insatisfaisant. Si le modèle de comparaison est le modèle de référence objectif, la valeur de seuil à dépasser pour qu'un écart produise un résultat insatisfaisant dépend bien entendu de la durée résiduelle prévue pour atteindre le positionnement correspondant au modèle de référence
25 objectif.

La comparaison aboutit de préférence à une quantification des écarts, de préférence effectuée et présentée par un ordinateur. L'ordinateur présente de préférence les résultats de la comparaison en mettant en valeur les écarts les plus significatifs.

La comparaison peut être également visuelle. De préférence, un orthodontiste visualise et
30 compare le modèle de référence actualisé et le modèle de comparaison. De préférence, un écran d'ordinateur présente une image mettant en évidence les écarts.

La décision qu'un écart est insatisfaisant ou pas peut dépendre d'une décision de l'orthodontiste et/ou d'un résultat d'un calcul effectué par ordinateur.

- De préférence, la comparaison effectuée à l'étape e') conduit à des préconisations qui sont présentées à l'orthodontiste. En particulier, le procédé permet de déterminer finement le comportement de l'appareil orthodontique, et donc de déterminer le ou les facteurs qu'il convient de modifier pour optimiser son efficacité.

Dans un mode de réalisation, l'étape e') conduit à la génération d'un rapport précisant comment modifier la tension de l'arc de l'appareil orthodontique posé ou comment fabriquer une nouvelle gouttière.

- 10 Dans un mode de réalisation, l'étape e') conduit à la génération d'un score « actualisé » qui peut être comparé à un score de référence pour des traitements équivalents. De préférence, ces scores sont présentés au patient. Avantageusement, la réussite du traitement est ainsi présentée comme un objectif ludique, les scores motivant le patient, et notamment les enfants, à suivre au mieux le traitement afin d'augmenter leur score actualisé.

- 15 De préférence, l'étape e') conduit à la génération d'une information présentant au patient la situation et les différentes options qui se présentent. En cas d'écart insatisfaisant, le patient peut ainsi, par exemple, décider de rallonger son traitement ou choisir un nouveau modèle de référence objectif.

- De préférence, les résultats de la comparaison sont transmis, de préférence en temps réel, au patient, de préférence sur son téléphone mobile. Avantageusement, le patient peut ainsi prendre conscience des conséquences d'une mauvaise observance du traitement.

A l'étape f'), si le résultat est insatisfaisant, on fabrique un appareil orthodontique de substitution, par modification de l'appareil orthodontique porté jusque-là ou par fabrication d'un nouvel appareil orthodontique.

- 25 L'étape f') est une étape classiquement exécutée lors d'un contrôle chez un orthodontiste.

Selon l'invention, la fabrication d'un appareil orthodontique de substitution n'est cependant réalisée que si le contrôle, effectué de préférence à distance, indique qu'elle est nécessaire.

- Dans un mode de réalisation, la fabrication de l'appareil de substitution est effectuée à distance, de sorte que, lorsque le patient se présente chez l'orthodontiste, l'appareil orthodontique de substitution peut être immédiatement posé. En particulier, un arc

orthodontique ou une gouttière peuvent être préparés à partir de l'évaluation effectuée à l'étape e'). L'arc orthodontique ou la gouttière peuvent être fabriqués dans un laboratoire à distance du cabinet de l'orthodontiste, puis être envoyés par courrier à ce dernier.

5 Dans un mode de réalisation, la gouttière peut être envoyée directement au patient, sans intervention de l'orthodontiste.

De préférence, à l'étape f'), on modifie le planning de traitement en fonction de la modification apportée à l'appareil orthodontique.

10 Dans un mode de réalisation, plusieurs appareils orthodontiques de substitution pouvant immédiatement remplacer l'appareil porté sont déterminés, de préférence en fonction de la vitesse de traitement souhaitée par le patient, une vitesse augmentée correspondant potentiellement à des douleurs supplémentaires. De préférence, le choix de la vitesse de traitement est offert au patient et l'appareil orthodontique de substitution à fabriquer est déterminé en conséquence.

15 Bien entendu, à l'étape f'), si le résultat est insatisfaisant, on peut fabriquer, et de préférence envoyer à l'orthodontiste ou au patient, une série d'appareils orthodontiques de substitution.

20 En particulier on peut déterminer, comme au début du traitement avec des gouttières, une nouvelle série de gouttières adaptée pour que les dents atteignent une position correspondant au modèle de référence objectif. Cette détermination peut être réalisée de manière classique. De préférence cependant, une seule gouttière est fabriquée et, de préférence, envoyée au patient.

Cycles de contrôle

25 De préférence, le procédé comporte plusieurs cycles de contrôle comportant des étapes c'), d'), e') et f'), de préférence réalisés chacun à un instant par exemple déterminé en début de traitement et/ou à la demande de l'orthodontiste et/ou à l'initiative du patient.

Deux cycles de contrôle consécutifs sont de préférence séparés d'une durée inférieure à 10 semaines, de préférence inférieure à 8 semaines, de préférence inférieure à 6 semaines, de préférence inférieure à 4 semaines, de préférence inférieure à 3 semaines, de préférence inférieure à 2 semaines.

De préférence, le nombre de cycles de contrôle lors du traitement est supérieur à 1, supérieur à 3, supérieur à 5, supérieur à 10, supérieur à 15, voire supérieur à 20.

De préférence, un rappel est envoyé au patient, par exemple par SMS, pour qu'il effectue un cycle de contrôle.

- 5 Dans un mode de réalisation préféré, le modèle de comparaison d'une étape d') d'un cycle de contrôle est déterminé à partir du modèle de référence actualisé réalisé lors de l'étape c') d'un cycle de contrôle précédent, en particulier du cycle de contrôle immédiatement précédent, ou à partir de plusieurs modèles de référence actualisés réalisés lors d'étapes c') de cycles de contrôle antérieurs, par exemple par extrapolation.
- 10 La figure 13 illustre un procédé qui comporte plusieurs cycles de contrôle. Elle représente les courbes des évolutions temporelles théorique (C_T) et réelle (C_R) d'un paramètre de quantité de mouvement d'une dent, et plus précisément, l'évolution temporelle de la position d'un point M d'une dent, par exemple du barycentre de cette dent, selon l'axe Ox), en pourcentage par rapport à la valeur souhaitée en fin de traitement.
- 15 Un cycle de contrôle a été effectué chaque semaine.

Chaque semaine, un point de chaque courbe a donc été déterminé, au moyen d'un modèle de comparaison établi à partir d'un modèle dynamique simulant une évolution anticipée des dents du modèle de référence initial (point de la courbe C_T), et d'un modèle de référence actualisé établi à partir de photographies prises par le patient cette semaine (point de la courbe C_R).

- 20 Les premiers cycles de contrôle ont permis de constater très rapidement une dérive. L'appareil orthodontique avait tendance à déplacer trop rapidement le point M. Cette information a été présentée à l'orthodontiste, avec des préconisations relatives à la façon de modifier l'appareil orthodontique, par exemple pour lui préciser qu'il convenait de réduire la tension exercée par l'arc orthodontique entre deux dents déterminées.
- 25

Un rendez-vous entre le patient et l'orthodontiste a été convenu la troisième semaine. L'appareil orthodontique a été modifié pendant ce rendez-vous. Cette modification a conduit au rapprochement des deux courbes les semaines suivantes.

Après cinq semaines, les deux courbes se sont croisées. L'appareil orthodontique a donc de nouveau été modifié, à la semaine 8. Les deux courbes se sont alors lentement rapprochées, jusqu'à la semaine 18.

Elles ont ensuite à nouveau divergé sensiblement, ce qui a conduit à modifier encore
5 l'appareil orthodontique, en semaine 20.

A l'issue de la semaine 25, l'objectif était sensiblement atteint, dans le délai prévu initialement. Le traitement est alors terminé.

Dans un mode de réalisation, le patient reçoit, par exemple sur son téléphone, des informations lui permettant de comparer le modèle de référence actualisé et le modèle de
10 référence objectif, par exemple des représentations graphiques de ces deux modèles. Si le modèle de référence objectif représente les dents à la fin du traitement (« set-up final »), il peut ainsi décider lui-même de la fin du traitement.

La courbe de l'évolution temporelle théorique peut être déterminée, dans sa totalité, dès le début du traitement, en tenant compte des modifications de l'appareil orthodontique
15 prévues pendant le traitement.

Cette courbe peut être également recalculée en fonction des modifications apportées à l'appareil orthodontique et qui n'étaient pas prévues initialement. Par exemple, si la modification de l'appareil orthodontique effectuée en semaine 3 n'était pas prévue initialement, le modèle prédictif utilisé pour établir le modèle de comparaison utilisé après
20 la semaine 3, et donc la courbe de l'évolution temporelle théorique, ont de préférence été modifiés pour tenir compte de cette modification imprévue. Le modèle prédictif a ainsi avantageusement tenu compte d'une évolution beaucoup plus lente du déplacement du point M selon l'axe Ox) que celle qui avait été initialement anticipée.

Comme cela apparaît clairement à présent, le procédé d'adaptation selon l'invention permet
25 notamment un diagnostic de la situation, voire la fabrication d'un appareil orthodontique de substitution, sans que le patient ait à se déplacer chez un orthodontiste.

Description détaillée d'un procédé d'évaluation du comportement d'un appareil orthodontique

La multiplication des cycles de contrôle permet avantageusement d'acquérir de nombreuses données permettant d'établir des corrélations entre des paramètres de l'appareil orthodontique, son comportement et des configurations des dents.

De préférence, les valeurs des paramètres de l'appareil orthodontique utilisé initialement, mais aussi, à chaque cycle de contrôle, les paramètres de l'appareil orthodontique de substitution sont enregistrés dans un ordinateur. Les paramètres de l'appareil orthodontique comprennent des paramètres intrinsèques, comme le matériau ou la forme d'une gouttière, ou le matériau et le diamètre d'un arc orthodontique. Ils comprennent également des paramètres extrinsèques, résultant de son utilisation, comme les points d'attache de l'arc orthodontique sur les dents ou la tension de l'arc orthodontique.

Cet ordinateur a également accès aux différents modèles tridimensionnels établis dans le cadre du traitement.

Un module d'analyse permet de comparer toutes les données collectées, selon des méthodes d'analyse statistique conventionnelles. Il en résulte une meilleure connaissance du comportement de l'appareil orthodontique, en fonction des valeurs de ses paramètres et des configurations des dents correspondantes.

De préférence, les données collectées sont issues de plusieurs traitements, de préférence de plus de 10, plus de 100, plus de 1 000, plus de 10 000, plus de 100 000 traitements.

La précision de l'analyse statistique en est améliorée.

Les données permettent ainsi d'observer que, dans des configurations similaires des dents, un type d'appareil orthodontique ou un paramètre d'un appareil orthodontique est particulièrement efficace pour assurer un déplacement dans une direction particulière.

Elles permettent donc de modéliser le comportement de l'appareil orthodontique avec une grande précision, et ainsi de mieux évaluer, dans une situation particulière, son comportement futur.

Dans un mode de réalisation, l'analyse des données permet de quantifier la difficulté d'un traitement, par comparaison de ce traitement avec des traitements équivalents. L'orthodontiste peut ainsi informer le patient sur les chances de succès et sur la nature des difficultés potentielles. L'orthodontiste peut également avantageusement décider de

modifier le traitement initialement envisagé, notamment en modifiant les set-ups intermédiaires.

Les connaissances ainsi acquises peuvent donc être utilisées pour optimiser

- la conception des appareils orthodontiques, et/ou
- 5 - le choix d'un appareil orthodontique pour un traitement particulier, et/ou
- l'établissement d'un diagnostic par l'orthodontiste, et/ou
- la fabrication d'un appareil orthodontique de substitution, et/ou
- la détermination d'un modèle prédictif pour fabriquer le modèle de comparaison.

Cette optimisation peut avantageusement amener l'orthodontiste ou le concepteur
10 d'appareils orthodontiques à prendre en compte un paramètre de l'appareil orthodontique classiquement considéré comme négligeable.

Avantageusement, des corrélations entre des paramètres de l'appareil orthodontique et son comportement peuvent être établies sans qu'il soit nécessaire de comprendre théoriquement cette corrélation, c'est-à-dire de comprendre comment ces paramètres
15 produisent ce comportement.

Description détaillée d'un procédé de contrôle de la forme des dents

L'invention concerne également un procédé de contrôle de la forme de dents d'un patient. A l'étape a), la définition des modèles de dents n'est cependant pas indispensable pour ce contrôle.

20 De préférence, à l'étape e), on recherche, pour chaque image actualisée, un modèle de référence actualisé correspondant à la forme des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée, la recherche étant de préférence effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé, en particulier au moyen d'une des méthodes métaheuristicques décrites précédemment.

25 De préférence, comme décrit pour l'étape e), cette recherche comporte deux boucles d'optimisation imbriquées.

Lors de la première opération d'optimisation, on optimise d'abord, dans un modèle de référence à tester qui est initialement le modèle de référence initial, des conditions d'acquisition virtuelles qui correspondent au mieux aux conditions d'acquisition réelles.

30 En particulier, on recherche la position virtuelle de l'appareil d'acquisition par rapport au

modèle de référence à tester qui offre la vue de ce modèle de référence à tester, c'est-à-dire l'image de référence, qui est la plus proche de l'image actualisée.

De préférence, comme décrit précédemment, on recherche également une calibration virtuelle susceptible de correspondre à la calibration réelle de l'appareil d'acquisition lors de la capture de l'image actualisée.

Lors de la deuxième opération d'optimisation, on modifie ensuite le modèle de référence à tester, on relance la première l'opération d'optimisation, puis on recommence ces deux opérations jusqu'à trouver le modèle de référence à tester et la position virtuelle de l'appareil d'acquisition qui permettent d'obtenir l'image de référence qui est la plus proche de l'image actualisée.

Ces opérations sont similaires à celles décrites pour le procédé de contrôle du positionnement des dents et les caractéristiques optionnelles de ce dernier contrôle sont optionnellement applicables.

Cependant, suivant le procédé de contrôle du positionnement des dents décrit précédemment, la modification du modèle de référence résulte d'un déplacement d'un ou plusieurs modèles de dents. Aucune déformation des modèles de dent ou du modèle de référence initial n'est nécessaire.

Pour contrôler la forme des dents, la modification du modèle de référence résulte d'une modification de la forme du modèle de référence à tester, en particulier d'un ou plusieurs modèles de dents. Aucun déplacement des modèles de dent n'est nécessaire.

Bien entendu, il est préférable d'effectuer les deux types de modifications du modèle de référence à tester afin de déterminer un modèle de référence actualisé qui tienne compte à la fois du déplacement des dents et de leur déformation.

Par exemple, on peut mettre en œuvre une troisième opération d'optimisation portant sur le déplacement des dents et encadrant les deux premières opérations d'optimisation, la deuxième optimisation portant sur la forme des modèles de dent ou du modèle de référence à tester. Il est également possible de ne mettre en œuvre que les deux premières opérations d'optimisation, en modifiant, éventuellement simultanément, la forme et la position des modèles de dents lors de la deuxième opération d'optimisation.

On peut aussi mettre en œuvre une troisième opération d'optimisation portant sur la forme des modèles de dent ou du modèle de référence à tester et encadrant les deux premières opérations d'optimisation, la deuxième opération d'optimisation portant sur le déplacement des modèles de dents. Par exemple, on recherche d'abord un modèle de référence actualisé

« à tester » tenant compte, au mieux, du déplacement des modèles de dent, le modèle de référence actualisé à tester correspondant au modèle de référence actualisé d'une étape e) d'un procédé de contrôle du positionnement des dents décrit précédemment, puis on recherche si une déformation du modèle de référence actualisé à tester peut conduire à une

5 meilleure concordance (« matching ») avec l'image actualisée. Pour cette recherche, on déforme le modèle de référence actualisé à tester, on recommence les deux premières opérations d'optimisation, puis, en fonction de la concordance obtenue, on arrête la recherche ou on la poursuit en effectuant une nouvelle déformation du modèle de référence actualisé à tester et en relançant une exécution des deux premières opérations

10 d'optimisation.

De préférence, la première opération d'optimisation et/ou la deuxième opération d'optimisation et/ou la troisième opération d'optimisation, de préférence la première opération d'optimisation et la deuxième opération d'optimisation et la troisième opération d'optimisation mettent en œuvre une méthode métaheuristique, de préférence

15 évolutionnistes, de préférence un recuit simulé, en particulier d'une des méthodes métaheuristiques citées précédemment.

De préférence, pour contrôler la déformation des dents, l'étape e) comporte

- une première opération d'optimisation permettant de rechercher des conditions d'acquisition virtuelles correspondant au mieux aux conditions d'acquisition réelles

20 dans un modèle de référence à tester déterminé à partir du modèle de référence initial, et

- une deuxième opération d'optimisation permettant de rechercher, en testant une pluralité de dits modèles de référence à tester, le modèle de référence correspondant au mieux à la forme des dents du patient lors de l'acquisition de l'image actualisée à l'étape b), de préférence correspondant au mieux à la forme et au positionnement des

25 dents du patient lors de l'acquisition de l'image actualisée à l'étape b).

De préférence, une première opération d'optimisation est effectuée pour chaque test d'un modèle de référence à tester lors de la deuxième opération d'optimisation.

L'étape e) peut notamment comporter les étapes suivantes :

- e'1) définition du modèle de référence à tester comme étant le modèle de référence initial puis,
- 5 e'2) suivant les étapes suivantes, test de conditions d'acquisition virtuelles avec le modèle de référence à tester afin d'approximer finement lesdites conditions d'acquisition réelles ;
 - e'21) détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester;
 - e'22) réalisation d'une image de référence bidimensionnelle du modèle de référence à tester dans lesdites conditions d'acquisition
 - 10 virtuelles à tester ;
 - e'23) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de référence représentant ladite information discriminante ;
 - e'24) comparaison des cartes actualisée et de référence de manière à déterminer une valeur pour une première fonction d'évaluation,
 - 15 ladite valeur pour la première fonction d'évaluation dépendant des différences entre lesdites cartes actualisée et de référence et correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche de conditions d'acquisition virtuelles approxinant lesdites conditions d'acquisition réelles avec plus d'exactitude que
 - 20 lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester déterminées à la dernière occurrence de l'étape e'21) ;
 - e'25) si ladite valeur pour la première fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, reprise à l'étape e'21) en modifiant les conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
 - 25 e'3) sinon détermination d'une valeur pour une deuxième fonction d'évaluation, ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation dépendant des différences entre les cartes actualisée et de référence dans les conditions d'acquisition virtuelles approxinant au mieux lesdites conditions d'acquisition réelles et résultant de la dernière occurrence de
 - 30 l'étape e'2), ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche d'un modèle de référence approxinant la forme, et éventuellement le

positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée avec plus d'exactitude que ledit modèle de référence à tester utilisé à la dernière occurrence de l'étape c'2), et

5 si ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification du modèle de référence à tester par déformation d'un ou plusieurs modèles de dents, ou du modèle de référence à tester, et éventuellement par déplacement d'un ou plusieurs modèles de dents, puis reprise à l'étape c'2).

10 A l'issue de ce procédé, on aboutit à un modèle de référence à tester, dit « modèle de référence actualisé », qui correspond au modèle de référence initial déformé pour correspondre au mieux à l'image actualisée.

La comparaison des modèles de référence initial et actualisé comprend la comparaison des coordonnées spatiales des points des surfaces définies par ces deux modèles de référence. On peut ainsi en déduire les modifications de forme éventuelles entre l'étape a) et l'étape

15 b).

De préférence, on produit une cartographie de la dent faisant apparaître les changements de forme. De préférence, comme représenté sur la figure 8, la couleur d'une zone de la cartographie est fonction de l'ampleur de changement de forme de cette zone. La cartographie de la figure 8 fait en particulier apparaître une zone 16 indiquant une rupture

20 d'une dent.

Bien entendu, le procédé de contrôle de la forme de dents d'un patient peut être utilisé pour détecter une addition ou une soustraction de matière, mais aussi une déformation à volume constant. Ce procédé permet également de détecter des déplacements de dents, même sans modèle de dents. Cependant, en l'absence de modèle de dent, il ne permet pas de distinguer

25 les déformations des dents d'une part et les déplacements des dents d'autre part.

Description détaillée d'un procédé de contrôle de l'aspect des dents

Le contrôle de l'évolution de la couleur de dents à partir de photographies prises dans des positions de l'appareil photo ou dans des environnements lumineux différents montre que cette comparaison ne permet pas d'évaluer une évolution de l'aspect de ces dents.

Un tel contrôle de la couleur des dents nécessite donc des précautions particulières, notamment pour définir avec précision la position de l'appareil photo et son environnement lumineux.

- 5 Il existe donc un besoin pour un procédé permettant de contrôler la couleur, et plus généralement une propriété d'aspect, des dents de manière plus simple, et notamment en évitant ces précautions particulières.

Un objectif de l'invention est de répondre à ce besoin.

L'invention fournit un procédé de contrôle d'une propriété d'aspect de dents d'un patient, ledit procédé comportant les étapes A. à E. décrites ci-dessus, représentées sur la figure 9.

- 10 Comme on le verra plus en détail dans la suite de la description, ce procédé permet d'évaluer si l'aspect, en particulier la couleur d'une ou plusieurs des dents a été modifié, même lorsque les conditions d'acquisition des photographies de dents d'un patient ne sont pas prédéfinies, par exemple parce que les photographies ont été prises dans un environnement lumineux ou dans une position quelconque de l'appareil d'acquisition, en
15 particulier par le patient.

Par « propriété d'aspect », on entend une propriété relative à l'apparence. La propriété d'aspect peut être en particulier choisie dans le groupe constitué par la couleur, l'opalescence, la fluorescence, la brillance (« gloss »), la transparence, et les combinaisons de ces propriétés.

- 20 Par « aspect », on entend une valeur ou un ensemble de valeurs permettant de quantifier une propriété d'aspect. Sauf indication contraire, les « aspects » mentionnés dans la présente description concernent la propriété d'aspect que le procédé permet de contrôler.

Étapes A. et B.

Les étapes A. et B. peuvent être réalisées comme l'étape b) décrite ci-dessus.

- 25 Les étapes A. et B. sont de préférence réalisées par le patient ou un proche du patient, mais peuvent être réalisées par un dentiste.

L'intervalle de temps entre ces étapes peut être celui décrit ci-dessus entre les étapes a) et b), par exemple supérieur à 1 semaine, à 2 semaines, à 1 mois ou à 3 mois.

Le premier appareil d'acquisition peut être identique ou différent du deuxième appareil d'acquisition. Il peut être un appareil d'acquisition choisi parmi ceux pouvant être utilisés pour l'étape b), notamment un appareil photo ou un téléphone mobile.

De préférence, les acquisitions aux étapes A. et/ou B. sont effectuées en ayant recours à un flash. Les résultats en sont améliorés. De préférence, l'image initiale et/ou actualisée est surexposée.

Les jauges de référence utilisées pour chacune des étapes A. et B. présentent un même aspect. De préférence, lors de chacune des étapes, elles sont disposées dans la même position par rapport aux dents du patient.

De préférence, des écarteurs dentaires sont utilisés pour chacune des étapes A. et B.. Ces écarteurs peuvent être identiques ou différents. De préférence la jauge de référence est portée par un écarteur pour au moins une des étapes A. et B., de préférence pour chacune des étapes A. et B.. De préférence, même si les écarteurs utilisés pour chacune des étapes A. et B. sont différents, les jauges de référence sont disposées sur les écarteurs dans la même position par rapport à l'ouverture 14 de l'écarteur qui laisse apparaître les dents du patient (figure 5a).

De préférence, la jauge de référence est disposée sur l'écarteur de manière à être à proximité des dents dont la propriété d'aspect doit être contrôlée. De préférence, la jauge de référence est disposée à moins de 3 cm, de préférence moins de 2 cm, de préférence moins de 1 cm de la partie de l'écarteur destinée à être introduite dans la bouche du patient.

De préférence, chaque écarteur comporte plusieurs jauges de référence, identiques ou différentes. De préférence, plusieurs jauges de référence différentes d'un même écarteur présentent des aspects différents. Les conclusions tirées de la comparaison des images normalisées peuvent être avantageusement plus riches.

Une jauge de référence peut être par exemple un point repérable sur l'écarteur et dont l'aspect est connu, par exemple dont les paramètres de couleur L^* , et/ou a^* et/ou b^* , mesurés selon la norme NF ISO 7724, sont connus. La jauge de référence peut être notamment une marque de repérage d'un écarteur tel que décrit ci-dessus.

Les conditions d'acquisition précisent la position dans l'espace et/ou l'orientation de l'appareil d'acquisition par rapport à l'écarteur.

Pour améliorer la précision du contrôle d'aspect, il est préférable que les conditions d'acquisition soient sensiblement les mêmes aux étapes A. et B.. Par exemple, il est préférable que les deux images soient prises sensiblement de face. De préférence, l'appareil d'acquisition d'images utilisé pour au moins une, de préférence pour chacune
5 des étapes A. et B. comporte des moyens détrompeurs facilitant son positionnement par rapport au patient avant l'acquisition de l'image.

Les moyens détrompeurs interagissent de préférence avec des marques de repérage disposées sur l'écarteur. De préférence, l'appareil d'acquisition est programmé de manière à, en temps réel, repérer les marques de repérage sur l'écarteur, analyser leurs positions
10 relatives ou leurs dimensions et, en conséquence, informer l'utilisateur de l'appareil d'acquisition afin qu'il modifie en conséquence la position de l'appareil d'acquisition par rapport aux dents du patient.

Ces moyens détrompeurs peuvent présenter une ou plusieurs des caractéristiques des moyens détrompeurs décrits ci-dessus pour l'étape b).

15 De préférence, pour au moins une, de préférence pour chacune des étapes A. et B. on utilise un kit d'acquisition selon l'invention et, de préférence, un procédé d'acquisition comportant des étapes (a) à (e). De préférence, les conditions d'acquisition cibles sont les mêmes dans la mémoire des premier et deuxième appareils d'acquisition de sorte que l'appareil d'acquisition guide son utilisateur pour que les images initiale et actualisée soient
20 prises dans des conditions d'acquisition sensiblement identiques.

De préférence, les conditions d'acquisition cibles sont déterminées en fonction des dents dont la propriété d'aspect est à contrôler. Par exemple, les conditions d'acquisition cibles correspondent de préférence à une prise d'image face au patient pour un contrôle portant sur une incisive et elles correspondent de préférence à une prise d'image latérale pour un
25 contrôle portant sur une molaire.

Etape C.

L'étape C. consiste à normaliser, c'est-à-dire « corriger » l'image initiale et/ou l'image actualisée de manière que, après correction, les représentations de la jauge de référence sur ces images présentent un même aspect. La jauge de référence n'ayant pas changé d'aspect
30 entre les étapes A. et B., les différences d'aspect éventuelles présentées par les

représentations des dents sur les images initiale et actualisée normalisées correspondent donc à des différences d'aspect réelles sur lesdites dents.

On recherche d'abord la jauge de référence sur l'image initiale et sur l'image actualisée. Une simple analyse d'image suffit à cet effet.

- 5 La normalisation peut être effectuée sur l'image initiale seulement afin de modifier la représentation de la jauge de référence pour que son aspect soit identique à celui de la représentation de ladite jauge de référence sur l'image actualisée. La normalisation peut être alternativement effectuée sur l'image actualisée seulement afin de modifier la représentation de la jauge de référence pour que son aspect soit identique à celui de la
- 10 représentation de ladite jauge de référence sur l'image initiale. Enfin la normalisation peut être effectuée sur l'image actualisée et sur l'image initiale afin de modifier les représentations des jauges de référence pour que leurs aspects soient identiques à celui d'une jauge étalon.

- La normalisation d'une image est une technique bien connue dans le domaine du
- 15 traitement d'images. La balance de blancs est un exemple de normalisation d'images.

Etape D.

Avant ou après l'étape C., il convient d'identifier, sur chacune des images initiale et actualisée, une région des dents dont on souhaite évaluer l'évolution d'aspect.

- L'utilisation de marques de repérage ou de jauges de référence est possible, mais reste
- 20 imprécise. De préférence, les images initiale et actualisée sont analysées afin de représenter une information discriminante, du type de celles décrites ci-dessus, par exemple le contour des dents.

- L'analyse des images initiale et actualisée peut comporter une ou plusieurs caractéristiques de l'étape c), notamment relatives à la nature de l'information discriminante et au
- 25 traitement pour déterminer l'information discriminante. L'information discriminante est de préférence optimisée au moyen d'un procédé d'optimisation comportant des étapes C1 à C3.

On recherche alors des informations discriminantes communes aux deux images initiale et actualisée.

Les informations discriminantes communes aux deux images initiale et actualisée peuvent alors servir de référentiel pour localiser ladite région sur ces deux images. Par exemple, le contour des gencives peut présenter une succession de « pointes » entre les dents. Ce contour dépend des dents considérées et peut donc servir de référentiel.

- 5 Dans un mode de réalisation perfectionné, les images initiale et actualisée sont repérées par rapport à un modèle de référence, de préférence réalisé conformément à l'étape a) (modèle de référence initial) ou résultant de la mise en œuvre d'un procédé de contrôle de la forme et/ou du positionnement des dents selon l'invention (modèle de référence actualisé).

- 10 Ce repérage peut être effectué comme décrit ci-dessus pour repérer l'image actualisée dans le cadre des procédés de contrôle de la forme et/ou du positionnement des dents. A la différence de ces procédés, la modification du modèle de référence initial pour parvenir au modèle de référence actualisé est cependant optionnelle.

- 15 Pour repérer une image par rapport au modèle de référence, il suffit de rechercher les conditions d'acquisition virtuelles dans lesquelles l'appareil d'acquisition aurait acquis ladite image en observant ledit modèle de référence. Cette recherche est de préférence effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique, telle que celles décrites ci-dessus.

- 20 Pour cette recherche, on utilise de préférence un procédé d'évaluation des conditions d'acquisition réelles selon l'invention, décrit ci-après. Ce procédé est de préférence mis en œuvre pour chacune des images initiale et actualisée au moyen du modèle de référence. Il permet de « projeter » ces images sur le modèle de référence et donc de repérer un point de ces images sur le modèle de référence.

Une région des dents dont on souhaite évaluer l'évolution d'aspect peut ainsi être identifiée avec une grande précision sur chacune des images initiale et actualisée.

Etape E.

- 25 Il est alors possible de mesurer les aspects de ladite région sur chacune des images initiale et actualisée et de les comparer afin de détecter et évaluer des différences de la propriété d'aspect.

Un procédé de contrôle de l'aspect des dents selon l'invention peut être utilisé à des fins thérapeutiques ou non thérapeutiques. Il peut en particulier être utilisé pour :

- détecter et/ou mesurer un changement de couleur des dents ou l'apparition et/ou l'évolution de tâches sur les dents, ou détecter et/ou mesurer une calcification des dents;
 - vérifier les effets sur l'aspect des dents d'une habitude alimentaire ou d'une
- 5 hygiène alimentaire ou d'un traitement, par exemple d'un traitement de blanchiment, ou d'un produit, notamment d'un dentifrice, en particulier pour blanchir les dents ou pour lutter contre la calcification ou l'apparition de tâches.

Par exemple, un procédé de contrôle de l'aspect des dents selon l'invention peut être utilisé pour vérifier les effets sur l'aspect des dents du mâchage d'un chewing-gum ou de

10 l'ingestion de café ou de thé, ou de la consommation de tabac ou de drogue, ou du brossage des dents.

Dans un mode de réalisation préféré, il suffit au patient de prendre régulièrement des photographies avec son téléphone mobile pour constituer des images actualisées. De préférence, grâce à un applicatif chargé dans ce téléphone, il peut ensuite comparer les

15 aspects des dents sur ces photographies.

Dans un mode de réalisation, l'applicatif normalise les photographies afin de les rendre comparables, puis propose une visualisation dynamique des photographies corrigées, par exemple sous la forme d'un diaporama ou d'un film.

Description détaillée d'un procédé d'évaluation de conditions d'acquisition réelles

20 Notamment pour la mise en œuvre d'un procédé de contrôle de la forme, du positionnement et/ou de l'aspect de dents selon l'invention ou pour optimiser la qualité d'une l'information discriminante, l'invention fournit un procédé d'évaluation, à partir d'une image bidimensionnelle des arcades dentaires d'un patient, dite « image acquise », des conditions d'acquisition réelles (position de l'appareil d'acquisition dans l'espace,

25 orientation de cet appareil, et, de préférence, calibration de l'appareil d'acquisition) de ladite image acquise, ledit procédé comportant les étapes suivantes :

- 001) réalisation d'un modèle de référence tridimensionnel numérique d'au moins une partie d'une arcade du patient, de préférence d'une arcade, de préférence de deux arcades du patient,

- 002) analyse de l'image acquise et réalisation d'une carte relative à une information discriminante, dite « carte acquise » ;
- 003) recherche des conditions d'acquisition virtuelles approximant, de manière optimale, lesdites conditions d'acquisition réelles, suivant les étapes 01) à 05) suivantes :
- 01) optionnellement, détermination de conditions d'acquisition virtuelles grossières approximant lesdites conditions d'acquisition réelles, de préférence par analyse de la représentation, sur l'image acquise, d'un écarteur utilisé lors de l'acquisition de l'image acquise ;
- 02) détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester;
- 03) réalisation d'une image de référence bidimensionnelle du modèle de référence observé dans les conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- 04) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de référence représentant de ladite information discriminante ;
- 05) comparaison des cartes acquise et de référence de manière à déterminer une valeur pour une fonction d'évaluation, ladite valeur pour la fonction d'évaluation dépendant des différences entre lesdites cartes acquise et de référence et correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche de conditions d'acquisition virtuelles approximant les conditions d'acquisition réelles avec plus d'exactitude que lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- 06) si ladite valeur pour la fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification desdites conditions d'acquisition virtuelles à tester, puis reprise à l'étape 03) ;
- sinon, évaluation des conditions d'acquisition réelles par lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester.

De préférence, les conditions d'acquisition réelles à évaluer comprennent un ou plusieurs des paramètres de calibration suivants : l'ouverture de diaphragme, le temps d'exposition, le temps d'exposition, la distance focale et la sensibilité.

- Dans le procédé d'évaluation, la modification apportée aux conditions d'acquisition virtuelles à tester à l'étape 06) est de préférence effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé, de préférence au moyen d'une des méthodes métaheuristiques citées précédemment.

Un procédé d'évaluation selon l'invention est de préférence utilisé à chaque fois qu'il est nécessaire d'évaluer les conditions d'acquisition réelles d'une image. Cette image, qui peut en particulier être une image actualisée acquise lors d'une étape b) ou B. ou une image initiale acquise lors d'une étape A., est appelée « image acquise ».

- 5 La réalisation du modèle de référence à l'étape 001) peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques, même optionnelles, de l'étape a).

L'acquisition de l'image acquise peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques, même optionnelles, de l'étape b). De préférence, elle met en œuvre un kit d'acquisition selon l'invention, et de préférence un procédé d'acquisition selon l'invention.

- 10 L'étape 01) de détermination des conditions d'acquisition virtuelles grossières peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques, même optionnelles, de l'étape c).

Les étapes 02) à 06) peuvent comporter une ou plusieurs des caractéristiques, même optionnelles, des étapes e21) à e25), respectivement.

Description détaillée d'un procédé d'optimisation d'une information discriminante

- 15 Un procédé d'optimisation ou de "sélection" d'une information discriminante selon l'invention est destiné à améliorer la fiabilité d'une information discriminante initiale extraite d'une image bidimensionnelle des arcades dentaires d'un patient, ou « image acquise », notamment d'une image initiale issue d'une étape A. ou d'une image actualisée issue d'une étape B. ou b), acquise dans des conditions d'acquisition réelles.

- 20 "L'optimisation" de l'information discriminante est donc une sélection d'informations discriminantes, suivant une démarche itérative, de manière à sélectionner de l'image l'information discriminante la plus pertinente pour contrôler au mieux le positionnement et/ou la forme des dents du patient.

Ce procédé repose sur un modèle de référence tridimensionnel numérique d'au moins une
25 partie d'une arcade du patient, en particulier d'un modèle de référence initial d'une étape a).

Comme illustré sur la figure 10, il comporte les étapes suivantes :

- C1. évaluation de la qualité de l'information discriminante initiale et d'un seuil de
30 qualité, filtrage de manière à ne retenir que de l'information discriminante initiale, de préférence toute l'information discriminante initiale présentant une qualité supérieure au seuil de qualité, et définition de « l'information discriminante à tester » comme étant l'information discriminante retenue ;

C2. test de la concordance (en anglais « matching ») entre l'information discriminante à tester et le modèle de référence ;

C3. en fonction du résultat et d'une fonction d'évaluation du résultat du test :

- ajout d'information discriminante non retenue à l'information discriminante à tester et/ou suppression d'information discriminante dans l'information discriminante à tester, puis reprise à l'étape C2. ou,
- définition de l'information discriminante optimale comme étant l'information discriminante à tester.

L'information discriminante peut être notamment une quelconque des informations discriminantes décrites précédemment. A titre d'exemple, l'information discriminante peut être une information de contour.

L'information discriminante initiale résulte classiquement de l'analyse de l'image acquise, comme décrit pour l'étape c).

Les procédés selon l'invention qui utilisent une telle information discriminante initiale mettent en œuvre des optimisations qui fournissent de meilleurs résultats si l'information discriminante est à la fois abondante et de bonne qualité. Un objectif du procédé d'optimisation est donc d'améliorer la qualité de l'information discriminante initiale.

A l'étape C1., on évalue la qualité de l'information discriminante initiale. Dans l'exemple d'un contour, l'analyse du contraste fournit par exemple des informations plus ou moins fiables : une zone de fort contraste peut être assimilée à une zone correspondant à un contour avec une probabilité élevée et la qualité des points de cette zone sera donc élevée. Au contraire, une zone de faible contraste, par exemple une zone floue, peut être assimilée à une zone correspondant à un contour avec une probabilité faible et la qualité des points de cette zone sera donc faible. Dans cet exemple, la probabilité pour un point de l'image acquise d'appartenir au contour peut être choisie comme indicateur de la « qualité » de l'information discriminante.

Un seuil de qualité est utilisé pour filtrer l'information discriminante initiale. Si le seuil de qualité est élevé, l'information discriminante retenue suite au filtrage sera peu nombreuse, mais très fiable. Si le seuil de qualité est faible, l'information discriminante retenue sera abondante, mais peu fiable. Dans l'exemple d'une information de contour, l'analyse de l'image conduira alors à retenir des « faux » points de contour, c'est-à-dire, des points qui,

du fait de l'analyse, seront considérés par erreur comme appartenant au contour des dents et des gencives.

Dans un mode de réalisation préféré, le seuil de qualité est élevé afin de ne retenir que de l'information discriminante à tester très fiable.

- 5 A l'étape C2., on teste la concordance, c'est-à-dire que l'on détermine un degré de concordance, entre l'information discriminante à tester et le modèle de référence.

De préférence, on réalise une carte « acquise » de l'information discriminante à tester résultant du traitement de l'image acquise.

- De préférence, on procède ensuite suivant les étapes 01) à 06), et en particulier les étapes
10 suivantes :

- 02) détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester;
- 03) réalisation d'une image de référence bidimensionnelle du modèle de
référence observé dans les conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- 04) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de
15 référence représentant de l'information discriminante ;
- 05) comparaison des cartes acquise et de référence de manière à déterminer
une valeur pour une fonction d'évaluation, ladite valeur pour la fonction
d'évaluation dépendant des différences entre lesdites cartes acquise et de
référence et correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la
20 recherche de conditions d'acquisition virtuelles approximant les
conditions d'acquisition réelles avec plus d'exactitude que lesdites
conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- 06) si ladite valeur pour la fonction d'évaluation correspond à une décision
de poursuivre ladite recherche, modification desdites conditions
25 d'acquisition virtuelles à tester, puis reprise à l'étape 03) ;
sinon, évaluation des conditions d'acquisition réelles par lesdites
conditions d'acquisition virtuelles à tester.

- A l'étape 04), le traitement de l'image de référence permet de réaliser une carte de
référence représentant de ladite information discriminante. Les critères de sélection de
30 l'information discriminante représentée sur la carte de référence peuvent être identiques ou
différents de ceux utilisés pour sélectionner l'information discriminante à tester.

De préférence, l'information discriminante représentée sur la carte de référence est
sélectionnée avec les mêmes critères que l'information discriminante à tester.

Dans l'exemple d'un contour, le traitement de l'image de référence peut consister à retenir les points de l'image de référence correspondant à un contour avec une probabilité élevée.

La probabilité pour un point de l'image de référence d'appartenir au contour peut être déterminée comme pour le traitement de l'image acquise et également servir d'indicateur

5 de la qualité de l'information discriminante. Le seuil de qualité peut être également identique à celui utilisé pour le traitement de l'image acquise. Le contour représenté sur la carte de référence est alors similaire à celui représenté sur la carte acquise, et en particulier présente une longueur sensiblement identique.

Les étapes 01) à 06) permettent de déterminer, avec le modèle de référence, des conditions
10 d'acquisition virtuelles approximant les conditions d'acquisition réelles de l'image acquise. L'observation du modèle de référence dans ces conditions d'acquisition virtuelles fournit donc une vue qui correspond au mieux à l'image acquise. La recherche des conditions d'acquisition virtuelles se fonde cependant sur l'information discriminante à tester. Le degré de correspondance dépend donc de l'information discriminante à tester. Plus la
15 qualité et la quantité de l'information discriminante à tester sont élevées, meilleur est le degré de correspondance entre la vue du modèle de référence dans les conditions d'acquisition virtuelles et l'image acquise, et plus élevé est le degré de concordance entre l'information discriminante à tester et le modèle de référence.

Le degré de concordance peut être par exemple mesuré par l'inverse de l'écart entre

- 20
- la carte de référence relative à l'image du modèle de référence observé dans les conditions d'acquisition virtuelles approximant au mieux les conditions d'acquisition réelles en conséquence de l'exécution des étapes 01) à 06), et
 - la carte « acquise » représentant l'information discriminante à tester correspondant à l'image acquise

25 pondéré par la quantité d'information discriminante à tester.

Pour un contour par exemple, le degré de concordance peut être le rapport du nombre de points qui appartiennent à la fois au contour de la carte de référence et au contour de la carte acquise, sur le nombre de points total du contour de la carte acquise, ou le produit de l'inverse de la distance moyenne entre les contours représentés sur lesdites cartes acquise
30 et de référence, et de la longueur du contour représenté sur la carte acquise.

L'approximation « au mieux » des conditions d'acquisition réelles à partir d'une information discriminante à tester peut être évaluée par un résultat ou « score », par

exemple par le degré de concordance. Le cycle des étapes C2. et C3. a pour but d'optimiser ce résultat en agissant sur l'information discriminante à tester.

Cette optimisation est analogue à celle mise en œuvre pour les procédés de contrôle du positionnement et/ou de la forme des dents. Ces procédés agissent cependant sur le modèle de référence initial, par déplacement des modèles de dents et/ou par déformation du modèle de référence, alors que le procédé d'optimisation de l'information discriminante agit sur l'information discriminante utilisée pour établir la carte acquise.

L'opération effectuée à l'étape C3. est déterminée par une fonction d'évaluation du résultat du test de l'étape C2.. De préférence, la fonction d'évaluation prend en considération des résultats obtenus lors de cycles C2.-C3. précédents.

En particulier, le procédé peut être arrêté si la fonction d'évaluation indique que la poursuite de cycles C2.-C3. ne permet pas d'améliorer le résultat, par exemple parce que un ou plusieurs cycles C2.-C3. n'ont pas permis de l'améliorer ou n'ont pas permis de l'améliorer significativement. L'information discriminante testée lors du cycle C2.-C3. ayant conduit au meilleur résultat est alors considérée comme optimale.

Sinon, un nouveau cycle C2.-C3. peut être lancé, après modification de l'information discriminante à tester. La modification à apporter à l'information discriminante qui vient d'être testée peut consister en un ajout ou en une suppression d'information discriminante. Un ajout d'information discriminante peut par exemple être décidé si le dernier résultat est le meilleur obtenu jusqu'alors et si, d'après la fonction d'évaluation, le résultat peut être encore amélioré. De préférence, l'information discriminante ajoutée est celle qui, parmi l'information discriminante non retenue à l'étape C1. et qui n'a pas encore été testée, présente la meilleure qualité.

Par exemple, lorsque l'information discriminante est une information de contour, l'ajout d'information discriminante peut consister à ajouter des points de l'image non retenus initialement, encore jamais ajoutés et dont la qualité, telle qu'évaluée à l'étape C1., est la plus élevée, c'est-à-dire dont l'ajout est le plus susceptible d'améliorer le résultat du test de l'étape C2..

Une suppression d'information discriminante peut par exemple être décidée si le dernier résultat est pire que le précédent. En particulier, l'information discriminante ajoutée lors du cycle précédent peut être supprimée et un ajout d'une autre information discriminante peut être effectué, comme décrit précédemment.

La détermination de l'information discriminante à ajouter et/ou à supprimer peut être aléatoire. Cependant, de préférence, elle résulte de la mise en œuvre d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé, de préférence du type de celles décrites ci-dessus.

5 Exemple

A titre d'exemple, la figure 11 représente, superposée à l'image acquise, une carte de référence relative à une information de reflet (information discriminante).

L'image acquise, de préférence acquise au moyen d'un kit d'acquisition selon l'invention, est une photographie prise dans une position et une orientation particulières de l'appareil
10 photo. Cette position et cette orientation constituent les conditions d'acquisition réelles de l'image acquise.

L'homme de l'art sait que, sur l'image acquise, plus la luminosité d'un point est élevée, plus la probabilité que ce point appartienne à une zone de reflet est élevée. La luminosité peut donc servir d'indicateur de la « qualité » de l'information de reflet.

15 Le filtrage à l'étape C1. peut consister à ne retenir que les zones de l'image acquise qui présentent une luminosité supérieure à un seuil de qualité, par exemple de 70%.

La carte acquise représente ces zones, qui constituent l'information discriminante à tester.

A l'étape C2., on procède de préférence selon les étapes 01) à 06) pour tester si les zones retenues concordent avec l'observation du modèle de référence.

20 A l'étape 01), on analyse l'image acquise pour évaluer grossièrement les conditions d'acquisition réelles par des conditions d'acquisition virtuelles. Cette évaluation résulte de préférence d'une analyse de la position et/ou de la forme de la représentation, sur l'image acquise, de marques de repérage d'un écarteur utilisé lors de l'acquisition.

Les conditions d'acquisition virtuelles évaluées grossièrement peuvent constituer les
25 « conditions d'acquisition virtuelles à tester » à l'étape 02).

A l'étape 03), en observant le modèle de référence à partir de conditions d'acquisition virtuelle à tester, on obtient une image de référence.

A l'étape 04), comme représenté sur la figure 11, on peut projeter, sur l'image de référence, des vecteurs (traits noirs 20), tous de même longueur, perpendiculaires aux faces
30 du modèle de référence. Les cercles 22 représentent ces vecteurs lorsqu'ils sont observés selon leur longueur. La carte de référence est ainsi constituée par ces traits noirs 20 et cercles 22.

L'homme de l'art sait que les cercles 22 correspondent normalement à des zones de l'image correspondant à des reflets. Sur la carte de référence, l'information discriminante, à savoir l'information de reflet, est donc représentée par les traits noirs 20 et par les cercles 22, l'inverse de la longueur des traits noirs pouvant servir d'indicateur de la « qualité » de l'information de reflet sur la carte de référence, un cercle correspondant à une longueur nulle, et donc à une qualité maximale.

A l'étape 05), une comparaison des cartes acquise et de référence peut par exemple consister à vérifier si les traits 20 et les cercles 22 sont à l'intérieur de zones de la carte acquise (qui correspondent initialement à une luminosité supérieure à 70%). La fonction d'évaluation peut être par exemple le rapport R entre

- la différence entre le nombre de cercles 22 et le nombre de traits qui sont à l'intérieur de zones de l'image acquise et
- le nombre total de cercles 22.

La décision peut être de poursuivre la recherche en modifiant les conditions d'acquisition virtuelles à tester jusqu'à atteindre un maximum pour la fonction d'acquisition.

A l'étape 06), si ce maximum est considéré comme atteint, on sort de la boucle des étapes 03) à 06). Sinon, on détermine, de préférence au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, une modification à apporter aux conditions d'acquisition virtuelles à tester et on reprend l'étape 03).

A la sortie des étapes 03) à 06), le rapport R est donc maximal, pour cette image acquise, par exemple de 95%. Ce rapport R représente alors le résultat du test de concordance effectué à l'étape C2.

A l'étape C3, ce résultat est évalué au moyen d'une fonction d'évaluation.

Cette fonction d'évaluation détermine de préférence si le résultat est optimal ou non. Si le résultat est considéré optimal, par exemple parce qu'aucun meilleur résultat ne peut plus être obtenu après plusieurs cycles des étapes C2. – C3., on considère que les zones de la carte acquise correspondante constituent une information discriminante optimale.

Sinon, on modifie la carte acquise, par exemple en ajoutant des points de l'image acquise, par exemple en ajoutant des points qui présentent une luminosité supérieure à 71%. Cet ajout conduit à l'ajout de cercles dans les zones de la carte acquise, ce qui améliore le rapport R, mais aussi à l'ajout de traits noirs, ce qui dégrade le rapport R. Réciproquement, il est possible d'extraire les points qui présentent une luminosité supérieure à 69%. Cette suppression conduit à la suppression de cercles dans les zones de la carte acquise, ce qui

dégrade le rapport R, mais aussi à la suppression de traits noirs, ce qui améliore le rapport R.

La modification à apporter est de préférence guidée par une méthode métaheuristique de préférence évolutionniste.

- 5 A partir de la nouvelle carte acquise, qui définit l'information discriminante à tester, on reprend à l'étape C2..

Le cyclage des étapes C2. et C3. peut être poursuivi jusqu'à déterminer un résultat optimal. L'information discriminante à tester est alors considérée comme optimale.

- 10 Comme cela apparaît clairement à présent, un procédé d'optimisation d'une information discriminante selon l'invention permet de construire une information discriminante de bonne qualité et abondante. En particulier, il permet, à partir d'un contour initial partiel, mais de bonne qualité, de construire progressivement un contour plus complet mais toujours de bonne qualité.

- 15 Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits ci-dessus et représentés.

En particulier, sauf indication contraires, les caractéristiques optionnelles décrites dans le cadre d'une étape d'un premier procédé selon l'invention sont applicables dans le cadre d'une étape analogue ou portant la même référence d'un deuxième procédé selon l'invention.

- 20 Le procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme des dents peut être mis en œuvre successivement pour chacune des deux arcades ou simultanément pour les deux arcades. En outre, pour ces procédés, plusieurs appareils différents peuvent être mis en œuvre. Par exemple, l'acquisition peut être effectuée avec un téléphone mobile et les étapes suivantes avec un ordinateur fixe.

- 25 Enfin, le patient n'est pas limité à un être humain. En particulier, un procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention peut être utilisé pour un autre animal.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'adaptation d'un appareil orthodontique porté par un patient, le procédé comportant les étapes suivantes :
 - 5 a') Réalisation d'un modèle de référence tridimensionnel numérique d'au moins une partie d'une arcade du patient, ou « modèle de référence initial » ;
 - b') Indépendamment des étapes a') et c'), mais avant l'étape d'), réalisation d'un modèle de référence tridimensionnel numérique, dit "modèle de référence objectif", correspondant à un positionnement, souhaité à un instant du traitement, des dents
10 de ladite au moins une partie de ladite arcade du patient;
 - c') Acquisition d'au moins une image actualisée, dans des conditions d'acquisition réelles, et recherche, par déformation du modèle de référence initial, d'un modèle de référence actualisé correspondant au positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée, la recherche étant de préférence effectuée au moyen d'une
15 méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé ;
 - d') Détermination, en fonction du modèle de référence initial et/ou du modèle de référence objectif, d'un modèle de comparaison correspondant à un positionnement des dents anticipé sensiblement pour l'instant de ladite acquisition,
 - 20 e') Comparaison du modèle de référence actualisé avec le modèle de comparaison ;
 - f') Si, à l'étape précédente, ladite comparaison aboutit à un résultat insatisfaisant, fabrication d'un appareil orthodontique de substitution, par modification de l'appareil orthodontique porté ou par fabrication d'un nouvel appareil orthodontique, l'appareil orthodontique de substitution étant configuré en fonction
25 dudit résultat.
2. Procédé selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel l'étape c') comporte les étapes suivantes :
 - b) Acquisition d'au moins une image bidimensionnelle des arcades du patient, dite "image actualisée", dans des conditions d'acquisition réelles ;
 - 30 c) Analyse de chaque image actualisée et réalisation, pour chaque image actualisée, d'une carte actualisée relative à une information discriminante ;

- d) Optionnellement, détermination, pour chaque image actualisée, de conditions d'acquisition virtuelles grossières approximant lesdites conditions d'acquisition réelles ;
- e) Recherche, pour chaque image actualisée, d'un modèle de référence actualisé
5 correspondant au positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée, la recherche étant de préférence effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé, l'étape e) comportant les étapes suivantes :
- e1) définition d'un modèle de référence à tester comme étant le modèle de
10 référence initial puis,
- e2) suivant les étapes suivantes, test de conditions d'acquisition virtuelles avec le modèle de référence à tester afin d'approximer finement lesdites conditions d'acquisition réelles ;
- e21) détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester;
- 15 e22) réalisation d'une image de référence bidimensionnelle du modèle de référence à tester dans lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- e23) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de référence représentant, au moins partiellement, ladite information
20 discriminante ;
- e24) comparaison des cartes actualisée et de référence de manière à déterminer une valeur pour une première fonction d'évaluation, ladite valeur pour la première fonction d'évaluation dépendant des différences entre lesdites cartes actualisée et de référence et
25 correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche de conditions d'acquisition virtuelles approximant lesdites conditions d'acquisition réelles avec plus d'exactitude que lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester déterminées à la dernière occurrence de l'étape e21) ;
- 30 e25) si ladite valeur pour la première fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification des conditions d'acquisition virtuelles à tester, puis reprise à l'étape e22) ;

- e3) détermination d'une valeur pour une deuxième fonction d'évaluation, ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation dépendant des différences entre les cartes actualisée et de référence dans les conditions d'acquisition virtuelles approximant au mieux lesdites conditions d'acquisition réelles et résultant de la dernière occurrence de l'étape e2), ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation correspondant à une décision de poursuivre ou de stopper la recherche d'un modèle de référence approximant le positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée avec plus d'exactitude que ledit modèle de référence à tester utilisé à la dernière occurrence de l'étape e2), et si ladite valeur pour la deuxième fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification du modèle de référence à tester par déplacement d'un ou plusieurs modèles de dents, puis reprise à l'étape c2).
- 5
- 10
- 15 3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le modèle de comparaison fournit une estimation du positionnement, prévu pour un instant intermédiaire, des dents du modèle de référence initial, la durée entre ledit instant intermédiaire et l'instant de l'acquisition réalisée à l'étape c') étant inférieur à 1 mois, de préférence inférieur à 1 semaine, de préférence inférieur à 24 heures.
- 20 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant plus de 2, plus de 5, plus de 10, voire plus de 20 cycles de contrôle, chaque cycle de contrôle étant constitué par l'exécution des étapes c') à f').
- 25 5. Procédé selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel, à l'étape d'), le modèle de comparaison est déterminé en fonction de modèles de référence actualisés déterminés lors d'une ou plusieurs étapes c') de cycles de contrôle antérieurs au cycle de contrôle comportant ladite étape d').
- 30 6. Procédé selon l'une quelconque des deux revendications immédiatement précédentes, dans lequel à l'étape c'), ladite image actualisée est acquise au moyen d'un téléphone du patient, la recherche du modèle de référence actualisé est de préférence réalisée au moyen dudit téléphone, et le modèle de référence actualisé est transmis, par ledit téléphone, à un orthodontiste.

7. Procédé selon l'une quelconque des trois revendications immédiatement précédentes, dans lequel, avant chaque date prévue pour une étape c'), de préférence moins de 3 semaines, de préférence moins de 2 semaines, de préférence moins d'une semaine avant ladite date, on envoie un message de rappel au patient, de préférence sur son téléphone, afin qu'il effectue ladite étape c').
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape d'), le modèle de comparaison est déterminé en fonction de valeurs de paramètres de l'appareil orthodontique porté.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape e'), on établit, à partir de ladite comparaison, un rapport fournissant des informations de diagnostic et/ou des préconisations pour modifier le traitement du patient.
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape e'),
- on établit, à partir de ladite comparaison, un score, dit « actualisé », représentatif de l'efficacité du traitement, et,
 - de préférence, on compare ledit score actualisé à un score de référence représentatif de l'efficacité d'un traitement standard équivalent et on présente au patient le résultat de la comparaison entre les scores actualisé et de référence.
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape f'), on modifie la tension d'un arc orthodontique de l'appareil orthodontique porté et/ou on change un arc orthodontique de l'appareil orthodontique porté et/ou on fabrique une gouttière orthodontique pour remplacer ledit appareil orthodontique porté.
12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape f'), on détermine plusieurs traitements potentiels permettant d'atteindre un positionnement des dents correspondant au modèle de référence objectif, on présente lesdits traitements potentiels au patient et/ou à un orthodontiste de manière qu'il(s) choisisse(nt) un desdits traitements potentiels, puis on fabrique ledit appareil orthodontique de substitution correspondant au traitement choisi.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape f'), le patient détermine si le résultat est insatisfaisant.
14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape f'), on fabrique une gouttière en substitution de l'appareil orthodontique porté et on
5 envoie ladite deuxième gouttière au patient.
15. Procédé d'évaluation du comportement d'un appareil orthodontique comportant
- une mise en œuvre, à plusieurs reprises, d'un procédé d'adaptation selon l'une quelconque des revendications précédentes, avec ledit appareil orthodontique et/ou des appareils orthodontiques du même type,
 - 10 - pour chaque occurrence du procédé d'adaptation, une collecte de données, lesdites données comportant au moins le modèle de référence initial et/ou le modèle de référence objectif, d'une part, et un ou plusieurs modèles de référence actualisés d'autre part, ainsi que les valeurs de paramètres de l'appareil orthodontique porté par le patient pendant ladite occurrence,
 - 15 - une analyse statistique desdites données de manière à établir une corrélation entre un paramètre du ou des appareils orthodontiques porté(s) pendant lesdites occurrences et le comportement du ou desdits appareils orthodontiques porté(s).
16. Procédé selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel ledit procédé d'adaptation est mis en œuvre plus de 1 000 fois.
- 20 17. Procédé selon l'une quelconque des deux revendications immédiatement précédentes, dans lequel, après ladite analyse statistique, on utilise les résultats de ladite analyse statistique pour optimiser :
- la conception d'un appareil orthodontique, et/ou
 - le choix d'un appareil orthodontique pour un traitement particulier, et/ou
 - 25 - l'établissement d'un diagnostic, et/ou
 - la fabrication d'un appareil orthodontique de substitution, et/ou
 - la détermination d'un modèle prédictif pour fabriquer un modèle de comparaison.
18. Procédé de suivi de l'efficacité d'un appareil orthodontique porté par un patient, le
30 procédé comportant les étapes suivantes :

- a") Réalisation d'un modèle de référence tridimensionnel numérique d'au moins une partie d'une arcade du patient, ou « modèle de référence initial » ;
- b") Acquisition d'au moins une image actualisée, dans des conditions d'acquisition réelles, et recherche, par déformation du modèle de référence initial, d'un modèle de référence actualisé correspondant au positionnement des dents lors de l'acquisition de l'image actualisée, la recherche étant de préférence effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé ;
- c") détermination, pour au moins un point d'une dent, de la valeur d'au moins un paramètre de positionnement dans le modèle de référence actualisé ;
- d") répétition du cycle des étapes b'') et c'') et, à chaque cycle, représentation graphique de ladite valeur dudit paramètre de positionnement de manière à visualiser l'évolution temporelle de ladite valeur.
19. Procédé selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel la représentation graphique comporte des indications sur le caractère satisfaisant ou insatisfaisant de ladite évolution.
20. Procédé selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel la représentation graphique est affichée sur un appareil d'acquisition, de préférence sur un téléphone mobile, ayant servi à ladite acquisition.

1/8

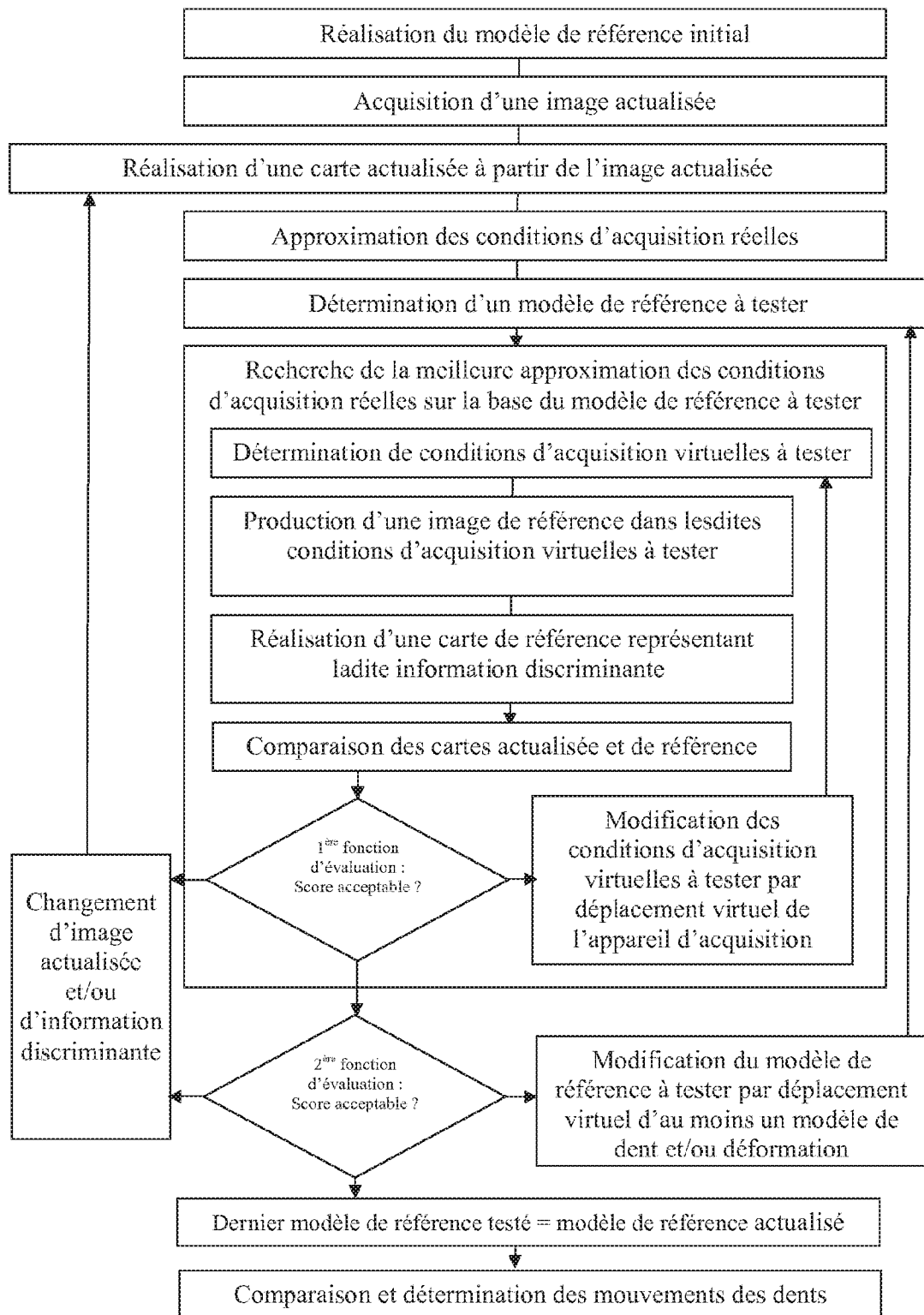


Fig. 1

2/8

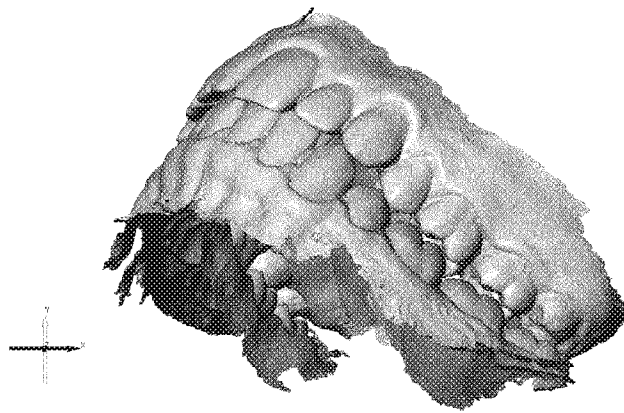


Fig.2

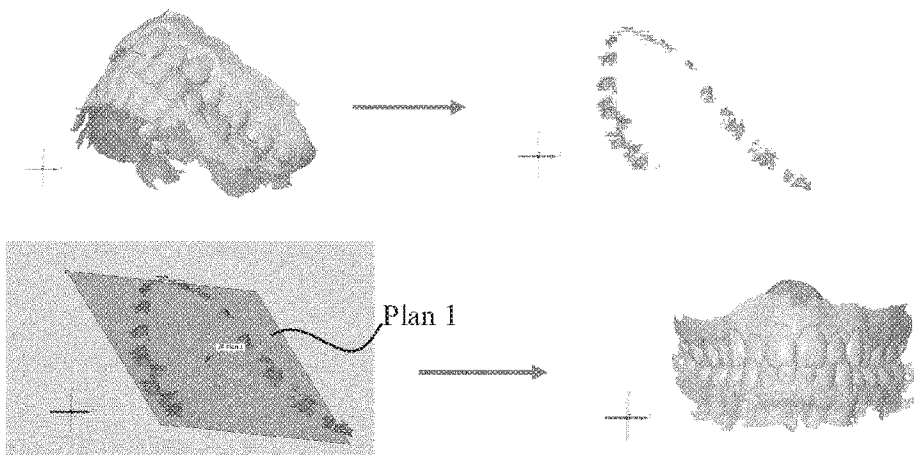


Fig.3

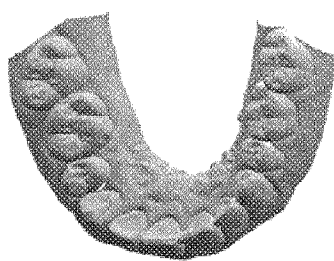


Fig. 4a

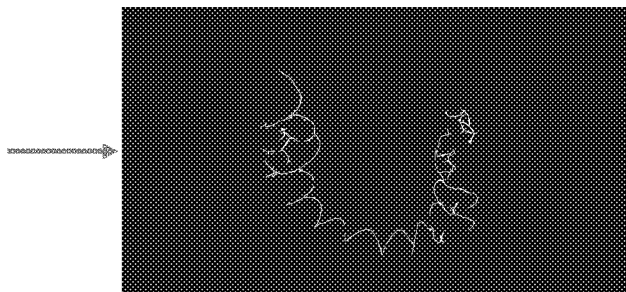


Fig. 4b

3/8



Fig. 4c

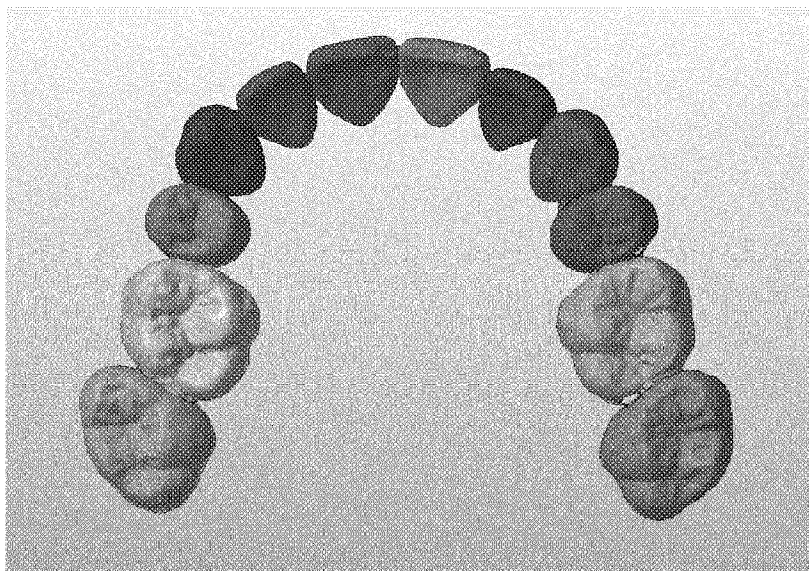


Fig. 4d

4/8

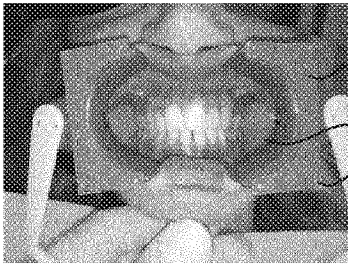


Fig. 5a



Fig. 5b

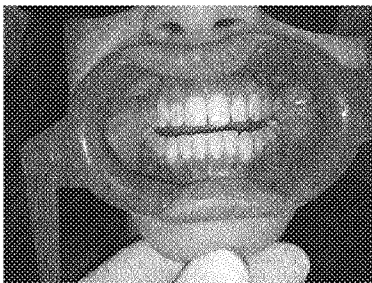


Fig. 5c

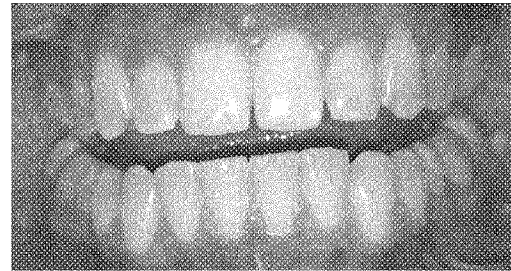


Fig. 5d

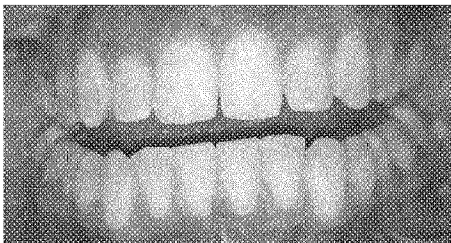


Fig. 6a



Fig. 6b

5/8

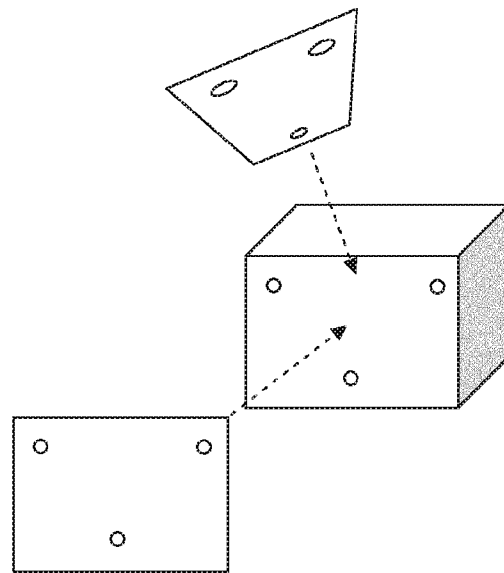


Fig. 7

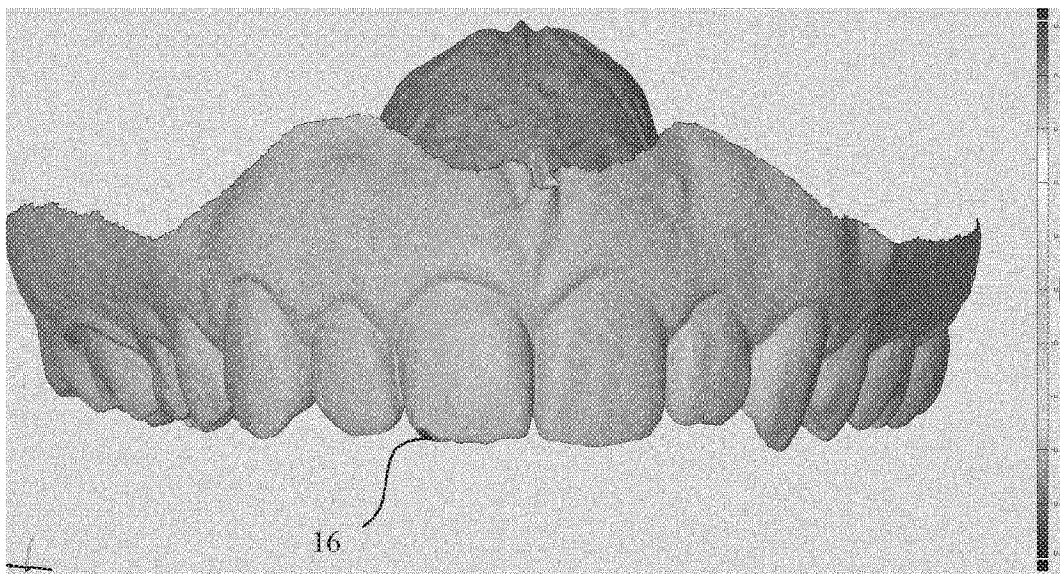


Fig. 8

6/8

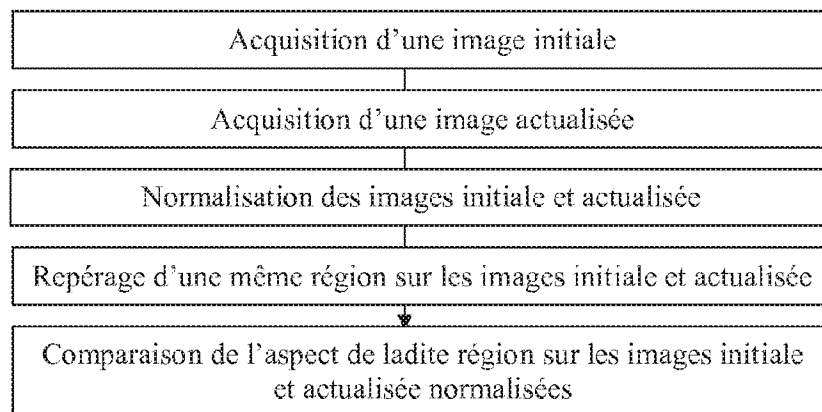


Fig. 9

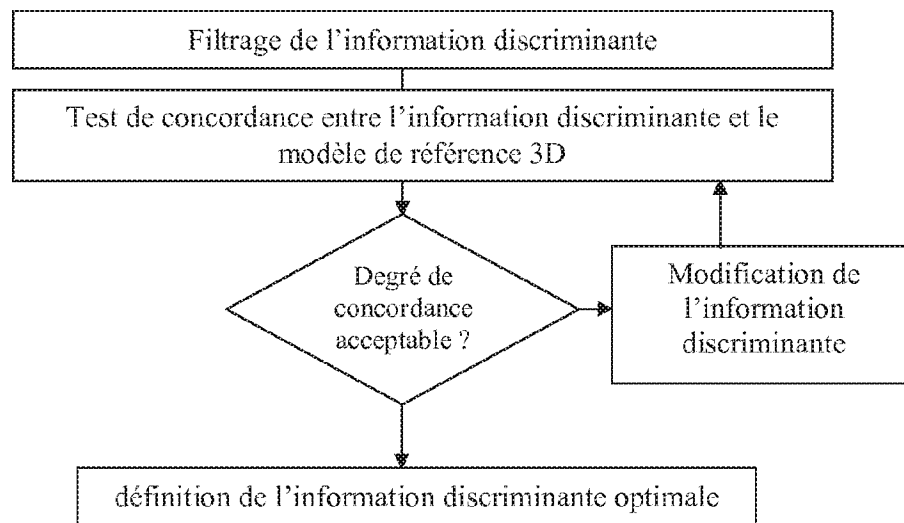


Fig. 10

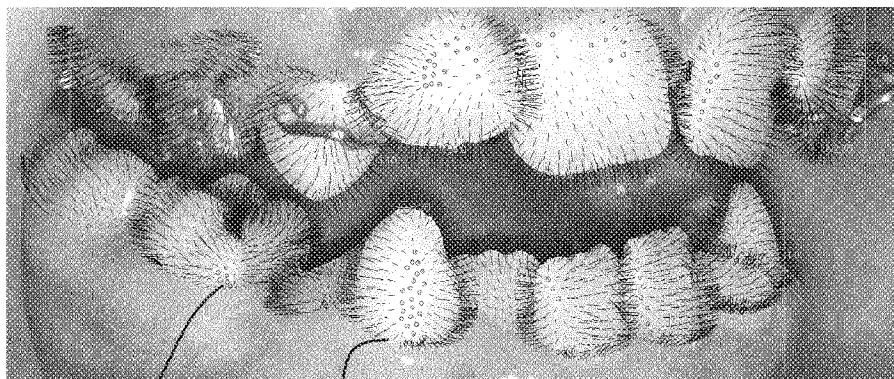


Fig. 11

7/8

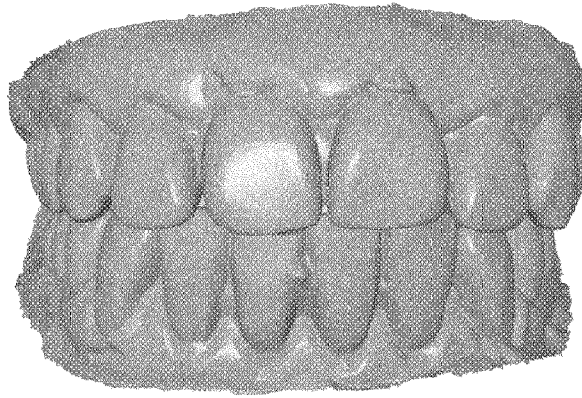


Fig. 12a

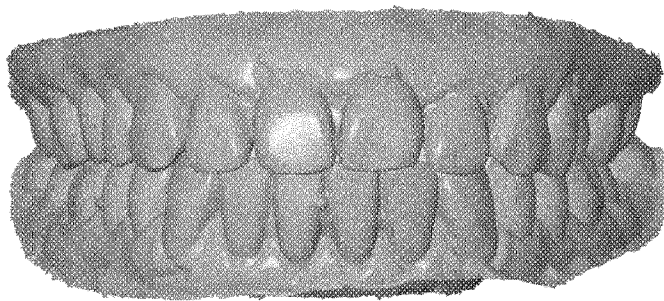


Fig. 12b

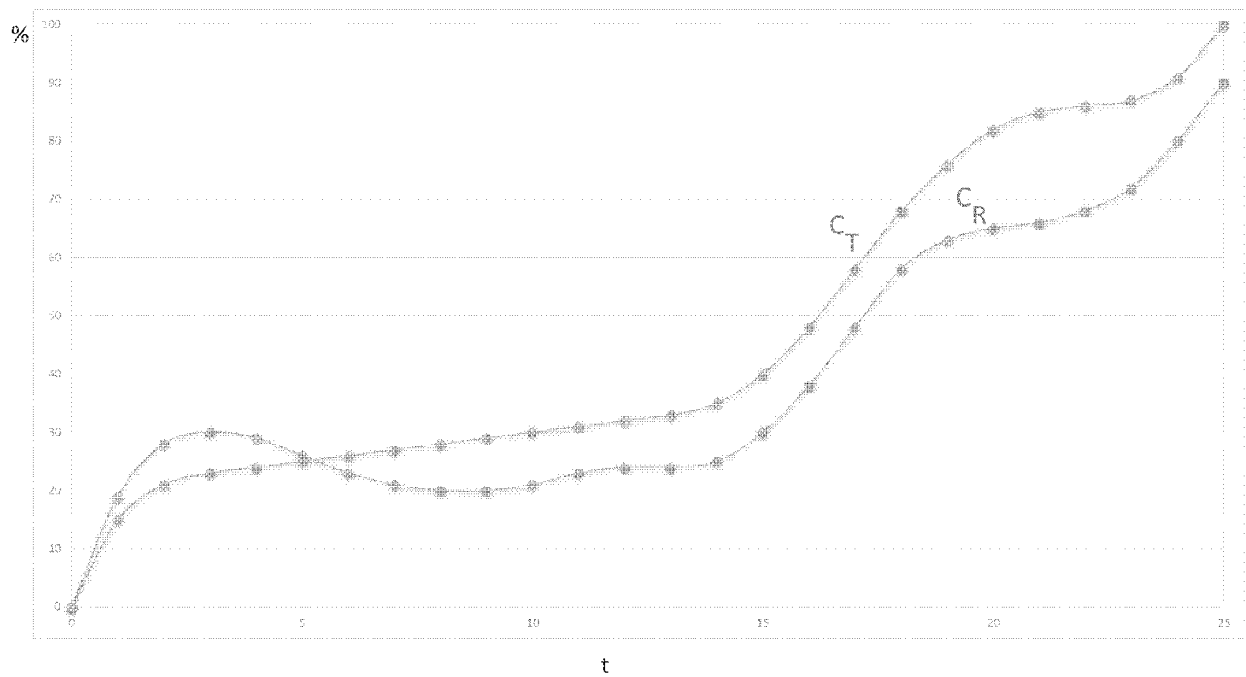


Fig. 13

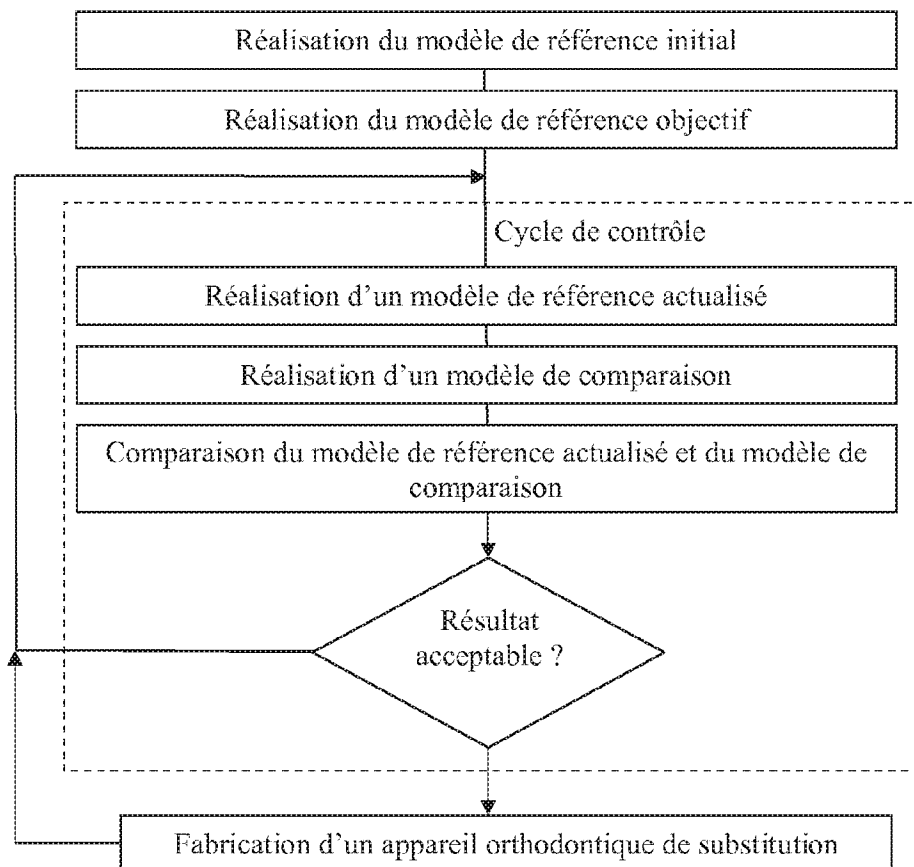


Fig. 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2017/059555

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. A61C7/00

ADD. A61C7/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61C G06F G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2008/149221 A1 (ALIGN TECHNOLOGY INC [US]; KITCHING IAN [US]; STERENTHAL RENE [US]; SH) 11 December 2008 (2008-12-11)	1,3-5, 8-17
A	paragraphs [0034] - [0079] -----	2,6,7
Y	US 2009/191503 A1 (MATOV VADIM [US] ET AL) 30 July 2009 (2009-07-30)	1,3-5, 8-17
	paragraphs [0066] - [0091], [0105], [0106] -----	
X,P	WO 2016/066654 A1 (H43 DEV [LU]) 6 May 2016 (2016-05-06)	18-20
	page 47, line 27 - page 49, line 3; claim 1; figure 1 ----- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 June 2017

Date of mailing of the international search report

11/07/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Fortune, Bruce

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2017/059555

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X,P	WO 2016/066642 A1 (H43 DEV [LU]) 6 May 2016 (2016-05-06) page 16, line 27 - page 17, line 21; claim 1; figure 1 -----	18-20
X,P	WO 2016/066637 A1 (H43 DEV [LU]) 6 May 2016 (2016-05-06) page 16, line 27 - page 17, line 21; claim 1; figure 1 -----	18-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2017/059555

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☒ Claims Nos.: **1-17 In part**
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

See additional sheet ISA/PCT/210

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box II.2

Claims 1-17 (in part)

Independent claim 1 and the entire description indicate that the invention relates to a method of adaptation of an orthodontic appliance, when in fact no such adaptation of an existing appliance (deformation of an existing appliance, addition of material, cutting etc.) is described or even clearly claimed: both claim 1 and the description define the final step as that of manufacturing a NEW appliance to replace the existing one.

The search has thus been limited to a method for manufacturing an orthodontic appliance (and not for adapting an appliance).

Furthermore, the expression "Independently of steps a') and c')" indicates that step b') can take place before step a'). However, this appears to contradict the description of the present application, in which the model corresponding to the positioning of the teeth following the start of treatment is always produced after the analysis of the initial situation has been carried out.

The search has thus been limited to a method in which step a') is always the first step, while steps b') and c') can be in any order.

The applicant's attention is drawn to the fact that claims relating to inventions in respect of which no search report has been established need not be the subject of a preliminary examination (PCT Rule 66.1(e)). The applicant is advised that the EPO policy when acting as International Preliminary Examining Authority is normally not to carry out a preliminary examination on subject matter that has not been searched. This applies whether or not the claims were amended after receipt of the search report or during any Chapter II procedure.

The applicant is reminded that if the application proceeds to the regional phase before the EPO, an additional search may be carried out during examination before the EPO (see EPO Guidelines, C-IV, 7.2), provided that the problems which led to the declaration under PCT Article 17(2) have been resolved.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/059555

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2008149221 A1	11-12-2008	EP 2164422 A1	24-03-2010
		EP 3158967 A1	26-04-2017
		ES 2609096 T3	18-04-2017
		JP 5384486 B2	08-01-2014
		JP 5498603 B2	21-05-2014
		JP 5779263 B2	16-09-2015
		JP 2010528748 A	26-08-2010
		JP 2013126578 A	27-06-2013
		JP 2014155855 A	28-08-2014
		WO 2008149221 A1	11-12-2008
US 2009191503 A1	30-07-2009	CA 2713692 A1	06-08-2009
		CN 101977564 A	16-02-2011
		EP 2242440 A1	27-10-2010
		JP 5984308 B2	06-09-2016
		JP 6049120 B2	21-12-2016
		JP 6072728 B2	01-02-2017
		JP 2011510745 A	07-04-2011
		JP 2013255852 A	26-12-2013
		JP 2014144382 A	14-08-2014
		JP 2015120007 A	02-07-2015
		JP 2017094181 A	01-06-2017
		US 2009191503 A1	30-07-2009
		US 2013230818 A1	05-09-2013
		US 2016008095 A1	14-01-2016
		WO 2009097383 A1	06-08-2009
WO 2016066654 A1	06-05-2016	FR 3027506 A1	29-04-2016
		FR 3027507 A1	29-04-2016
		FR 3027508 A1	29-04-2016
		FR 3027711 A1	29-04-2016
		WO 2016066650 A1	06-05-2016
		WO 2016066651 A1	06-05-2016
		WO 2016066652 A1	06-05-2016
		WO 2016066654 A1	06-05-2016
WO 2016066642 A1	06-05-2016	FR 3027505 A1	29-04-2016
		WO 2016066642 A1	06-05-2016
WO 2016066637 A1	06-05-2016	FR 3027504 A1	29-04-2016
		WO 2016066637 A1	06-05-2016

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2017/059555

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. A61C7/00

ADD. A61C7/08

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

A61C G06F G06T

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	WO 2008/149221 A1 (ALIGN TECHNOLOGY INC [US]; KITCHING IAN [US]; STERENTHAL RENE [US]; SH) 11 décembre 2008 (2008-12-11)	1,3-5, 8-17
A	alinéas [0034] - [0079] -----	2,6,7
Y	US 2009/191503 A1 (MATOV VADIM [US] ET AL) 30 juillet 2009 (2009-07-30)	1,3-5, 8-17
	alinéas [0066] - [0091], [0105], [0106] -----	
X,P	WO 2016/066654 A1 (H43 DEV [LU]) 6 mai 2016 (2016-05-06)	18-20
	page 47, ligne 27 - page 49, ligne 3; revendication 1; figure 1 -----	
X,P	WO 2016/066642 A1 (H43 DEV [LU]) 6 mai 2016 (2016-05-06)	18-20
	page 16, ligne 27 - page 17, ligne 21; revendication 1; figure 1 -----	
	-/-	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

27 juin 2017

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

11/07/2017

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Fortune, Bruce

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X,P	WO 2016/066637 A1 (H43 DEV [LU]) 6 mai 2016 (2016-05-06) page 16, ligne 27 - page 17, ligne 21; revendication 1; figure 1 -----	18-20

Cadre n°. II Observations - lorsqu'il a été estimé que certaines revendications ne pouvaient pas faire l'objet d'une recherche (suite du point 2 de la première feuille)

Le rapport de recherche internationale n'a pas été établi en ce qui concerne certaines revendications conformément à l'article 17.2)a) pour les raisons suivantes :

1. ☐ Les revendications n^{os} se rapportent à un objet à l'égard duquel l'administration chargée de la recherche internationale n'est pas tenue de procéder à la recherche, à savoir :
2. ☒ Les revendications n^{os} 1-17(en partie)
parce qu'elles se rapportent à des parties de la demande internationale qui ne remplissent pas suffisamment les conditions prescrites pour qu'une recherche significative puisse être effectuée, en particulier :
voir FEUILLE ANNEXÉE PCT/ISA/210
3. ☐ Les revendications n^{os} parce qu'elles sont des revendications dépendantes et ne sont pas rédigées conformément aux dispositions de la deuxième et de la troisième phrases de la règle 6.4.a).

Cadre n°. III Observations - lorsqu'il y a absence d'unité de l'invention (suite du point 3 de la première feuille)

L'administration chargée de la recherche internationale a trouvé plusieurs inventions dans la demande internationale, à savoir:

1. ☐ Comme toutes les taxes additionnelles exigées ont été payées dans les délais par le déposant, le présent rapport de recherche internationale porte sur toutes les revendications pouvant faire l'objet d'une recherche.
2. ☐ Comme toutes les revendications qui se prêtent à la recherche ont pu faire l'objet de cette recherche sans effort particulier justifiant des taxes additionnelles, l'administration chargée de la recherche internationale n'a sollicité le paiement d'aucunes taxes de cette nature.
3. ☐ Comme une partie seulement des taxes additionnelles demandées a été payée dans les délais par le déposant, le présent rapport de recherche internationale ne porte que sur les revendications pour lesquelles les taxes ont été payées, à savoir les revendications n^{os} :
4. ☐ Aucune taxes additionnelles demandées n'ont été payées dans les délais par le déposant. En conséquence, le présent rapport de recherche internationale ne porte que sur l'invention mentionnée en premier lieu dans les revendications; elle est couverte par les revendications n^{os} .

- Remarque quant à la réserve**
- ☐ Les taxes additionnelles étaient accompagnées d'une réserve de la part du déposant et, le cas échéant, du paiement de la taxe de réserve.
- ☐ Les taxes additionnelles étaient accompagnées d'une réserve de la part du déposant mais la taxe de réserve n'a pas été payée dans le délai prescrit dans l'invitation.
- ☐ Le paiement des taxes additionnelles n'était assorti d'aucune réserve.

SUITE DES RENSEIGNEMENTS INDICUES SUR PCT/ISA/ 210

Suite du cadre II.2

Revendications nos.: 1-17(en partie)

La revendication indépendante 1 ainsi que toute la description indiquent que l'invention se rapporte à un procédé d'adaptation d'un appareil orthodontique alors qu'aucune adaptation d'un appareil existant (déformation d'un appareil existant, ajout de matière, découpe etc...) n'est ni décrite ni même clairement revendiquée: la revendication 1, comme la description, définissent l'étape finale comme la fabrication d'un NOUVEL appareil pour substituer l'appareil existant.

La recherche a donc été limitée à un procédé de fabrication d'un appareil orthodontique (et non pas adaptation d'un appareil).

Deplus, l'expression "Indépendamment des étapes a') et c')" indique que l'étape b') peut avoir lieu avant l'étape a'). Cependant, cela semble contradictoire avec la description de la présente demande, selon laquelle la réalisation d'un modèle correspondant au positionnement des dents après démarrage du traitement se fait toujours après la réalisation et l'analyse de la situation initiale.

La recherche a donc été limitée à un procédé dans lequel l'étape a') est toujours la première étape, les étapes b') et c') pouvant être dans n'importe quel ordre.

L'attention du déposant est attirée sur le fait que les revendications ayant trait aux inventions pour lesquelles aucun rapport de recherche n'a été établi ne peuvent faire obligatoirement l'objet d'un rapport préliminaire d'examen (Règle 66.1(e) PCT). Le déposant est averti que la ligne de conduite adoptée par l'OEB agissant en qualité d'administration chargée de l'examen préliminaire international est, normalement, de ne pas procéder à un examen préliminaire sur un sujet n'ayant pas fait l'objet d'une recherche. Cette attitude restera inchangée, indépendamment du fait que les revendications aient ou n'aient pas été modifiées, soit après la réception du rapport de recherche, soit pendant une quelconque procédure sous le Chapitre II. Si la demande devait être poursuivie dans la phase régionale devant l'OEB, il est rappelé au déposant qu'une recherche pourrait être effectuée durant la procédure d'examen devant l'OEB (voir Directive OEB C-IV, 7.2) à condition que les problèmes ayant conduit à la déclaration conformément à l'Article 17(2) PCT aient été résolus.

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2017/059555

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2008149221 A1	11-12-2008	EP 2164422 A1	24-03-2010
		EP 3158967 A1	26-04-2017
		ES 2609096 T3	18-04-2017
		JP 5384486 B2	08-01-2014
		JP 5498603 B2	21-05-2014
		JP 5779263 B2	16-09-2015
		JP 2010528748 A	26-08-2010
		JP 2013126578 A	27-06-2013
		JP 2014155855 A	28-08-2014
		WO 2008149221 A1	11-12-2008
US 2009191503 A1	30-07-2009	CA 2713692 A1	06-08-2009
		CN 101977564 A	16-02-2011
		EP 2242440 A1	27-10-2010
		JP 5984308 B2	06-09-2016
		JP 6049120 B2	21-12-2016
		JP 6072728 B2	01-02-2017
		JP 2011510745 A	07-04-2011
		JP 2013255852 A	26-12-2013
		JP 2014144382 A	14-08-2014
		JP 2015120007 A	02-07-2015
		JP 2017094181 A	01-06-2017
		US 2009191503 A1	30-07-2009
		US 2013230818 A1	05-09-2013
		US 2016008095 A1	14-01-2016
		WO 2009097383 A1	06-08-2009
WO 2016066654 A1	06-05-2016	FR 3027506 A1	29-04-2016
		FR 3027507 A1	29-04-2016
		FR 3027508 A1	29-04-2016
		FR 3027711 A1	29-04-2016
		WO 2016066650 A1	06-05-2016
		WO 2016066651 A1	06-05-2016
		WO 2016066652 A1	06-05-2016
		WO 2016066654 A1	06-05-2016
WO 2016066642 A1	06-05-2016	FR 3027505 A1	29-04-2016
		WO 2016066642 A1	06-05-2016
WO 2016066637 A1	06-05-2016	FR 3027504 A1	29-04-2016
		WO 2016066637 A1	06-05-2016

Machine Learning for Dental Image Analysis

Yeung-jun Yu

Department of Computer Science

Yonsei University

saorkn@gmail.com

1. Introduction

The field of pathology diagnosis has steadily advanced with the development of microscopy, accompanied by the automation of the reduction of inter-observer reliability and intra-observer reproducibility. Within the field of mammography, computer vision, and artificial intelligence (AI) techniques have been successfully applied to detect and characterize abnormalities of medical images [Winsberg et al., 1967; Ravdin et al., 2001]. This has resulted in a situation such that automated detection techniques can now implement an entire medical procedure with a high degree of accuracy. In addition, advances in computer hardware and software have increased the performance and reliability of parallel computing. The advances in this technology have, in turn, provided hardware and software advancements that are sufficiently robust to support the large computational requirements of complex Artificial Intelligence (AI) algorithms and their application to machine learning. Applications of a variety of deep learning architectures such as deep neural networks, convolutional deep neural networks, deep belief networks, and recurrent neural networks to the creation of algorithms in important fields such as natural language processing, computer vision, speech recognition and bioinformatics, have resulted in efficient and accurate

automation of many pragmatic tasks [Collobert and Weston, 2008; Hinton et al., 2012; Alipanahi et al., 2015]. Using advanced large-scale parallel processing hardware and AI software, IBM developed the Watson machine to support cognitive applications across a variety of knowledge domains. Since its availability, the IBM Watson Group has developed highly reliable knowledge domains within several specialty medical fields, integrating these knowledge domains within the Watson architecture. Using these modified Watson machines, a variety of studies are in progress at the Memorial Sloan Kettering Cancer Center, the MD Anderson Cancer Center, the Cleveland Clinic, the Mayo Clinic, the New York Genome Center, the Bumrungrad International Hospital, and the Manipal Hospitals [Aggarwal and Madhukar, 2016; Herath et al., 2016; Piros et al., 2016; Raza et al., 2016]. In August 2015, IBM acquired Merge Healthcare, a company that develops a cloud-based picture archival communication system (PACS), providing IBM with the requisite authority to access the medical images of over 600 hospitals [Leidos and Pentagon, 2015]. Within six months, IBM acquired Truven Health Analytics, and gained immediate access to their 8,500 clients and medical records of nearly 300 million patients [Chang and Choi, 2016; Nash, 2016]. In September 2016, the IBM Watson Health Group announced that the Gil Medical Center of Gachon University deployed an IBM Watson machine, trained for Oncology by Memorial Sloan Kettering. While research and deployment of AI technology has been broadly conducted across the field of medicine, this is not the case in the field of dentistry. Active research of AI technology within the field of dentistry is sparse.

The purpose of this study is to evaluate the application of AI

technology to dental imaging, specifically possible deployment of artificial neural networks (ANN), a convolutional neural network (CNN), representative image cognition algorithms that support scale-invariant feature transform functions (SIFT), and the creation of histograms of oriented gradients (HOG). In this study, we conduct experiments and the results are evaluated in the following areas: accuracy (in terms of the true positive (TP) rate or recall rate) of the quantitative measures from task execution, task execution efficiency, and the visual features of the AI training. These evaluations of the CNN features were then subsequently compared to those of the image cognition algorithms (SIFT and HOG).

1.1. History of neural networks

Typical of most scientific fields of study, the development and application of neural networks has grown from an embryonic state to become an integral tool in many areas of applied science. This history originated in the early 1940s, at the time of the creation of the first digital computers based on the designs created by John von Neumann, such as the ENIAC and EDVAC computers, and continues in parallel with the history of the modern digital computer. The history of neural networks can be partitioned into four time periods: (1) inception, (2) the golden age, (3) the long setback period, and (4) the renaissance.

1.1.1. Inception

In 1943, McCulloch and Pitts presented a computational model based on a simple neural network that supported arithmetic and logical operations. Their paper strongly influenced the development of neural networks [McCulloch and Pitts, 1943]. In 1949, psychologist Donald Hebb published a book entitled "The Organization of Behavior" that presented a learning law based on neurons and synapses. Hebb applied his learning law (now known as "Hebbian learning") to explain the results of psychological experiments [Hebb, 1949].

1.1.2. Golden age

The 1950s and 1960s are known as the golden age of neural networks. In 1951, Minsky developed the first neurocomputer, called the Stochastic Neural Analog Reinforcement Computer (SNARC). This machine possessed

the potential to automatically control the weights of synapses, but engineering the prototype into a production level machine did not occur. [Kelemen, 2007]. In 1957, Rosenblatt developed the "perceptron," an algorithm that is pervasive within an ANN. Later, he successfully developed the first neurocomputer based on the perceptron, which he applied to the field of pattern recognition [Rosenblatt, 1957]. The perceptron was expected to advance machine learning, however, its capabilities were limited. In 1969, Minsky proved that a single-layer perceptron could recognize patterns that can be divided linearly, but that complex patterns require a multi-layer ANN. Today, the perceptron is primarily used as a teaching and learning vehicle to teach binary classification algorithms. Minsky also showed that the perceptron was not able to learn sequential operations to evaluate the logical exclusive-or (XOR) function. This latter restriction eliminated the ANN as a legitimate candidate to advance machine learning.

1.1.3. Long setback period

During the 1970s, research funding to support ANN technology diminished, the conferences that focused on ANN technology decreased in number, and the number of published papers that addressed ANN technology also sharply decreased. However, the ANN research during this decade provided the foundation for the renaissance of ANN technology that began in the late 1980s. In 1976, Grossberg published several papers on ANNs [Grossberg, 1976]. Later, Carpenter, using Grossberg's work, developed adaptive resonance theory (ART), which, along with self-organizing maps (SOMs), made a large contribution to the field of unsupervised learning

[Carpenter, 2011].

1.1.4. Renaissance

In 1982 and 1984, physicist John Hopfield published two papers that encouraged the revitalization of research into ANN technology [Hopfield, 1982]. These papers were widely read, resulting in an ANN interest from a new generation of researchers. In 1986, Rumelhart and Hinton presented the back-propagation algorithm that provided solutions to many of the known ANN problems [Williams and Hinton, 1986]. The first international conference to address the renewed ANN technology was held in 1987, and the first international journal on ANNs appeared the following year. In 1995, LeCun and Bengio introduced the convolutional neural network (CNN), whose local invariant features could be easily extracted. This eliminated some of the limitations of the existing ANNs and implementations that deployed this new ANN model achieved excellent performance in the fields of character and voice recognition [LeCun and Bengio, 1995]. However, reliable results required creation of proper hyper-parameters, which in turn required an inductive algorithm. This resulted in researchers shifting focus from ANN technology in favor of the Support Vector Machine (SVM), characterized by simpler algorithms, such as linear classifiers. However, with the growth of deep learning in the late 2000s, research once again moved to ANN technology.

1.2. Artificial neural network

1.2.1. Hebbian rule

In 1949, Hebb published a learning rule based on neurons and synapses [Hebb, 1949]. He noted the fact that when learning occurs in a biological neural network, the synaptic strengths are set in order to respond well to a sign stimulus originating from a certain input. According to the Hebbian rule, learning is defined as adjusting the strength of the synaptic links. The fundamental learning method is to increase the relative synaptic weight in order to revitalize the two neurons simultaneously. The following equation captures the essence of Hebbian learning:

$$w_{ij} = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p x_i^k x_j^k$$

where w_{ij} is the weight of the connection from neuron j to neuron i , p is the number of training patterns, and x_i^k is the k th input to neuron i . Figure 1 shows a comparison between a human neuron and an ANN neuron [Matarollo et al., 2013].

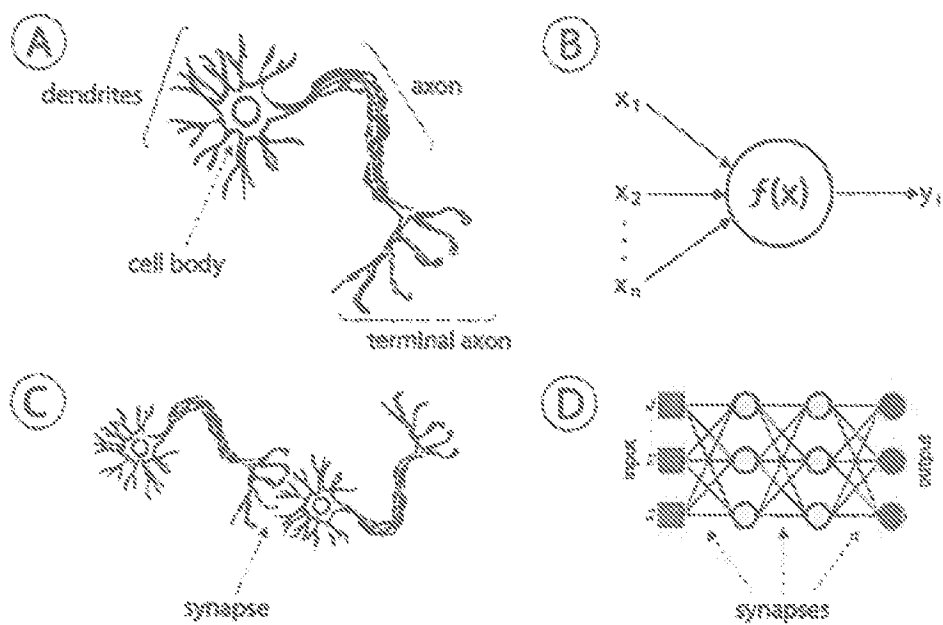


Fig. 1. (A) Human neuron; (B) Artificial neuron or hidden unity; (C) Biological synapse; (D) ANN synapses [Matarollo et al., 2013].

1.2.2. Perceptron

In 1957, Rosenblatt defined the concept of a perceptron [Rosenblatt, 1957]. At the time, a neuron activation function was represented by a step function. A step function is discrete, discontinuous with a small range, and not as accurate as a continuous sigmoid function that is used today. Thus, in 1957, there were limitations in describing the behavior of a neuron. However, it was recognized that the activation of a neuron could accurately be described by a function with multiple dependent variables and a single output variable. Further, it is important that the output must be determined by the importance of the input. In this context, the importance of the input is determined by an assigned weight. Figure 2 shows an N-input perceptron with a fixed threshold. It is defined to accept N input variables, each associated with a specified weight that contribute to the computation of a unique output. The output is 0 if the sum of the product of the weights and inputs does not exceed the threshold; otherwise, the output value is 1.

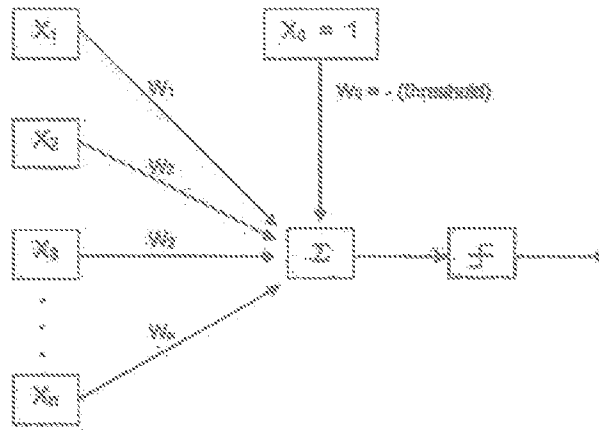


Fig. 2. An N-input perceptron with a fixed threshold that receives many inputs and determines a single output.

1.2.3. Perceptron limitations

While Rosenblatt's perceptron appears to reflect the biological characteristic of a neural network, it has a serious limitation. The perceptron is capable of computing a single binary result, 0 or 1, primarily because the transfer function is a simple step function, alternating between a value of 0 and 1. If the network does not exceed two layers, then this restriction is not a problem. However, we cannot expect accurate results from a multiple-layer ANN because the granularity of the output at each layer is restricted to 0 or 1. This is simply an insufficient model for a multiple-layer ANN. To design an ANN that will generate optimum learning results, we apply back propagation and the gradient-descent method. These concepts are based on the sensitivity of a net to changes of the input and/or weight values. A small change in the input or the weight of a particular net will induce a proportionally small change in the output. The granularity of the output of a neuron based on a perceptron is large, i.e., 0 or 1, so that the behavior is discrete. This behavior is incompatible with the behavior of an ANN using back propagation in which the granularity of the output can vary and the associated learning advances in a continuous manner by making small changes in the weight and bias. This suggests that a continuous function is required to model the changes to the output as a function of the input.

1.2.4. Sigmoid Function

One technique to accommodate the sensitivity of output to input is to use a sigmoid function as the activation function instead of using a step function. A sigmoid function is an analytic function. This means that it is

infinitely differentiable and is therefore continuous, so that small changes to the input produce small changes to the output. It is certainly capable of modeling the ANN behavior described in the previous section. As shown in Figure 3, if a sigmoid function is used as the activation function, the changes to the output values from 0 to 1 are continuous. Hence, the output can be changed in small increments when the weight or bias is changed by a small amount. It is also necessary that the range of the sigmoid function consists of the closed interval $[0,1]$. The sigmoid function can be formulated as follows:

$$S(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}}$$

Here, the value of t is computed as the inner product of the input vector t ($x_1, x_2, x_3, \dots$) and weight vector ($w_1, w_2, w_3, \dots$) and then adding the bias. If the input is determined and there is a small change in the weight or bias (partial differential), the output changes correspondingly.

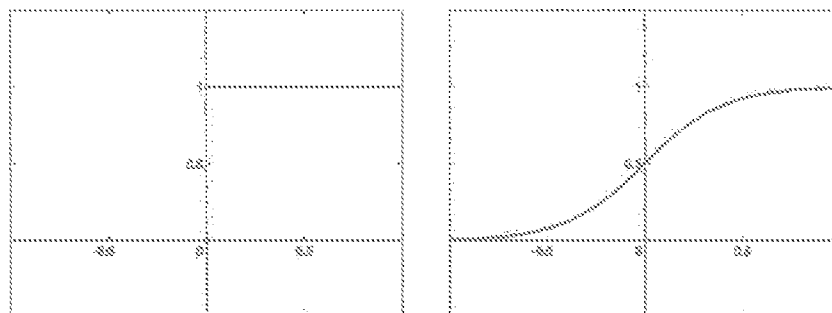


Fig. 3. Step Function (left) and sigmoid Function (right).

1.3. Convolutional neural network

Learning through an ANN enables us to provide solutions to many questions that are non-intuitive, such as playing the game “Go” [Silver et al., 2016]. However, in order to obtain acceptable results from a recognition algorithm based on images, applying a multi-layered neural network is difficult because this technique requires many prerequisite processes. One of the characteristics of an ANN is its requirement for a separate procedure to process new learning in the event of any change to the data. For example, a small change of a single pixel will change the size or introduce a small distortion in the image. This change is a result of the failure of the ANN to consider the topological characteristics; it processes only the raw data. Convolutional neural networks are biologically inspired variants of a multilayer perceptron designed to emulate the behavior of a visual cortex. Regarding the concept of receptive fields, the topological invariance in the local connectivity and the shared weight features will sharply reduce the number of required parameters. Convolutional neural networks were first introduced by LeCun [LeCun et al., 1989]. They were developed as part of a project to study the cognition of cursive-script zip codes. Relative to cognition of cursive-script letters, the CNNs first introduced by LeCun produced good results, but were not easily understood and thus, turned out to be ineffective as candidates for commercial production. Later, they were replaced by Behnke [Behnke, 2003] and Simard’s versions of CNN, which presented a simplification by providing an extension of the concept [Simard et al., 2003]. Later, a technique to produce CNNs was introduced through general-purpose computing algorithms for execution on graphics processing units (GPGPU).

2. Materials and Methods

2.1. Datasets and computer

We conducted experiments on panoramic dental radiographs to evaluate the application of the AI technology in dental imaging. A panoramic radiograph is a panoramic scanning dental X-ray of the upper and lower jaws. It shows a two-dimensional view of a half-circle from ear to ear. The subjects of this study were randomly selected from 972 patients aged 20 years and older who visited the Pusan National University Hospital between 2014 and 2015. The patients comprised 543 men and 429 women with a mean age of 25.3 years (range: 20-40 years). All panoramic radiographs were obtained with a Proline XC machine (Planmeca Co., Helsinki, Finland). This study was reviewed and approved by the institutional review board of the Pusan National University Dental Hospital (PNUPH-2015-034). We used up to eight CPU cores (at 2.8 GHz) and a GeForce GTX 980 GPU. All the experiments described below were executed on a single machine.

2.2. Bag-of-Words models

In this work, using SIFT, HOG2×2, HOG3×3, and Color features as image descriptors, we applied the Bag-of-Words (BoW) and a spatial pyramid pipeline. Subsequently, two different classifiers were deployed, specifically the k-nearest neighbors algorithm (k-NN) and an error-correcting output coding support vector machine (ECOC-SVM). Figure 4 shows the overview of our system for Bag-of-Words. All computations generated by the Bag-of-Words models were performed using the MATLAB R2016a environment. MATLAB is a numerical computing environment developed by

MathWorks. It supports a fourth-generation programming language, allowing user extensions implemented in C, C++, and Python. It has the capability to create sophisticated Mathematical algorithms. Its “parfor” command was used to implement execution of parallel loop iterations [Luszczek, 2009].

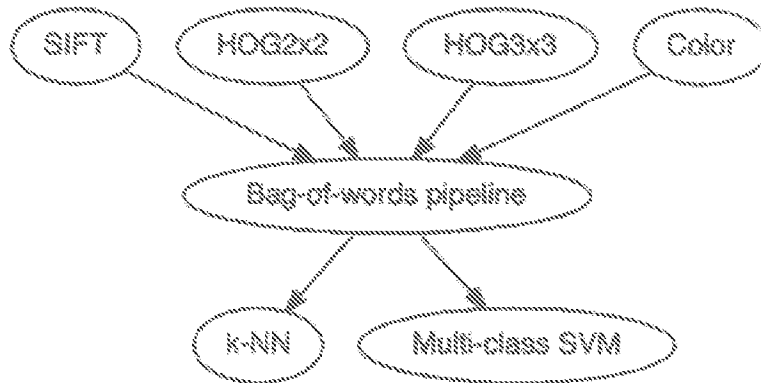


Fig. 4. Overview of our system for Bag-of-Words.

2.2.1. SIFT

A scale-invariant feature transform is a computer vision algorithm that can detect and describe local features in images. This study used a method for extracting distinctive invariant features from images that can be used to perform reliable matching between different views of an object or scene [Lowe, 2004].

2.2.2. HOG2×2 and HOG 3×3

The histogram of oriented gradients is similar to the scale-invariant feature transform descriptors; however, it differs in that it is computed on a

dense grid of uniformly spaced cells and uses overlapping local contrast normalization. After reviewing existing edge and gradient-based descriptors, this study concluded that grids of Histograms of Oriented Gradient (HOG) descriptors significantly outperformed existing feature sets for detection [Dalal, 2005; Russell et al., 2008].

2.2.3. Color

As a method to extract essential features, the image was converted to color names, thereby enabling extraction of dense overlapping patches of multiple sizes; the patches were then aggregated to form a histogram of color names [Weijer et al., 2009; Khan et al., 2013].

2.2.4. Bag-of-Words pipeline

The Bag-of-Words (BoW) model can be applied to image classification by treating image features as words. A bag of visual words is a vector of occurrence counts of elements of a vocabulary of local image features. Using a random sampling of the extracted features from various patches, the k-means learning algorithm was applied to learn a dictionary [Elkan, 2003]. This was followed by the application of LLC to soft-encode each patch to one or more dictionary entries [Wang et al., 2010]. We then applied max pooling with a spatial pyramid to obtain the final feature vector [Lazebnik et al., 2006; Wang et al., 2010]. We used LLC because it supports classification by the use of a linear classifier so that it is not necessary to use the more complicated nonlinear kernels.

2.2.5. k-nearest neighbors algorithm

The k-NN algorithm is a non-parametric classification technique. The output is a class membership specification. An object is classified by a majority vote of its neighbors, with the object being assigned to the class most common among its k nearest neighbors.

2.2.6. Multi-class SVM

A Support Vector Machine (SVM) is a supervised learning model with associated learning algorithms that analyze data, recognize patterns, and, based on an identified pattern, assigns a classification. SVMs are deterministic binary linear classifiers and can perform nonlinear classification by implicitly mapping inputs into large-dimension feature spaces using kernel methods. Classification was performed with the machine learning toolbox available in MATLAB. The “fitcecoc” method, which fits multiclass models for support vector machines or other classifiers, was employed. The classifier was used with both linear and Gaussian kernels, and k-fold cross-validation was applied for classifier assessment. [Tan et al., 2016]

2.3. Convolutional neural network models

Figure 5 shows an overview of our system for a CNN. This study trained CNNs using Theano, which is a Python library that allows mathematical expressions to be defined, optimized, and evaluated efficiently in terms of multi-dimensional arrays. It optimizes a user's symbolically specified mathematical computations to produce efficient low-level implementations [Bergstra et al., 2010]. The size of the original panoramic radiograph was 2800×1376 pixels, and the CNN training is slow if the input is large. Therefore, cropped images were used to classify the teeth, and resized images were used to classify the sex as determined from panoramic radiographs. Two types of convolutional neural networks were used, 4-layer and 16-layer CNN models. As shown in Figure 6, the 4-layer CNN model is a simple stack consisting of two convolution layers and a max-pooling layer, providing an architecture similar to the architectures that Yann LeCun advocated in the 1990s for images, speech, and time series [LeCun and Bengio, 1995]. In our study, the only difference is the choice of activation function. In this study, we elected to use rectified linear unit (ReLU) activation functions rather than sigmoid activation functions. There are two major advantages of ReLU activation functions: (1) their sparsity and (2) reduced vanishing gradient. The constant gradient of the ReLU activation function results in faster learning [Nair and Hinton, 2010]. The final layer deployed either a sigmoid or softmax activation function. As shown in Figure 7, the 16-layer CNN model is an improved version of the model used by the VGG team in the ILSVRC-2014 competition [Simonyan and Zisserman, 2014]. It was obtained by directly converting the Caffe model

provided by the authors. The loss functions were `binary_crossentropy` and `categorical_crossentropy`, the preferred logarithmic loss functions for classification problems. The equation that defines the description of crossentropy is as follows:

$$crossentropy(t, o) = -(t * \log(o) + (1 - t) * \log(1 - o))$$

The gradient descent optimization functions utilized were `adadelat` and `rmsprop`. The weight initialization was uniformly distributed. The scale was a uniform distribution of each datum between -0.05 and 0.05. A k-fold cross-validation was used for classifier assessment [Tan et al., 2016].

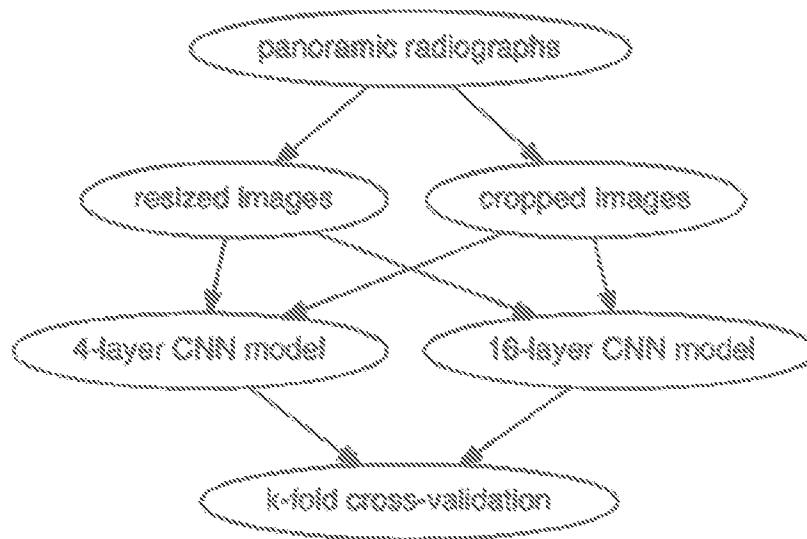


Fig. 5. Overview of our CNN system.

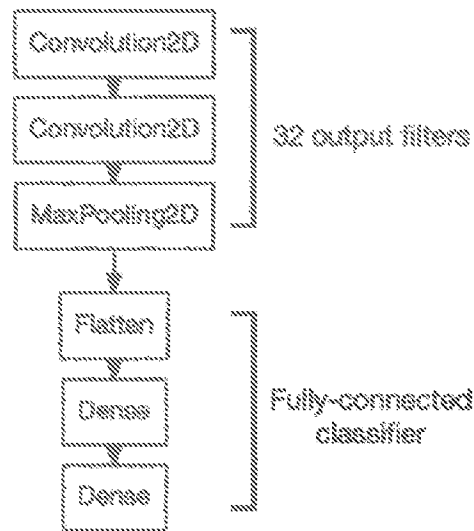


Fig. 6. 4-layer CNN model.

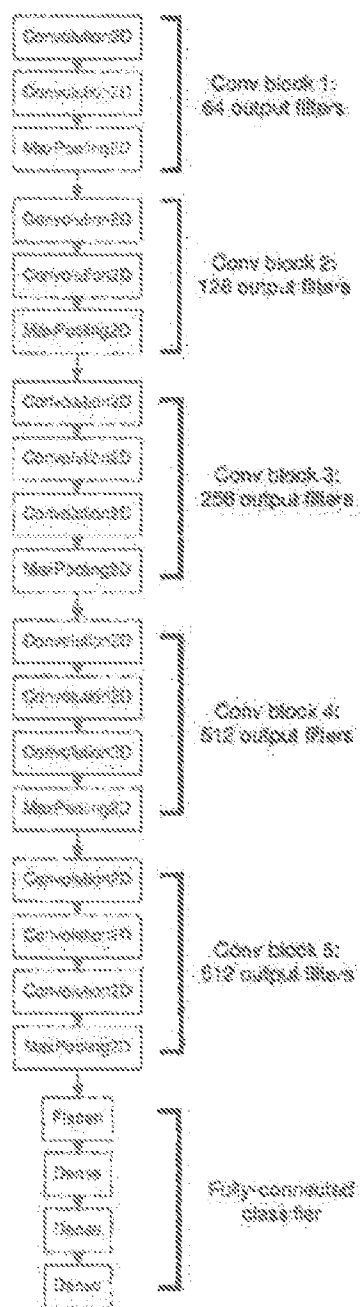


Fig. 7. 16-layer CNN model.

3. Results

3.1. Teeth Classification

We presented the AI learning tool with 100 images of 28 permanent teeth (2,800 images in total), we then classified 1,120 images of the 28 permanent teeth that were not used in the learning. To build the 28-way classifier, we adopted the FDI (FDI World Dental Federation) two-digit system that was introduced in 1970 by the FDI. It is a digital system that notates teeth that make visual sense, cognitive sense, and computer sense [Peck and Peck, 1996]. The FDI method identifies each of the 32 permanent teeth with a two-digit number, the first digit indicating the quadrant (1 to 4) while the second digit designates the tooth type (1 to 8). In this study, third molars were excluded from tooth classification in order to obtain more training samples because there are many people without third molars. A sample of 140 patients with 28 healthy permanent teeth (except four third molars from the 32 permanent teeth) was selected from 972 patients. We divided the dataset into a training set and a test set. The training set was comprised of 55 men and 45 women, and the test set was comprised of 20 men and 20 women.

3.1.1. Input Layer

As illustrated in Figure 8, we cropped the image of each tooth to a minimum rectangle that included the crown and root. In total, 3,920 cropped images were used (28 permanent teeth times 140 people). The average width of the cropped images was 131.6 ± 43.73 pixels and the average height was 282.16 ± 37.11 pixels. In order to find a proper training input size, the

cropped images were first resized to a width and height of 32×32 pixels. Subsequently, images of sizes 64×64 pixels, 128×128 pixels, and 256×256 pixels were examined. As shown in Figure 9, for dictionary sizes of more than 500, the images with a size of 128×128 pixels showed the highest mean accuracy. Therefore, for the purposes of this study, we fixed the size of input images to 128×128 pixels.

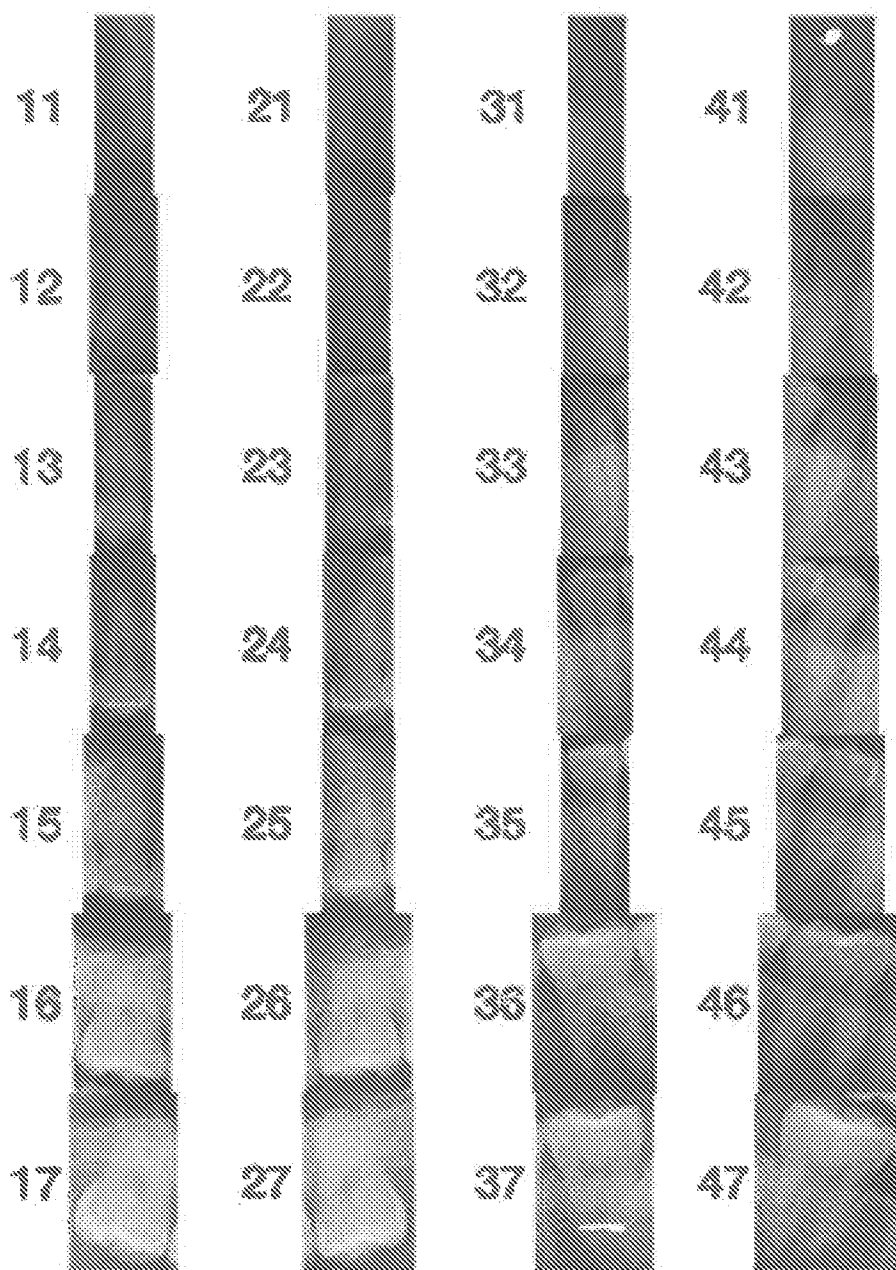


Fig. 8. Cropped images of 28 permanent teeth.

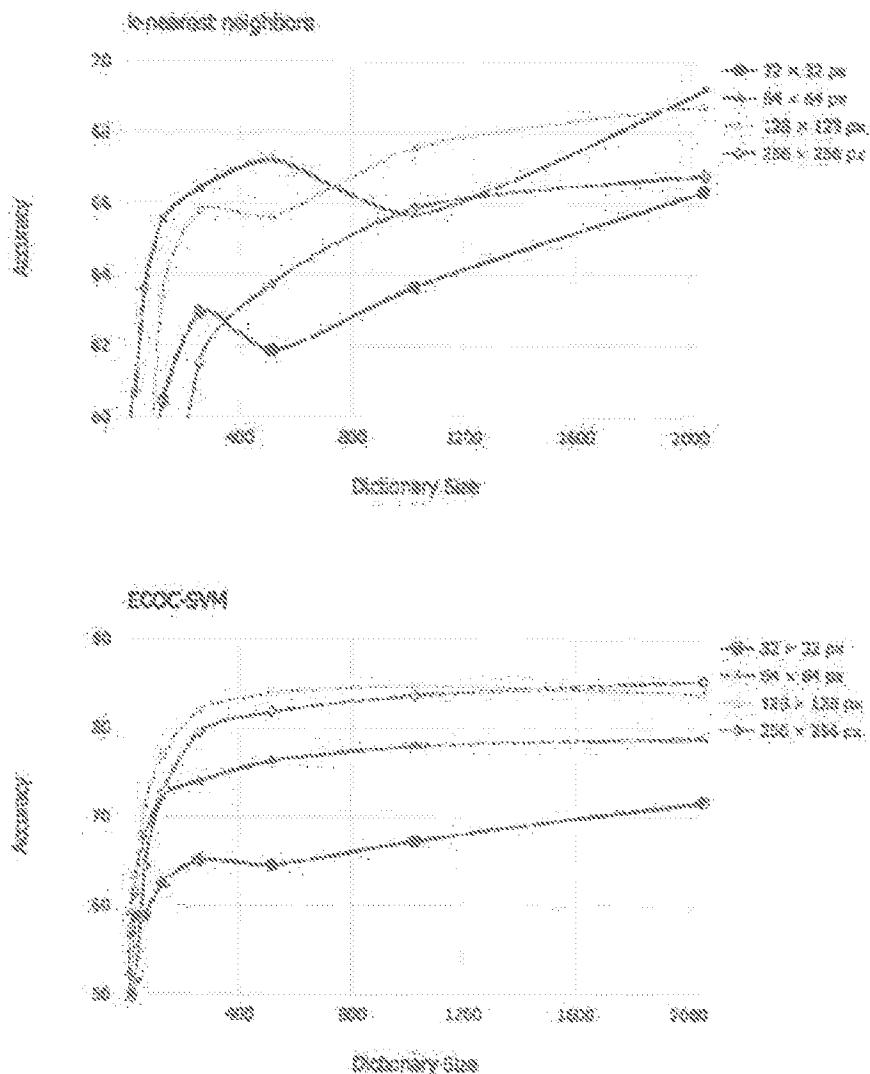


Fig. 9. Changes in accuracy with dictionary size with various input sizes using the SIFT algorithm: classified by k-NN (top) and classified by ECOC-SVM (bottom).

3.1.2. Spatial Pyramid Level

One of the disadvantages of the BoW model is that it ignores the spatial relationships among the patches, which are very important in image representation. Researchers have proposed several methods to incorporate the spatial information. We applied a max pooling technique with a spatial pyramid to obtain the final feature vector [Lazebnik et al., 2006]. Figure 10 shows an example of constructing a three-level pyramid. In order to find a proper spatial pyramid level, pyramid levels 0 were examined. As shown in Figure 11, for dictionary sizes of more than 500, pyramid level 2 showed the highest accuracy. Therefore, within the present study, the pyramid level was fixed to level 2.

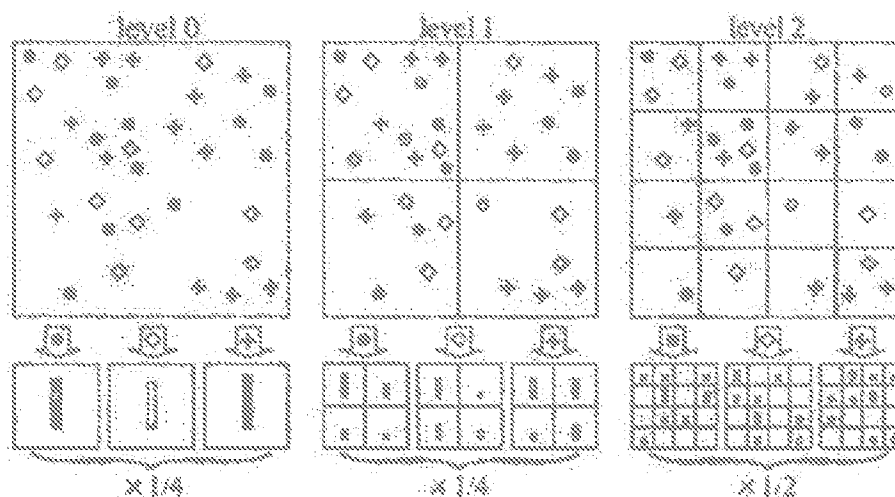


Fig. 10. Sample example of constructing a three-level pyramid. The image has three feature types, indicated by circles, diamonds, and crosses [Lazebnik et al., 2006].

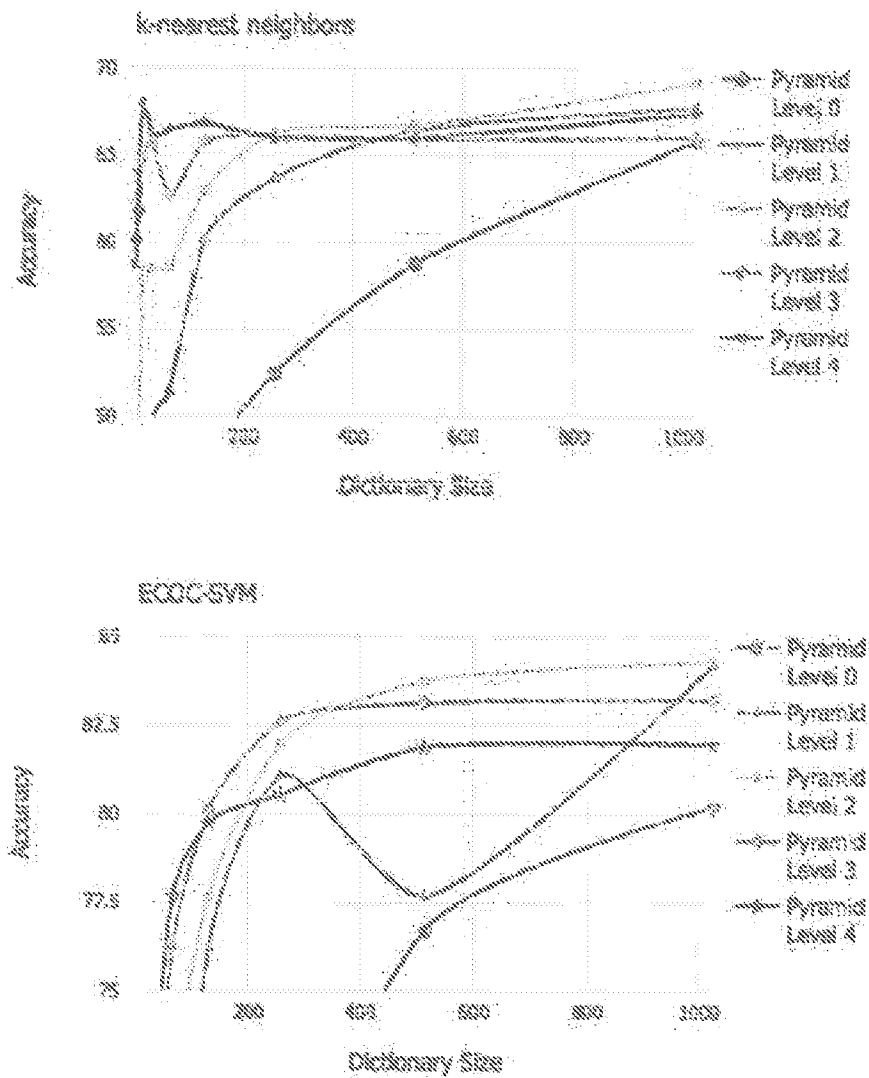


Fig. 11. Changes in accuracy with dictionary size with various pyramid levels using SIFT algorithm: classified by k-NN (top) and classified by ECOC-SVM (bottom).

3.1.3. Tests on Bag-of-Words Model

Figure 12 shows changes in the accuracy with a dictionary size of 128×128 pixels input size and a two-level pyramid using SIFT, HOG2 $\times$ 2, and HOG3 $\times$ 3 in conjunction with the Color algorithm. The result produced a maximum accuracy of 84.73% in the case of SIFT, 84.82% in the case of HOG2 $\times$ 2, 84.64% in the case of HOG3 $\times$ 3, and 65.8% in the case of Color. From the accuracy rates above, it required 283.44 s to distinguish 1,120 teeth images with SIFT, 279.95 s with HOG2 $\times$ 2, 110.30 s with HOG3 $\times$ 3, and 123.53 s with Color.

3.1.4. Tests on 4-layer CNN model and 16-layer CNN model

Figure 13 shows changes in accuracy using a number of training images at 128×128 pixels input size generated by a convolutional neural network. In the 4-layer CNN model, the mean training time over 2,800 teeth images was 4.71 s per number of training images, whereas using the 16-layer CNN model, the mean training time was 47.52 s per number of training images. With the 4-layer CNN model, distinguishing 1,120 images required 1.11 s, whereas with the 16-layer CNN model the time was 4.27 s. Note with the 4-layer CNN model, the training time was shorter but the accuracy was larger with the 16-layer CNN model. After 40 training iterations, the accuracy rate was over 80% for the test set; after 232 training iterations, the accuracy rate was over 90%. As shown in Figure 14, the accuracy rate increased with the increase in the training size. Higher accuracy is expected with more training data.

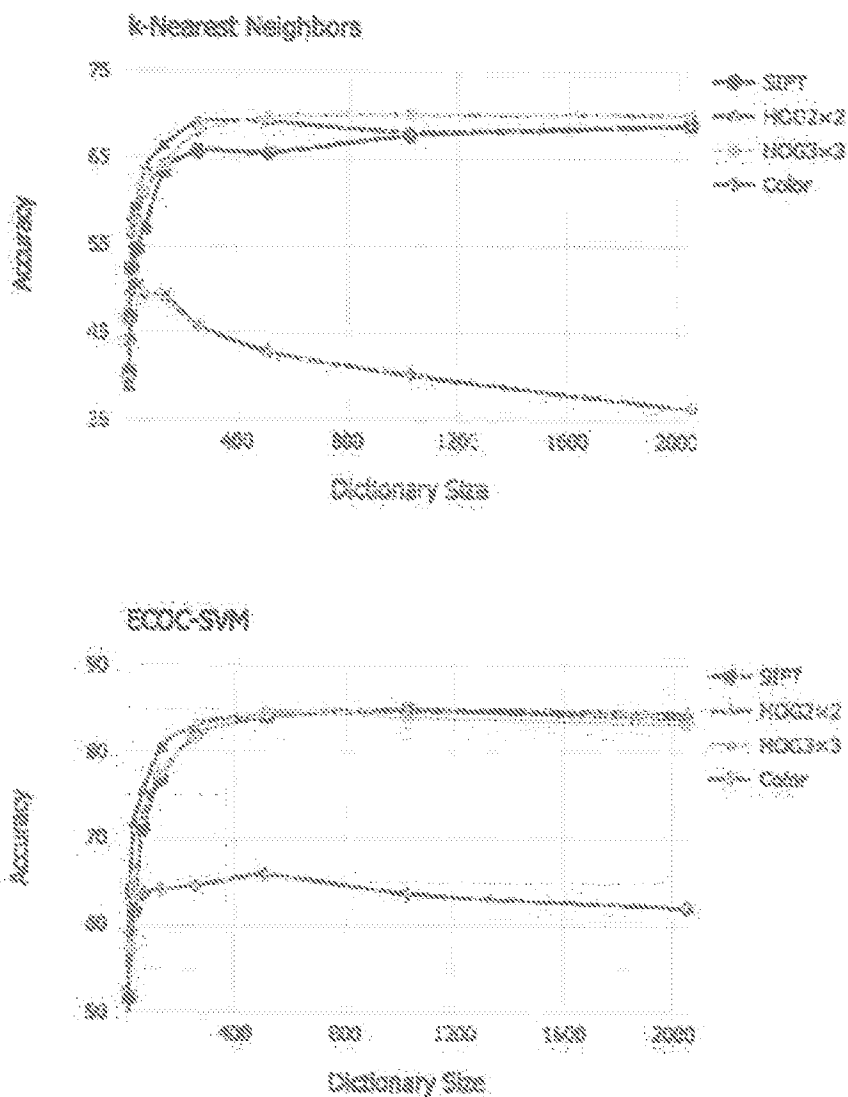


Fig. 12. Changes in accuracy with dictionary size at 128×128 pixels input size and level-2 pyramid using SIFT, HOG2x2, HOG3x3, and the Color algorithm: classified by k-NN algorithm (top) and classified by ECOC-SVM algorithm (bottom).

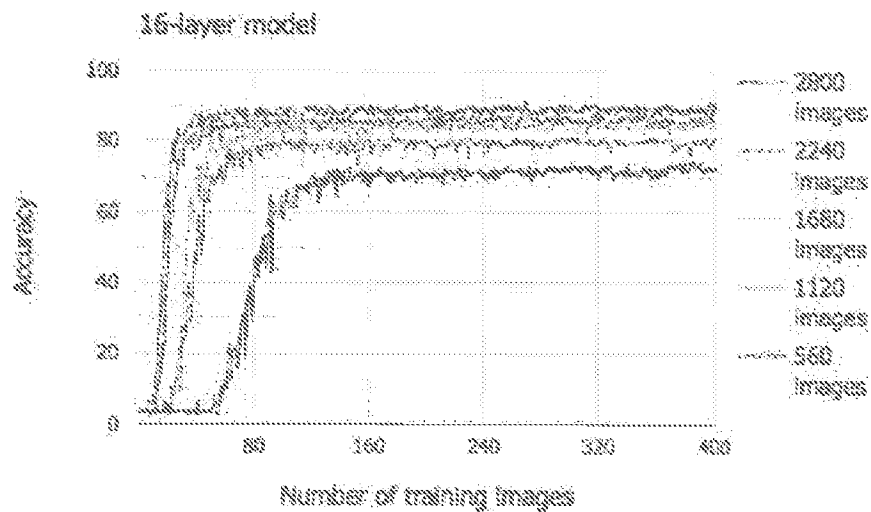


Fig. 14. Changes in accuracy with a number of training images with different training sizes using a 16-layer convolutional neural network model.

3.1.5. k-fold Cross-Validation on 16-layer CNN Model

There were not enough data available to partition a 16-layer CNN model into separate training and test sets without losing testing capability. In these cases, a fair way to properly estimate model prediction performance is to use cross-validation. A k-fold cross-validation of the 16-layer CNN model for teeth classification was performed with $k = 14$ and a total of 3,920 images (trained on 3,640 images, validated on 280 images). As shown in Table 1, molar teeth including teeth #16 and #17 obtained a high F1 score. Teeth #13 and #23 (maxillary incisor) also achieved a high F1 score. Teeth #41 and #31 (mandibular central incisor) produced the lowest F1 score. In general, maxillary teeth achieved a higher F1 score than the F1 scores of mandibular teeth. Table 2 shows a confusion matrix of the 28-way classifier over the validation dataset. Each row i represents the number count for category type i , element ij is the number of images incorrectly classified as category j , and element ii is the total count number of images correctly classified as the correct class type i . The cases such that tooth #41 was mistaken for tooth #42 and tooth #42 was mistaken for tooth #41 occurred most frequently (21 times). The second most frequent misclassification occurred when tooth #14 was misclassified as tooth #15 (19 times). The third most frequent case occurred when (a) tooth #24 was misclassified as tooth #25, (b) tooth #31 was misclassified as tooth #41, and (c) tooth #41 was misclassified as tooth #31 (16 times).

Table 1. Precision and recall results for teeth classification. Condition positive (CP) of each tooth is 140 (k-fold cross-validation of 16-layer CNN model with k=14)

Tooth number	Predicted condition positive (PCP)	True positive (TP)	Precision (TP/PCP)	Recall (TP/CP)	F1 score
16	140	136	0.9714	0.9714	0.9714
17	140	136	0.9714	0.9714	0.9714
13	139	135	0.9712	0.9643	0.9677
23	136	133	0.9779	0.95	0.9637
38	138	133	0.9638	0.95	0.9569
46	139	133	0.9568	0.95	0.9534
37	140	133	0.95	0.95	0.95
47	138	131	0.9493	0.9357	0.9425
27	143	133	0.9301	0.95	0.9399
26	139	131	0.9424	0.9357	0.939
11	140	130	0.9286	0.9286	0.9286
43	143	131	0.9161	0.9357	0.9258
35	150	134	0.8933	0.9571	0.9241
44	143	130	0.9091	0.9286	0.9167
21	137	127	0.927	0.9071	0.9169
45	138	127	0.9203	0.9071	0.9137
12	138	125	0.9058	0.8929	0.8993
34	137	124	0.9051	0.8857	0.8953
22	141	125	0.8865	0.8929	0.8897
24	137	122	0.8905	0.8714	0.8808
33	134	119	0.8881	0.85	0.8688
14	136	119	0.875	0.85	0.8623
25	147	123	0.8367	0.8786	0.8571
15	147	122	0.8299	0.8714	0.8501
32	141	103	0.7305	0.7357	0.7331
42	143	102	0.7133	0.7286	0.7209
31	140	100	0.7143	0.7143	0.7143
41	136	89	0.6544	0.6357	0.6449

Table 2. Confusion matrix for the 28 way classifier of validation dataset.

Each row i represents the number count for the category type i , element ij is the number of images misclassified as category j , and element ii is the total count number of images correctly classified as true class type i (k-fold cross-validation of 16-layer CNN model for teeth classification with k=14; 3,920 images)

11	138	5	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	4	126	2	1	0	0	0	1	4	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
13	1	1	138	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	1	142	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	1	14	123	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	1	138	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	1	2	138	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	2	2	0	0	0	0	0	127	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
22	2	5	0	1	0	0	0	6	125	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	2	138	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
24	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	122	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	12	129	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	136	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	100	18	0	0	0	0	0	0	18	7	3	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	103	10	0	0	0	0	0	8	3	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	118	4	1	0	1	2	3	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	126	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	163	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	8	1	2	0	0	0	8	21	1	1	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	2	0	0	0	0	21	102	5	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	8	131	2	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	130	9	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	10	127	1	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	138	7	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	5	136

3.2. Sex classification

Subsequent to the AI learning process, consisting of 300 male and 300 female panoramic radiographs, we then used the CNN to distinguish 120 male and 120 female panoramic radiographs not used during the learning phase. A sample of 840 patients (420 men and 420 women) was chosen randomly from 972 patients. We divided the dataset into a training set and a test set. The training set comprised 300 men and 300 women, and the test set comprised 120 men and 120 women.

3.2.1. Input layer

Figure 15 shows resized panoramic radiographs of 300 men and 300 women. The size of the original panoramic radiograph was $2,800 \times 1,376$ pixels, and the CNN training is shown as slow on large inputs. Therefore, we resized the images to 640×640 pixels. The 16-layer CNN model was not used due to hardware resource limitations.

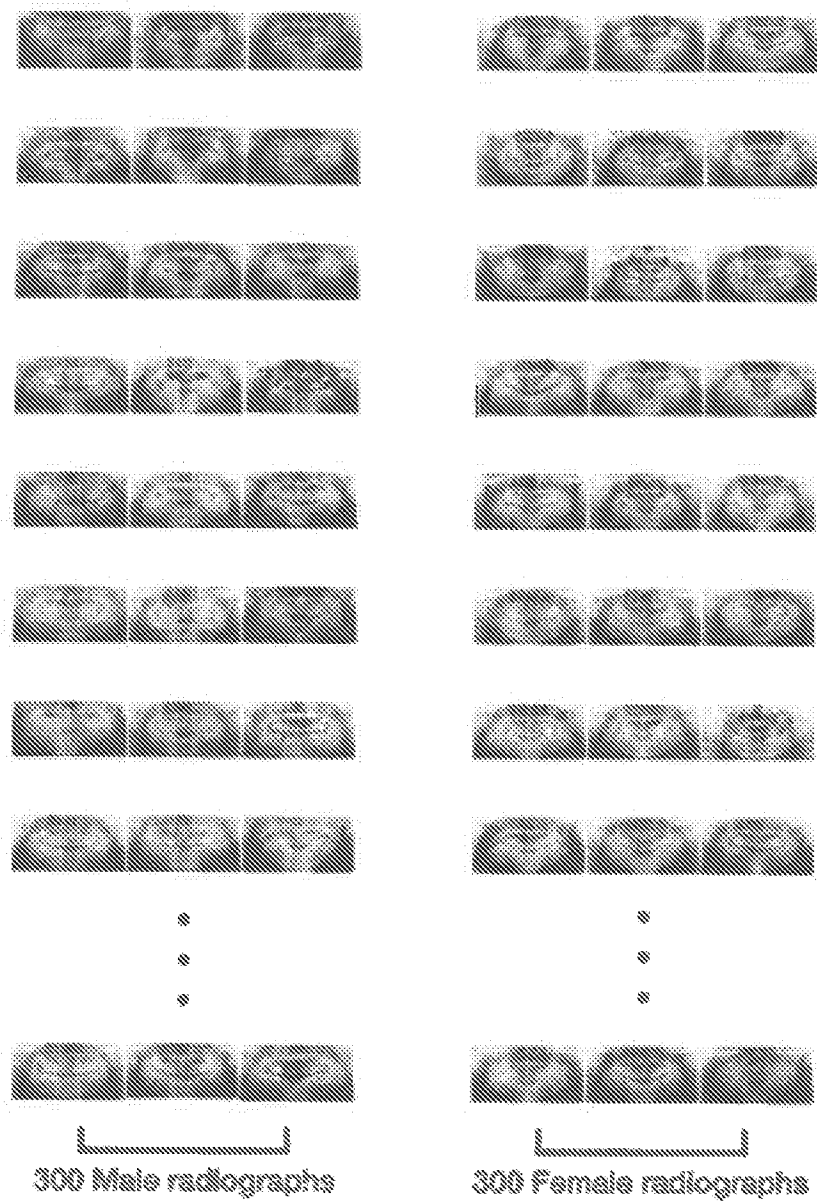


Fig. 15. Resized panoramic radiographs of 300 men and 300 women.

3.2.2. Tests on Bag-of-words models

As shown in Figure 16, the results indicate a maximum accuracy rate of 91.25% in the case of SIFT, 93.33% in the case of HOG, and 77.9% in the case of Color. Using these accuracy results, 7.89 s were required to distinguish 240 images with SIFT, 7.10 s with HOG, and 0.63 s with Color.

3.2.3. Tests on 4-layer CNN model

Figure 17 shows the changes in accuracy as a function of the number of training images using a convolutional neural network classified by a 4-layer CNN model. Training the 600 resized images required 12.70 s per number of training images, and to distinguish 240 images required 2.14 s using the 4-layer CNN model. To optimize the results of our few training examples, a number of random transformations were added to prevent each image from a second training. As shown in Table 3, training images that were processed via shear transformation showed a 1.96% higher accuracy rate than the training accuracies of the original 600 images, but there was an increase in the standard deviation. Training images processed subsequent to zoom transformation achieved the highest accuracy rate. After training, the 4-layer CNN model classified 240 test sets with a maximum accuracy rate of 97.5%.

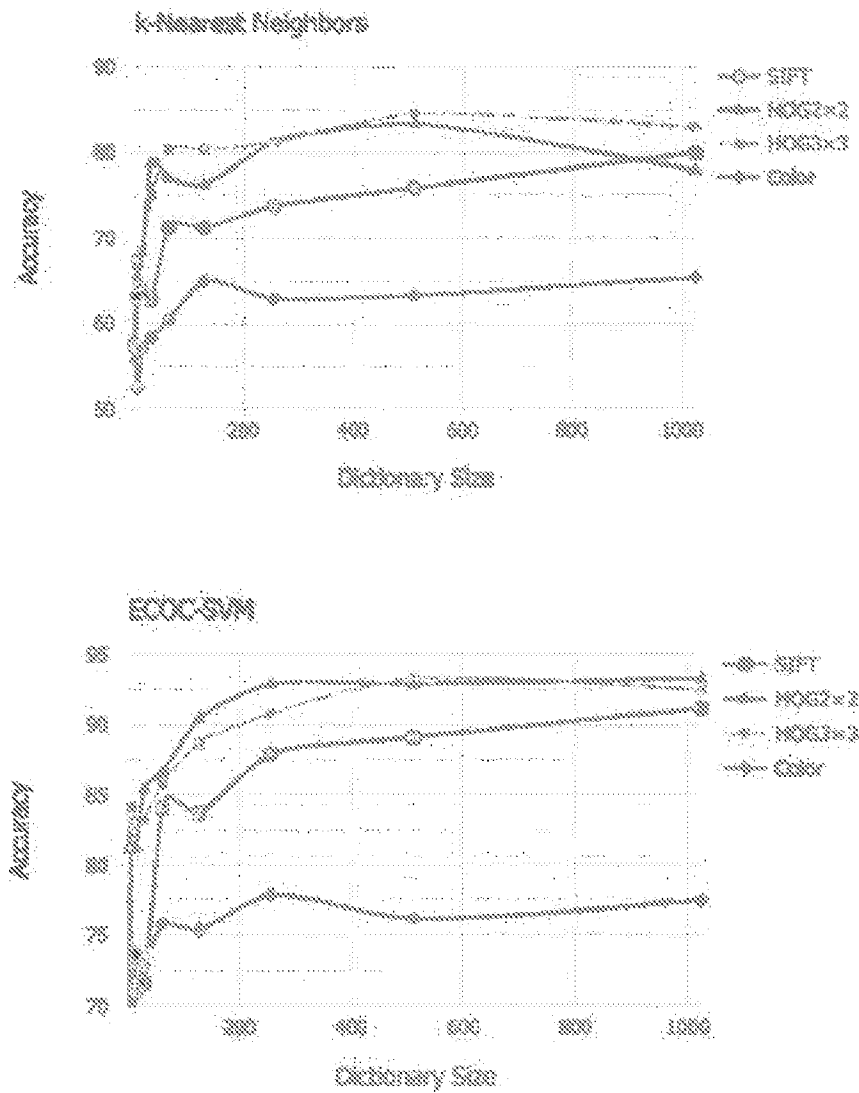


Fig. 16. Changes in accuracy with dictionary size at 640×640 pixels input size and level-2 pyramid using SIFT, HOG2x2, HOG3x3, and Color algorithm: (top) classified by k-NN algorithm; (bottom) classified by ECOC-SVM algorithm.

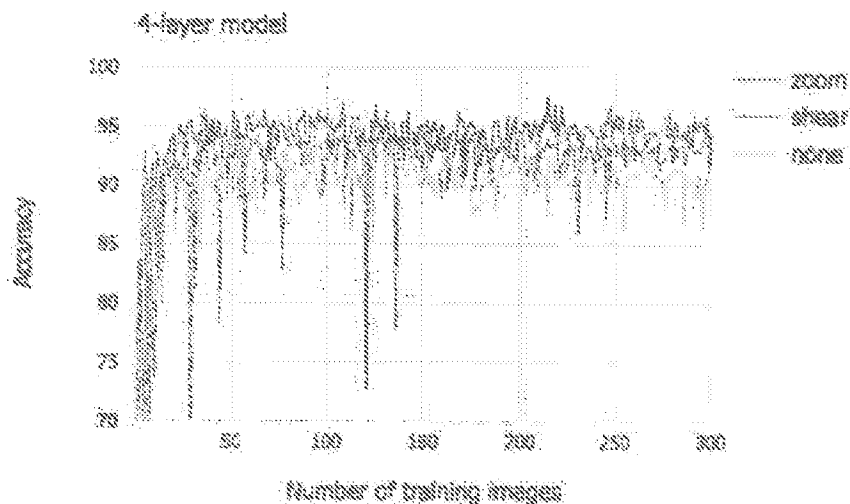


Fig. 17. Changes in accuracy with a number of training images using a convolutional neural network classified by a 4-layer CNN model: (none) original 600 resized images were used for training; (zoom) randomly zooming inside images; (shear) randomly applying shearing transformations

Table 3. Result of the performance analysis of the different methods

Accuracy (%)	none	shear	zoom
Minimum	86.25	85.83	91.25
Maximum	92.5	94.58	97.5
Average	90.62	92.66	94.62
Standard deviation	± 1.16	± 1.33	± 1.07

3.3. Visualization

3.3.1. Visualization of HOG based object detection features

Figure 18 shows the visualization of HOG based object detection features. Since the dimensions of most feature spaces are too large to allow direct human inspection, we executed “HOGgles” algorithms to invert feature descriptors to restore these images to a natural image and to visualize feature spaces [Vondrick et al., 2013]. HOG inversions provide an accurate and intuitive visualization of feature descriptors commonly used in object detection.

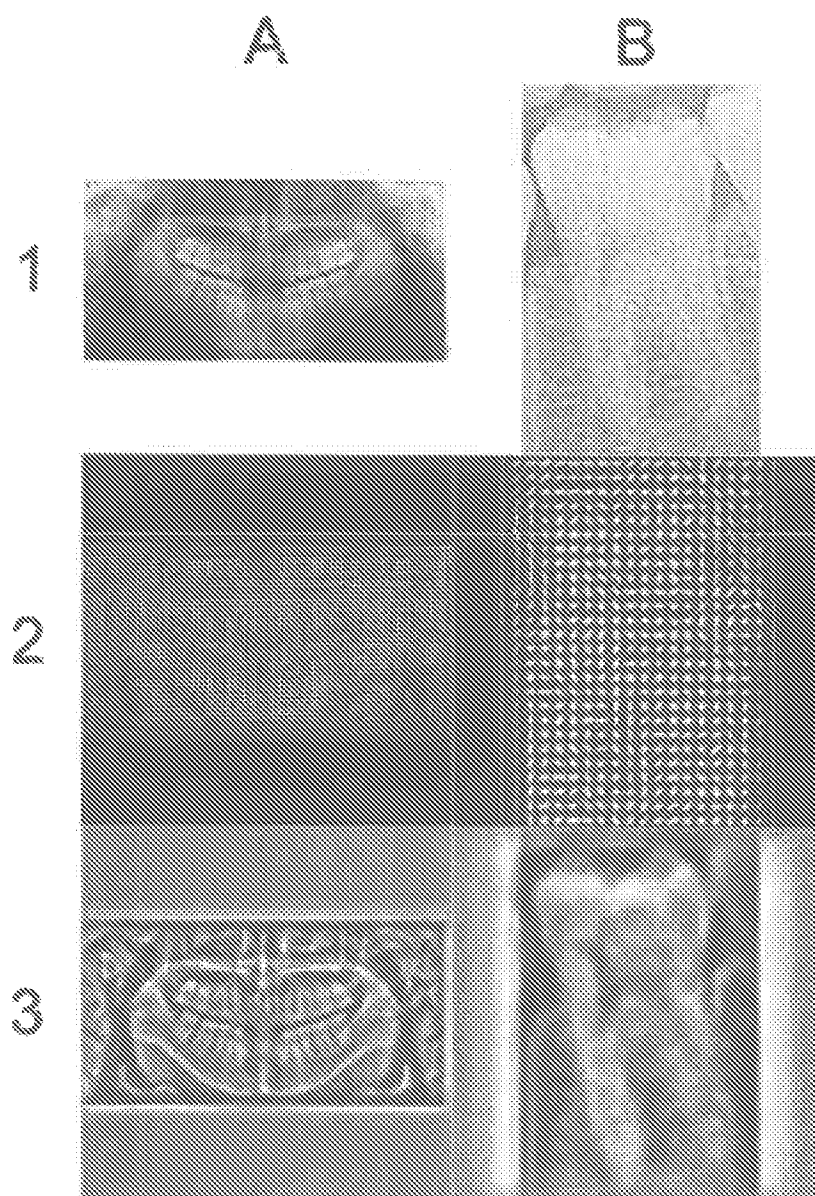


Fig. 18. Visualization of HOG based object detection features: panoramic radiography (A), molar-tooth radiography (B), original images (1), HOG features (2), HOG inversions (3).

3.3.2. Visualization of filters in the 4-layer CNN model

Figures 19 through 24 show the visualization of the first and second filter's weights and their activations in the tooth 4-layer classification CNN model. Several approaches for understanding and visualizing CNNs have been developed in literature, partly as a response to the common criticism that the features learned by an ANN cannot be interpreted. For example, Matthew Zeiler developed an outstanding visualization method for the CNN [Zeiler and Fergus, 2014].

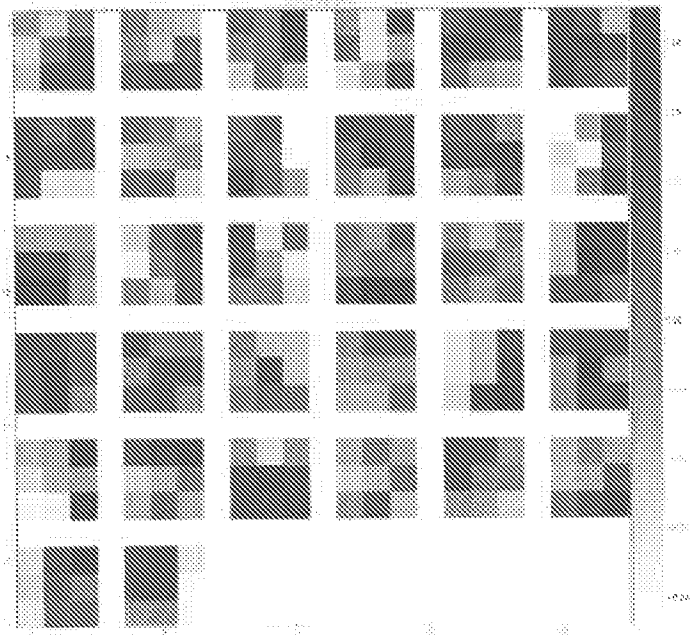


Fig. 19. Visualization of the first filter's weights after training.

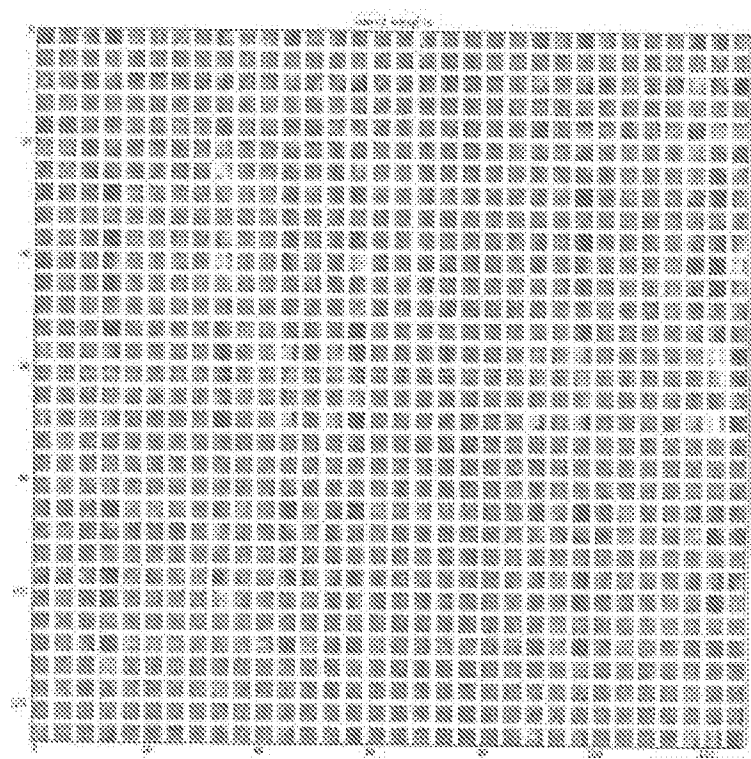


Fig. 20. Visualization of the second filter's weights after training.

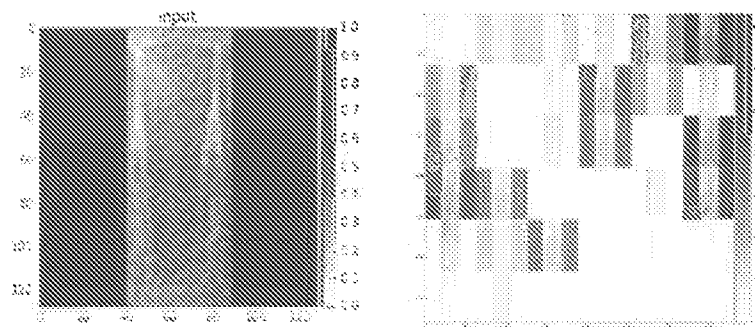


Fig. 21. Visualization of the first filter's activations with tooth #41.

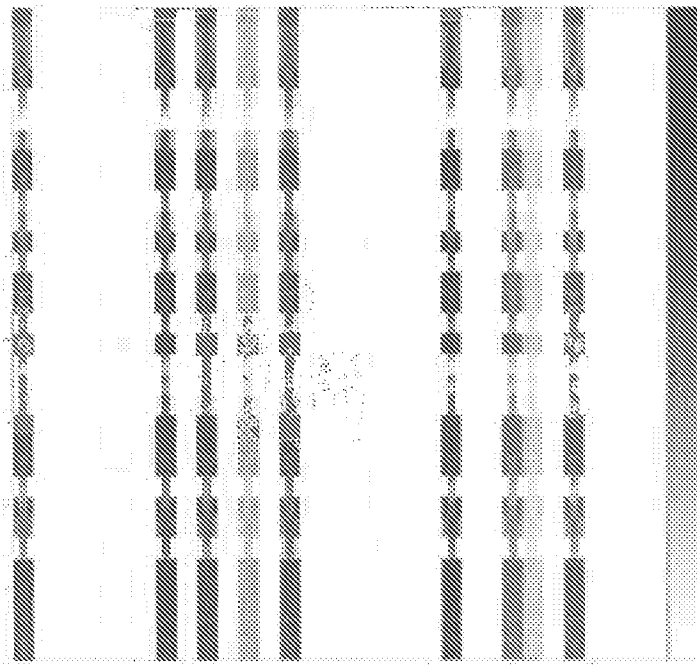


Fig. 22. Visualization of the second filter's activations with tooth #41.

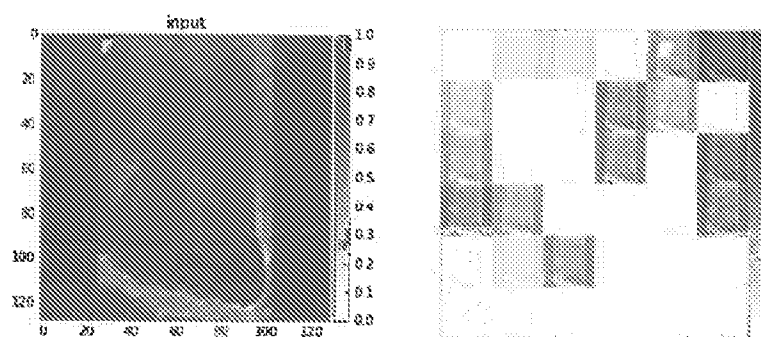


Fig. 23. Visualization of the first filter's activations with tooth #16.

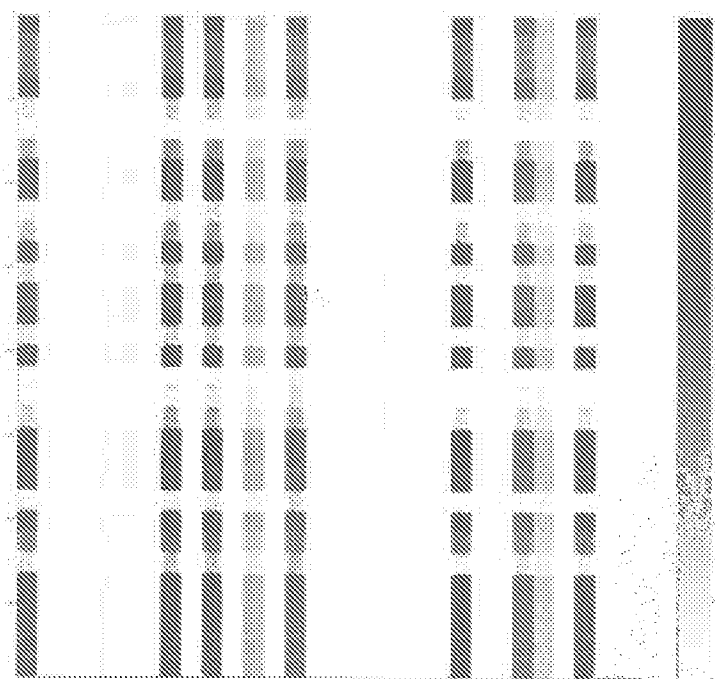


Fig. 24. Visualization of the second filter's activations with tooth #16.

4. Discussion

Advanced digital computer technology has dramatically assisted the practical development of panoramic radiographs, periapical radiographs, and dental computed tomography (CT). Reviewing the status of the diagnostic radiation generator in Korea in 2012, there were 15,727 diagnostic X-ray generators, 20,029 diagnostic X-ray systems, 2,618 mammography systems, 32,013 dental diagnostic X-ray systems, and 2,242 CT scanners [Kim et al., 2013]. Among these, 32,013 of the 72,626 dental diagnostic X-ray systems were used, a number that exceeds the number of mammography systems by a factor of 12. Computer-aided detection (CAD) was employed by many researchers in the detection and the classification of clustered microcalcifications on a mammogram. This was due to the very small size of the calcified lesions to detect benign and malignant breast lesions that occasionally overlap the breast tissue, making visual identification by humans difficult. Recent artificial intelligence based on artificial neural networks requires large amounts of data for better performance. The increase in the number of dental diagnostic X-ray systems and dental radiography analysis, using artificial neural networks, has created many opportunities to discover new results. One of the most common dental diagnostic X-ray systems is panoramic radiography. This technology is a very common method used by clinicians to quickly record all upper and lower teeth within a small period of time and to quickly view the entire tooth. It is easy to observe the status of the teeth regarding lesions that have and have not been cured. However, the sharpness and precision of panoramic radiographs are less relative to the periapical radiographs and dental CT. When the cervical vertebrae are

overlapped by the patient's incorrect posture, the sharpness of the anterior teeth is lowered. Molander reported that mean scores for subjective image quality of the periapical bone area by the type of teeth were 2.52 ± 0.29 from molars, 2.49 ± 0.23 from premolars, and 2.37 ± 0.30 from (canines + incisors) using Maxilla, and 3.20 ± 0.21 from molars, 3.14 ± 0.28 from premolars, and 2.16 ± 0.27 from (canines + incisors) using Mandible [Molander et al., 1995]. Choi reported that averages of the regional image quality grade evaluation scores were 3.17 ± 0.47 from molars, 2.75 ± 0.52 from premolars, and 2.30 ± 0.70 from incisors [Choi, 2012].

In teeth classification, the maximum accuracy rate achieved was 90.36% despite the small training size. It was notable that CNN achieved this accuracy without information regarding the position of the teeth. Table 1 shows the accuracy rate of molars at 95%, premolars at 89%, and incisors at 80%. These results show the same tendency as the image quality from previous studies. The difference between the molars and the premolars, as shown in the results of the composite neural network (CNN), was greater than reported in the previous studies. It is expected that the complex structure of the molars with two or more roots influenced the learning of the convolutional neural network. A dental CT, which has less image distortion and higher image resolution than panoramic radiographs, provides more accurate results. However, dental CTs define different angles for each image, making it difficult to apply them universally to all dental CTs. The identification of teeth alone is not clinically significant. However, if the normal teeth are correctly recognized, the differences between the normal teeth and the abnormal teeth can be used to identify diseases that are

difficult to find. It is also possible to categorize all the diseases, including new ones, by computing the difference in vector distance from the normal teeth. Diseases, such as Cherubism, Paget's disease of the bone, and Osteopetrosis show signs throughout the bone, including the maxilla and mandible, as well as teeth. Although these diseases can be identified by learning entire radiographs on convolutional neural networks, it is very inefficient to learn all radiographs because many dental diseases are confined to several teeth and their surroundings. It is impossible to manually determine the ROI (region of interest) in order to learn massive amounts of panoramic radiographs. Therefore, it is necessary to find the ROI automatically using the image segmentation method. Figure 25 shows the segmentation of a panoramic radiograph into regions using a graph-based representation of the image. It can be considered a way to specify the position information of teeth to improve the accuracy. Use of graph-based image segmentation or normalized cuts and image segmentation may be considered to separate teeth [Shi and Malik, 2000; Felzenszwalb and Huttenlocher, 2004]. Another limitation of this study was that the third molars were excluded in order to train marginally more samples because there are many people without third molars. Anatomical position and shape are highly variable in the third molar. For example, agenesis of the third molar differs by population, ranging from practically zero in Tasmanian Aborigines to nearly 100% in indigenous Mexicans [Nanda, 1954; Rozkovicová et al., 1998]. According to literature, the difference is related to the PAX9 gene [Pereira et al., 2006]. It would be worthwhile to study the third molars using a machine learning technique.

In sex classification, the maximum accuracy rate achieved was 97.50% using the 4-layer CNN model. The 16-layer CNN model was not used because of limitations of computing resources. Classification of gender using skulls has been studied in the forensic area. Based on the results of examining the sex features of 100 adult craniums (50 men and 50 women) through 23 items, Keen reported that sex classification by cranium was 85% accurate [Keen, 1950]. Krogman reported that the accuracy was 95% if there were only pelvic data, 90% if there were only cranial data, and 80% if there were only limb skeleton data. However, if there were cranial and pelvic data, the accuracy was 98% [Krogman, 1962]. There were also gender classification studies using radiographs of various bones. Patil and Mody reported determination of sex by discriminant function analysis and stature by regression analysis: "A Lateral Cephalometric Study." The sample space for this study, a total of 150 normal healthy adults from Central India, consisted of 75 males and 75 females. Ten cephalometric measurements (G-Op, Ba-ANS, N-ANS, Ba-N, F-M, FaHt, Ma-SN, Ma-FM, MaHt, MaWd) were used in discriminant functional analysis and they provided accurate sex discrimination in Central Indian subjects of known sex. It was observed that Ba-N, MaHt, N-M, MaWd, Ba-ANS, Ma-FH, and G-Op were major variables in the determination of sex and their respective discriminative powers were 25.88, 15.12, 13.31, 11.88, 7.78, 7.02, and 6.90% [Patil and Mody, 2005]. Indira et al. reported Mandibular ramus: "An Indicator for Sex Determination--A Digital Radiographic Study". A retrospective study was conducted using orthopantomographs of 50 males and 50 females. The overall prediction rate using all five variables (Max. ramus breadth, Min.

ramus breadth, Condylar height, Projective height of ramus, and Coronoid height) was 76% and the accuracy can be increased by repeated iterations [Indira et al., 2012]. Verma et al. reported radiomorphometric analysis of frontal sinus for sex determination. The sample space consisted of 100 patients, 50 males, and 50 females. The percentage agreement of the total area to correctly predict the female gender was 55.2%, of which, the right area was 60.9% and the left area was 55.2%, respectively [Verma et al., 2014]. The subjects of all of the studies listed above were for people over 20 years of age. It should be noted that the size of the sample is small and the methods used to classify the gender are often tested with objects that are not new objects, so errors will occur. Generally, definite sex features are shown in the skeleton from adolescence and are not revealed until after the completion of the secondary sex characteristics. The skeletal boundary between juvenile and adult is at age 15--18; among those who are younger, it is difficult to estimate the sex. It would be worthwhile to study pediatric radiography using a machine learning technique.

Section 3.3. shows visualization results of machine learning. Several approaches for understanding and visualizing CNNs have been described in the literature, partly in response to criticism regarding the fact features of an ANN have previously been reported as being difficult to understand and interpret. [Zeiler and Fergus, 2014]. We expect to find a theoretical basis through subsequent studies of inverse analysis such as a visualization method for artificial neural networks. Object recognition is a fundamental problem in computer vision that has been studied for more than 30 years. It remains a particularly difficult problem and is far from being solved. Recently, AI

applications have achieved optimal performance in a variety of pattern-recognition tasks, most notably visual classification problems. However, there is a large difference between computer and human vision. The literature indicates that it is easy to produce images that are completely unrecognizable to humans, while the CNNs believe objects to be recognizable with 99.99% confidence (e.g., labeling with certainty that static white noise is a cat) [Nguyen et al., 2015]. As well as being aware of the difference between computer vision and human vision, researchers must continue to identify diseases that are easily bypassed. Deep learning has dramatically shortened the time for artificial intelligence to identify data and this also shortens the learning time. While learning more data within the domain of dentistry, we hope that artificial intelligence will be useful in this field. In addition, we hope to be able to provide useful information on chronic diseases such as osteoporosis and TMJ disorder.



Fig. 25. Segmenting a panoramic radiograph into regions using a graph-based representation of the image.

References

- Aggarwal, M., Madhukar, M. (2016). IBM's Watson Analytics for Health Care: A Miracle Made True. *Cloud Computing Systems and Applications in Healthcare* (pp. 117-134). Hershey, PA: IGI Global.
- Alipanahi, B., Delong, A., Weirauch, M. T., Frey, B. J. (2015). Predicting the sequence specificities of DNA-and RNA-binding proteins by deep learning. *Nature biotechnology*.
- Behnke, S. (2003). *Hierarchical neural networks for image interpretation* (Vol. 2766). New York: Springer Science & Business Media.
- Bergstra, J., Breuleux, O., Bastien, F., Lamblin, P., Pascanu, R., Desjardins, G., Turian, J., Warde-Farley, D., Bengio, Y. (2010, June). Theano: A CPU and GPU math compiler in Python. In *Proc. 9th Python in Science Conf* (pp. 1-7). Austin, TX: SciPy.
- Carpenter, G. A., Grossberg, S. (2011). *Adaptive resonance theory* (pp. 22-35). New York: Springer US.
- Chang, H., Choi, M. (2016). Big Data and Healthcare: Building an Augmented World. *Healthcare Informatics Research*, 22(3), 153-155.
- Collobert, R., Weston, J. (2008, July). A unified architecture for natural

language processing: Deep neural networks with multitask learning. In *Proceedings of the 25th international conference on Machine learning* (pp. 160-167). ACM.

Dalal, N., Triggs, B. (2005, June). Histograms of oriented gradients for human detection. In *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)* (Vol. 1, pp. 886-893). San Diego, CA: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Elkan, C. (2003, August). Using the triangle inequality to accelerate k-means. In *ICML 2003* (Vol. 3, pp. 147-153). Washington, D.C.: International Machine Learning Society.

Felzenszwalb, P. F., Huttenlocher, D. P. (2004). Efficient graph-based image segmentation. *International Journal of Computer Vision*, 59(2), 167-181.

Grossberg, S. (1976). Adaptive pattern classification and universal recoding: I. Parallel development and coding of neural feature detectors. *Biological cybernetics*, 23(3), 121-134.

Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior: A neuropsychological approach*. New York: John Wiley & Sons.

Herath, D. H., Wilson-Ing, D., Ramos, E., Morstyn, G. (2016, May).

Assessing the natural language processing capabilities of IBM Watson for oncology using real Australian lung cancer cases. In *ASCO Annual Meeting Proceedings* (Vol. 34, No. 15_suppl, p. e18229). Chicago, IL: American Society of Clinical Oncology.

Hinton, G., Deng, L., Yu, D., Dahl, G. E., Mohamed, A. R., Jaitly, N., Kingsbury, B. (2012). Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition: The shared views of four research groups. *IEEE Signal Processing Magazine*, 29(6), 82-97.

Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the national academy of sciences*, 79(8), 2554-2558.

Indira, A. P., Markande, A., David, M. P. (2012). Mandibular ramus: An indicator for sex determination-A digital radiographic study. *Journal of forensic dental sciences*, 4(2), 58.

Johnson, B. D., Guston, D. (2016). Futures We Want to Inhabit. *Computer*, 49(2), 78-79.

Keen, J. A. (1950). A study of the differences between male and female skulls. *American Journal of Physical Anthropology*, 8(1), 65-80.

Kelemen, J. (2007). From artificial neural networks to emotion machines with

marvin minsky. *Acta Polytechnica Hungarica*, 4(4), 1-12.

Khan, R., Weijer, J., Shahbaz Khan, F., Muselet, D., Duxottet, C., Barat, C. (2013). Discriminative color descriptors. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 2866-2873). Portland, OR: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Krogman, W. M. (1962). In sex differences in the skull, chapter 5; sexing skeletal remains. *The human skeleton in forensic medicine* (pp. 114-121). Springfield, MA: Charles C Thomas.

Lazebnik, S., Schmid, C., Ponce, J. (2006). Beyond bags of features: Spatial pyramid matching for recognizing natural scene categories. In *2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06)* (Vol. 2, pp. 2169-2178). New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

LeCun, Y., Bengio, Y. (1995). Convolutional networks for images, speech, and time series. *The handbook of brain theory and neural networks*, 3361(10), 1995. Cambridge, MA: MIT Press.

LeCun, Y., Boser, B., Denker, J. S., Henderson, D., Howard, R. E., Hubbard, W., Jackel, L. D. (1989). Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural computation*, 1(4), 541-551.

- Leidos, C. W., Pentagon, L. (2015). The Roundup. *Biomedical Instrumentation & Technology*, 49(5), 296-299.
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International journal of computer vision*, 60(2), 91-110.
- Luszczyk, P. (2009). Parallel programming in MATLAB. *International Journal of High Performance Computing Applications*, 23(3), 277-283.
- McCulloch, W. S., Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, 5(4), 115-133.
- Molander, B., Ahlqvist, M., Gröndahl, H. G. (1995). Image quality in panoramic radiography. *Dentomaxillofacial Radiology*, 24(1), 17-22.
- Nair, V., Hinton, G. E. (2010). Rectified linear units improve restricted boltzmann machines. In *Proceedings of the 27th International Conference on Machine Learning (ICML-10)* (pp. 807-814). Haifa: International Machine Learning Society.
- Nanda, R. S. (1954). Agenesis of the third molar in man. *American Journal of Orthodontics*, 40(9), 698-706.

- Nash, D. B. (2016). Eye of the Consolidation Storm. *American health & drug benefits*, 9(6), 302-303.
- Nelson, R. (2016). From Hephaestus' automatons to OpenAI's deep learning. *EE-Evaluation Engineering*, 55(2), 2-3.
- Nguyen, A., Yosinski, J., Clune, J. (2015, June). Deep neural networks are easily fooled: High confidence predictions for unrecognizable images. In *2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 427-436). Boston, MA: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Patil, K. R., Mody, R. N. (2005). Determination of sex by discriminant function analysis and stature by regression analysis: a lateral cephalometric study. *Forensic science international*, 147(2), 175-180.
- Peck, S., Peck, L. (1996). Tooth numbering progress. *The Angle Orthodontist*, 66(2), 83-84.
- Pereira, T. V., Salzano, F. M., Mostowska, A., Trzeciak, W. H., Ruiz-Linares, A., Chies, J. A., Saavedra, C., Nagamachi, C., Hurtado, A. M., Hill, K., Castro-de-Guerra, D., Silva-Junior, W. A., Bortolini, M. C. (2006). Natural selection and molecular evolution in primate PAX9 gene, a major determinant of tooth development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(15), 5676-5681.

- Piros, E., Petak, I., Erdos, A., John Hautman, J. D., Julianna Lisziewicz, P. (2016). Market Opportunity for Molecular Diagnostics in Personalized Cancer Therapy. *Handbook of Clinical Nanomedicine: Law, Business, Regulation, Safety, and Risk* (Vol. 2). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Ravdin, P. M., Siminoff, L. A., Davis, G. J., Mercer, M. B., Hewlett, J., Gerson, N., Parker, H. L. (2001). Computer program to assist in making decisions about adjuvant therapy for women with early breast cancer. *Journal of Clinical Oncology*, 19(4), 980-991.
- Raza, M., Le, M. H., Aslam, N., Le, C. H., Le, N. T., Le, T. L. (2016). Telehealth Technology: Potentials, Challenges and Research Directions for Developing Countries. In *IFMBE Proceedings* (Vol. 20, pp. 233-236). Ho Chi Minh City: International Federation of Medical and Biological Engineering.
- Rosenblatt, F. (1957). The perceptron, a perceiving and recognizing automaton *Project Para*(Report No. 85-460-1). New York: Cornell Aeronautical Laboratory.
- Rozkovecová, E., Markova, M., Dolejši, J. (1998). Studies on agenesis of third molars amongst populations of different origin. *Sborník lékařský*, 100(2), 71-84.

- Russell, B. C., Torralba, A., Murphy, K. P., Freeman, W. T. (2008). LabelMe: a database and web-based tool for image annotation. *International journal of computer vision*, 77(1-3), 157-173.
- Shi, J., Malik, J. (2000). Normalized cuts and image segmentation. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 22(8), 888-905.
- Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Van Den Driessche, G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T., Hassabis, D. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. *Nature*, 529(7587), 484-489.
- Simard, P. Y., Steinkraus, D., Platt, J. C. (2003, August). Best practices for convolutional neural networks applied to visual document analysis. In *ICDAR 2003* (Vol. 3, pp. 958-962). Edinburgh: International Conference on Document Analysis and Recognition.
- Simonyan, K., Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.
- Tan, J. W., Andrade, A. O., Li, H., Walter, S., Hrabal, D., Rukavina, S., Limbrecht-Eckhardt, K., Hoffman, H., Traue, H. C. (2016). Recognition

of Intensive Valence and Arousal Affective States via Facial Electromyographic Activity in Young and Senior Adults. *PloS one*, 11(1), e0146691.

Weijer, J., Schmid, C., Verbeek, J., Larlus, D. (2009). Learning color names for real-world applications. *IEEE Transactions on Image Processing*, 18(7), 1512-1523.

Verma, S., Mahima, V. G., Patil, K. (2014). Radiomorphometric analysis of frontal sinus for sex determination. *Journal of forensic dental sciences*, 6(3), 177.

Vondrick, C., Khosla, A., Malisiewicz, T., Torralba, A. (2013). Hoggles: Visualizing object detection features. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (pp. 1-8). Sidney: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Wang, J., Yang, J., Yu, K., Lv, F., Huang, T., Gong, Y. (2010, June). Locality-constrained linear coding for image classification. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2010 IEEE Conference on (pp. 3360-3367). San Francisco, CA: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Williams, D. R. G. H. R., Hinton, G. E. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323, 533-536.

- Winsberg, F., Elkin, M., Macy Jr, J., Bordaz, V., Weymouth, W. (1967).
Detection of radiographic abnormalities in mammograms by means of
optical scanning and computer analysis I. *Radiology*, 89(2), 211-215.
- Zeiler, M. D., Fergus, R. (2014, September). Visualizing and understanding
convolutional networks. In *European Conference on Computer Vision*
(pp. 818-833). Zürich: Springer International Publishing.

Machine Learning for Dental Image Analysis

Yeung-jun Yu

Department of Computer Science

Yonsei University

saorkn@gmail.com

1. Introduction

The field of pathology diagnosis has steadily advanced with the development of microscopy, accompanied by the automation of the reduction of inter-observer reliability and intra-observer reproducibility. Within the field of mammography, computer vision, and artificial intelligence (AI) techniques have been successfully applied to detect and characterize abnormalities of medical images [Winsberg et al., 1967; Ravdin et al., 2001]. This has resulted in a situation such that automated detection techniques can now implement an entire medical procedure with a high degree of accuracy. In addition, advances in computer hardware and software have increased the performance and reliability of parallel computing. The advances in this technology have, in turn, provided hardware and software advancements that are sufficiently robust to support the large computational requirements of complex Artificial Intelligence (AI) algorithms and their application to machine learning. Applications of a variety of deep learning architectures such as deep neural networks, convolutional deep neural networks, deep belief networks, and recurrent neural networks to the creation of algorithms in important fields such as natural language processing, computer vision, speech recognition and bioinformatics, have resulted in efficient and accurate

automation of many pragmatic tasks [Collobert and Weston, 2008; Hinton et al., 2012; Alipanahi et al., 2015]. Using advanced large-scale parallel processing hardware and AI software, IBM developed the Watson machine to support cognitive applications across a variety of knowledge domains. Since its availability, the IBM Watson Group has developed highly reliable knowledge domains within several specialty medical fields, integrating these knowledge domains within the Watson architecture. Using these modified Watson machines, a variety of studies are in progress at the Memorial Sloan Kettering Cancer Center, the MD Anderson Cancer Center, the Cleveland Clinic, the Mayo Clinic, the New York Genome Center, the Bumrungrad International Hospital, and the Manipal Hospitals [Aggarwal and Madhukar, 2016; Herath et al., 2016; Piros et al., 2016; Raza et al., 2016]. In August 2015, IBM acquired Merge Healthcare, a company that develops a cloud-based picture archival communication system (PACS), providing IBM with the requisite authority to access the medical images of over 600 hospitals [Leidos and Pentagon, 2015]. Within six months, IBM acquired Truven Health Analytics, and gained immediate access to their 8,500 clients and medical records of nearly 300 million patients [Chang and Choi, 2016; Nash, 2016]. In September 2016, the IBM Watson Health Group announced that the Gil Medical Center of Gachon University deployed an IBM Watson machine, trained for Oncology by Memorial Sloan Kettering. While research and deployment of AI technology has been broadly conducted across the field of medicine, this is not the case in the field of dentistry. Active research of AI technology within the field of dentistry is sparse.

The purpose of this study is to evaluate the application of AI

technology to dental imaging, specifically possible deployment of artificial neural networks (ANN), a convolutional neural network (CNN), representative image cognition algorithms that support scale-invariant feature transform functions (SIFT), and the creation of histograms of oriented gradients (HOG). In this study, we conduct experiments and the results are evaluated in the following areas: accuracy (in terms of the true positive (TP) rate or recall rate) of the quantitative measures from task execution, task execution efficiency, and the visual features of the AI training. These evaluations of the CNN features were then subsequently compared to those of the image cognition algorithms (SIFT and HOG).

1.1. History of neural networks

Typical of most scientific fields of study, the development and application of neural networks has grown from an embryonic state to become an integral tool in many areas of applied science. This history originated in the early 1940s, at the time of the creation of the first digital computers based on the designs created by John von Neumann, such as the ENIAC and EDVAC computers, and continues in parallel with the history of the modern digital computer. The history of neural networks can be partitioned into four time periods: (1) inception, (2) the golden age, (3) the long setback period, and (4) the renaissance.

1.1.1. Inception

In 1943, McCulloch and Pitts presented a computational model based on a simple neural network that supported arithmetic and logical operations. Their paper strongly influenced the development of neural networks [McCulloch and Pitts, 1943]. In 1949, psychologist Donald Hebb published a book entitled "The Organization of Behavior" that presented a learning law based on neurons and synapses. Hebb applied his learning law (now known as "Hebbian learning") to explain the results of psychological experiments [Hebb, 1949].

1.1.2. Golden age

The 1950s and 1960s are known as the golden age of neural networks. In 1951, Minsky developed the first neurocomputer, called the Stochastic Neural Analog Reinforcement Computer (SNARC). This machine possessed

the potential to automatically control the weights of synapses, but engineering the prototype into a production level machine did not occur. [Kelemen, 2007]. In 1957, Rosenblatt developed the "perceptron," an algorithm that is pervasive within an ANN. Later, he successfully developed the first neurocomputer based on the perceptron, which he applied to the field of pattern recognition [Rosenblatt, 1957]. The perceptron was expected to advance machine learning, however, its capabilities were limited. In 1969, Minsky proved that a single-layer perceptron could recognize patterns that can be divided linearly, but that complex patterns require a multi-layer ANN. Today, the perceptron is primarily used as a teaching and learning vehicle to teach binary classification algorithms. Minsky also showed that the perceptron was not able to learn sequential operations to evaluate the logical exclusive-or (XOR) function. This latter restriction eliminated the ANN as a legitimate candidate to advance machine learning.

1.1.3. Long setback period

During the 1970s, research funding to support ANN technology diminished, the conferences that focused on ANN technology decreased in number, and the number of published papers that addressed ANN technology also sharply decreased. However, the ANN research during this decade provided the foundation for the renaissance of ANN technology that began in the late 1980s. In 1976, Grossberg published several papers on ANNs [Grossberg, 1976]. Later, Carpenter, using Grossberg's work, developed adaptive resonance theory (ART), which, along with self-organizing maps (SOMs), made a large contribution to the field of unsupervised learning

[Carpenter, 2011].

1.1.4. Renaissance

In 1982 and 1984, physicist John Hopfield published two papers that encouraged the revitalization of research into ANN technology [Hopfield, 1982]. These papers were widely read, resulting in an ANN interest from a new generation of researchers. In 1986, Rumelhart and Hinton presented the back-propagation algorithm that provided solutions to many of the known ANN problems [Williams and Hinton, 1986]. The first international conference to address the renewed ANN technology was held in 1987, and the first international journal on ANNs appeared the following year. In 1995, LeCun and Bengio introduced the convolutional neural network (CNN), whose local invariant features could be easily extracted. This eliminated some of the limitations of the existing ANNs and implementations that deployed this new ANN model achieved excellent performance in the fields of character and voice recognition [LeCun and Bengio, 1995]. However, reliable results required creation of proper hyper-parameters, which in turn required an inductive algorithm. This resulted in researchers shifting focus from ANN technology in favor of the Support Vector Machine (SVM), characterized by simpler algorithms, such as linear classifiers. However, with the growth of deep learning in the late 2000s, research once again moved to ANN technology.

1.2. Artificial neural network

1.2.1. Hebbian rule

In 1949, Hebb published a learning rule based on neurons and synapses [Hebb, 1949]. He noted the fact that when learning occurs in a biological neural network, the synaptic strengths are set in order to respond well to a sign stimulus originating from a certain input. According to the Hebbian rule, learning is defined as adjusting the strength of the synaptic links. The fundamental learning method is to increase the relative synaptic weight in order to revitalize the two neurons simultaneously. The following equation captures the essence of Hebbian learning:

$$w_{ij} = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p x_i^k x_j^k$$

where w_{ij} is the weight of the connection from neuron j to neuron i , p is the number of training patterns, and x_i^k is the k th input to neuron i . Figure 1 shows a comparison between a human neuron and an ANN neuron [Matarollo et al., 2013].

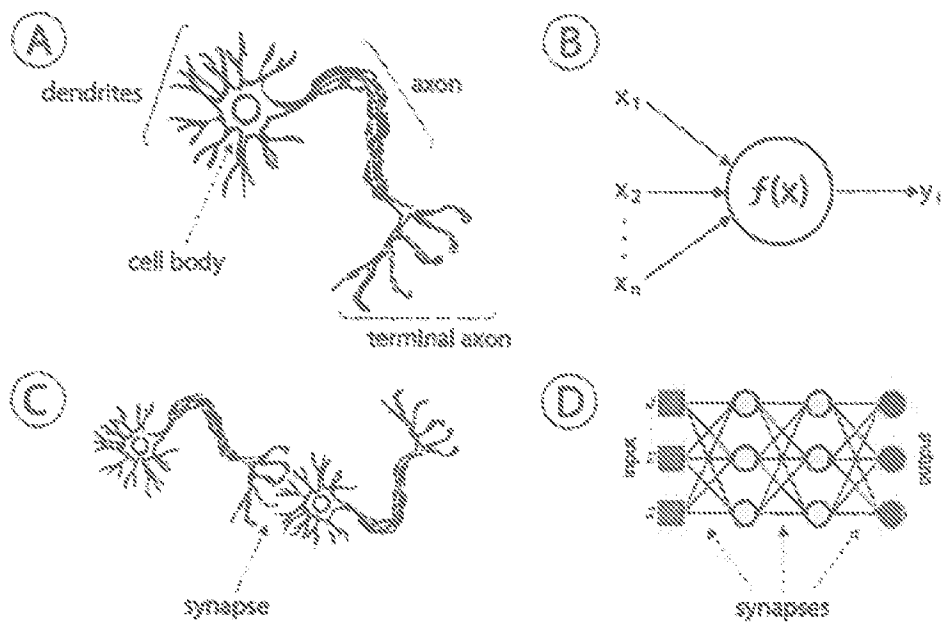


Fig. 1. (A) Human neuron; (B) Artificial neuron or hidden unity; (C) Biological synapse; (D) ANN synapses [Matarollo et al., 2013].

1.2.2. Perceptron

In 1957, Rosenblatt defined the concept of a perceptron [Rosenblatt, 1957]. At the time, a neuron activation function was represented by a step function. A step function is discrete, discontinuous with a small range, and not as accurate as a continuous sigmoid function that is used today. Thus, in 1957, there were limitations in describing the behavior of a neuron. However, it was recognized that the activation of a neuron could accurately be described by a function with multiple dependent variables and a single output variable. Further, it is important that the output must be determined by the importance of the input. In this context, the importance of the input is determined by an assigned weight. Figure 2 shows an N-input perceptron with a fixed threshold. It is defined to accept N input variables, each associated with a specified weight that contribute to the computation of a unique output. The output is 0 if the sum of the product of the weights and inputs does not exceed the threshold; otherwise, the output value is 1.

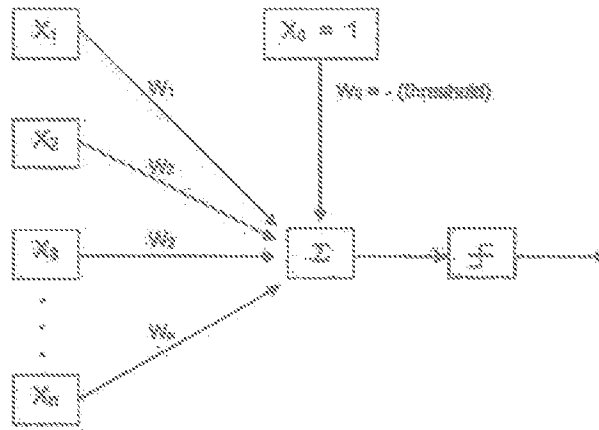


Fig. 2. An N-input perceptron with a fixed threshold that receives many inputs and determines a single output.

1.2.3. Perceptron limitations

While Rosenblatt's perceptron appears to reflect the biological characteristic of a neural network, it has a serious limitation. The perceptron is capable of computing a single binary result, 0 or 1, primarily because the transfer function is a simple step function, alternating between a value of 0 and 1. If the network does not exceed two layers, then this restriction is not a problem. However, we cannot expect accurate results from a multiple-layer ANN because the granularity of the output at each layer is restricted to 0 or 1. This is simply an insufficient model for a multiple-layer ANN. To design an ANN that will generate optimum learning results, we apply back propagation and the gradient-descent method. These concepts are based on the sensitivity of a net to changes of the input and/or weight values. A small change in the input or the weight of a particular net will induce a proportionally small change in the output. The granularity of the output of a neuron based on a perceptron is large, i.e., 0 or 1, so that the behavior is discrete. This behavior is incompatible with the behavior of an ANN using back propagation in which the granularity of the output can vary and the associated learning advances in a continuous manner by making small changes in the weight and bias. This suggests that a continuous function is required to model the changes to the output as a function of the input.

1.2.4. Sigmoid Function

One technique to accommodate the sensitivity of output to input is to use a sigmoid function as the activation function instead of using a step function. A sigmoid function is an analytic function. This means that it is

infinitely differentiable and is therefore continuous, so that small changes to the input produce small changes to the output. It is certainly capable of modeling the ANN behavior described in the previous section. As shown in Figure 3, if a sigmoid function is used as the activation function, the changes to the output values from 0 to 1 are continuous. Hence, the output can be changed in small increments when the weight or bias is changed by a small amount. It is also necessary that the range of the sigmoid function consists of the closed interval $[0,1]$. The sigmoid function can be formulated as follows:

$$S(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}}$$

Here, the value of t is computed as the inner product of the input vector t ($x_1, x_2, x_3, \dots$) and weight vector ($w_1, w_2, w_3, \dots$) and then adding the bias. If the input is determined and there is a small change in the weight or bias (partial differential), the output changes correspondingly.

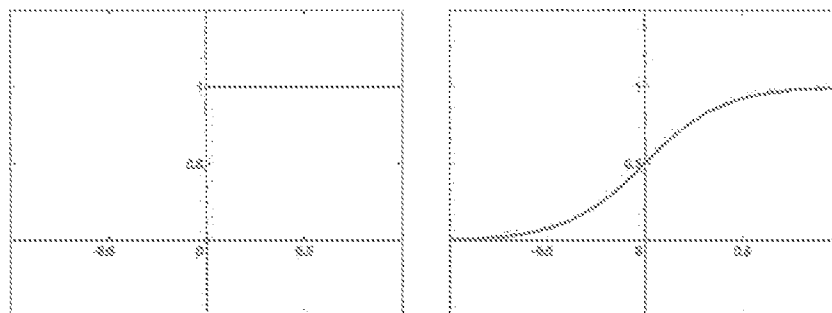


Fig. 3. Step Function (left) and sigmoid Function (right).

1.3. Convolutional neural network

Learning through an ANN enables us to provide solutions to many questions that are non-intuitive, such as playing the game “Go” [Silver et al., 2016]. However, in order to obtain acceptable results from a recognition algorithm based on images, applying a multi-layered neural network is difficult because this technique requires many prerequisite processes. One of the characteristics of an ANN is its requirement for a separate procedure to process new learning in the event of any change to the data. For example, a small change of a single pixel will change the size or introduce a small distortion in the image. This change is a result of the failure of the ANN to consider the topological characteristics; it processes only the raw data. Convolutional neural networks are biologically inspired variants of a multilayer perceptron designed to emulate the behavior of a visual cortex. Regarding the concept of receptive fields, the topological invariance in the local connectivity and the shared weight features will sharply reduce the number of required parameters. Convolutional neural networks were first introduced by LeCun [LeCun et al., 1989]. They were developed as part of a project to study the cognition of cursive-script zip codes. Relative to cognition of cursive-script letters, the CNNs first introduced by LeCun produced good results, but were not easily understood and thus, turned out to be ineffective as candidates for commercial production. Later, they were replaced by Behnke [Behnke, 2003] and Simard’s versions of CNN, which presented a simplification by providing an extension of the concept [Simard et al., 2003]. Later, a technique to produce CNNs was introduced through general-purpose computing algorithms for execution on graphics processing units (GPGPU).

2. Materials and Methods

2.1. Datasets and computer

We conducted experiments on panoramic dental radiographs to evaluate the application of the AI technology in dental imaging. A panoramic radiograph is a panoramic scanning dental X-ray of the upper and lower jaws. It shows a two-dimensional view of a half-circle from ear to ear. The subjects of this study were randomly selected from 972 patients aged 20 years and older who visited the Pusan National University Hospital between 2014 and 2015. The patients comprised 543 men and 429 women with a mean age of 25.3 years (range: 20-40 years). All panoramic radiographs were obtained with a Proline XC machine (Planmeca Co., Helsinki, Finland). This study was reviewed and approved by the institutional review board of the Pusan National University Dental Hospital (PNUPH-2015-034). We used up to eight CPU cores (at 2.8 GHz) and a GeForce GTX 980 GPU. All the experiments described below were executed on a single machine.

2.2. Bag-of-Words models

In this work, using SIFT, HOG2×2, HOG3×3, and Color features as image descriptors, we applied the Bag-of-Words (BoW) and a spatial pyramid pipeline. Subsequently, two different classifiers were deployed, specifically the k-nearest neighbors algorithm (k-NN) and an error-correcting output coding support vector machine (ECOC-SVM). Figure 4 shows the overview of our system for Bag-of-Words. All computations generated by the Bag-of-Words models were performed using the MATLAB R2016a environment. MATLAB is a numerical computing environment developed by

MathWorks. It supports a fourth-generation programming language, allowing user extensions implemented in C, C++, and Python. It has the capability to create sophisticated Mathematical algorithms. Its “parfor” command was used to implement execution of parallel loop iterations [Luszczek, 2009].

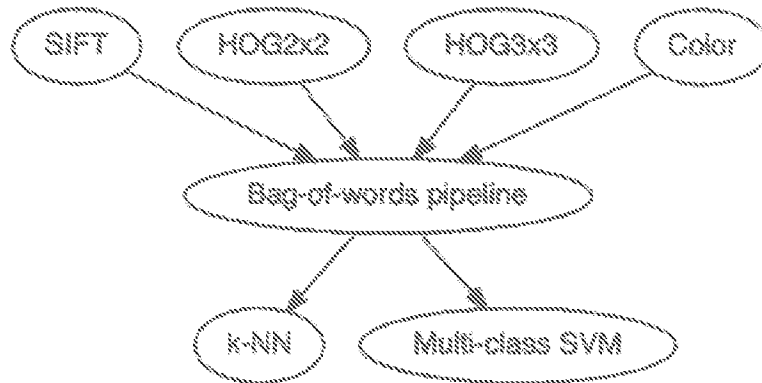


Fig. 4. Overview of our system for Bag-of-Words.

2.2.1. SIFT

A scale-invariant feature transform is a computer vision algorithm that can detect and describe local features in images. This study used a method for extracting distinctive invariant features from images that can be used to perform reliable matching between different views of an object or scene [Lowe, 2004].

2.2.2. HOG2×2 and HOG 3×3

The histogram of oriented gradients is similar to the scale-invariant feature transform descriptors; however, it differs in that it is computed on a

dense grid of uniformly spaced cells and uses overlapping local contrast normalization. After reviewing existing edge and gradient-based descriptors, this study concluded that grids of Histograms of Oriented Gradient (HOG) descriptors significantly outperformed existing feature sets for detection [Dalal, 2005; Russell et al., 2008].

2.2.3. Color

As a method to extract essential features, the image was converted to color names, thereby enabling extraction of dense overlapping patches of multiple sizes; the patches were then aggregated to form a histogram of color names [Weijer et al., 2009; Khan et al., 2013].

2.2.4. Bag-of-Words pipeline

The Bag-of-Words (BoW) model can be applied to image classification by treating image features as words. A bag of visual words is a vector of occurrence counts of elements of a vocabulary of local image features. Using a random sampling of the extracted features from various patches, the k-means learning algorithm was applied to learn a dictionary [Elkan, 2003]. This was followed by the application of LLC to soft-encode each patch to one or more dictionary entries [Wang et al., 2010]. We then applied max pooling with a spatial pyramid to obtain the final feature vector [Lazebnik et al., 2006; Wang et al., 2010]. We used LLC because it supports classification by the use of a linear classifier so that it is not necessary to use the more complicated nonlinear kernels.

2.2.5. k-nearest neighbors algorithm

The k-NN algorithm is a non-parametric classification technique. The output is a class membership specification. An object is classified by a majority vote of its neighbors, with the object being assigned to the class most common among its k nearest neighbors.

2.2.6. Multi-class SVM

A Support Vector Machine (SVM) is a supervised learning model with associated learning algorithms that analyze data, recognize patterns, and, based on an identified pattern, assigns a classification. SVMs are deterministic binary linear classifiers and can perform nonlinear classification by implicitly mapping inputs into large-dimension feature spaces using kernel methods. Classification was performed with the machine learning toolbox available in MATLAB. The “fitcecoc” method, which fits multiclass models for support vector machines or other classifiers, was employed. The classifier was used with both linear and Gaussian kernels, and k-fold cross-validation was applied for classifier assessment. [Tan et al., 2016]

2.3. Convolutional neural network models

Figure 5 shows an overview of our system for a CNN. This study trained CNNs using Theano, which is a Python library that allows mathematical expressions to be defined, optimized, and evaluated efficiently in terms of multi-dimensional arrays. It optimizes a user's symbolically specified mathematical computations to produce efficient low-level implementations [Bergstra et al., 2010]. The size of the original panoramic radiograph was 2800×1376 pixels, and the CNN training is slow if the input is large. Therefore, cropped images were used to classify the teeth, and resized images were used to classify the sex as determined from panoramic radiographs. Two types of convolutional neural networks were used, 4-layer and 16-layer CNN models. As shown in Figure 6, the 4-layer CNN model is a simple stack consisting of two convolution layers and a max-pooling layer, providing an architecture similar to the architectures that Yann LeCun advocated in the 1990s for images, speech, and time series [LeCun and Bengio, 1995]. In our study, the only difference is the choice of activation function. In this study, we elected to use rectified linear unit (ReLU) activation functions rather than sigmoid activation functions. There are two major advantages of ReLU activation functions: (1) their sparsity and (2) reduced vanishing gradient. The constant gradient of the ReLU activation function results in faster learning [Nair and Hinton, 2010]. The final layer deployed either a sigmoid or softmax activation function. As shown in Figure 7, the 16-layer CNN model is an improved version of the model used by the VGG team in the ILSVRC-2014 competition [Simonyan and Zisserman, 2014]. It was obtained by directly converting the Caffe model

provided by the authors. The loss functions were `binary_crossentropy` and `categorical_crossentropy`, the preferred logarithmic loss functions for classification problems. The equation that defines the description of crossentropy is as follows:

$$crossentropy(t, o) = -(t * \log(o) + (1 - t) * \log(1 - o))$$

The gradient descent optimization functions utilized were `adadelat` and `rmsprop`. The weight initialization was uniformly distributed. The scale was a uniform distribution of each datum between -0.05 and 0.05. A k-fold cross-validation was used for classifier assessment [Tan et al., 2016].

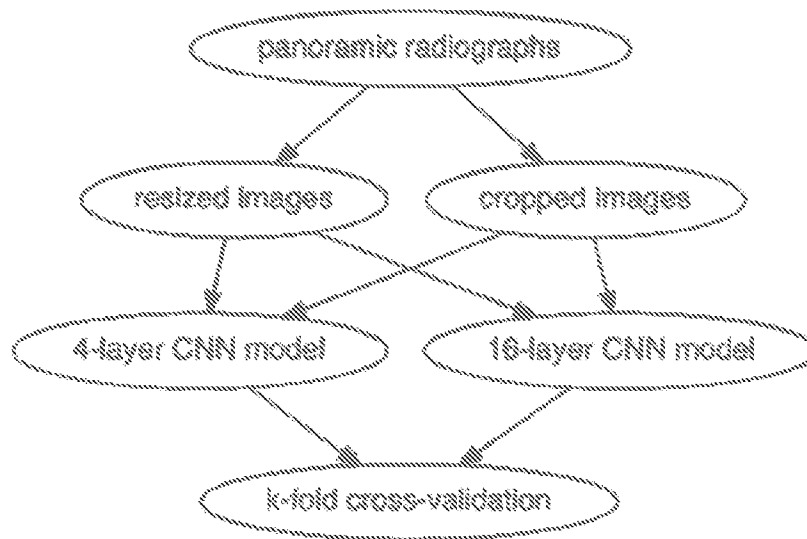


Fig. 5. Overview of our CNN system.

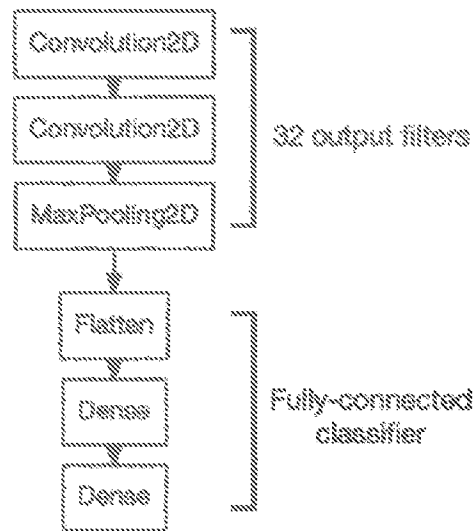


Fig. 6. 4-layer CNN model.

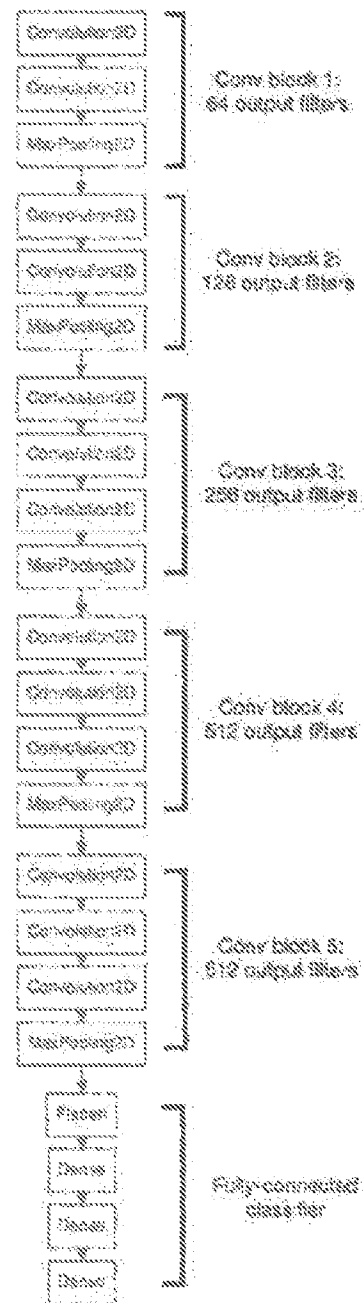


Fig. 7. 16-layer CNN model.

3. Results

3.1. Teeth Classification

We presented the AI learning tool with 100 images of 28 permanent teeth (2,800 images in total), we then classified 1,120 images of the 28 permanent teeth that were not used in the learning. To build the 28-way classifier, we adopted the FDI (FDI World Dental Federation) two-digit system that was introduced in 1970 by the FDI. It is a digital system that notates teeth that make visual sense, cognitive sense, and computer sense [Peck and Peck, 1996]. The FDI method identifies each of the 32 permanent teeth with a two-digit number, the first digit indicating the quadrant (1 to 4) while the second digit designates the tooth type (1 to 8). In this study, third molars were excluded from tooth classification in order to obtain more training samples because there are many people without third molars. A sample of 140 patients with 28 healthy permanent teeth (except four third molars from the 32 permanent teeth) was selected from 972 patients. We divided the dataset into a training set and a test set. The training set was comprised of 55 men and 45 women, and the test set was comprised of 20 men and 20 women.

3.1.1. Input Layer

As illustrated in Figure 8, we cropped the image of each tooth to a minimum rectangle that included the crown and root. In total, 3,920 cropped images were used (28 permanent teeth times 140 people). The average width of the cropped images was 131.6 ± 43.73 pixels and the average height was 282.16 ± 37.11 pixels. In order to find a proper training input size, the

cropped images were first resized to a width and height of 32×32 pixels. Subsequently, images of sizes 64×64 pixels, 128×128 pixels, and 256×256 pixels were examined. As shown in Figure 9, for dictionary sizes of more than 500, the images with a size of 128×128 pixels showed the highest mean accuracy. Therefore, for the purposes of this study, we fixed the size of input images to 128×128 pixels.

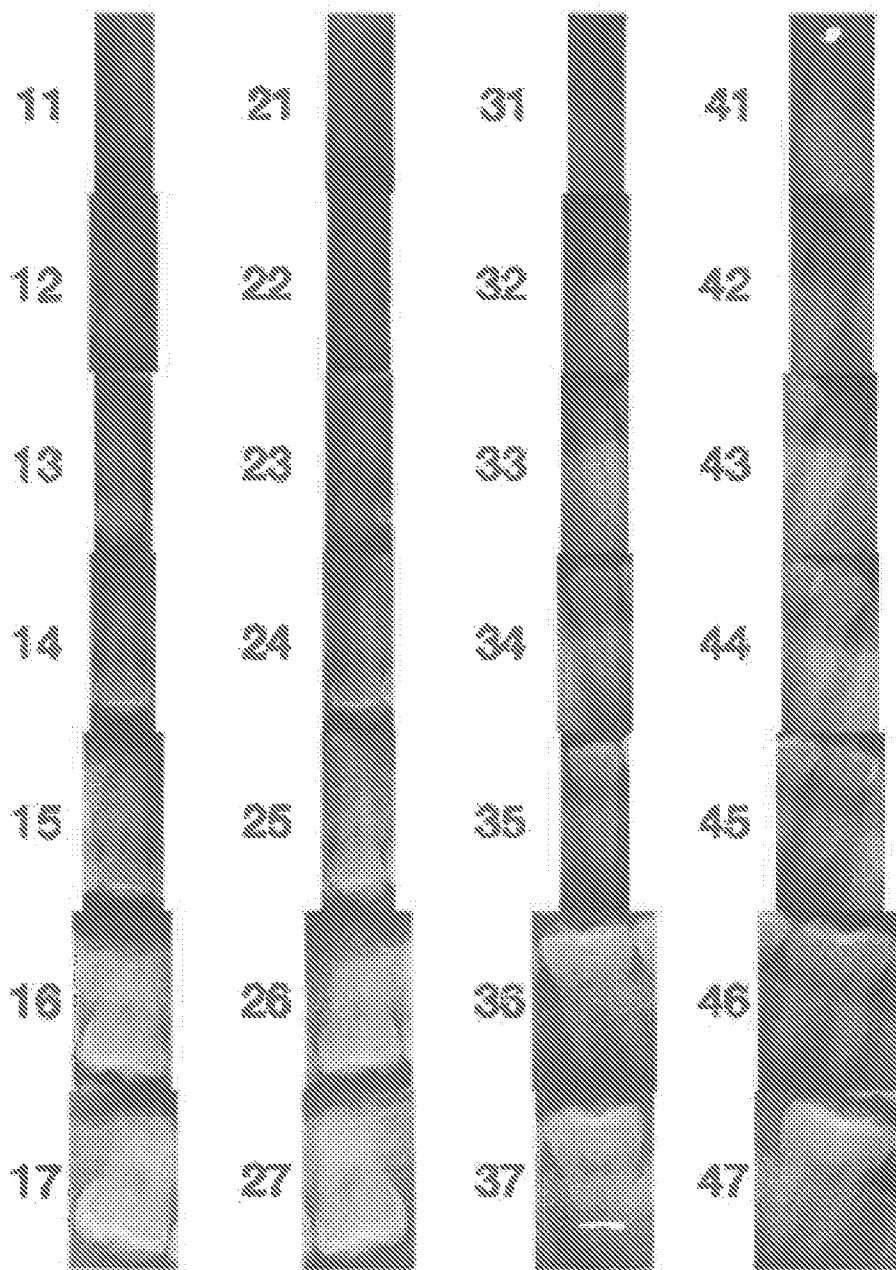


Fig. 8. Cropped images of 28 permanent teeth.

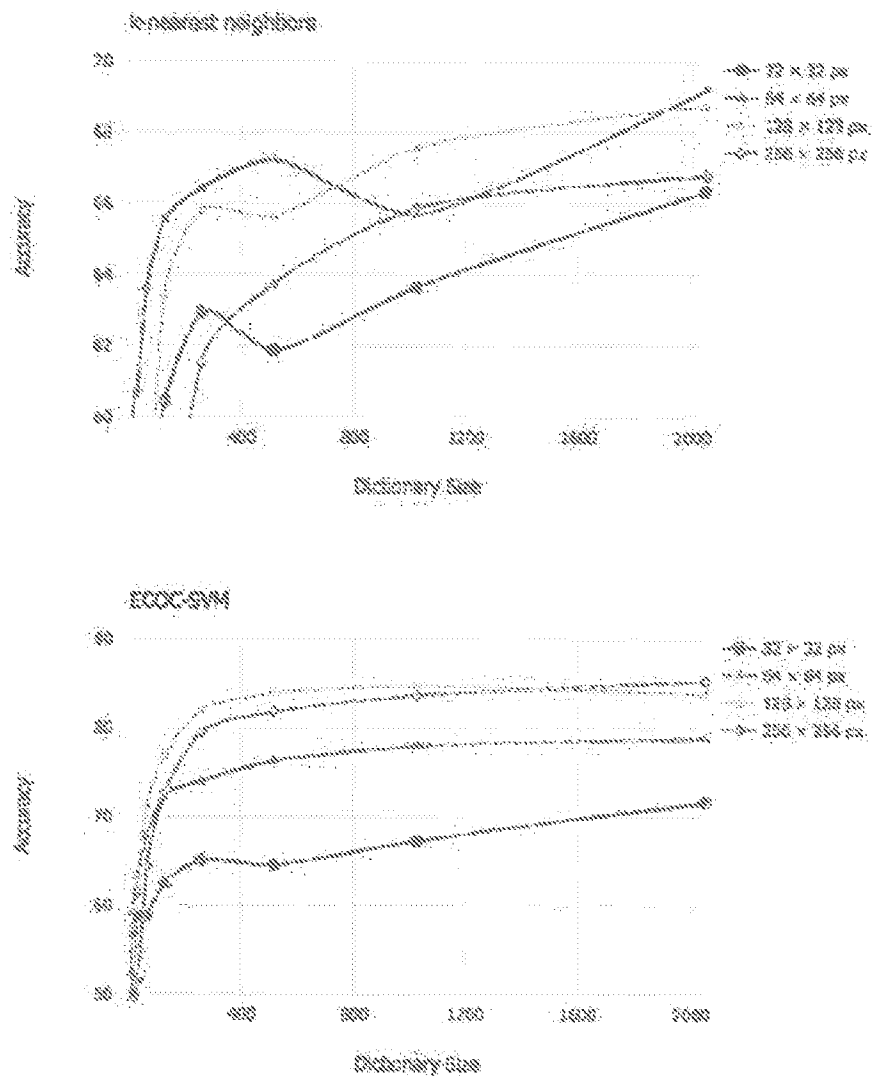


Fig. 9. Changes in accuracy with dictionary size with various input sizes using the SIFT algorithm: classified by k-NN (top) and classified by ECOC-SVM (bottom).

3.1.2. Spatial Pyramid Level

One of the disadvantages of the BoW model is that it ignores the spatial relationships among the patches, which are very important in image representation. Researchers have proposed several methods to incorporate the spatial information. We applied a max pooling technique with a spatial pyramid to obtain the final feature vector [Lazebnik et al., 2006]. Figure 10 shows an example of constructing a three-level pyramid. In order to find a proper spatial pyramid level, pyramid levels 0 were examined. As shown in Figure 11, for dictionary sizes of more than 500, pyramid level 2 showed the highest accuracy. Therefore, within the present study, the pyramid level was fixed to level 2.

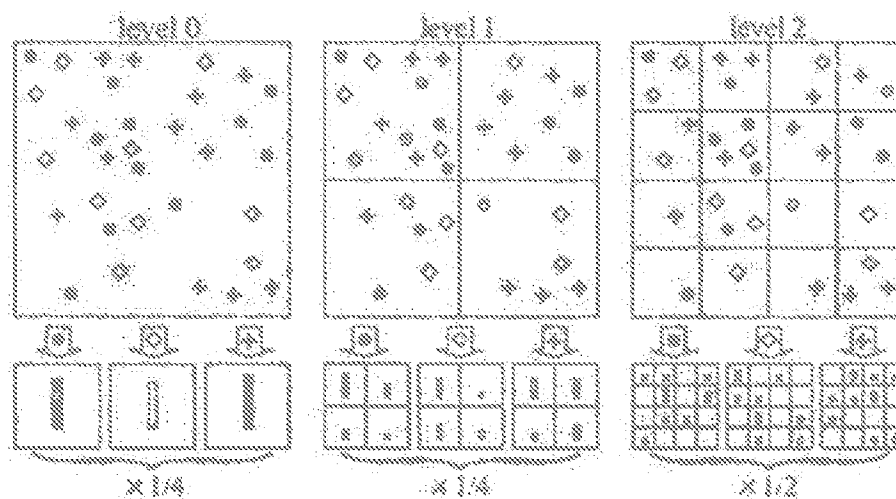


Fig. 10. Sample example of constructing a three-level pyramid. The image has three feature types, indicated by circles, diamonds, and crosses [Lazebnik et al., 2006].

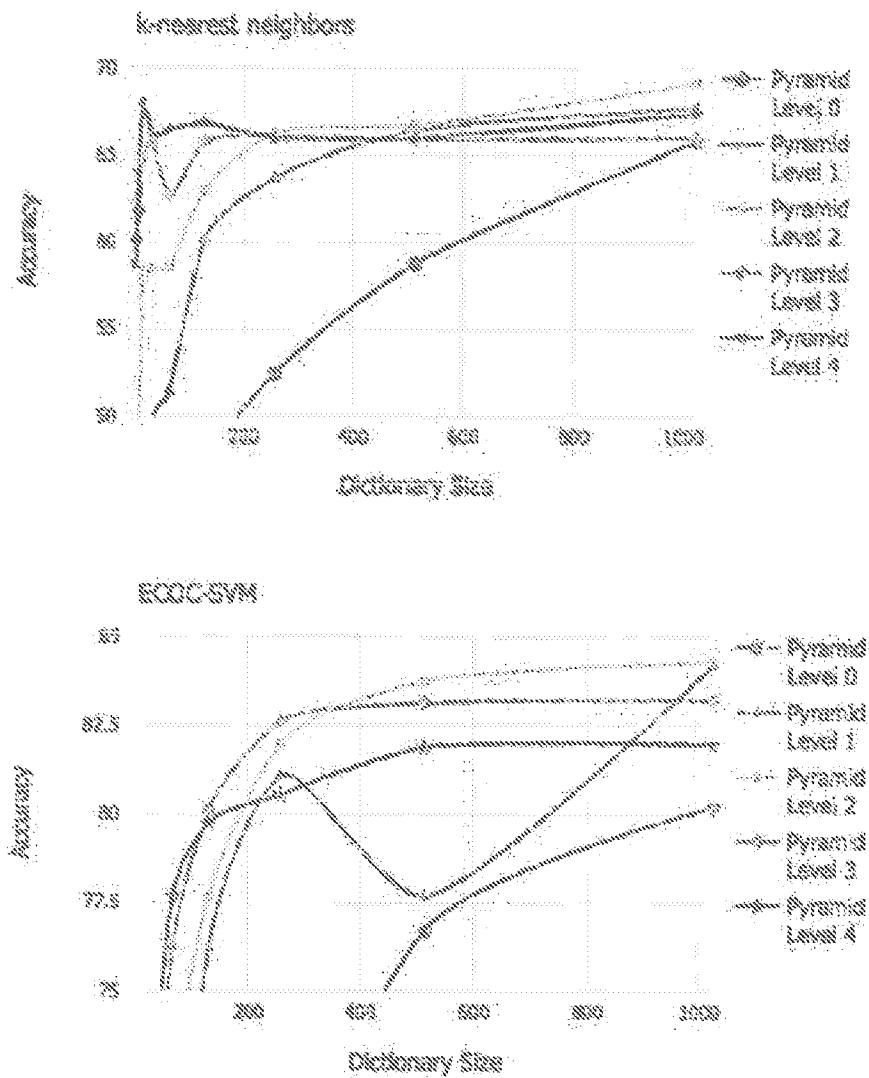


Fig. 11. Changes in accuracy with dictionary size with various pyramid levels using SIFT algorithm: classified by k-NN (top) and classified by ECOC-SVM (bottom).

3.1.3. Tests on Bag-of-Words Model

Figure 12 shows changes in the accuracy with a dictionary size of 128×128 pixels input size and a two-level pyramid using SIFT, HOG2 $\times$ 2, and HOG3 $\times$ 3 in conjunction with the Color algorithm. The result produced a maximum accuracy of 84.73% in the case of SIFT, 84.82% in the case of HOG2 $\times$ 2, 84.64% in the case of HOG3 $\times$ 3, and 65.8% in the case of Color. From the accuracy rates above, it required 283.44 s to distinguish 1,120 teeth images with SIFT, 279.95 s with HOG2 $\times$ 2, 110.30 s with HOG3 $\times$ 3, and 123.53 s with Color.

3.1.4. Tests on 4-layer CNN model and 16-layer CNN model

Figure 13 shows changes in accuracy using a number of training images at 128×128 pixels input size generated by a convolutional neural network. In the 4-layer CNN model, the mean training time over 2,800 teeth images was 4.71 s per number of training images, whereas using the 16-layer CNN model, the mean training time was 47.52 s per number of training images. With the 4-layer CNN model, distinguishing 1,120 images required 1.11 s, whereas with the 16-layer CNN model the time was 4.27 s. Note with the 4-layer CNN model, the training time was shorter but the accuracy was larger with the 16-layer CNN model. After 40 training iterations, the accuracy rate was over 80% for the test set; after 232 training iterations, the accuracy rate was over 90%. As shown in Figure 14, the accuracy rate increased with the increase in the training size. Higher accuracy is expected with more training data.

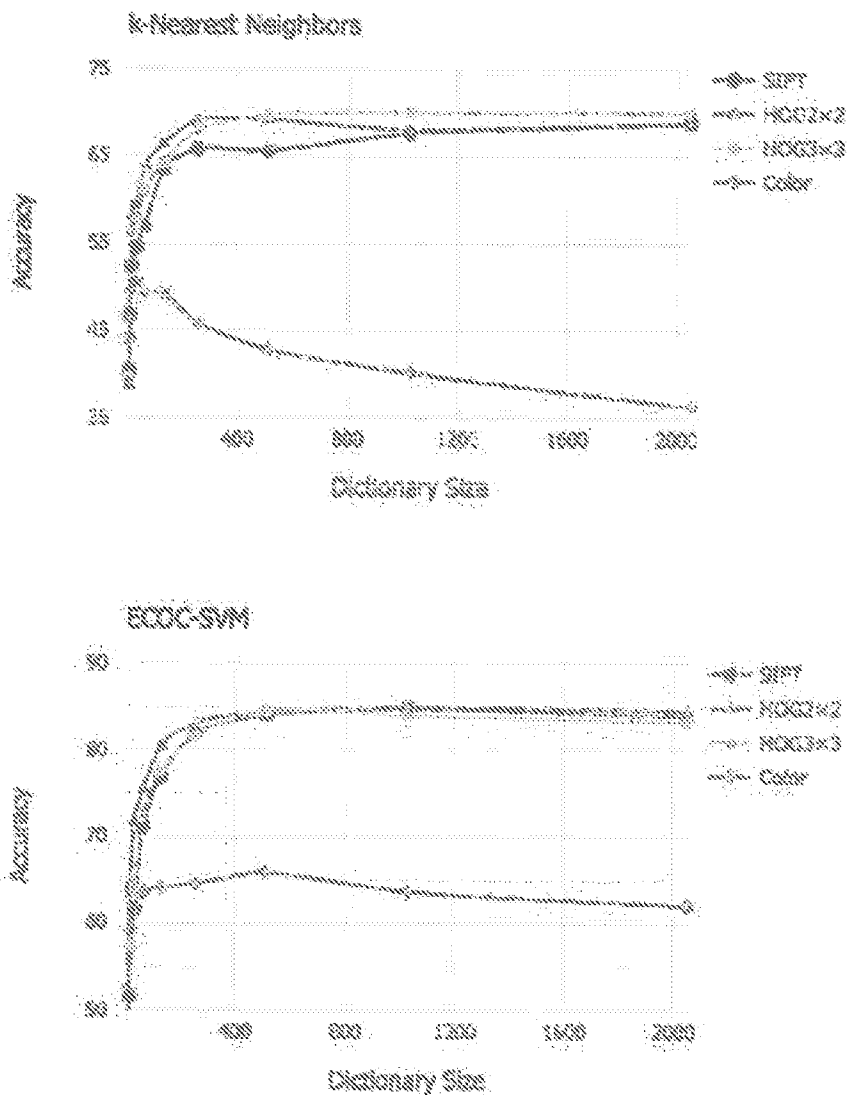


Fig. 12. Changes in accuracy with dictionary size at 128×128 pixels input size and level-2 pyramid using SIFT, HOG2x2, HOG3x3, and the Color algorithm: classified by k-NN algorithm (top) and classified by ECOC-SVM algorithm (bottom).

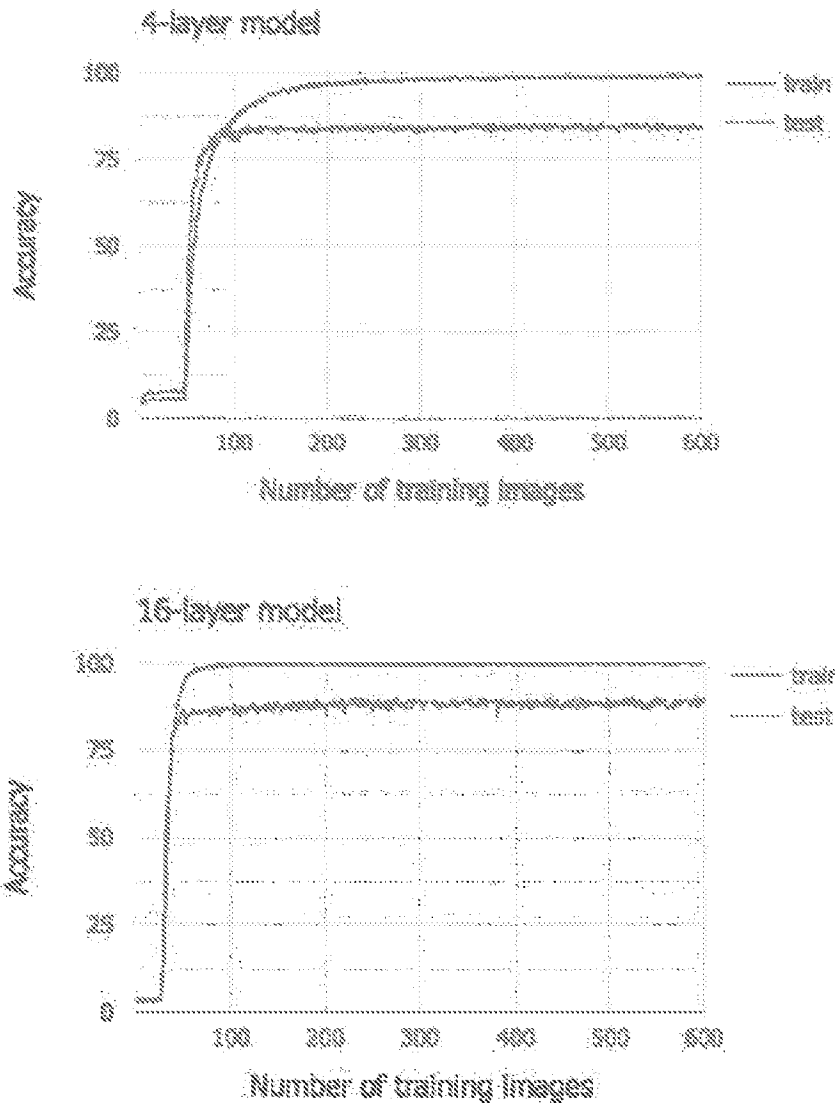


Fig. 13. Changes in accuracy with a number of training images at 128×128 pixels input size using the convolutional neural network: classified by a 4-layer CNN model (top) and a 16-layer CNN model (bottom).

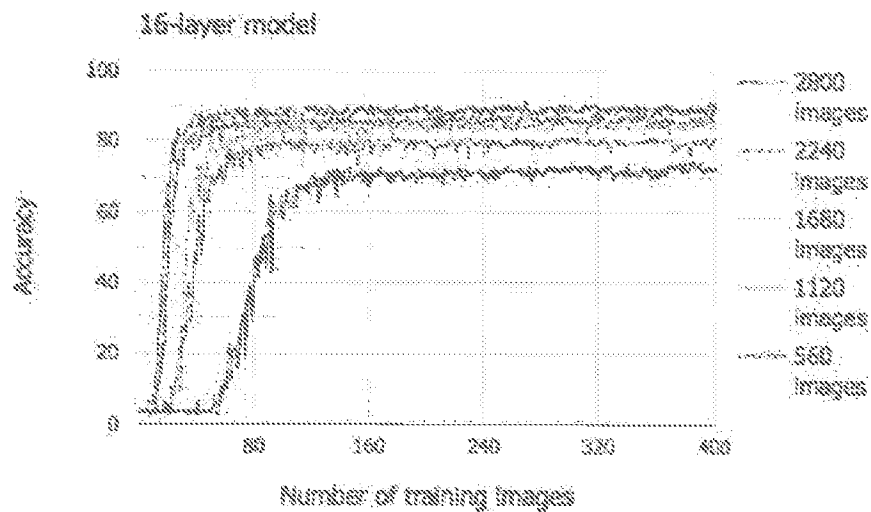


Fig. 14. Changes in accuracy with a number of training images with different training sizes using a 16-layer convolutional neural network model.

3.1.5. k-fold Cross-Validation on 16-layer CNN Model

There were not enough data available to partition a 16-layer CNN model into separate training and test sets without losing testing capability. In these cases, a fair way to properly estimate model prediction performance is to use cross-validation. A k-fold cross-validation of the 16-layer CNN model for teeth classification was performed with $k = 14$ and a total of 3,920 images (trained on 3,640 images, validated on 280 images). As shown in Table 1, molar teeth including teeth #16 and #17 obtained a high F1 score. Teeth #13 and #23 (maxillary incisor) also achieved a high F1 score. Teeth #41 and #31 (mandibular central incisor) produced the lowest F1 score. In general, maxillary teeth achieved a higher F1 score than the F1 scores of mandibular teeth. Table 2 shows a confusion matrix of the 28-way classifier over the validation dataset. Each row i represents the number count for category type i , element ij is the number of images incorrectly classified as category j , and element ii is the total count number of images correctly classified as the correct class type i . The cases such that tooth #41 was mistaken for tooth #42 and tooth #42 was mistaken for tooth #41 occurred most frequently (21 times). The second most frequent misclassification occurred when tooth #14 was misclassified as tooth #15 (19 times). The third most frequent case occurred when (a) tooth #24 was misclassified as tooth #25, (b) tooth #31 was misclassified as tooth #41, and (c) tooth #41 was misclassified as tooth #31 (16 times).

Table 1. Precision and recall results for teeth classification. Condition positive (CP) of each tooth is 140 (k-fold cross-validation of 16-layer CNN model with k=14)

Tooth number	Predicted condition positive (PCP)	True positive (TP)	Precision (TP/PCP)	Recall (TP/CP)	F1 score
16	140	136	0.9714	0.9714	0.9714
17	140	136	0.9714	0.9714	0.9714
13	139	135	0.9712	0.9643	0.9677
23	136	133	0.9779	0.95	0.9637
38	138	133	0.9638	0.95	0.9569
46	139	133	0.9568	0.95	0.9534
37	140	133	0.95	0.95	0.95
47	138	131	0.9493	0.9357	0.9425
27	143	133	0.9301	0.95	0.9399
26	139	131	0.9424	0.9357	0.939
11	140	130	0.9286	0.9286	0.9286
43	143	131	0.9161	0.9357	0.9258
35	150	134	0.8933	0.9571	0.9241
44	143	130	0.9091	0.9286	0.9167
21	137	127	0.927	0.9071	0.9169
45	138	127	0.9203	0.9071	0.9137
12	138	125	0.9058	0.8929	0.8993
34	137	124	0.9051	0.8857	0.8953
22	141	125	0.8865	0.8929	0.8897
24	137	122	0.8905	0.8714	0.8808
33	134	119	0.8881	0.85	0.8688
14	136	119	0.875	0.85	0.8623
25	147	123	0.8367	0.8786	0.8571
15	147	122	0.8299	0.8714	0.8501
32	141	103	0.7305	0.7357	0.7331
42	143	102	0.7133	0.7286	0.7209
31	140	100	0.7143	0.7143	0.7143
41	136	89	0.6544	0.6357	0.6449

Table 2. Confusion matrix for the 28 way classifier of validation dataset.

Each row i represents the number count for the category type i , element ij is the number of images misclassified as category j , and element ii is the total count number of images correctly classified as true class type i (k-fold cross-validation of 16-layer CNN model for teeth classification with k=14; 3,920 images)

11	138	5	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	4	126	2	1	0	0	0	1	4	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
13	1	1	138	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	1	142	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	1	14	122	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	1	138	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	1	2	138	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	2	2	0	0	0	0	0	127	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
22	2	5	0	1	0	0	0	6	125	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	2	133	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
24	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	122	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	12	129	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	136	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	100	18	0	0	0	0	0	0	18	7	3	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	103	10	0	0	0	0	0	8	3	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	118	4	1	0	1	2	3	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	126	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	133	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	8	1	2	0	0	0	8	21	1	1	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	2	0	0	0	0	21	102	5	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	8	131	2	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	130	9	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	10	127	1	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	138	7	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	5	136	0	0

3.2. Sex classification

Subsequent to the AI learning process, consisting of 300 male and 300 female panoramic radiographs, we then used the CNN to distinguish 120 male and 120 female panoramic radiographs not used during the learning phase. A sample of 840 patients (420 men and 420 women) was chosen randomly from 972 patients. We divided the dataset into a training set and a test set. The training set comprised 300 men and 300 women, and the test set comprised 120 men and 120 women.

3.2.1. Input layer

Figure 15 shows resized panoramic radiographs of 300 men and 300 women. The size of the original panoramic radiograph was $2,800 \times 1,376$ pixels, and the CNN training is shown as slow on large inputs. Therefore, we resized the images to 640×640 pixels. The 16-layer CNN model was not used due to hardware resource limitations.

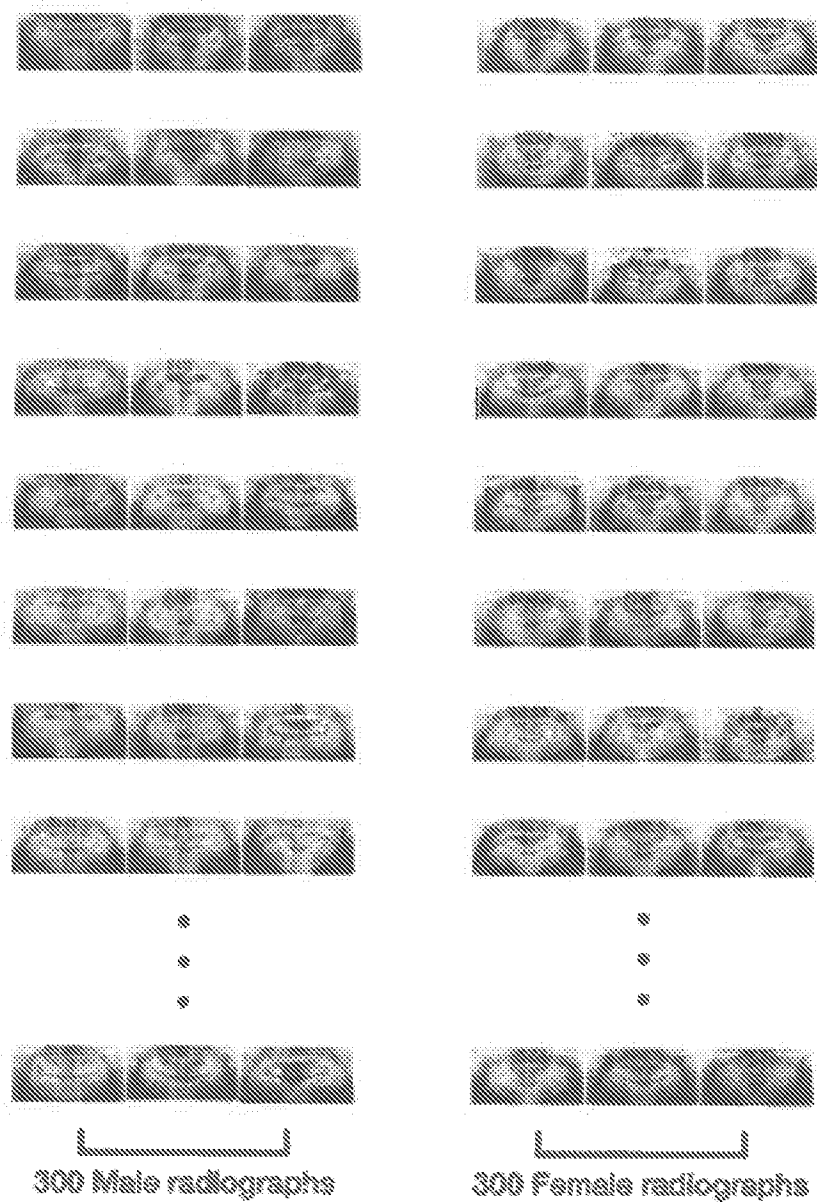


Fig. 15. Resized panoramic radiographs of 300 men and 300 women.

3.2.2. Tests on Bag-of-words models

As shown in Figure 16, the results indicate a maximum accuracy rate of 91.25% in the case of SIFT, 93.33% in the case of HOG, and 77.9% in the case of Color. Using these accuracy results, 7.89 s were required to distinguish 240 images with SIFT, 7.10 s with HOG, and 0.63 s with Color.

3.2.3. Tests on 4-layer CNN model

Figure 17 shows the changes in accuracy as a function of the number of training images using a convolutional neural network classified by a 4-layer CNN model. Training the 600 resized images required 12.70 s per number of training images, and to distinguish 240 images required 2.14 s using the 4-layer CNN model. To optimize the results of our few training examples, a number of random transformations were added to prevent each image from a second training. As shown in Table 3, training images that were processed via shear transformation showed a 1.96% higher accuracy rate than the training accuracies of the original 600 images, but there was an increase in the standard deviation. Training images processed subsequent to zoom transformation achieved the highest accuracy rate. After training, the 4-layer CNN model classified 240 test sets with a maximum accuracy rate of 97.5%.

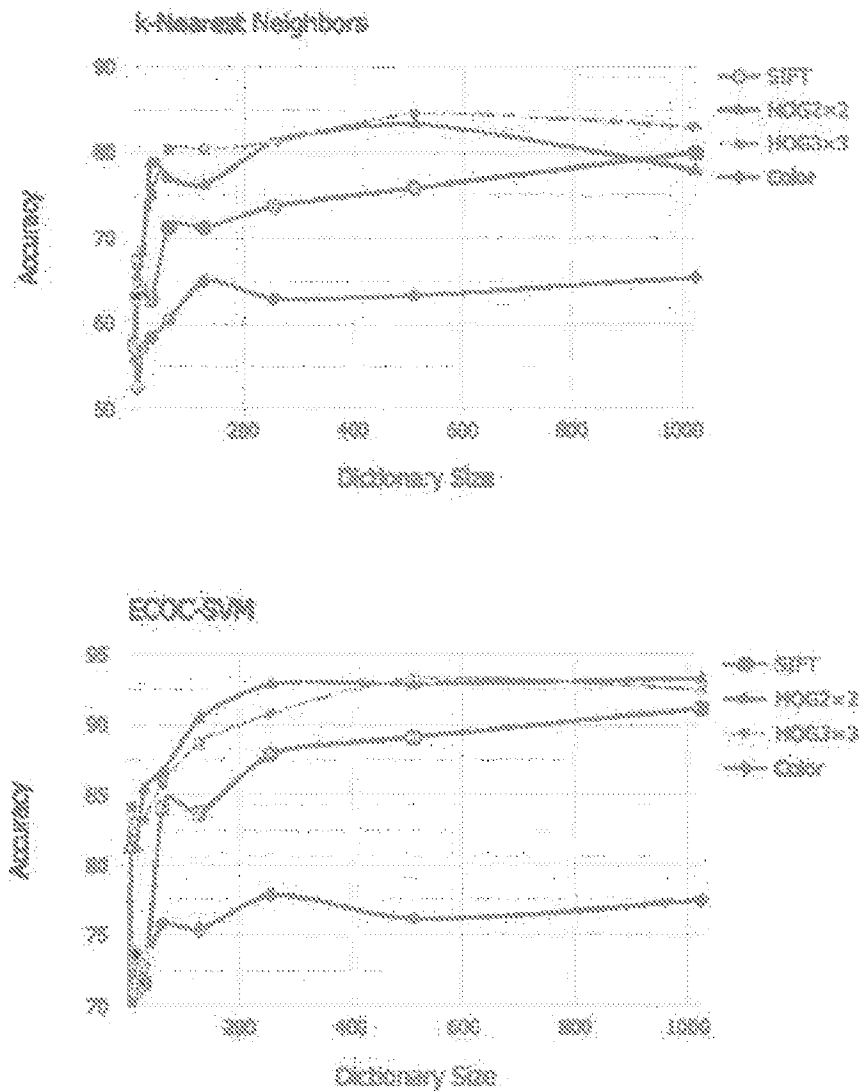


Fig. 16. Changes in accuracy with dictionary size at 640×640 pixels input size and level-2 pyramid using SIFT, HOG2x2, HOG3x3, and Color algorithm: (top) classified by k-NN algorithm; (bottom) classified by ECOC-SVM algorithm.

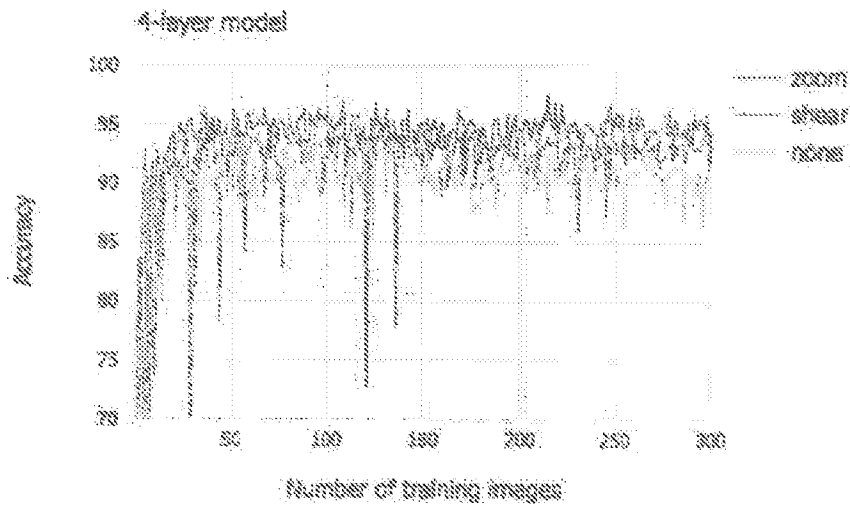


Fig. 17. Changes in accuracy with a number of training images using a convolutional neural network classified by a 4-layer CNN model: (none) original 600 resized images were used for training; (zoom) randomly zooming inside images; (shear) randomly applying shearing transformations

Table 3. Result of the performance analysis of the different methods

Accuracy (%)	none	shear	zoom
Minimum	86.25	85.83	91.25
Maximum	92.5	94.58	97.5
Average	90.62	92.66	94.62
Standard deviation	± 1.16	± 1.33	± 1.07

3.3. Visualization

3.3.1. Visualization of HOG based object detection features

Figure 18 shows the visualization of HOG based object detection features. Since the dimensions of most feature spaces are too large to allow direct human inspection, we executed “HOGgles” algorithms to invert feature descriptors to restore these images to a natural image and to visualize feature spaces [Vondrick et al., 2013]. HOG inversions provide an accurate and intuitive visualization of feature descriptors commonly used in object detection.

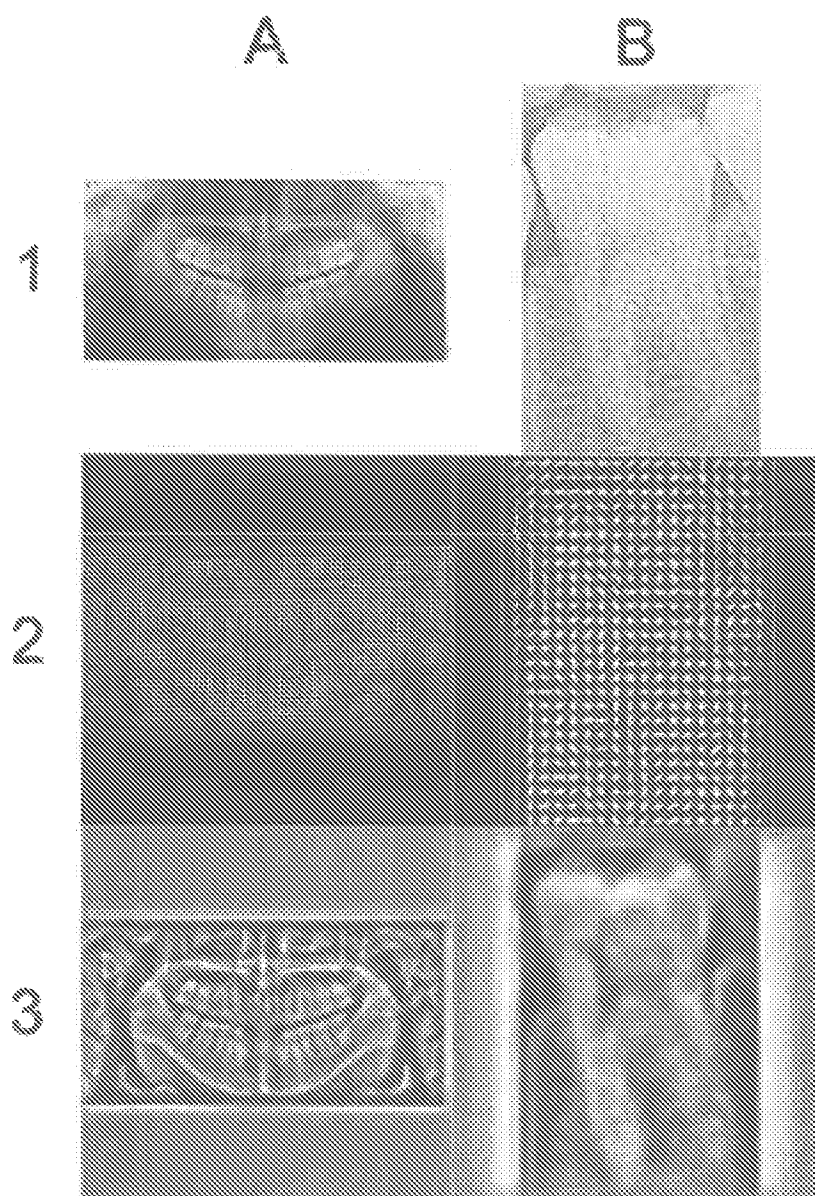


Fig. 18. Visualization of HOG based object detection features: panoramic radiography (A), molar-tooth radiography (B), original images (1), HOG features (2), HOG inversions (3).

3.3.2. Visualization of filters in the 4-layer CNN model

Figures 19 through 24 show the visualization of the first and second filter's weights and their activations in the tooth 4-layer classification CNN model. Several approaches for understanding and visualizing CNNs have been developed in literature, partly as a response to the common criticism that the features learned by an ANN cannot be interpreted. For example, Matthew Zeiler developed an outstanding visualization method for the CNN [Zeiler and Fergus, 2014].

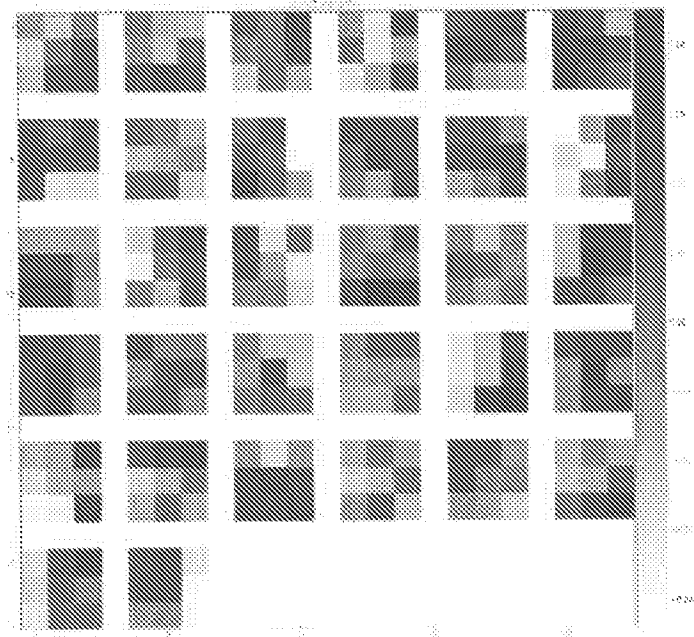


Fig. 19. Visualization of the first filter's weights after training.

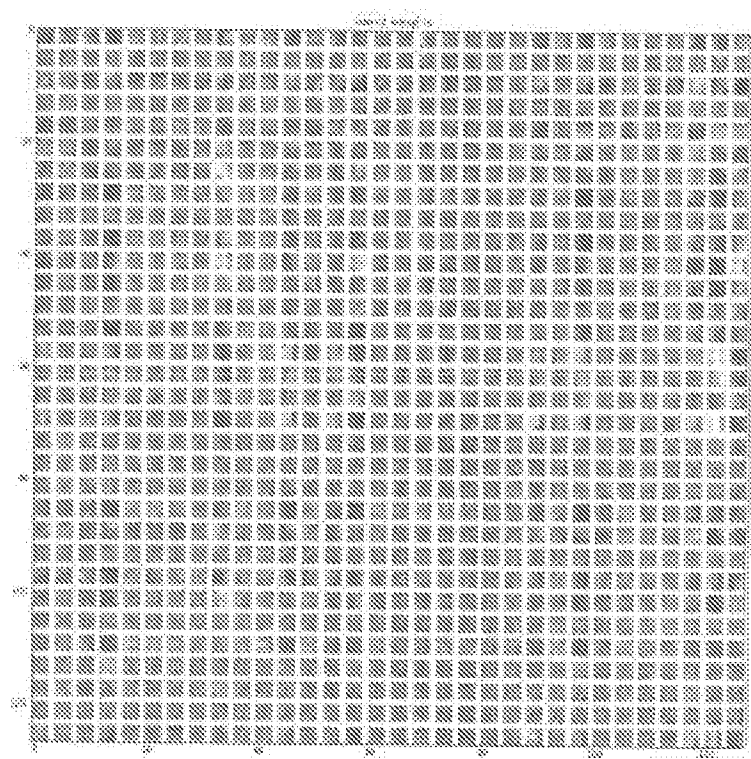


Fig. 20. Visualization of the second filter's weights after training.

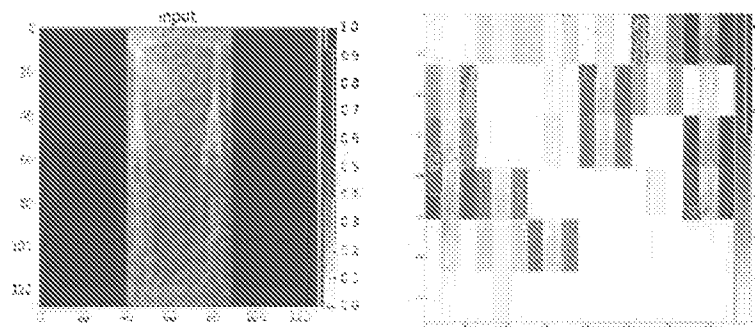


Fig. 21. Visualization of the first filter's activations with tooth #41.

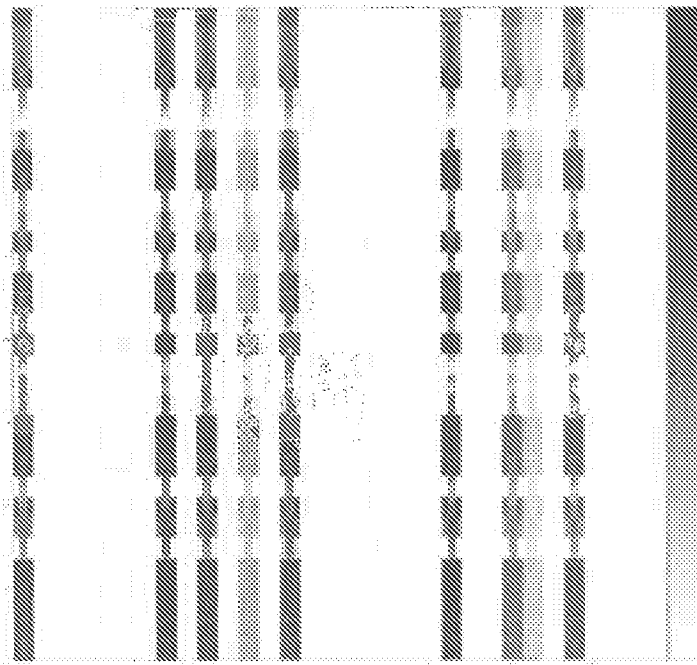


Fig. 22. Visualization of the second filter's activations with tooth #41.

4. Discussion

Advanced digital computer technology has dramatically assisted the practical development of panoramic radiographs, periapical radiographs, and dental computed tomography (CT). Reviewing the status of the diagnostic radiation generator in Korea in 2012, there were 15,727 diagnostic X-ray generators, 20,029 diagnostic X-ray systems, 2,618 mammography systems, 32,013 dental diagnostic X-ray systems, and 2,242 CT scanners [Kim et al., 2013]. Among these, 32,013 of the 72,626 dental diagnostic X-ray systems were used, a number that exceeds the number of mammography systems by a factor of 12. Computer-aided detection (CAD) was employed by many researchers in the detection and the classification of clustered microcalcifications on a mammogram. This was due to the very small size of the calcified lesions to detect benign and malignant breast lesions that occasionally overlap the breast tissue, making visual identification by humans difficult. Recent artificial intelligence based on artificial neural networks requires large amounts of data for better performance. The increase in the number of dental diagnostic X-ray systems and dental radiography analysis, using artificial neural networks, has created many opportunities to discover new results. One of the most common dental diagnostic X-ray systems is panoramic radiography. This technology is a very common method used by clinicians to quickly record all upper and lower teeth within a small period of time and to quickly view the entire tooth. It is easy to observe the status of the teeth regarding lesions that have and have not been cured. However, the sharpness and precision of panoramic radiographs are less relative to the periapical radiographs and dental CT. When the cervical vertebrae are

overlapped by the patient's incorrect posture, the sharpness of the anterior teeth is lowered. Molander reported that mean scores for subjective image quality of the periapical bone area by the type of teeth were 2.52 ± 0.29 from molars, 2.49 ± 0.23 from premolars, and 2.37 ± 0.30 from (canines + incisors) using Maxilla, and 3.20 ± 0.21 from molars, 3.14 ± 0.28 from premolars, and 2.16 ± 0.27 from (canines + incisors) using Mandible [Molander et al., 1995]. Choi reported that averages of the regional image quality grade evaluation scores were 3.17 ± 0.47 from molars, 2.75 ± 0.52 from premolars, and 2.30 ± 0.70 from incisors [Choi, 2012].

In teeth classification, the maximum accuracy rate achieved was 90.36% despite the small training size. It was notable that CNN achieved this accuracy without information regarding the position of the teeth. Table 1 shows the accuracy rate of molars at 95%, premolars at 89%, and incisors at 80%. These results show the same tendency as the image quality from previous studies. The difference between the molars and the premolars, as shown in the results of the composite neural network (CNN), was greater than reported in the previous studies. It is expected that the complex structure of the molars with two or more roots influenced the learning of the convolutional neural network. A dental CT, which has less image distortion and higher image resolution than panoramic radiographs, provides more accurate results. However, dental CTs define different angles for each image, making it difficult to apply them universally to all dental CTs. The identification of teeth alone is not clinically significant. However, if the normal teeth are correctly recognized, the differences between the normal teeth and the abnormal teeth can be used to identify diseases that are

difficult to find. It is also possible to categorize all the diseases, including new ones, by computing the difference in vector distance from the normal teeth. Diseases, such as Cherubism, Paget's disease of the bone, and Osteopetrosis show signs throughout the bone, including the maxilla and mandible, as well as teeth. Although these diseases can be identified by learning entire radiographs on convolutional neural networks, it is very inefficient to learn all radiographs because many dental diseases are confined to several teeth and their surroundings. It is impossible to manually determine the ROI (region of interest) in order to learn massive amounts of panoramic radiographs. Therefore, it is necessary to find the ROI automatically using the image segmentation method. Figure 25 shows the segmentation of a panoramic radiograph into regions using a graph-based representation of the image. It can be considered a way to specify the position information of teeth to improve the accuracy. Use of graph-based image segmentation or normalized cuts and image segmentation may be considered to separate teeth [Shi and Malik, 2000; Felzenszwalb and Huttenlocher, 2004]. Another limitation of this study was that the third molars were excluded in order to train marginally more samples because there are many people without third molars. Anatomical position and shape are highly variable in the third molar. For example, agenesis of the third molar differs by population, ranging from practically zero in Tasmanian Aborigines to nearly 100% in indigenous Mexicans [Nanda, 1954; Rozkovicová et al., 1998]. According to literature, the difference is related to the PAX9 gene [Pereira et al., 2006]. It would be worthwhile to study the third molars using a machine learning technique.

In sex classification, the maximum accuracy rate achieved was 97.50% using the 4-layer CNN model. The 16-layer CNN model was not used because of limitations of computing resources. Classification of gender using skulls has been studied in the forensic area. Based on the results of examining the sex features of 100 adult craniums (50 men and 50 women) through 23 items, Keen reported that sex classification by cranium was 85% accurate [Keen, 1950]. Krogman reported that the accuracy was 95% if there were only pelvic data, 90% if there were only cranial data, and 80% if there were only limb skeleton data. However, if there were cranial and pelvic data, the accuracy was 98% [Krogman, 1962]. There were also gender classification studies using radiographs of various bones. Patil and Mody reported determination of sex by discriminant function analysis and stature by regression analysis: "A Lateral Cephalometric Study." The sample space for this study, a total of 150 normal healthy adults from Central India, consisted of 75 males and 75 females. Ten cephalometric measurements (G-Op, Ba-ANS, N-ANS, Ba-N, F-M, FaHt, Ma-SN, Ma-FM, MaHt, MaWd) were used in discriminant functional analysis and they provided accurate sex discrimination in Central Indian subjects of known sex. It was observed that Ba-N, MaHt, N-M, MaWd, Ba-ANS, Ma-FH, and G-Op were major variables in the determination of sex and their respective discriminative powers were 25.88, 15.12, 13.31, 11.88, 7.78, 7.02, and 6.90% [Patil and Mody, 2005]. Indira et al. reported Mandibular ramus: "An Indicator for Sex Determination--A Digital Radiographic Study". A retrospective study was conducted using orthopantomographs of 50 males and 50 females. The overall prediction rate using all five variables (Max. ramus breadth, Min.

ramus breadth, Condylar height, Projective height of ramus, and Coronoid height) was 76% and the accuracy can be increased by repeated iterations [Indira et al., 2012]. Verma et al. reported radiomorphometric analysis of frontal sinus for sex determination. The sample space consisted of 100 patients, 50 males, and 50 females. The percentage agreement of the total area to correctly predict the female gender was 55.2%, of which, the right area was 60.9% and the left area was 55.2%, respectively [Verma et al., 2014]. The subjects of all of the studies listed above were for people over 20 years of age. It should be noted that the size of the sample is small and the methods used to classify the gender are often tested with objects that are not new objects, so errors will occur. Generally, definite sex features are shown in the skeleton from adolescence and are not revealed until after the completion of the secondary sex characteristics. The skeletal boundary between juvenile and adult is at age 15--18; among those who are younger, it is difficult to estimate the sex. It would be worthwhile to study pediatric radiography using a machine learning technique.

Section 3.3. shows visualization results of machine learning. Several approaches for understanding and visualizing CNNs have been described in the literature, partly in response to criticism regarding the fact features of an ANN have previously been reported as being difficult to understand and interpret. [Zeiler and Fergus, 2014]. We expect to find a theoretical basis through subsequent studies of inverse analysis such as a visualization method for artificial neural networks. Object recognition is a fundamental problem in computer vision that has been studied for more than 30 years. It remains a particularly difficult problem and is far from being solved. Recently, AI

applications have achieved optimal performance in a variety of pattern-recognition tasks, most notably visual classification problems. However, there is a large difference between computer and human vision. The literature indicates that it is easy to produce images that are completely unrecognizable to humans, while the CNNs believe objects to be recognizable with 99.99% confidence (e.g., labeling with certainty that static white noise is a cat) [Nguyen et al., 2015]. As well as being aware of the difference between computer vision and human vision, researchers must continue to identify diseases that are easily bypassed. Deep learning has dramatically shortened the time for artificial intelligence to identify data and this also shortens the learning time. While learning more data within the domain of dentistry, we hope that artificial intelligence will be useful in this field. In addition, we hope to be able to provide useful information on chronic diseases such as osteoporosis and TMJ disorder.



Fig. 25. Segmenting a panoramic radiograph into regions using a graph-based representation of the image.

References

- Aggarwal, M., Madhukar, M. (2016). IBM's Watson Analytics for Health Care: A Miracle Made True. *Cloud Computing Systems and Applications in Healthcare* (pp. 117-134). Hershey, PA: IGI Global.
- Alipanahi, B., Delong, A., Weirauch, M. T., Frey, B. J. (2015). Predicting the sequence specificities of DNA-and RNA-binding proteins by deep learning. *Nature biotechnology*.
- Behnke, S. (2003). *Hierarchical neural networks for image interpretation* (Vol. 2766). New York: Springer Science & Business Media.
- Bergstra, J., Breuleux, O., Bastien, F., Lamblin, P., Pascanu, R., Desjardins, G., Turian, J., Warde-Farley, D., Bengio, Y. (2010, June). Theano: A CPU and GPU math compiler in Python. In *Proc. 9th Python in Science Conf* (pp. 1-7). Austin, TX: SciPy.
- Carpenter, G. A., Grossberg, S. (2011). *Adaptive resonance theory* (pp. 22-35). New York: Springer US.
- Chang, H., Choi, M. (2016). Big Data and Healthcare: Building an Augmented World. *Healthcare Informatics Research*, 22(3), 153-155.
- Collobert, R., Weston, J. (2008, July). A unified architecture for natural

language processing: Deep neural networks with multitask learning. In *Proceedings of the 25th international conference on Machine learning* (pp. 160-167). ACM.

Dalal, N., Triggs, B. (2005, June). Histograms of oriented gradients for human detection. In *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)* (Vol. 1, pp. 886-893). San Diego, CA: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Elkan, C. (2003, August). Using the triangle inequality to accelerate k-means. In *ICML 2003* (Vol. 3, pp. 147-153). Washington, D.C.: International Machine Learning Society.

Felzenszwalb, P. F., Huttenlocher, D. P. (2004). Efficient graph-based image segmentation. *International Journal of Computer Vision*, 59(2), 167-181.

Grossberg, S. (1976). Adaptive pattern classification and universal recoding: I. Parallel development and coding of neural feature detectors. *Biological cybernetics*, 23(3), 121-134.

Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior: A neuropsychological approach*. New York: John Wiley & Sons.

Herath, D. H., Wilson-Ing, D., Ramos, E., Morstyn, G. (2016, May).

Assessing the natural language processing capabilities of IBM Watson for oncology using real Australian lung cancer cases. In *ASCO Annual Meeting Proceedings* (Vol. 34, No. 15_suppl, p. e18229). Chicago, IL: American Society of Clinical Oncology.

Hinton, G., Deng, L., Yu, D., Dahl, G. E., Mohamed, A. R., Jaitly, N., Kingsbury, B. (2012). Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition: The shared views of four research groups. *IEEE Signal Processing Magazine*, 29(6), 82-97.

Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the national academy of sciences*, 79(8), 2554-2558.

Indira, A. P., Markande, A., David, M. P. (2012). Mandibular ramus: An indicator for sex determination-A digital radiographic study. *Journal of forensic dental sciences*, 4(2), 58.

Johnson, B. D., Guston, D. (2016). Futures We Want to Inhabit. *Computer*, 49(2), 78-79.

Keen, J. A. (1950). A study of the differences between male and female skulls. *American Journal of Physical Anthropology*, 8(1), 65-80.

Kelemen, J. (2007). From artificial neural networks to emotion machines with

marvin minsky. *Acta Polytechnica Hungarica*, 4(4), 1-12.

Khan, R., Weijer, J., Shahbaz Khan, F., Muselet, D., Duxottet, C., Barat, C. (2013). Discriminative color descriptors. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 2866-2873). Portland, OR: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Krogman, W. M. (1962). In sex differences in the skull, chapter 5; sexing skeletal remains. *The human skeleton in forensic medicine* (pp. 114-121). Springfield, MA: Charles C Thomas.

Lazebnik, S., Schmid, C., Ponce, J. (2006). Beyond bags of features: Spatial pyramid matching for recognizing natural scene categories. In *2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06)* (Vol. 2, pp. 2169-2178). New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

LeCun, Y., Bengio, Y. (1995). Convolutional networks for images, speech, and time series. *The handbook of brain theory and neural networks*, 3361(10), 1995. Cambridge, MA: MIT Press.

LeCun, Y., Boser, B., Denker, J. S., Henderson, D., Howard, R. E., Hubbard, W., Jackel, L. D. (1989). Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural computation*, 1(4), 541-551.

- Leidos, C. W., Pentagon, L. (2015). The Roundup. *Biomedical Instrumentation & Technology*, 49(5), 296-299.
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International journal of computer vision*, 60(2), 91-110.
- Luszczyk, P. (2009). Parallel programming in MATLAB. *International Journal of High Performance Computing Applications*, 23(3), 277-283.
- McCulloch, W. S., Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, 5(4), 115-133.
- Molander, B., Ahlqvist, M., Gröndahl, H. G. (1995). Image quality in panoramic radiography. *Dentomaxillofacial Radiology*, 24(1), 17-22.
- Nair, V., Hinton, G. E. (2010). Rectified linear units improve restricted boltzmann machines. In *Proceedings of the 27th International Conference on Machine Learning (ICML-10)* (pp. 807-814). Haifa: International Machine Learning Society.
- Nanda, R. S. (1954). Agenesis of the third molar in man. *American Journal of Orthodontics*, 40(9), 698-706.

- Nash, D. B. (2016). Eye of the Consolidation Storm. *American health & drug benefits*, 9(6), 302-303.
- Nelson, R. (2016). From Hephaestus' automatons to OpenAI's deep learning. *EE-Evaluation Engineering*, 55(2), 2-3.
- Nguyen, A., Yosinski, J., Clune, J. (2015, June). Deep neural networks are easily fooled: High confidence predictions for unrecognizable images. In *2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 427-436). Boston, MA: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Patil, K. R., Mody, R. N. (2005). Determination of sex by discriminant function analysis and stature by regression analysis: a lateral cephalometric study. *Forensic science international*, 147(2), 175-180.
- Peck, S., Peck, L. (1996). Tooth numbering progress. *The Angle Orthodontist*, 66(2), 83-84.
- Pereira, T. V., Salzano, F. M., Mostowska, A., Trzeciak, W. H., Ruiz-Linares, A., Chies, J. A., Saavedra, C., Nagamachi, C., Hurtado, A. M., Hill, K., Castro-de-Guerra, D., Silva-Junior, W. A., Bortolini, M. C. (2006). Natural selection and molecular evolution in primate PAX9 gene, a major determinant of tooth development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(15), 5676-5681.

- Piros, E., Petak, I., Erdos, A., John Hautman, J. D., Julianna Lisziewicz, P. (2016). Market Opportunity for Molecular Diagnostics in Personalized Cancer Therapy. *Handbook of Clinical Nanomedicine: Law, Business, Regulation, Safety, and Risk* (Vol. 2). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Ravdin, P. M., Siminoff, L. A., Davis, G. J., Mercer, M. B., Hewlett, J., Gerson, N., Parker, H. L. (2001). Computer program to assist in making decisions about adjuvant therapy for women with early breast cancer. *Journal of Clinical Oncology*, 19(4), 980-991.
- Raza, M., Le, M. H., Aslam, N., Le, C. H., Le, N. T., Le, T. L. (2016). Telehealth Technology: Potentials, Challenges and Research Directions for Developing Countries. In *IFMBE Proceedings* (Vol. 20, pp. 233-236). Ho Chi Minh City: International Federation of Medical and Biological Engineering.
- Rosenblatt, F. (1957). The perceptron, a perceiving and recognizing automaton *Project Para*(Report No. 85-460-1). New York: Cornell Aeronautical Laboratory.
- Rozkovecová, E., Markova, M., Dolejši, J. (1998). Studies on agenesis of third molars amongst populations of different origin. *Sborník lékařský*, 100(2), 71-84.

- Russell, B. C., Torralba, A., Murphy, K. P., Freeman, W. T. (2008). LabelMe: a database and web-based tool for image annotation. *International journal of computer vision*, 77(1-3), 157-173.
- Shi, J., Malik, J. (2000). Normalized cuts and image segmentation. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 22(8), 888-905.
- Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Van Den Driessche, G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T., Hassabis, D. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. *Nature*, 529(7587), 484-489.
- Simard, P. Y., Steinkraus, D., Platt, J. C. (2003, August). Best practices for convolutional neural networks applied to visual document analysis. In *ICDAR 2003* (Vol. 3, pp. 958-962). Edinburgh: International Conference on Document Analysis and Recognition.
- Simonyan, K., Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.
- Tan, J. W., Andrade, A. O., Li, H., Walter, S., Hrabal, D., Rukavina, S., Limbrecht-Ecklundt, K., Hoffman, H., Traue, H. C. (2016). Recognition

of Intensive Valence and Arousal Affective States via Facial Electromyographic Activity in Young and Senior Adults. *PloS one*, 11(1), e0146691.

Weijer, J., Schmid, C., Verbeek, J., Larlus, D. (2009). Learning color names for real-world applications. *IEEE Transactions on Image Processing*, 18(7), 1512-1523.

Verma, S., Mahima, V. G., Patil, K. (2014). Radiomorphometric analysis of frontal sinus for sex determination. *Journal of forensic dental sciences*, 6(3), 177.

Vondrick, C., Khosla, A., Malisiewicz, T., Torralba, A. (2013). Hoggles: Visualizing object detection features. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (pp. 1-8). Sidney: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Wang, J., Yang, J., Yu, K., Lv, F., Huang, T., Gong, Y. (2010, June). Locality-constrained linear coding for image classification. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2010 IEEE Conference on (pp. 3360-3367). San Francisco, CA: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Williams, D. R. G. H. R., Hinton, G. E. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323, 533-536.

- Winsberg, F., Elkin, M., Macy Jr, J., Bordaz, V., Weymouth, W. (1967).
Detection of radiographic abnormalities in mammograms by means of
optical scanning and computer analysis I. *Radiology*, 89(2), 211-215.
- Zeiler, M. D., Fergus, R. (2014, September). Visualizing and understanding
convolutional networks. In *European Conference on Computer Vision*
(pp. 818-833). Zürich: Springer International Publishing.

Electronic Patent Application Fee Transmittal

Application Number:				
Filing Date:				
Title of Invention:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH			
First Named Inventor/Applicant Name:	Philippe SALAH			
Filer:	Ronald M. Kachmarik/Jackie Carpenter			
Attorney Docket Number:	N-P-51425			
Filed as Large Entity				
Filing Fees for Utility under 35 USC 111(a)				
Description	Fee Code	Quantity	Amount	Sub-Total in USD(\$)
Basic Filing:				
UTILITY APPLICATION FILING	1011	1	300	300
UTILITY SEARCH FEE	1111	1	660	660
UTILITY EXAMINATION FEE	1311	1	760	760
Pages:				
Claims:				
Miscellaneous-Filing:				
LATE FILING FEE FOR OATH OR DECLARATION	1051	1	160	160
Petition:				

Description	Fee Code	Quantity	Amount	Sub-Total in USD(\$)
Patent-Appeals-and-Interference:				
Post-Allowance-and-Post-Issuance:				
Extension-of-Time:				
Miscellaneous:				
Total in USD (\$)				1880

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	33134450
Application Number:	16031201
International Application Number:	
Confirmation Number:	8853
Title of Invention:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
First Named Inventor/Applicant Name:	Philippe SALAH
Customer Number:	108676
Filer:	Ronald M. Kachmarik/Jackie Carpenter
Filer Authorized By:	Ronald M. Kachmarik
Attorney Docket Number:	N-P-51425
Receipt Date:	10-JUL-2018
Filing Date:	
Time Stamp:	13:31:10
Application Type:	Utility under 35 USC 111(a)

Payment information:

Submitted with Payment	yes
Payment Type	CARD
Payment was successfully received in RAM	\$ 1880
RAM confirmation Number	071018INTEFSW13314000
Deposit Account	505088
Authorized User	Emily Arkutik

The Director of the USPTO is hereby authorized to charge indicated fees and credit any overpayment as follows:

37 CFR 1.16 (National application filing, search, and examination fees)

37 CFR 1.17 (Patent application and reexamination processing fees)

0568

37 CFR 1.19 (Document supply fees)
 37 CFR 1.20 (Post Issuance fees)
 37 CFR 1.21 (Miscellaneous fees and charges)

File Listing:

Document Number	Document Description	File Name	File Size(Bytes)/ Message Digest	Multi Part /.zip	Pages (if appl.)
1	Application Data Sheet	ADS.pdf	115985	no	9
			8b9d95c961b59da2941b686252bc3a24e9f4e9dd		

Warnings:

Information:

This is not an USPTO supplied ADS fillable form

2		N-P-51425-UPPA.pdf	64578	yes	4
			6131bf35539a083cf1ed10a1366a243bc11429aa		

Multipart Description/PDF files in .zip description

	Document Description	Start	End
	Preliminary Amendment	1	1
	Abstract	2	2
	Applicant Arguments/Remarks Made in an Amendment	3	3
	Abstract	4	4

Warnings:

Information:

3		ApplicationwithCert.pdf	409168	yes	53
			caf29c0f787cb65d4c135af19f468db2ea41c5f0		

Multipart Description/PDF files in .zip description

	Document Description	Start	End
	Specification	1	48
	Claims	49	52
	Abstract	53	53

Warnings:					
Information:					
4	Drawings-only black and white line drawings	Figures.pdf	2240017	no	11
			6f9fd7c0208e35438509f8ba289dee015da7788f		
Warnings:					
Information:					
5	Information Disclosure Statement (IDS) Form (SB08)	IDS.pdf	74276	no	5
			8caa6cddce7921d6488f352ea23fc691b982b9c9		
Warnings:					
Information:					
This is not an USPTO supplied IDS fillable form					
6	Other Reference-Patent/App/Search documents	FrenchSR.pdf	164933	no	3
			377f5422e63b641bd24b3e44752c7lea53cda8be		
Warnings:					
Information:					
7	Other Reference-Patent/App/Search documents	AnonymousTowardsaSmartHealthcareSystem.pdf	192482	no	1
			542989f321648e4e8e92e9b7ddaf5ac2ea29b17a		
Warnings:					
Information:					
8	Foreign Reference	FR3010629A1withEngTrans.pdf	2173862	no	20
			a70d1d9da6e2edeba3a8df98f5d17e0de339120b		
Warnings:					
Information:					
9	Foreign Reference	FR3027505A1withEngTrans.pdf	8267156	no	46
			851c24ddf830161fc377d9a92599ee5caa3df754		
Warnings:					
Information:					
10	Foreign Reference	JP2017-94181.pdf	5147010	no	50
			11183c4baa2ce27c8fa7dc3ca55e89a6a9c671cf		
Warnings:					

0570

Information:					
11	Other Reference-Patent/App/Search documents	KELWINFERNANDEZTeethPalateandInterdental.pdf	1431598	no	11
			c4707084b3e6fd7a5c956238abc06492b1bf62bc		
Warnings:					
Information:					
12	Other Reference-Patent/App/Search documents	LINPLETALAneffectiveclassification.pdf	1743411	no	13
			fd8731e7946ab4c7ab82cb54a836f5105af46fe1		
Warnings:					
Information:					
13	Other Reference-Patent/App/Search documents	MikiYuma-Classificationofteethincone-beam.pdf	766504	no	6
			ab09510bb6c609929e6b50e8e978f160db65e2fd		
Warnings:					
Information:					
14	Other Reference-Patent/App/Search documents	MIKIYUMA-Toothlabelingincone-beamCT.pdf	522558	no	6
			b318b7f3042859ab6a55072188d33a797367e57e		
Warnings:					
Information:					
15	Other Reference-Patent/App/Search documents	RAMZIBenAli.pdf	516839	no	6
			ec182954372d54b96de0dbb1153608719473dc94		
Warnings:					
Information:					
16	Other Reference-Patent/App/Search documents	ViniciusTraganteetalKnowledgediscoveryinpanoramic.pdf	769436	no	9
			24cacb72d7b53b64daeb52816f100c02a224a526		
Warnings:					
Information:					
17	Foreign Reference	WO2016066651A1.pdf	10209193	no	81
			69b3ab47016c363ac311eb488b37946abf44d83f		
Warnings:					
Information:					

18	Foreign Reference	WO2017182654A1.pdf	14023380 e2be5f92d02e2ccd99d076bb23895f3ebf31b811	no	115
Warnings:					
Information:					
19	Other Reference-Patent/App/Search documents	YoungJunYu-MachineLearningforDentalimage.pdf	2898522 69d865283eefb5aeabc2a18452ae8e4990dbb828	no	62
Warnings:					
Information:					
20	Other Reference-Patent/App/Search documents	YoungJunYu-MachineLearningforDentalimage-2.pdf	2898438 e54f578754a1895d9fd3aaf37586e9bb2a5dd6b6	no	62
Warnings:					
Information:					
21	Fee Worksheet (SB06)	fee-info.pdf	36689 d64098d843bb2e477f18b55328d62b799104a18d	no	2
Warnings:					
Information:					
Total Files Size (in bytes):			54666035		
<p>This Acknowledgement Receipt evidences receipt on the noted date by the USPTO of the indicated documents, characterized by the applicant, and including page counts, where applicable. It serves as evidence of receipt similar to a Post Card, as described in MPEP 503.</p> <p><u>New Applications Under 35 U.S.C. 111</u> If a new application is being filed and the application includes the necessary components for a filing date (see 37 CFR 1.53(b)-(d) and MPEP 506), a Filing Receipt (37 CFR 1.54) will be issued in due course and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the filing date of the application.</p> <p><u>National Stage of an International Application under 35 U.S.C. 371</u> If a timely submission to enter the national stage of an international application is compliant with the conditions of 35 U.S.C. 371 and other applicable requirements a Form PCT/DO/EO/903 indicating acceptance of the application as a national stage submission under 35 U.S.C. 371 will be issued in addition to the Filing Receipt, in due course.</p> <p><u>New International Application Filed with the USPTO as a Receiving Office</u> If a new international application is being filed and the international application includes the necessary components for an international filing date (see PCT Article 11 and MPEP 1810), a Notification of the International Application Number and of the International Filing Date (Form PCT/RO/105) will be issued in due course, subject to prescriptions concerning national security, and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the international filing date of the application.</p>					

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it contains a valid OMB control number.

Application Data Sheet 37 CFR 1.76		Attorney Docket Number	N&P-51425
		Application Number	
Title of Invention	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH		
<p>The application data sheet is part of the provisional or nonprovisional application for which it is being submitted. The following form contains the bibliographic data arranged in a format specified by the United States Patent and Trademark Office as outlined in 37 CFR 1.76.</p> <p>This document may be completed electronically and submitted to the Office in electronic format using the Electronic Filing System (EFS) or the document may be printed and included in a paper filed application.</p>			

Secrecy Order 37 CFR 5.2:

☐ Portions or all of the application associated with this Application Data Sheet may fall under a Secrecy Order pursuant to 37 CFR 5.2 (Paper filers only. Applications that fall under Secrecy Order may not be filed electronically.)

Inventor Information:

Inventor 1 Remove				
Legal Name				
Prefix	Given Name	Middle Name	Family Name	Suffix
	Philippe		SALAH	
Residence Information (Select One) ☐ US Residency ☒ Non US Residency ☐ Active US Military Service				
City	Bagnolet	Country of Residence ⁱ	FR	
Mailing Address of Inventor:				
Address 1		18 rue Edouard VAILLANT		
Address 2				
City	Bagnolet	State/Province		
Postal Code	FR- 93170	Country ⁱ	FR	
Inventor 2 Remove				
Legal Name				
Prefix	Given Name	Middle Name	Family Name	Suffix
	Thomas		PELLISSARD	
Residence Information (Select One) ☐ US Residency ☒ Non US Residency ☐ Active US Military Service				
City	CLICHY	Country of Residence ⁱ	FR	
Mailing Address of Inventor:				
Address 1		13 avenue Anatole France		
Address 2				
City	CLICHY	State/Province		
Postal Code	FR-92110	Country ⁱ	FR	
Inventor 3 Remove				
Legal Name				

Application Data Sheet 37 CFR 1.76		Attorney Docket Number	N&P-51425
		Application Number	
Title of Invention	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH		

Prefix	Given Name	Middle Name	Family Name	Suffix
	Guillaume		GHYSELINCK	
Residence Information (Select One) ☐ US Residency ☒ Non US Residency ☐ Active US Military Service				
City	Cantin	Country of Residence ⁱ	FR	

Mailing Address of Inventor:

Address 1	41 rue d'Arleux			
Address 2				
City	Cantin	State/Province		
Postal Code	FR-59169	Country ⁱ	FR	
Inventor 4				<input type="button" value="Remove"/>

Legal Name				
Prefix	Given Name	Middle Name	Family Name	Suffix
	Laurent		DEBRAUX	
Residence Information (Select One) ☐ US Residency ☒ Non US Residency ☐ Active US Military Service				
City	Paris	Country of Residence ⁱ	FR	

Mailing Address of Inventor:

Address 1	57 rue des cascades			
Address 2				
City	Paris	State/Province		
Postal Code	FR-75020	Country ⁱ	FR	
All Inventors Must Be Listed - Additional Inventor Information blocks may be generated within this form by selecting the Add button. <input type="button" value="Add"/>				

Correspondence Information:

Enter either Customer Number or complete the Correspondence Information section below. For further information see 37 CFR 1.33(a).	
☐ An Address is being provided for the correspondence Information of this application.	
Customer Number	108676
Email Address	<input type="button" value="Add Email"/> <input type="button" value="Remove Email"/>

Application Data Sheet 37 CFR 1.76		Attorney Docket Number	N&P-51425
		Application Number	
Title of Invention	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH		

Application Information:

Title of the Invention	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH		
Attorney Docket Number	N&P-51425	Small Entity Status Claimed	☐
Application Type	Nonprovisional		
Subject Matter	Utility		
Total Number of Drawing Sheets (if any)	11	Suggested Figure for Publication (if any)	

Filing By Reference:

Only complete this section when filing an application by reference under 35 U.S.C. 111(c) and 37 CFR 1.57(a). Do not complete this section if application papers including a specification and any drawings are being filed. Any domestic benefit or foreign priority information must be provided in the appropriate section(s) below (i.e., "Domestic Benefit/National Stage Information" and "Foreign Priority Information").

For the purposes of a filing date under 37 CFR 1.53(b), the description and any drawings of the present application are replaced by this reference to the previously filed application, subject to conditions and requirements of 37 CFR 1.57(a).

Application number of the previously filed application	Filing date (YYYY-MM-DD)	Intellectual Property Authority or Country

Publication Information:

☐ Request Early Publication (Fee required at time of Request 37 CFR 1.219)
☐ Request Not to Publish. I hereby request that the attached application not be published under 35 U.S.C. 122(b) and certify that the invention disclosed in the attached application has not and will not be the subject of an application filed in another country, or under a multilateral international agreement, that requires publication at eighteen months after filing.

Representative Information:

Representative information should be provided for all practitioners having a power of attorney in the application. Providing this information in the Application Data Sheet does not constitute a power of attorney in the application (see 37 CFR 1.32). Either enter Customer Number or complete the Representative Name section below. If both sections are completed the customer Number will be used for the Representative Information during processing.			
Please Select One: ☒ Customer Number ☐ US Patent Practitioner ☐ Limited Recognition (37 CFR 11.9)			
Customer Number	108676		

Application Data Sheet 37 CFR 1.76		Attorney Docket Number	N&P-51425
		Application Number	
Title of Invention	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH		

Domestic Benefit/National Stage Information:

This section allows for the applicant to either claim benefit under 35 U.S.C. 119(e), 120, 121, 365(c), or 386(c) or indicate National Stage entry from a PCT application. Providing benefit claim information in the Application Data Sheet constitutes the specific reference required by 35 U.S.C. 119(e) or 120, and 37 CFR 1.78.

When referring to the current application, please leave the "Application Number" field blank.

Prior Application Status			Remove
Application Number	Continuity Type	Prior Application Number	Filing or 371(c) Date (YYYY-MM-DD)

Additional Domestic Benefit/National Stage Data may be generated within this form by selecting the **Add** button.

Foreign Priority Information:

This section allows for the applicant to claim priority to a foreign application. Providing this information in the application data sheet constitutes the claim for priority as required by 35 U.S.C. 119(b) and 37 CFR 1.55. When priority is claimed to a foreign application that is eligible for retrieval under the priority document exchange program (PDX)ⁱ the information will be used by the Office to automatically attempt retrieval pursuant to 37 CFR 1.55(i)(1) and (2). Under the PDX program, applicant bears the ultimate responsibility for ensuring that a copy of the foreign application is received by the Office from the participating foreign intellectual property office, or a certified copy of the foreign priority application is filed, within the time period specified in 37 CFR 1.55(g)(1).

Application Number	Country ⁱ	Filing Date (YYYY-MM-DD)	Remove
1756947	FR	2017-07-21	Access Code ⁱ (if applicable)

Additional Foreign Priority Data may be generated within this form by selecting the **Add** button.

Statement under 37 CFR 1.55 or 1.78 for AIA (First Inventor to File) Transition Applications

This application (1) claims priority to or the benefit of an application filed before March 16, 2013 and (2) also contains, or contained at any time, a claim to a claimed invention that has an effective filing date on or after March 16, 2013.

☐ NOTE: By providing this statement under 37 CFR 1.55 or 1.78, this application, with a filing date on or after March 16, 2013, will be examined under the first inventor to file provisions of the AIA.

Application Data Sheet 37 CFR 1.76		Attorney Docket Number	N&P-51425
		Application Number	
Title of Invention	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH		

Authorization or Opt-Out of Authorization to Permit Access:

When this Application Data Sheet is properly signed and filed with the application, applicant has provided written authority to permit a participating foreign intellectual property (IP) office access to the instant application-as-filed (see paragraph A in subsection 1 below) and the European Patent Office (EPO) access to any search results from the instant application (see paragraph B in subsection 1 below).

Should applicant choose not to provide an authorization identified in subsection 1 below, applicant **must opt-out** of the authorization by checking the corresponding box A or B or both in subsection 2 below.

NOTE: This section of the Application Data Sheet is **ONLY** reviewed and processed with the **INITIAL** filing of an application. After the initial filing of an application, an Application Data Sheet cannot be used to provide or rescind authorization for access by a foreign IP office(s). Instead, Form PTO/SB/39 or PTO/SB/69 must be used as appropriate.

1. Authorization to Permit Access by a Foreign Intellectual Property Office(s)

A. Priority Document Exchange (PDX) - Unless box A in subsection 2 (opt-out of authorization) is checked, the undersigned hereby **grants the USPTO authority** to provide the European Patent Office (EPO), the Japan Patent Office (JPO), the Korean Intellectual Property Office (KIPO), the State Intellectual Property Office of the People's Republic of China (SIPO), the World Intellectual Property Organization (WIPO), and any other foreign intellectual property office participating with the USPTO in a bilateral or multilateral priority document exchange agreement in which a foreign application claiming priority to the instant patent application is filed, access to: (1) the instant patent application-as-filed and its related bibliographic data, (2) any foreign or domestic application to which priority or benefit is claimed by the instant application and its related bibliographic data, and (3) the date of filing of this Authorization. See 37 CFR 1.14(h)(1).

B. Search Results from U.S. Application to EPO - Unless box B in subsection 2 (opt-out of authorization) is checked, the undersigned hereby **grants the USPTO authority** to provide the EPO access to the bibliographic data and search results from the instant patent application when a European patent application claiming priority to the instant patent application is filed. See 37 CFR 1.14(h)(2).

The applicant is reminded that the EPO's Rule 141(1) EPC (European Patent Convention) requires applicants to submit a copy of search results from the instant application without delay in a European patent application that claims priority to the instant application.

2. Opt-Out of Authorizations to Permit Access by a Foreign Intellectual Property Office(s)

☐ A. Applicant **DOES NOT** authorize the USPTO to permit a participating foreign IP office access to the instant application-as-filed. If this box is checked, the USPTO will not be providing a participating foreign IP office with any documents and information identified in subsection 1A above.

☐ B. Applicant **DOES NOT** authorize the USPTO to transmit to the EPO any search results from the instant patent application. If this box is checked, the USPTO will not be providing the EPO with search results from the instant application.

NOTE: Once the application has published or is otherwise publicly available, the USPTO may provide access to the application in accordance with 37 CFR 1.14.

Application Data Sheet 37 CFR 1.76		Attorney Docket Number	N&P-51425
		Application Number	
Title of Invention	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH		

Applicant Information:

Providing assignment information in this section does not substitute for compliance with any requirement of part 3 of Title 37 of CFR to have an assignment recorded by the Office.

Applicant 1

If the applicant is the inventor (or the remaining joint inventor or inventors under 37 CFR 1.45), this section should not be completed. The information to be provided in this section is the name and address of the legal representative who is the applicant under 37 CFR 1.43; or the name and address of the assignee, person to whom the inventor is under an obligation to assign the invention, or person who otherwise shows sufficient proprietary interest in the matter who is the applicant under 37 CFR 1.46. If the applicant is an applicant under 37 CFR 1.46 (assignee, person to whom the inventor is obligated to assign, or person who otherwise shows sufficient proprietary interest) together with one or more joint inventors, then the joint inventor or inventors who are also the applicant should be identified in this section.

[Clear](#)

☐ Assignee
 ☐ Legal Representative under 35 U.S.C. 117
 ☐ Joint Inventor

☒ Person to whom the inventor is obligated to assign.
 ☐ Person who shows sufficient proprietary interest

If applicant is the legal representative, indicate the authority to file the patent application, the inventor is:

Name of the Deceased or Legally Incapacitated Inventor:

If the Applicant is an Organization check here. ☒

Organization Name

Mailing Address Information For Applicant:

Address 1	47 avenue Hoche		
Address 2			
City	Paris	State/Province	
Country	FR	Postal Code	FR-75008
Phone Number		Fax Number	
Email Address			

Additional Applicant Data may be generated within this form by selecting the Add button.

Assignee Information including Non-Applicant Assignee Information:

Providing assignment information in this section does not substitute for compliance with any requirement of part 3 of Title 37 of CFR to have an assignment recorded by the Office.

Application Data Sheet 37 CFR 1.76		Attorney Docket Number	N&P-51425
		Application Number	
Title of Invention	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH		

Assignee 1

Complete this section if assignee information, including non-applicant assignee information, is desired to be included on the patent application publication. An assignee-applicant identified in the "Applicant Information" section will appear on the patent application publication as an applicant. For an assignee-applicant, complete this section only if identification as an assignee is also desired on the patent application publication.

If the Assignee or Non-Applicant Assignee is an Organization check here. ☐

Prefix	Given Name	Middle Name	Family Name	Suffix

Mailing Address Information For Assignee including Non-Applicant Assignee:

Address 1				
Address 2				
City		State/Province		
Country ¹	Postal Code			
Phone Number		Fax Number		
Email Address				

Additional Assignee or Non-Applicant Assignee Data may be generated within this form by selecting the Add button.

Signature:

NOTE: This Application Data Sheet must be signed in accordance with 37 CFR 1.33(b). However, if this Application Data Sheet is submitted with the **INITIAL** filing of the application and either box A or B is not checked in subsection 2 of the "Authorization or Opt-Out of Authorization to Permit Access" section, then this form must also be signed in accordance with 37 CFR 1.14(c).

This Application Data Sheet **must** be signed by a patent practitioner if one or more of the applicants is a **juristic entity** (e.g., corporation or association). If the applicant is two or more joint inventors, this form must be signed by a patent practitioner, **all** joint inventors who are the applicant, or one or more joint inventor-applicants who have been given power of attorney (e.g., see USPTO Form PTO/AIA/81) on behalf of **all** joint inventor-applicants.

See 37 CFR 1.4(d) for the manner of making signatures and certifications.

Signature	/Ronald M. Kachmarik/			Date (YYYY-MM-DD)	2018-07-10
First Name	Ronald M.	Last Name	Kachmarik	Registration Number	34512

Additional Signature may be generated within this form by selecting the Add button.

Application Data Sheet 37 CFR 1.76		Attorney Docket Number	N&P-51425
		Application Number	
Title of Invention	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH		

This collection of information is required by 37 CFR 1.76. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 23 minutes to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application data sheet form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. **SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.**

Privacy Act Statement

The Privacy Act of 1974 (P.L. 93-579) requires that you be given certain information in connection with your submission of the attached form related to a patent application or patent. Accordingly, pursuant to the requirements of the Act, please be advised that: (1) the general authority for the collection of this information is 35 U.S.C. 2(b)(2); (2) furnishing of the information solicited is voluntary; and (3) the principal purpose for which the information is used by the U.S. Patent and Trademark Office is to process and/or examine your submission related to a patent application or patent. If you do not furnish the requested information, the U.S. Patent and Trademark Office may not be able to process and/or examine your submission, which may result in termination of proceedings or abandonment of the application or expiration of the patent.

The information provided by you in this form will be subject to the following routine uses:

1. The information on this form will be treated confidentially to the extent allowed under the Freedom of Information Act (5 U.S.C. 552) and the Privacy Act (5 U.S.C. 552a). Records from this system of records may be disclosed to the Department of Justice to determine whether the Freedom of Information Act requires disclosure of these records.
2. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, in the course of presenting evidence to a court, magistrate, or administrative tribunal, including disclosures to opposing counsel in the course of settlement negotiations.
3. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Member of Congress submitting a request involving an individual, to whom the record pertains, when the individual has requested assistance from the Member with respect to the subject matter of the record.
4. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a contractor of the Agency having need for the information in order to perform a contract. Recipients of information shall be required to comply with the requirements of the Privacy Act of 1974, as amended, pursuant to 5 U.S.C. 552a(m).
5. A record related to an International Application filed under the Patent Cooperation Treaty in this system of records may be disclosed, as a routine use, to the international Bureau of the World Intellectual Property Organization, pursuant to the Patent Cooperation Treaty.
6. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to another federal agency for purposes of National Security review (35 U.S.C. 181) and for review pursuant to the Atomic Energy Act (42 U.S.C. 218(c)).
7. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the Administrator, General Services, or his/her designee, during an inspection of records conducted by GSA as part of that agency's responsibility to recommend improvements in records management practices and programs, under authority of 44 U.S.C. 2904 and 2906. Such disclosure shall be made in accordance with the GSA regulations governing inspection of records for this purpose, and any other relevant (i.e., GSA or Commerce) directive. Such disclosure shall not be used to make determinations about individuals.
8. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the public after either publication of the application pursuant to 35 U.S.C. 122(b) or issuance of a patent pursuant to 35 U.S.C. 151. Further, a record may be disclosed, subject to the limitations of 37 CFR 1.14, as a routine use, to the public if the record was filed in an application which became abandoned or in which the proceedings were terminated and which application is referenced by either a published application, an application open to public inspections or an issued patent.
9. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Federal, State, or local law enforcement agency, if the USPTO becomes aware of a violation or potential violation of law or regulation.

CD Submission Review Results

Internal Worksheet Only - Do Not Scan

Application Number

16031201

Receipt Date

Jul 10, 2018

☒New
Application☐Response To
Notice

Date Of Response

☐

Jumbo – Large tables are included on the CD

☒**There are no problems with the CDs in the submission.****Items checked below are to be selected in the PALM Pre-Exam CD problem list.**

Omitted Items

☐	Files on compact disc are unreadable:
☐	Disc(s) of either set not readable:
☐	Disc(s) do not contain file names listed:
☐	Amended CD missing unamended files
☐	Missing compact discs

Missing Parts

☐	Disc(s) do not contain file names listed
☐	Discs contains files that are non-ASCII files:
☐	Only one copy of the CD, no duplicate:
☐	Wrong media type, e.g., CD-RW:
☐	The transmittal letter and specification do not list information:
☐	Both disc(s) contain unreadable files:
☐	One disc(s) contain unreadable files:
☐	Compact disc(s) contain viruses, but are still readable:
☐	EFS/Paper Submission:
☐	Table does not maintain data in proper alignment:
☐	Not proper subject matter for CD's:

Informality

☐	No statement in transmittal letter that CD's are the same:
☐	No incorporation by reference statement for the CD's:
☐	CD's not labeled "Copy 1" and "Copy 2":
☐	Deficient CD packaging:
☐	Deficient Labeling on CD's:
☐	The transmittal letter does not list information:
☐	The specification does not list information:
☐	Table less than 51 pages submitted on CD:

File Directory Attachment

☐	Copy of file directory listing is attached and should be mailed to applicant
☐	Copy of file directory listing is not attached
☐	Copy of file directory listing is not attached because it is over one page long

Additional Comments

Internal Worksheet Only - Do Not Scan

SCORE Placeholder Sheet for IFW Content

Application Number: 16031201

Document Date: 07/10/2018

The presence of this form in the IFW record indicates that the following document type was received in electronic format on the date identified above. This content is stored in the SCORE database.

Since this was an electronic submission, there is no physical artifact folder, no artifact folder is recorded in PALM, and no paper documents or physical media exist. The TIFF images in the IFW record were created from the original documents that are stored in SCORE.

- Drawing

At the time of document entry (noted above):

- USPTO employees may access SCORE content via eDAN using the Supplemental Content tab, or via the SCORE web page.
- External customers may access SCORE content via PAIR using the Supplemental Content tab.

PATENT APPLICATION FEE DETERMINATION RECORD Substitute for Form PTO-875						Application or Docket Number 16/031,201				
APPLICATION AS FILED - PART I										
(Column 1)		(Column 2)		SMALL ENTITY		OTHER THAN SMALL ENTITY				
FOR	NUMBER FILED	NUMBER EXTRA	RATE(\$)	FEE(\$)		RATE(\$)	FEE(\$)			
BASIC FEE (37 CFR 1.16(a), (b), or (c))	N/A	N/A	N/A			N/A	300			
SEARCH FEE (37 CFR 1.16(k), (l), or (m))	N/A	N/A	N/A			N/A	660			
EXAMINATION FEE (37 CFR 1.16(o), (p), or (q))	N/A	N/A	N/A			N/A	760			
TOTAL CLAIMS (37 CFR 1.16(j))	13	minus 20 = *			OR	x 100 =	0.00			
INDEPENDENT CLAIMS (37 CFR 1.16(h))	1	minus 3 = *				x 460 =	0.00			
APPLICATION SIZE FEE (37 CFR 1.16(s)) If the specification and drawings exceed 100 sheets of paper, the application size fee due is \$310 (\$155 for small entity) for each additional 50 sheets or fraction thereof. See 35 U.S.C. 41(a)(1)(G) and 37 CFR 1.16(s).							0.00			
							0.00			
MULTIPLE DEPENDENT CLAIM PRESENT (37 CFR 1.16(j))							0.00			
			TOTAL			TOTAL	1720			
* If the difference in column 1 is less than zero, enter "0" in column 2.										
APPLICATION AS AMENDED - PART II										
(Column 1)		(Column 2)		(Column 3)		SMALL ENTITY		OTHER THAN SMALL ENTITY		
AMENDMENT A		CLAIMS REMAINING AFTER AMENDMENT		HIGHEST NUMBER PREVIOUSLY PAID FOR	PRESENT EXTRA	RATE(\$)	ADDITIONAL FEE(\$)	RATE(\$)	ADDITIONAL FEE(\$)	
	Total (37 CFR 1.16(i))	*	Minus	**	=	x =		OR	x =	
	Independent (37 CFR 1.16(h))	*	Minus	***	=	x =		OR	x =	
	Application Size Fee (37 CFR 1.16(s))							OR		
	FIRST PRESENTATION OF MULTIPLE DEPENDENT CLAIM (37 CFR 1.16(j))							OR		
						TOTAL ADD'L FEE		OR	TOTAL ADD'L FEE	
AMENDMENT B		CLAIMS REMAINING AFTER AMENDMENT		HIGHEST NUMBER PREVIOUSLY PAID FOR	PRESENT EXTRA	RATE(\$)	ADDITIONAL FEE(\$)	RATE(\$)	ADDITIONAL FEE(\$)	
	Total (37 CFR 1.16(i))	*	Minus	**	=	x =		OR	x =	
	Independent (37 CFR 1.16(h))	*	Minus	***	=	x =		OR	x =	
	Application Size Fee (37 CFR 1.16(s))							OR		
	FIRST PRESENTATION OF MULTIPLE DEPENDENT CLAIM (37 CFR 1.16(j))							OR		
						TOTAL ADD'L FEE		OR	TOTAL ADD'L FEE	
* If the entry in column 1 is less than the entry in column 2, write "0" in column 3. ** If the "Highest Number Previously Paid For" IN THIS SPACE is less than 20, enter "20". *** If the "Highest Number Previously Paid For" IN THIS SPACE is less than 3, enter "3". The "Highest Number Previously Paid For" (Total or Independent) is the highest found in the appropriate box in column 1.										



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
www.uspto.gov

APPLICATION NUMBER	FILING OR 371(C) DATE	FIRST NAMED APPLICANT	ATTY. DOCKET NO./TITLE
16/031,201	07/10/2018	Philippe SALAH	N&P-51425

CONFIRMATION NO. 8853

FORMALITIES LETTER



108676
Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131

Date Mailed: 07/30/2018

NOTICE TO FILE CORRECTED APPLICATION PAPERS

Filing Date Granted

An application number and filing date have been accorded to this application. The application is informal since it does not comply with the regulations for the reason(s) indicated below. Applicant is given TWO MONTHS from the date of this Notice within which to correct the informalities indicated below. Extensions of time may be obtained by filing a petition accompanied by the extension fee under the provisions of 37 CFR 1.136(a).

The required item(s) identified below must be timely submitted to avoid abandonment:

- A substitute specification in compliance with 37 CFR 1.52, 1.121(b)(3), and 1.125, is required. The substitute specification must be submitted with markings and be accompanied by a clean version (without markings) as set forth in 37 CFR 1.125(c) and a statement that the substitute specification contains no new matter (see 37 CFR 1.125(b)). The specification, claims, and/or abstract page(s) submitted is not acceptable and cannot be scanned or properly stored because:
 - The application contains drawings, but the specification does not contain a brief description of the several views of the drawings as required by 37 CFR 1.74 and 37 CFR 1.77(b)(9).
- Replacement drawings in compliance with 37 CFR 1.84 and 37 CFR 1.121(d) are required. The drawings submitted are not acceptable because:
 - More than one figure is present and each figure is not labeled "Fig." with a consecutive Arabic numeral (1, 2, etc.) or an Arabic numeral and capital letter in the English alphabet (A, B, etc.)(see 37 CFR 1.84(u)(1)). See Figure(s) 17. A brief description of the several views of the drawings (see 37 CFR 1.74) should be added or amended to correspond to the corrected numbering of the figures. See also 37 CFR 1.77(b)(9).

Applicant is cautioned that correction of the above items may cause the specification and drawings page count to exceed 100 pages. If the specification and drawings exceed 100 pages, applicant will need to submit the required application size fee.

Items Required To Avoid Processing Delays:

Applicant is notified that the above-identified application contains the deficiencies noted below. No period for reply is set forth in this notice for correction of these deficiencies. However, if a deficiency relates to the inventor's oath or declaration, the applicant must file an oath or declaration in compliance with 37 CFR 1.63, or a substitute statement in compliance with 37 CFR 1.64, executed by or with respect to each actual inventor no later than the expiration of the time period set in the "Notice of Allowability" to avoid abandonment. See 37 CFR 1.53(f).

- A properly executed inventor's oath or declaration has not been received for the following inventor(s):
Philippe SALAH

Thomas Pellissard
Guillaume Ghyselinck
Laurent Debraux

Replies must be received in the USPTO within the set time period or must include a proper Certificate of Mailing or Transmission under 37 CFR 1.8 with a mailing or transmission date within the set time period. For more information and a suggested format, see Form PTO/SB/92 and MPEP 512.

Replies should be mailed to:

Mail Stop Missing Parts
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria VA 22313-1450

Registered users of EFS-Web may alternatively submit their reply to this notice via EFS-Web, including a copy of this Notice and selecting the document description "Applicant response to Pre-Exam Formalities Notice".
<https://sportal.uspto.gov/authenticate/AuthenticateUserLocalEPF.html>

For more information about EFS-Web please call the USPTO Electronic Business Center at 1-866-217-9197 or visit our website at <http://www.uspto.gov/ebc>.

If you are not using EFS-Web to submit your reply, you must include a copy of this notice.

Questions about the contents of this notice and the requirements it sets forth should be directed to the Office of Data Management, Application Assistance Unit, at **(571) 272-4000** or **(571) 272-4200** or **1-888-786-0101**.

/mabebe/



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
www.uspto.gov

APPLICATION NUMBER	FILING or 371(c) DATE	GRP ART UNIT	FIL FEE REC'D	ATTY. DOCKET NO	TOT CLAIMS	IND CLAIMS
16/031,201	07/10/2018	2668	1880	N&P-51425	13	1

CONFIRMATION NO. 8853

FILING RECEIPT



00000000101236491

108676
Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131

Date Mailed: 07/30/2018

Receipt is acknowledged of this non-provisional patent application. The application will be taken up for examination in due course. Applicant will be notified as to the results of the examination. Any correspondence concerning the application must include the following identification information: the U.S. APPLICATION NUMBER, FILING DATE, NAME OF APPLICANT, and TITLE OF INVENTION. Fees transmitted by check or draft are subject to collection. Please verify the accuracy of the data presented on this receipt. **If an error is noted on this Filing Receipt, please submit a written request for a Filing Receipt Correction. Please provide a copy of this Filing Receipt with the changes noted thereon. If you received a "Notice to File Missing Parts" for this application, please submit any corrections to this Filing Receipt with your reply to the Notice. When the USPTO processes the reply to the Notice, the USPTO will generate another Filing Receipt incorporating the requested corrections**

Inventor(s)

Philippe SALAH, Bagnolet, FRANCE;
Thomas Pellissard, Clichy, FRANCE;
Guillaume Ghyselinck, Cantin, FRANCE;
Laurent Debraux, Paris, FRANCE;

Applicant(s)

DENTAL MONITORING, Paris, FRANCE

Power of Attorney: None

Domestic Applications for which benefit is claimed - None.

A proper domestic benefit claim must be provided in an Application Data Sheet in order to constitute a claim for domestic benefit. See 37 CFR 1.76 and 1.78.

Foreign Applications (You may be eligible to benefit from the **Patent Prosecution Highway** program at the USPTO. Please see <http://www.uspto.gov> for more information.)
FRANCE 1756947 07/21/2017

Permission to Access Application via Priority Document Exchange: Yes

Permission to Access Search Results: Yes

Applicant may provide or rescind an authorization for access using Form PTO/SB/39 or Form PTO/SB/69 as appropriate.

If Required, Foreign Filing License Granted: 07/25/2018

The country code and number of your priority application, to be used for filing abroad under the Paris Convention, is **US 16/031,201**

Projected Publication Date: To Be Determined - pending completion of Corrected Papers

Non-Publication Request: No

Early Publication Request: No

Title

METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Preliminary Class

382

Statement under 37 CFR 1.55 or 1.78 for AIA (First Inventor to File) Transition Applications: No

PROTECTING YOUR INVENTION OUTSIDE THE UNITED STATES

Since the rights granted by a U.S. patent extend only throughout the territory of the United States and have no effect in a foreign country, an inventor who wishes patent protection in another country must apply for a patent in a specific country or in regional patent offices. Applicants may wish to consider the filing of an international application under the Patent Cooperation Treaty (PCT). An international (PCT) application generally has the same effect as a regular national patent application in each PCT-member country. The PCT process **simplifies** the filing of patent applications on the same invention in member countries, but **does not result** in a grant of "an international patent" and does not eliminate the need of applicants to file additional documents and fees in countries where patent protection is desired.

Almost every country has its own patent law, and a person desiring a patent in a particular country must make an application for patent in that country in accordance with its particular laws. Since the laws of many countries differ in various respects from the patent law of the United States, applicants are advised to seek guidance from specific foreign countries to ensure that patent rights are not lost prematurely.

Applicants also are advised that in the case of inventions made in the United States, the Director of the USPTO must issue a license before applicants can apply for a patent in a foreign country. The filing of a U.S. patent application serves as a request for a foreign filing license. The application's filing receipt contains further information and guidance as to the status of applicant's license for foreign filing.

Applicants may wish to consult the USPTO booklet, "General Information Concerning Patents" (specifically, the section entitled "Treaties and Foreign Patents") for more information on timeframes and deadlines for filing foreign patent applications. The guide is available either by contacting the USPTO Contact Center at 800-786-9199, or it can be viewed on the USPTO website at <http://www.uspto.gov/web/offices/pac/doc/general/index.html>.

For information on preventing theft of your intellectual property (patents, trademarks and copyrights), you may wish to consult the U.S. Government website, <http://www.stopfakes.gov>. Part of a Department of Commerce initiative, this website includes self-help "toolkits" giving innovators guidance on how to protect intellectual property in specific countries such as China, Korea and Mexico. For questions regarding patent enforcement issues, applicants may call the U.S. Government hotline at 1-866-999-HALT (1-866-999-4258).

LICENSE FOR FOREIGN FILING UNDER
Title 35, United States Code, Section 184
Title 37, Code of Federal Regulations, 5.11 & 5.15

GRANTED

The applicant has been granted a license under 35 U.S.C. 184, if the phrase "IF REQUIRED, FOREIGN FILING LICENSE GRANTED" followed by a date appears on this form. Such licenses are issued in all applications where the conditions for issuance of a license have been met, regardless of whether or not a license may be required as set forth in 37 CFR 5.15. The scope and limitations of this license are set forth in 37 CFR 5.15(a) unless an earlier license has been issued under 37 CFR 5.15(b). The license is subject to revocation upon written notification. The date indicated is the effective date of the license, unless an earlier license of similar scope has been granted under 37 CFR 5.13 or 5.14.

This license is to be retained by the licensee and may be used at any time on or after the effective date thereof unless it is revoked. This license is automatically transferred to any related applications(s) filed under 37 CFR 1.53(d). This license is not retroactive.

The grant of a license does not in any way lessen the responsibility of a licensee for the security of the subject matter as imposed by any Government contract or the provisions of existing laws relating to espionage and the national security or the export of technical data. Licensees should apprise themselves of current regulations especially with respect to certain countries, of other agencies, particularly the Office of Defense Trade Controls, Department of State (with respect to Arms, Munitions and Implements of War (22 CFR 121-128)); the Bureau of Industry and Security, Department of Commerce (15 CFR parts 730-774); the Office of Foreign Assets Control, Department of Treasury (31 CFR Parts 500+) and the Department of Energy.

NOT GRANTED

No license under 35 U.S.C. 184 has been granted at this time, if the phrase "IF REQUIRED, FOREIGN FILING LICENSE GRANTED" DOES NOT appear on this form. Applicant may still petition for a license under 37 CFR 5.12, if a license is desired before the expiration of 6 months from the filing date of the application. If 6 months has lapsed from the filing date of this application and the licensee has not received any indication of a secrecy order under 35 U.S.C. 181, the licensee may foreign file the application pursuant to 37 CFR 5.15(b).

SelectUSA

The United States represents the largest, most dynamic marketplace in the world and is an unparalleled location for business investment, innovation, and commercialization of new technologies. The U.S. offers tremendous resources and advantages for those who invest and manufacture goods here. Through SelectUSA, our nation works to promote and facilitate business investment. SelectUSA provides information assistance to the international investor community; serves as an ombudsman for existing and potential investors; advocates on behalf of U.S. cities, states, and regions competing for global investment; and counsels U.S. economic development organizations on investment attraction best practices. To learn more about why the United States is the best country in the world to develop technology, manufacture products, deliver services, and grow your business, visit <http://www.SelectUSA.gov> or call +1-202-482-6800.



Brevet d'invention

Certificat d'utilité

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Lille, le 04 JUIN 2018

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
La Directrice du département des données

A handwritten signature in black ink, which appears to read 'Anne Dufour', is written over a horizontal line.

Anne DUFOUR

15 rue des Minimes - CS 50001 - 92677 Courbevoie Cedex

INPI Direct : 0820 210 211 (Service 0,10 €/min + prix appel)

Pour déposer par télécopie : 33 (0)1 56 65 86 00

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

REMISE DES PIÈCES 21/07/2017 DATE 1756947 N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE SARTORIUS Jérôme NONY 11 rue Saint-Georges 75009 PARIS FR
Vos références pour ce dossier BR78393BMJSar		
2 NATURE DE LA DEMANDE		
Nature	Brevet d'invention	
3 TITRE DE L'INVENTION		
Titre	Procédé d'analyse d'une image d'une arcade dentaire	
4 PRIORITÉ		
5-1 DEMANDEUR Personne morale		
Nom	DENTAL MONITORING	
Affaire suivie par		
Rue	47, avenue Hoche	
Code postal et ville	75008 PARIS	
Pays	FR	
Nationalité	FR	
Forme juridique	Société par actions simplifiées (SAS)	
N° SIREN	824 001 259	
Code APE-NAF		
N° de téléphone		
N° de télécopie		
Courrier électronique		
6 MANDATAIRE		
Nom	SARTORIUS	
Prénom	Jérôme	
Cabinet/Société	NONY	

Qualité	CPI : 04-0309, pas de pouvoir			
Rue	11 rue Saint-Georges			
Code postal et ville	75009 PARIS			
Pays	FR			
N° de téléphone	01 43 12 84 60			
N° de télécopie	01 43 12 84 70			
Courrier électronique	nony@nony.fr			
7 RAPPORT DE RECHERCHE				
Type d'établissement	Établissement immédiat			
Type d'envoi	Envoi papier			
8 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES				
En qualité de	PME			
9 DÉPÔT DE MATIÈRE BIOLOGIQUE				
10 SÉQUENCES DE NUCLÉOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS				
11 DOCUMENTS ET FICHIERS JOINTS	Fichier électronique	Détails		
Inventeur	Design.PDF			
Fichier corps du texte	textebrevet.pdf	page(s) 51, D 46, R 4, AB 1		
Drawings	dessins.pdf			
Attestation pour reduction de taxes. 1	redtax-1.pdf	page(s) 1		
12 EXTENSION DE LA PROTECTION				
<p>En cochant la case ci-après, le(s) demandeur(s) manifestent l'intention d'étendre les effets de la demande de brevet et du brevet délivré sur la base de cette demande au territoire indiqué avec lequel des accords d'extension sont en vigueur à la date du dépôt de la demande.</p> <p>☐ Polynésie française</p>				
13 MODE DE PAIEMENT				
Mode de paiement	Prélèvement du compte client			
Numéro du compte	1713			
14 REDEVANCES JOINTES	Devise	Taux	Quantité	Montant à payer
062R Dépôt à taux réduit	EURO	13	1	13
063R Rapport de recherche à taux réduit	EURO	260	1	260
068R Revendication à partir de la 11ème à taux réduit	EURO	21	3	63

Total	EURO 336
15 ANNOTATION	
16 DATE ET SIGNATURE	
Signé numériquement par	Subject: FR, CABINET NONY, Claude JUPIN; Issuer: FR, INPI, INPI-EN-LIGNE 1.1
Date	21 July 2017
Signataire	Mandataire

Conformément aux dispositions de la loi n° 78-17 du 6.01.1978 modifiée relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI. Les données à caractère personnel que vous êtes tenu(e) de nous fournir dans ce formulaire sont exclusivement utilisées pour identifier le titulaire de la demande et son éventuel mandataire.



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITE

Réception électronique de la soumission

Il est certifié par la présente qu'une demande de brevet (ou d'un certificat d'utilité) a été reçue par le biais du dépôt électronique sécurisé de l'INPI. Après réception, un numéro d'enregistrement et une date de réception ont été automatiquement attribués.

Numéro de demande	1756947	
Numéro de soumission	1000415020	
Date de réception	21 juillet 2017	
Vos références	BR78393BMJSar	
Demandeur	DENTAL MONITORING	
Pays	FR	
Titre de l'invention	Procédé d'analyse d'une image d'une arcade dentaire	
Documents envoyés	package-data.xml application-body.xml requetefr.pdf (3 p.) comment.pdf (2 p.) design.pdf (2 p.) textebrevet.pdf (51 p.) redtax-1.pdf (1 p.)	requetefr.xml fr-fee-sheet.xml validation-log.xml indication-bio-deposit.xml fr-office-specific-info.xml dessins.pdf (10 p.)
Déposé par	EMAIL=nony@nony.fr,CN=Claude JUPIN,O=CABINET NONY,C=FR	
Méthode de dépôt	Dépôt électronique	
Date et heure de réception électronique	21 juillet 2017, 15:31:34 (CEST)	
Empreinte officielle du dépôt	8F:65:5B:86:50:6E:6B:05:52:27:AD:E4:85:38:11:E3:3F:8D:0C:E2	

/INPI, section dépôt/

15 rue des Minimes - CS 50001 - 92677 Courbovoie Cedex

INPI Direct : 0820 210 211 (Service 0,10 €/min + prix appel)

Pour déposer par télécopie : 33 (0)1 56 65 86 00

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S)

Vos références pour ce dossier	BR78393BMJSar
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL	
TITRE DE L'INVENTION	
Titre	Procédé d'analyse d'une image d'une arcade dentaire
LE(S) DEMANDEUR(S)	DENTAL MONITORING
DÉSIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S)	
INVENTEUR 1	
Nom	SALAH
Prénom	Philippe
Rue	18, rue Edouard Vaillant
Code postal et ville	93170 BAGNOLET
Pays	FR
INVENTEUR 2	
Nom	PELLISSARD
Prénom	Thomas
Rue	5 rue de la famille Solomon
Code postal et ville	95190 GOUSSAINVILLE
Pays	FR
INVENTEUR 3	
Nom	GHYSELINCK
Prénom	Guillaume
Rue	41 rue d'Arleux
Code postal et ville	59169 CANTIN
Pays	FR
INVENTEUR 4	
Nom	DEBRAUX
Prénom	Laurent
Rue	57 rue des cascades

Code postal et ville	75020 PARIS
Pays	FR
DATE ET SIGNATURE	
Signé numériquement par	Subject: FR, CABINET NONY, Claude JUPIN; Issuer: FR, INPI, INPI-EN-LIGNE 1.1
Date	21 July 2017
Signataire	Mandataire

Conformément aux dispositions de la loi n° 78-17 du 6.01.1978 modifiée relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI. Les données à caractère personnel que vous êtes tenu(e) de nous fournir dans ce formulaire sont exclusivement utilisées pour identifier le titulaire de la demande et son éventuel mandataire.

PROCEDE D'ANALYSE D'UNE IMAGE D'UNE ARCADE DENTAIRE

Domaine technique

La présente invention concerne le domaine de l'analyse d'images d'arcades dentaires.

Etat de la technique

5 Les traitements orthodontiques les plus récents utilisent des images pour évaluer les situations thérapeutiques. Cette évaluation est classiquement effectuée par un orthodontiste, ce qui nécessite que le patient transmette ces images à l'orthodontiste, voire qu'il prenne un rendez-vous.

Il existe un besoin permanent pour un procédé facilitant l'analyse des images d'arcades
10 dentaires de patients.

Un but de l'invention est de répondre à ce besoin.

Résumé de l'invention

L'invention propose un procédé d'analyse d'une image, dite « image d'analyse », d'une arcade dentaire d'un patient, procédé dans lequel l'image d'analyse est soumise à un
15 dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones, afin de déterminer au moins une valeur d'un attribut de dent relative à une dent représentée sur l'image d'analyse, et/ou au moins une valeur d'un attribut d'image relative à l'image d'analyse.

Analyse par dent

L'invention propose en particulier un procédé d'analyse détaillée d'une image dite « image
20 d'analyse » d'une arcade dentaire d'un patient, ledit procédé comportant les étapes suivantes :

- 1) création d'une base d'apprentissage comportant plus de 1 000 images d'arcades dentaires, ou « images historiques », chaque image historique comportant une ou plusieurs zones représentant chacune une dent, ou « zones de dent historiques », à
25 chacune desquelles, pour au moins un attribut de dent, une valeur d'attribut de dent est affectée ;
- 2) entraînement d'au moins un dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones, au moyen de la base d'apprentissage ;

- 3) soumission de l'image d'analyse audit au moins un dispositif d'apprentissage profond de manière qu'il détermine au moins une probabilité relative à une valeur d'attribut d'au moins une dent représentée sur une zone représentant, au moins partiellement, ladite dent dans l'image d'analyse, ou « zone de dent d'analyse » ;
- 5 4) détermination, en fonction de ladite probabilité, de la présence d'une dent de ladite arcade à une position représentée par ladite zone de dent d'analyse, et de la valeur d'attribut de ladite dent.

Un premier dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones, peut être en particulier mis en œuvre pour évaluer une probabilité relative à la présence, à un emplacement de ladite image d'analyse, d'une zone de dent d'analyse.

Un deuxième dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones, peut être en particulier mis en œuvre pour évaluer une probabilité relative au type de dent représenté dans une zone de dent d'analyse.

Comme on le verra plus en détail dans la suite de la description, un procédé d'analyse détaillée selon l'invention permet avantageusement de reconnaître immédiatement le contenu de l'image d'analyse.

L'image d'analyse peut être avantageusement classée automatiquement. Elle est par ailleurs immédiatement exploitable par un programme informatique.

L'invention repose sur l'utilisation d'un dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones, dont la performance est directement liée à la richesse de la base d'apprentissage. Il existe donc également un besoin pour un procédé permettant d'enrichir rapidement la base d'apprentissage.

L'invention concerne donc encore un procédé d'enrichissement d'une base d'apprentissage, notamment destinée à la mise en œuvre d'un procédé d'analyse détaillée selon l'invention, ledit procédé d'enrichissement comportant les étapes suivantes :

- A) à un instant « actualisé », réalisation d'un modèle d'une arcade dentaire d'un patient, ou « modèle de référence actualisé », et segmentation du modèle de référence actualisé de manière à réaliser, pour chaque dent, un « modèle de dent », et pour au moins un attribut de dent, affectation d'une valeur d'attribut de dent à chaque modèle de dent ;
- 30 B) de préférence moins de 6 mois, de préférence moins de 2 mois, de préférence moins de 1 mois, de préférence moins de 15 jours, de préférence moins de 1 semaine, de

préférence moins de 1 jour avant ou après l'instant actualisé, de préférence sensiblement à l'instant actualisé, acquisition d'au moins une, de préférence d'au moins trois, de préférence d'au moins dix, de préférence d'au moins cent images de ladite arcade, ou « images actualisées », dans des conditions d'acquisition réelles respectives ;

C) pour chaque image actualisée, recherche de conditions d'acquisition virtuelles adaptées pour une acquisition d'une image du modèle de référence actualisé, dite « image de référence », présentant une concordance maximale avec l'image actualisée dans lesdites conditions d'acquisition virtuelles, et acquisition de ladite image de référence ;

D) identification, dans l'image de référence, d'au moins une zone représentant un modèle de dent, ou « zone de dent de référence » et, par comparaison de l'image actualisée et de l'image de référence, détermination, dans l'image actualisée, d'une zone représentant ledit modèle de dent, ou « zone de dent actualisée » ;

E) affectation, à ladite zone de dent actualisée, de la ou des valeurs d'attribut de dent dudit modèle de dent ;

F) ajout de l'image actualisée enrichie d'un descriptif de ladite zone de dent actualisée et de sa ou ses valeurs d'attribut de dent, ou « image historique », dans la base d'apprentissage.

En particulier, chaque exécution du procédé décrit dans WO 2016/066651 génère de préférence plus de trois, plus de dix, de préférence plus de cent images actualisées qui, par un traitement automatisé au moyen du modèle de référence actualisé, peuvent produire autant d'images historiques.

Dans un mode de réalisation particulier, le procédé d'enrichissement d'une base d'apprentissage comporte, à la place des étapes A) à C), les étapes suivantes :

A') à un instant initial, réalisation d'un modèle d'une arcade dentaire d'un patient, ou « modèle de référence initial », et segmentation du modèle de référence initial de manière à réaliser, pour chaque dent, un « modèle de dent », et pour au moins un attribut de dent, affectation d'une valeur d'attribut de dent à chaque modèle de dent ;

B') à un instant actualisé, par exemple espacé de plus de quinze jours, de préférence de plus d'un mois, voire de plus de deux mois de l'instant initial, acquisition d'au moins une, de préférence d'au moins trois, de préférence d'au moins dix, de

préférence d'au moins cent images de ladite arcade, ou « images actualisées », dans des conditions d'acquisition réelles respectives ;

- 5 C') pour chaque image actualisée, recherche, par déformation du modèle de référence initial, d'un modèle de référence actualisé et de conditions d'acquisition virtuelles adaptés pour une acquisition d'une image du modèle de référence actualisé, dite « image de référence », présentant une concordance maximale avec l'image actualisée dans lesdites conditions d'acquisition virtuelles.

10 Ce procédé permet avantageusement, après génération du modèle de référence initial, de préférence au moyen d'un scanner, d'enrichir la base d'apprentissage à différents instants actualisés, sans qu'il soit nécessaire d'effectuer un nouveau scan, et donc sans que le patient ait à se déplacer chez l'orthodontiste. Il peut en effet acquérir les images actualisées lui-même, comme décrit dans WO 2016/066651.

Un seul traitement orthodontique peut ainsi conduire à la production de centaines d'images historiques.

- 15 L'invention concerne encore un procédé d'entraînement d'un dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones, comportant un enrichissement d'une base d'apprentissage selon l'invention, puis l'utilisation de ladite base d'apprentissage pour entraîner le dispositif d'apprentissage profond.

Analyse globale

- 20 Le procédé d'analyse détaillée décrit ci-dessus permet avantageusement une analyse fine de l'image d'analyse, la situation de chaque étant de préférence évaluée.

Alternativement, le dispositif d'apprentissage profond peut être utilisé de manière globale, la base d'apprentissage contenant des images historiques dont le descriptif fournit une valeur d'attribut globale pour l'image. L'attribut n'est alors pas un attribut « de dent »,
 25 mais est un attribut « d'image ». Par exemple, cet attribut d'image peut définir si, au regard de l'image dans son ensemble ou d'une partie de l'image, la situation dentaire « est pathologique » ou « n'est pas pathologique », sans qu'un examen de chaque dent soit effectué. L'attribut d'image permet également de détecter, par exemple, si la bouche est ouverte ou fermée, ou, plus généralement, si l'image est adaptée à un traitement ultérieur,
 30 par exemple si elle permet de contrôler l'occlusion.

L'attribut d'image peut être en particulier relatif à

- une position et/ou une orientation et/ou une calibration d'un appareil d'acquisition utilisé pour acquérir ladite image d'analyse, et/ou
- une qualité de l'image d'analyse, et en particulier relatif à la luminosité, au contraste ou à la netteté de l'image d'analyse, et/ou
- 5 - au contenu de l'image d'analyse, par exemple à la représentation des arcades, de la langue, de la bouche, des lèvres, des mâchoires, de la gencive, d'une ou plusieurs dents ou d'un appareil orthodontique.

Lorsque l'attribut d'image fait référence au contenu de l'image, le descriptif des images historiques de la base d'apprentissage précise une caractéristique de ce contenu. Par
 10 exemple, il peut préciser la position de la langue (par exemple « en retrait ») ou l'ouverture de la bouche du patient (par exemple bouche ouverte ou fermée) ou la présence d'une représentation d'un appareil orthodontique et/ou son état (par exemple appareil intact, cassé ou endommagé).

Une valeur d'attribut de dent peut être utilisée pour définir une valeur pour un attribut
 15 d'image. Par exemple, si une valeur d'un attribut de dent est « dent cariée », la valeur d'un attribut d'image peut être « situation dentaire insatisfaisante ».

L'attribut d'image peut être en particulier relatif à une situation thérapeutique.

L'invention propose un procédé d'analyse globale d'une image d'analyse d'une arcade dentaire d'un patient, ledit procédé comportant les étapes suivantes :

- 20 1') création d'une base d'apprentissage comportant plus de 1 000 images d'arcades dentaires, ou « images historiques », chaque image historique comportant une valeur d'attribut pour au moins un attribut d'image, ou « valeur d'attribut d'image » ;
- 25 2') entraînement d'au moins un dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones, au moyen de la base d'apprentissage ;
- 30 3') soumission de l'image d'analyse au dispositif d'apprentissage profond de manière qu'il détermine, pour ladite image d'analyse, au moins une probabilité relative à ladite valeur d'attribut d'image, et détermination, en fonction de ladite probabilité, d'une valeur pour ledit attribut d'image pour l'image d'analyse.

30 L'attribut d'image peut être en particulier relatif à l'orientation de l'appareil d'acquisition lors de l'acquisition de l'image d'analyse. Il peut par exemple prendre les valeurs « photo de face », « photo de gauche » et « photo de droite ».

L'attribut d'image peut être également relatif à la qualité de l'image. Il peut par exemple prendre les valeurs « contraste insuffisant » et « contraste acceptable ».

- 5 L'attribut d'image peut être également relatif à la situation dentaire du patient, par exemple être relatif à la présence d'une carie ou à l'état d'un appareil orthodontique porté par le patient (« dégradé » ou « en bon état » par exemple) ou à l'adéquation de l'appareil orthodontique au traitement du patient (par exemple « inadapté » ou « adapté »).

L'attribut d'image peut être encore relatif à la « présence » ou « l'absence » d'un appareil orthodontique, ou à l'état d'ouverture de la bouche (« bouche ouverte », « bouche fermée » par exemple).

- 10 Comme on le verra plus en détail dans la suite de la description, un procédé d'analyse globale d'images selon l'invention permet avantageusement d'évaluer immédiatement et globalement le contenu de l'image d'analyse. En particulier, il est possible d'évaluer globalement une situation dentaire et, par exemple, d'en déduire la nécessité de consulter un orthodontiste.

15 **Définitions**

Un « patient » est une personne pour laquelle un procédé selon l'invention est mis en œuvre, indépendamment du fait que cette personne suive un traitement orthodontique ou non.

- 20 Par « orthodontiste », on entend toute personne qualifiée pour prodiguer des soins dentaires, ce qui inclut également un dentiste.

Par « pièce orthodontique », on entend tout ou partie d'un appareil orthodontique.

- 25 Une pièce orthodontique peut être en particulier une gouttière orthodontique. Une telle gouttière s'étend de manière à suivre les dents successives de l'arcade sur laquelle elle est fixée. Elle définit une goulotte de forme générale en « U », dont la forme est déterminée pour assurer la fixation de la gouttière sur les dents, mais également en fonction d'un positionnement cible souhaité pour les dents. Plus précisément, la forme est déterminée de manière que, lorsque la gouttière est dans sa position de service, elle exerce des contraintes tendant à déplacer les dents traitées vers leur positionnement cible, ou à maintenir les dents dans ce positionnement cible.

La « position de service » est la position dans laquelle la pièce orthodontique est portée par le patient.

Par « modèle », on entend un modèle tridimensionnel numérique. Un agencement de modèles de dent est donc un modèle.

- 5 Par "image", on entend une image en deux dimensions, comme une photographie ou une image extraite d'un film. Une image est formée de pixels.

Une « image de référence » est une vue d'un modèle « de référence ».

Par « image d'une arcade », ou « modèle d'une arcade », on entend une représentation de tout ou partie de ladite arcade.

- 10 Les « conditions d'acquisition » d'une image précisent la position et l'orientation dans l'espace d'un appareil d'acquisition de cette image relativement aux dents du patient (conditions d'acquisition réelles) ou à un modèle de dents du patient (conditions d'acquisition virtuelles), et de préférence la calibration de cet appareil d'acquisition. Des conditions d'acquisition sont dites "virtuelles" lorsqu'elles correspondent à une simulation
- 15 dans laquelle l'appareil d'acquisition serait dans lesdites conditions d'acquisition (positionnement et de préférence calibration théoriques de l'appareil d'acquisition) par rapport à un modèle.

Dans des conditions d'acquisition virtuelles d'une image de référence, l'appareil d'acquisition peut être également qualifié de « virtuel ». L'image de référence est en effet

20 acquise par un appareil d'acquisition fictif, ayant les caractéristiques de l'appareil d'acquisition « réel » ayant servi à l'acquisition des images réelles, et en particulier des images actualisées.

La « calibration » d'un appareil d'acquisition est constituée par l'ensemble des valeurs des paramètres de calibration. Un "paramètre de calibration" est un paramètre intrinsèque à

25 l'appareil d'acquisition (à la différence de sa position et de son orientation) dont la valeur influence l'image acquise. De préférence, les paramètres de calibration sont choisis dans le groupe formé par l'ouverture de diaphragme, le temps d'exposition, la distance focale et la sensibilité.

Une "information discriminante" est une information caractéristique qui peut être extraite

30 d'une image ("*image feature*"), classiquement par un traitement informatique de cette image.

Une information discriminante peut présenter un nombre variable de valeurs. Par exemple, une information de contour peut être égale à 1 ou 0 selon qu'un pixel appartient ou non à un contour. Une information de brillance peut prendre un grand nombre de valeurs. Le traitement de l'image permet d'extraire et de quantifier l'information discriminante.

- 5 L'information discriminante peut être représentée sous la forme d'une « carte ». Une carte est ainsi le résultat d'un traitement d'une image afin de faire apparaître l'information discriminante, par exemple le contour des dents et des gencives.

On appelle « concordance » (« *match* » ou « *fit* » *en* anglais) entre deux objets une mesure de la différence entre ces deux objets. Une concordance est maximale (« *best fit* »)

- 10 lorsqu'elle résulte d'une optimisation permettant de manière à minimiser ladite différence.

Un objet modifié pour obtenir une concordance maximale peut être qualifié d'objet « optimal ».

Deux images ou « vues » qui présentent une concordance maximale représentent sensiblement au moins une même dent, de la même façon. Autrement dit, les

- 15 représentations de la dent sur ces deux images sont sensiblement superposables.

La recherche d'une image de référence présentant une concordance maximale avec une image actualisée s'effectue en recherchant les conditions d'acquisition virtuelles de l'image de référence présentant une concordance maximale avec les conditions d'acquisition réelles de l'image actualisée.

- 20 Par extension, un modèle présente une concordance maximale avec une image lorsque ce modèle a été choisi parmi plusieurs modèles parce qu'il permet une vue présentant une concordance maximale avec ladite image et/ou lorsque cette image a été choisie parmi plusieurs images parce qu'elle présente une concordance maximale avec une vue dudit modèle.

- 25 En particulier, une image actualisée est en concordance maximale avec un modèle de référence lorsqu'une vue de ce modèle de référence fournit une image de référence en concordance maximale avec l'image actualisée.

La comparaison entre deux images résulte de préférence de la comparaison de deux cartes correspondantes. On appelle classiquement « distance » une mesure de la différence entre

- 30 deux cartes ou entre deux images.

Les méthodes « métaheuristiques » sont des méthodes d'optimisation connues. Elles sont de préférence choisies dans le groupe formé par

- 5 - les algorithmes évolutionnistes, de préférence choisie parmi:
les stratégies d'évolution, les algorithmes génétiques, les algorithmes à
évolution différentielle, les algorithmes à estimation de distribution, les
systèmes immunitaires artificiels, la recombinaison de chemin Shuffled
Complex Evolution, le recuit simulé, les algorithmes de colonies de fourmis,
les algorithmes d'optimisation par essais particuliers, la recherche avec
tabous, et la méthode GRASP ;
- 10 - l'algorithme du kangourou,
- la méthode de Fletcher et Powell,
- la méthode du bruitage,
- la tunnelisation stochastique,
- l'escalade de collines à recommencements aléatoires,
- 15 - la méthode de l'entropie croisée, et
- les méthodes hybrides entre les méthodes métaheuristiques citées ci-dessus.

On appelle « descriptif » d'une image, une information notamment relative à la définition des zones de dent de cette image et aux valeurs d'attribut de dent qui leur sont associées, et/ou relative à une valeur d'attribut d'image de ladite image. Le nombre de valeurs possible pour un attribut de dent ou un attribut d'image n'est pas limité.

Une image « historique » est une image d'une arcade dentaire enrichie d'un descriptif. Les zones de dent d'une image historique sont qualifiées de « zones de dent historiques ».

Il faut interpréter "comprenant " ou "comportant " ou "présentant " de manière non restrictive, sauf indication contraire.

25 **Breve description des figures**

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description détaillée qui va suivre et à l'examen du dessin annexé dans lequel :

- la figure 1 représente, schématiquement, les différentes étapes d'un procédé d'analyse détaillée d'une image, selon l'invention ;
- 30 - la figure 2 représente, schématiquement, les différentes étapes d'un procédé d'enrichissement d'une base d'apprentissage, selon l'invention ;

- la figure 3 représente, schématiquement, les différentes étapes d'une variante d'un procédé d'enrichissement d'une base d'apprentissage, selon l'invention ;
- la figure 4 représente, schématiquement, les différentes étapes d'un procédé d'analyse globale d'une image, selon l'invention ;
- 5 - la figure 5 représente, schématiquement, les différentes étapes d'une étape C) d'un procédé d'enrichissement d'une base d'apprentissage, selon l'invention ;
- la figure 6 représente, schématiquement, les différentes étapes d'un procédé de modélisation de l'arcade dentaire d'un patient, selon l'invention ;
- la figure 7 représente, schématiquement, les différentes étapes d'un procédé d'évaluation d'une situation dentaire d'un patient, selon l'invention ;
- 10 - la figure 8 représente, schématiquement, les différentes étapes d'un procédé d'acquisition d'une image d'une arcade dentaire d'un patient, selon l'invention ;
- la figure 9 représente, schématiquement, les différentes étapes d'un procédé d'évaluation de la forme d'une gouttière orthodontique d'un patient, selon l'invention ;
- 15 - la figure 10 représente un exemple d'une image de référence d'un modèle de référence initial ;
- la figure 11 (11a-11d) illustre un traitement pour déterminer les modèles de dent dans un modèle de référence initial, comme décrit dans WO 2016 066651 ;
- 20 - la figure 12 (12a-12d) illustre l'acquisition d'une image au moyen d'un écarteur, une opération de découpage de cette image, et le traitement d'une image actualisée permettant de déterminer le contour des dents, comme décrit dans WO 2016 066651 ;
- la figure 13 illustre schématiquement la position relative de marques de repérage 12 d'un écarteur 10 sur des images actualisées 14₁ et 14₂, selon les directions d'observation représentées en traits interrompus ;
- 25 - les figures 14 et 15 représentent une gouttière orthodontique, en perspective et vue de dessus, respectivement ;
- la figure 16 illustre l'étape e) décrite dans WO 2016 066651 ;
- 30 - la figure 17 illustre un procédé d'enrichissement selon l'invention.

Description détaillée

Un procédé d'analyse détaillée selon l'invention nécessite la création d'une base d'apprentissage. Cette création met de préférence en œuvre un procédé comportant les étapes A) à F), ou, dans un mode de réalisation, à la place des étapes A) à C), de préférence les étapes A') à C').

Premier mode de réalisation principal du procédé d'enrichissement

L'étape A) est destinée à la réalisation d'un modèle de référence actualisé modélisant une arcade du patient. Elle comprend de préférence une ou plusieurs des caractéristiques de l'étape a) de WO 2016 066651, incorporé par référence, pour réaliser un modèle de référence initial.

Le modèle de référence actualisé est de préférence créé avec un scanner 3D. Un tel modèle, dit « 3D », peut être observé selon un angle quelconque. Une observation du modèle, selon un angle et à une distance déterminés, est appelée une « vue » ou « image de référence ».

La figure 11a est un exemple d'image de référence.

Le modèle de référence actualisé peut être préparé à partir de mesures effectuées sur les dents du patient ou sur un moulage de ses dents, par exemple un moulage en plâtre.

Pour chaque dent, on définit, à partir du modèle de référence actualisé, un modèle de ladite dent, ou « modèle de dent » (figure 11d). Cette opération, connue en elle-même, est appelée « segmentation » du modèle de référence actualisé.

Dans le modèle de référence actualisé, un modèle de dent est de préférence délimité par un bord gingival qui peut être décomposé en un bord gingival intérieur (du côté de l'intérieur de la bouche par rapport à la dent), un bord gingival extérieur (orienté vers l'extérieur de la bouche par rapport à la dent) et deux bords gingivaux latéraux.

Un ou plusieurs attributs de dent sont associés aux modèles de dent en fonction des dents qu'ils modélisent.

L'attribut de dent est de préférence choisi parmi un numéro de dent, un type de dent, un paramètre de forme de la dent, par exemple une largeur de dent, en particulier une largeur mésio-palatine, une épaisseur, une hauteur de couronne, un indice de déflexion en mésial et distal du bord incisif, ou un niveau d'abrasion, un paramètre d'apparence de la dent, en

particulier un indice de translucidité ou un paramètre de couleur, un paramètre relatif à l'état de la dent, par exemple « abrasée », « cassée », « cariée » ou « appareillée » (c'est-à-dire en contact avec un appareil orthodontique), un âge pour le patient, ou une combinaison de ces attributs.

- 5 Une valeur d'attribut de dent peut être affectée à chaque attribut de dent d'un modèle de dent particulier.

Par exemple, l'attribut de dent « type de dent » aura la valeur « incisive », « canine » ou « molaire » selon que le modèle de dent est celui d'une incisive, d'une canine ou d'une molaire, respectivement.

- 10 L'affectation des valeurs d'attribut de dent aux modèles de dent peut être manuelle ou, au moins en partie, automatique. Par exemple, si la valeur d'un attribut de dent est identique quel que soit le modèle de dent, comme pour l'attribut de dent « âge du patient », il peut suffire d'attribuer une valeur à un modèle de dent pour déterminer la valeur de cet attribut pour les autres modèles de dent.

- 15 De même, les numéros de dent sont classiquement attribués selon une règle standard. Il suffit donc de connaître cette règle et le numéro d'une dent modélisée par un modèle de dent pour calculer les numéros des autres modèles de dent.

- 20 Dans un mode de réalisation préféré, la forme d'un modèle de dent particulier est analysée de manière à définir sa valeur d'attribut de dent, par exemple son numéro. Cette reconnaissance de forme est de préférence réalisée au moyen d'un dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones. De préférence, on crée une bibliothèque de modèles de dents historiques, chaque modèle de dent historique ayant une valeur pour l'attribut de dent, comme décrit ci-après (étape a)), on entraîne le dispositif d'apprentissage profond avec des vues des modèles de dent historiques de cette
- 25 bibliothèque, puis on analyse une ou plusieurs vues du modèle de dent particulier avec le dispositif d'apprentissage profond entraîné, de manière à déterminer la valeur d'attribut de dent dudit modèle de dent particulier.

L'attribution des valeurs d'attribut de dent peut alors être totalement réalisée sans intervention humaine.

- 30 **L'étape B)** est destinée à l'acquisition d'une ou de préférence plusieurs images actualisées.

L'étape B) comprend de préférence une ou plusieurs des caractéristiques de l'étape b) de WO 2016 066651.

L'acquisition des images actualisées est réalisée au moyen d'un appareil d'acquisition d'images, de préférence choisi parmi un téléphone mobile, un appareil photo dit
5 « connecté », une montre dite « intelligente », ou « smartwatch », une tablette ou un ordinateur personnel, fixe ou portable, comportant un système d'acquisition d'images, comme une webcam ou un appareil photo. De préférence l'appareil d'acquisition d'images est un téléphone mobile.

De préférence, une image actualisée est une photographie ou est une image extraite d'un
10 film. Elle est de préférence en couleurs, de préférence en couleurs réelles.

L'intervalle de temps entre les étapes A) et B) est le plus faible possible afin que les dents ne se soient sensiblement pas déplacées entre la réalisation du modèle actualisé et l'acquisition des images actualisées. Des images de référence concordantes avec les images actualisées peuvent alors peut être acquises en observant le modèle de référence actualisé.

De préférence, on utilise un écarteur dentaire 10 lors de l'étape B), comme représenté sur la figure 12a. L'écarteur comporte classiquement un support muni d'un rebord s'étendant autour d'une ouverture et agencé de manière que les lèvres du patient puissent y reposer en laissant les dents du patient apparaître à travers ladite ouverture.

A l'étape C), le modèle de référence actualisé est exploré pour trouver, pour chaque image actualisée, une image de référence présentant une concordance maximale avec l'image actualisée.
20

L'étape C) peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques des étapes c), d) et e) de WO 2016 066651, dans la mesure où elles concernent une telle exploration.

Pour chaque image actualisée, on détermine de préférence, de manière grossière, un
25 ensemble de conditions d'acquisition virtuelles approximant les conditions d'acquisition réelles lors de l'acquisition de ladite image actualisée. Autrement dit, on estime la position de l'appareil d'acquisition d'images par rapport aux dents au moment où il a pris l'image actualisée (position de l'appareil d'acquisition dans l'espace et orientation de cet appareil). Cette évaluation grossière permet avantageusement de limiter le nombre de tests sur des
30 conditions d'acquisition virtuelles lors des opérations suivantes, et permet donc d'accélérer considérablement ces opérations.

Pour effectuer cette évaluation grossière, on utilise de préférence une ou plusieurs règles heuristiques. Par exemple, de préférence, on exclut des conditions d'acquisition virtuelles susceptibles d'être testées lors des opérations suivantes, les conditions qui correspondent à une position de l'appareil d'acquisition d'images derrière les dents ou à une distance des dents supérieure à 1 m.

Dans un mode de réalisation préféré, comme illustré sur la figure 13, on utilise des marques de repérage représentées sur l'image actualisée, et en particulier des marques de repérage 12 de l'écarteur, pour déterminer une région de l'espace sensiblement conique délimitant des conditions d'acquisition virtuelles susceptibles d'être testées lors des opérations suivantes, ou "cône de test".

Plus précisément, on dispose de préférence au moins trois marques de repérage 12 non alignées sur l'écarteur 10, et on mesure précisément leurs positions relatives sur l'écarteur.

Les marques de repérage sont ensuite repérées sur l'image actualisée, comme décrit précédemment. De simples calculs trigonométriques permettent de déterminer approximativement la direction selon laquelle l'image actualisée a été prise.

Ensuite, pour chaque image actualisée, on recherche une image de référence présentant une concordance maximale avec l'image actualisée. Cette recherche est de préférence effectuée au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé.

De préférence, on traite l'image actualisée pour réaliser au moins une carte actualisée représentant, au moins partiellement, une information discriminante, et ladite recherche comporte les étapes suivantes :

- C1) détermination de conditions d'acquisition virtuelles « à tester » ;
- C2) réalisation d'une image de référence du modèle de référence actualisé dans lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester ;
- C3) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de référence représentant, au moins partiellement, l'information discriminante ;
- C4) comparaison des cartes actualisée et de référence de manière à déterminer une valeur pour une fonction d'évaluation, ladite valeur pour la fonction d'évaluation dépendant des différences entre lesdites cartes actualisée et de référence et correspondant à une

décision de poursuivre ou de stopper la recherche de conditions d'acquisition virtuelles approximant lesdites conditions d'acquisition réelles avec plus d'exactitude que lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester déterminées à la dernière occurrence de l'étape C1) ;

C5) si ladite valeur pour la fonction d'évaluation correspond à une décision de poursuivre ladite recherche, modification des conditions d'acquisition virtuelles à tester, puis reprise à l'étape C2).

A l'étape C1), on commence par déterminer des conditions d'acquisition virtuelles à tester, c'est-à-dire une position et une orientation virtuelles susceptibles de correspondre à la position et l'orientation réelles de l'appareil d'acquisition lors de la capture de l'image actualisée, mais aussi, de préférence, une calibration virtuelle susceptible de correspondre à la calibration réelle de l'appareil d'acquisition lors de la capture de l'image actualisée.

Les premières conditions d'acquisition virtuelles à tester sont de préférence des conditions d'acquisition virtuelles évaluées grossièrement, comme décrit précédemment.

A l'étape C2), on configure ensuite virtuellement l'appareil d'acquisition d'images dans les conditions d'acquisition virtuelles à tester afin d'acquérir une image de référence du modèle de référence actualisé dans ces conditions d'acquisition virtuelles à tester. L'image de référence correspond donc à l'image qu'aurait prise l'appareil d'acquisition d'images s'il avait été placé, par rapport au modèle de référence actualisé, et optionnellement calibré, dans les conditions d'acquisition virtuelles à tester.

Si l'image actualisée a été prise sensiblement au même moment que le modèle de référence actualisé a été créé par un scan des dents du patient, la position des dents sur l'image actualisée est sensiblement identique à celle dans le modèle de référence actualisé. Si les conditions d'acquisition virtuelles à tester sont exactement les conditions d'acquisition réelles, l'image de référence est donc exactement superposable à l'image actualisée. Les différences entre l'image actualisée et l'image de référence résultent d'erreurs dans l'évaluation des conditions d'acquisition virtuelles à tester, si elles ne correspondent pas exactement aux conditions d'acquisition réelles.

A l'étape C3), pour comparer les images actualisée et de référence, on compare l'information discriminante de ces deux images.

De préférence, à un instant quelconque avant l'étape C4), l'image actualisée est analysée de manière à réaliser une carte actualisée relative à au moins une information discriminante. La carte actualisée représente donc l'information discriminante dans le référentiel de l'image actualisée.

- 5 L'information discriminante est de préférence choisie dans le groupe constitué par une information de contour, une information de couleur, une information de densité, une information de distance, une information de brillance, une information de saturation, une information sur les reflets et des combinaisons de ces informations.

10 L'homme de l'art sait comment traiter une image actualisée pour faire apparaître l'information discriminante.

Par exemple, la figure 12d est une carte actualisée relative au contour des dents obtenue à partir de l'image actualisée de la figure 12b.

De manière analogue, on réalise, à partir de l'image de référence, une carte de référence représentant l'information discriminante (figures 11a et 11b).

- 15 **A l'étape C4)**, les cartes actualisée et de référence, portant toutes les deux sur la même information discriminante, sont comparées et on évalue la différence ou « distance » entre ces deux cartes au moyen d'un score. Par exemple, si l'information discriminante est le contour des dents, on peut comparer la distance moyenne entre les points du contour des dents qui apparaît sur l'image de référence et les points du contour correspondant qui
20 apparaît sur l'image actualisée, le score étant d'autant plus élevé que cette distance est faible.

Le score peut être par exemple un coefficient de corrélation.

- 25 De préférence, les conditions d'acquisition virtuelles comprennent les paramètres de calibration de l'appareil d'acquisition. Le score est d'autant plus élevé que les valeurs des paramètres de calibration testées sont proches des valeurs des paramètres de calibration de l'appareil d'acquisition utilisé lors de l'acquisition de l'image actualisée. Par exemple, si l'ouverture de diaphragme testée est éloignée de celle de l'appareil d'acquisition utilisé lors de l'acquisition de l'image actualisée, l'image de référence présente des régions floues et des régions nettes qui ne correspondent pas aux régions floues et aux régions nettes de
30 l'image actualisée. Si l'information discriminante est le contour des dents, les cartes actualisée et de référence ne représenteront donc pas les mêmes contours et le score sera faible.

Le score est ensuite évalué au moyen d'une fonction d'évaluation. La fonction d'évaluation permet de décider si le cyclage sur les étapes C1) à C5) doit être poursuivi ou stoppé. La fonction d'évaluation peut par exemple être égale à 0 si le cyclage doit être stoppé ou être égale à 1 si le cyclage doit se poursuivre.

- 5 La valeur de la fonction d'évaluation peut dépendre du score atteint. Par exemple, il peut être décidé de poursuivre le cyclage si le score ne dépasse pas un seuil. Par exemple, si une correspondance exacte entre les images actualisée et de référence conduit à un score de 100%, le seuil peut être, par exemple, de 95%. Bien entendu, plus le seuil sera élevé, meilleure sera la précision de l'évaluation des conditions d'acquisition virtuelles si le score
- 10 parvient à dépasser ce seuil.

La valeur de la fonction d'évaluation peut également dépendre de scores obtenus avec des conditions d'acquisition virtuelles testées précédemment.

La valeur de la fonction d'évaluation peut également dépendre de paramètres aléatoires et/ou du nombre de cycles déjà effectués.

- 15 En particulier, il est possible qu'en dépit de la répétition des cycles, on ne parvienne pas à trouver des conditions d'acquisition virtuelles qui soient suffisamment proches des conditions d'acquisition réelles pour que le score atteigne ledit seuil. La fonction d'évaluation peut alors conduire à la décision de quitter le cycle bien que le meilleur score obtenu n'ait pas atteint ledit seuil. Cette décision peut résulter, par exemple, d'un nombre
- 20 de cycles supérieur à un nombre maximal prédéterminé.

Un paramètre aléatoire dans la fonction d'évaluation peut également autoriser la poursuite de tests de nouvelles conditions d'acquisition virtuelles, bien que le score apparaisse satisfaisant.

- 25 Les fonctions d'évaluation classiquement utilisées dans les procédés d'optimisation métaheuristiques, de préférence évolutionnistes, en particulier dans les procédés de recuit simulé, peuvent être utilisées pour la fonction d'évaluation.

- 30 **A l'étape C5),** si la valeur de la fonction d'évaluation indique qu'il est décidé de poursuivre le cyclage, on modifie les conditions d'acquisition virtuelles à tester et on recommence le cyclage sur les étapes C1) à C5) consistant à réaliser une image de référence et une carte de référence, à comparer la carte de référence avec la carte actualisée pour déterminer un score, puis à prendre une décision en fonction de ce score.

La modification des conditions d'acquisition virtuelles à tester correspond à un déplacement virtuel dans l'espace et/ou à une modification de l'orientation et/ou, de préférence, à une modification de la calibration de l'appareil d'acquisition. Cette modification peut être aléatoire, de préférence de manière que les nouvelles conditions d'acquisition virtuelles à tester appartiennent toujours à l'ensemble déterminé lors de l'évaluation grossière. La modification est de préférence guidée par des règles heuristiques, par exemple en favorisant les modifications qui, d'après une analyse des précédents scores obtenus, apparaissent les plus favorables pour augmenter le score.

Le cyclage est poursuivi jusqu'à ce que la valeur de la fonction d'évaluation indique qu'il est décidé de cesser ce cyclage et de poursuivre à l'étape D), par exemple si le score atteint ou dépasse ledit seuil.

L'optimisation des conditions d'acquisition virtuelles est de préférence effectuée en utilisant une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence un algorithme de recuit simulé. Un tel algorithme est bien connu pour l'optimisation non linéaire.

Si on a quitté le cyclage, sans qu'un score satisfaisant ait pu être obtenu, par exemple sans que le score ait pu atteindre ledit seuil, le procédé peut être arrêté (situation d'échec) ou une nouvelle étape C) peut être lancée, avec une nouvelle information discriminante et/ou avec une nouvelle image actualisée. Le procédé peut être également poursuivi avec les conditions d'acquisition virtuelles correspondant au meilleur score atteint. Un avertissement peut être émis afin d'informer l'utilisateur de l'erreur sur le résultat.

Si on a quitté le cyclage alors qu'un score satisfaisant a pu être obtenu, par exemple parce que le score a atteint, voire dépassé ledit seuil, les conditions d'acquisition virtuelles correspondent sensiblement aux conditions d'acquisition réelles de l'image actualisée.

De préférence, les conditions d'acquisition virtuelles comprennent les paramètres de calibration de l'appareil d'acquisition. Le procédé permet ainsi d'évaluer les valeurs de ces paramètres sans qu'il soit nécessaire de connaître la nature de l'appareil d'acquisition ou son réglage. L'acquisition des images actualisées peut donc être réalisée sans précaution particulière, par exemple par le patient lui-même au moyen de son téléphone mobile.

En outre, la recherche de la calibration réelle est effectuée en comparant une image actualisée avec des vues d'un modèle de référence dans des conditions d'acquisition virtuelles à tester. Avantageusement, elle ne nécessite pas que l'image actualisée fasse

apparaître une jauge étalon de calibration, c'est-à-dire une jauge dont on connaît précisément les caractéristiques permettant déterminer la calibration de l'appareil d'acquisition.

L'étape C) aboutit donc à la détermination de conditions d'acquisition virtuelles présentant une concordance maximale avec les conditions d'acquisition réelles. L'image de référence est donc en concordance maximale avec l'image actualisée, c'est-à-dire que ces deux images sont sensiblement superposables.

A l'étape D), on identifie les zones de dent de référence sur l'image de référence et on les reporte sur l'image actualisée pour définir des zones de dent actualisées correspondantes.

- 10 En particulier, l'image de référence est une vue du modèle de référence actualisé segmenté en modèles de dent. Les limites de la représentation de chaque modèle de dent sur l'image de référence, ou « zone de dent de référence », peuvent donc être identifiées.

La superposition des images actualisée et de référence permet ensuite de reporter les limites des zones de dent de référence sur l'image actualisée, et ainsi de définir les zones de dent actualisées. L'image de référence étant en concordance maximale avec l'image actualisée, les zones de dent actualisées définissent donc sensiblement les limites des modèles de dent représentés sur l'image de référence.

A l'étape E), on affecte, à chaque zone de dent actualisée, la ou les valeurs d'attribut de dent du modèle de dent qui lui correspond.

- 20 En particulier, l'image de référence est une vue du modèle de référence actualisé dans lequel les modèles de dents ont été affectés de valeurs d'attribut de dent respectives pour au moins un attribut de dent, par exemple un numéro de dent. Chaque zone de dent de référence peut donc hériter de la valeur d'attribut de dent du modèle de dent qu'elle représente. Chaque zone de dent actualisée peut ensuite hériter de la valeur d'attribut de dent de la zone de dent de référence qui a permis de la définir.

A l'issue de l'étape E), on obtient donc une image actualisée et un descriptif de l'image actualisée définissant une ou plusieurs zones de dent actualisées et, pour chacune de ces zones, une valeur d'attribut de dent pour au moins un attribut de dent, par exemple un numéro de dent.

- 30 On appelle « image historique » l'image actualisée enrichie de son descriptif.



La figure 17a montre un exemple d'image actualisée (acquise lors de l'étape B)) en cours d'analyse afin de déterminer les contours des dents. La figure 17b montre l'image de référence présentant une concordance maximale avec l'image actualisée (résultant de l'étape C)). Les numéros des dents sont affichés sur les dents correspondantes. La figure 17c illustre le report des numéros de dent sur les zones de dent actualisées (étapes D) et E)).

A l'étape F), l'image historique est ajoutée dans la base d'apprentissage.

Les étapes A) à F) sont de préférence réalisées pour plus de 1 000, plus de 5 000, ou plus de 10 000 patients différents, ou « patients historiques ».

- 10 Comme cela apparaît clairement à présent, l'invention fournit un procédé particulièrement efficace pour créer une base d'apprentissage.

Deuxième mode de réalisation principal du procédé d'enrichissement

L'invention n'est cependant pas limitée aux modes de réalisation décrits ci-dessus.

- 15 En particulier, le modèle de référence actualisé n'est pas nécessairement le résultat direct d'un scan de l'arcade du patient. Le modèle de référence actualisé peut être en particulier un modèle obtenu par déformation d'un modèle de référence initial lui-même résultant directement d'un tel scan.

Le procédé comporte alors, de préférence, à la place des étapes A) à C), les étapes A') à C').

- 20 **L'étape A')** est identique à l'étape A). A l'étape A'), le modèle de référence généré est cependant destiné à être modifié. Il est donc qualifié de « modèle de référence initial », et non pas de « modèle de référence actualisé », comme selon l'étape A).

- 25 Le modèle de référence initial peut être en particulier généré à un instant initial précédant un traitement orthodontique actif, par exemple moins de 6 mois, moins de 3 mois, ou moins de 1 mois avant le début du traitement. Les étapes B') à C') peuvent être alors mises en œuvre pour suivre l'évolution du traitement entre l'instant initial et l'instant actualisé de l'étape B').

L'instant initial peut être alternativement un instant en fin de traitement orthodontique actif, par exemple moins de 6 mois, moins de 3 mois, ou moins de 1 mois après la fin du

traitement. Les étapes B') à C') peuvent alors être mises en œuvre pour surveiller l'apparition d'une récurrence éventuelle.

L'étape B') est identique à l'étape B). A l'étape B'), les images actualisées sont cependant également destinées à guider la modification du modèle de référence initial pour définir le modèle de référence actualisé, à l'étape C').

L'intervalle de temps entre les étapes A') et B') n'est limité, puisque, comme expliqué ci-après, le modèle de référence initial sera déformé pour obtenir un modèle de référence actualisé en concordance maximale avec les images actualisées. L'intervalle de temps entre les étapes A') et B') peut être par exemple supérieur à 1 semaine, à 2 semaines, à 1 mois, à 2 mois ou à 6 mois.

L'étape C') est plus complexe que l'étape C) puisque la recherche d'une image de référence présentant une concordance maximale avec une image actualisée ne se limite pas à rechercher les conditions d'acquisition virtuelles optimales. Elle comprend également une recherche d'un modèle de référence actualisé, c'est-à-dire d'un modèle de référence dans lequel les dents ont sensiblement la même position que sur l'image actualisée.

L'étape C') comprend de préférence une ou plusieurs des caractéristiques des étapes c), d) et e) de WO 2016 066651, et en particulier de l'étape e) illustrée sur la figure 16.

L'objectif est de modifier le modèle de référence initial jusqu'à obtenir un modèle de référence actualisé qui présente une concordance maximale avec l'image actualisée. Idéalement, le modèle de référence actualisé est donc un modèle de l'arcade à partir duquel l'image actualisée aurait pu être prise si ce modèle avait été l'arcade elle-même.

On teste donc une succession de modèles de référence « à tester », le choix d'un modèle de référence à tester étant de préférence dépendant du niveau de correspondance des modèles de référence « à tester » précédemment testés avec l'image actualisée.

De préférence, la recherche comporte, pour une image actualisée,

- une première opération d'optimisation permettant de rechercher, dans un modèle de référence à tester déterminé à partir du modèle de référence initial, des conditions d'acquisition virtuelles correspondant au mieux aux conditions d'acquisition réelles de l'image actualisée, et

- une deuxième opération d'optimisation permettant de rechercher, en testant une pluralité de dits modèles de référence à tester, le modèle de référence correspondant au mieux au positionnement des dents du patient lors de l'acquisition de l'image actualisée.

De préférence, une première opération d'optimisation est effectuée pour chaque test d'un
5 modèle de référence à tester lors de la deuxième opération d'optimisation.

De préférence, la première opération d'optimisation et/ou la deuxième opération d'optimisation, de préférence la première opération d'optimisation et la deuxième opération d'optimisation mettent en œuvre une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence un recuit simulé.

- 10 L'étape C') aboutit donc à la détermination
- d'un modèle de référence actualisé présentant une concordance maximale avec l'image actualisée, et
 - de conditions d'acquisition virtuelles présentant une concordance maximale avec les conditions d'acquisition réelles.

- 15 Un procédé comportant les étapes A') à C') peut être avantageusement mis en œuvre dans le cadre d'un traitement orthodontique actif ou passif, ou, de manière plus générale, pour suivre toute évolution des dents.

Dans les différents procédés selon l'invention, l'enrichissement de la base d'apprentissage ne résulte pas nécessairement d'un procédé d'enrichissement selon l'invention.

- 20 Dans un mode de réalisation, la base d'apprentissage est créée par un opérateur. Ce dernier analyse ainsi des milliers d'images d'analyse. Pour que la base d'apprentissage puisse servir à la mise en œuvre d'un procédé d'analyse détaillée, il détermine les zones de dent, puis leur attribue des valeurs d'attribut de dent. Pour que la base d'apprentissage puisse servir à la mise en œuvre d'un procédé d'analyse globale, il attribue des valeurs d'attribut
25 d'image à chaque image. Il peut ainsi constituer des images historiques.

Procédé d'analyse détaillée d'images

Le procédé d'analyse détaillée d'une « image d'analyse » d'une arcade dentaire d'un patient selon l'invention comporte les étapes 1) à 4).

- A l'étape 1),** on crée une base d'apprentissage comportant plus de 1 000, de préférence
30 plus de 5 000, de préférence plus de 10 000, de préférence plus de 30 000, de préférence

plus de 50 000, de préférence plus de 100 000 images historiques. Plus le nombre d'images historiques est élevé, meilleure est l'analyse réalisée par le procédé.

De préférence on utilise une base d'apprentissage enrichie suivant un procédé d'enrichissement selon l'invention.

- 5 La base d'apprentissage peut cependant être constituée suivant d'autres procédés, par exemple être créée manuellement. Pour créer une image historique de la base d'apprentissage, un opérateur, de préférence un orthodontiste, identifie une ou plusieurs zones de dent « historiques » sur une image, dite puis affecte, à chaque zone de dent historique identifiée, une valeur pour au moins un attribut de dent
- 10 **A l'étape 2),** on entraîne un dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones, avec la base d'apprentissage.

Un « réseau de neurones » ou « réseau neuronal artificiel » est un ensemble d'algorithmes bien connu de l'homme de l'art.

Le réseau de neurones peut être en particulier choisi parmi :

- 15 – les réseaux spécialisés dans la classification d'images, appelés « CNN » (« Convolutional neural network »), par exemple
 - AlexNet (2012)
 - ZF Net (2013)
 - VGG Net (2014)
 - 20 – GoogleNet (2015)
 - Microsoft ResNet (2015)
 - Caffé: BAIR Reference CafféNet, BAIR AlexNet
 - Torch: VGG_CNN_S, VGG_CNN_M, VGG_CNN_M_2048, VGG_CNN_M_1024, VGG_CNN_M_128, VGG_CNN_F, VGG_ILSVRC-2014 16-layer, VGG_ILSVRC-2014 19-layer, Network-in-Network (Imagenet & CIFAR-10)
 - 25 – Google : Inception (V3, V4).
- Les réseaux spécialisés dans la localisation, et détection d'objets dans une image, les Object Detection Network, par exemple:
 - R-CNN (2013)



- SSD (Single Shot MultiBox Detector : Object Detection network), Faster R-CNN (Faster Region-based Convolutional Network method : Object Detection network)
- Faster R-CNN (2015)
- 5 – SSD (2015).

La liste ci-dessus n'est pas limitative.

A l'étape 2), le dispositif d'apprentissage profond est de préférence entraîné par un processus d'apprentissage appelé « *deep learning* ». En présentant, en entrée du dispositif d'apprentissage profond, des images historiques (images + descriptifs), le dispositif d'apprentissage profond apprend progressivement à reconnaître sur une image, des motifs, en anglais « *patterns* », et à les associer à des zones de dent et à des valeurs d'attribut de dent, par exemple des numéros de dent.

A l'étape 3), on soumet l'image que l'on souhaite analyser, ou « image d'analyse », au dispositif d'apprentissage profond.

15 Grâce à son entraînement à l'étape 2), le dispositif d'apprentissage profond est capable d'analyser l'image d'analyse et d'y reconnaître desdits motifs. Il peut en particulier déterminer une probabilité relative à :

- la présence, à un emplacement dans ladite image d'analyse, d'une zone représentant, au moins partiellement, une dent, ou « zone de dent d'analyse », 20
- la valeur d'attribut de la dent représentée sur ladite zone de dent d'analyse.

Par exemple, il est capable de déterminer qu'il y a 95% de chances qu'une forme de l'image d'analyse représente une incisive.

De préférence, le dispositif d'apprentissage profond analyse toute l'image d'analyse et détermine des probabilités pour l'ensemble des zones de dent d'analyse qu'il a identifiées.

25 **A l'étape 4),** on analyse les résultats de l'étape précédente pour déterminer les dents représentées sur l'image d'analyse.

Lorsque la base d'apprentissage comporte plus de 10 000 images historiques, l'étape 3) conduit à des résultats particulièrement satisfaisants. En particulier, une telle base d'apprentissage permet d'établir un seuil de probabilité telle que si une probabilité associée 30 à une zone de dent d'analyse et à une valeur d'attribut de dent pour cette zone de dent

d'analyse dépasse ledit seuil, la zone de dent d'analyse représente effectivement une dent ayant ladite valeur d'attribut de dent.

L'étape 4) conduit ainsi à la définition d'une image d'analyse enrichie d'un descriptif définissant les zones de dent d'analyse et, pour chaque zone de dent d'analyse, les valeurs des attributs de la dent représentée par la zone de dent d'analyse.

Procédé d'analyse globale d'images

Le procédé d'analyse globale d'une image actualisée d'une arcade dentaire d'un patient selon l'invention comporte les étapes 1') à 3').

- 10 Le procédé est similaire au procédé d'analyse détaillée décrit ci-dessus, à la différence que, selon l'analyse globale, il n'est pas nécessaire d'analyser la situation individuelle de chaque dent. L'analyse est globale à toute l'image. Autrement dit, le dispositif d'apprentissage profond détermine la valeur d'un attribut « d'image » sans devoir déterminer préalablement des valeurs d'attribut de dent.
- 15 Par exemple, le dispositif d'apprentissage profond peut conclure que, « globalement », la situation dentaire est « satisfaisante » ou « insatisfaisante », sans déterminer la dent éventuellement à l'origine de l'insatisfaction.

L'étape 1') est similaire à l'étape 1). Les images historiques comportent cependant un descriptif précisant une valeur d'attribut d'image pour chaque image.

- 20 **L'étape 2')** est similaire à l'étape 2).

A l'étape 3'), on soumet l'image d'analyse au dispositif d'apprentissage profond.

Grâce à son entraînement à l'étape 2'), le dispositif d'apprentissage profond est capable d'analyser l'image d'analyse et d'y reconnaître desdits motifs. En fonction de ces motifs, il peut en particulier déterminer une probabilité relative à la valeur de l'attribut d'image considéré.

Application à la modélisation d'une arcade dentaire

Un procédé d'analyse détaillée selon l'invention est en particulier utile pour modéliser une arcade dentaire, notamment pour l'établissement d'un diagnostic à distance.



Il est souhaitable que chacun fasse régulièrement contrôler sa dentition, notamment afin de vérifier que la position de ses dents n'évolue pas défavorablement. Lors d'un traitement orthodontique, cette évolution défavorable peut notamment conduire à modifier le traitement. Après un traitement orthodontique, une évolution défavorable, appelée

5 « récidive », peut conduire à une reprise d'un traitement. Enfin, de manière plus générale et indépendamment de tout traitement, chacun peut souhaiter suivre les déplacements éventuels de ses dents.

Classiquement, les contrôles sont effectués par un orthodontiste qui dispose d'un appareillage adapté. Ces contrôles sont donc coûteux. En outre, les visites sont

10 contraignantes. Enfin, certaines personnes appréhendent une visite chez un orthodontiste et renonceront à prendre rendez-vous pour un simple contrôle ou pour évaluer la faisabilité d'un traitement orthodontique.

US 2009/0291417 décrit un procédé permettant de créer, puis de modifier des modèles tridimensionnels, notamment pour la fabrication d'appareils orthodontiques.

15 WO 2016 066651 décrit un procédé de contrôle du positionnement et/ou de la forme et/ou de l'aspect de dents d'un patient. Ce procédé comporte une étape de création d'un modèle de référence initial des dents, à un instant initial, de préférence avec un scanner 3D, puis, à un instant ultérieur, ou « instant actualisé », par exemple six mois après l'instant initial, la création d'un modèle de référence actualisé, par déformation du modèle de référence

20 initial. Cette déformation est effectuée de manière que le modèle de référence actualisé permette des observations sensiblement identiques à des images des dents acquises à l'instant actualisé, en particulier à des photos ou des images d'une vidéo prises par le patient lui-même, sans précautions particulières, dites « images actualisées ».

Les images actualisées servent donc à modifier le modèle de référence initial, très précis.

25 Le modèle de référence actualisé qui résulte de la déformation du modèle de référence initial, guidée par l'analyse des images actualisées, est donc également très précis.

Le procédé décrit dans WO 2016/66651 nécessite cependant un rendez-vous chez l'orthodontiste afin de créer le modèle de référence initial. Ce rendez-vous constitue un frein à la prévention. En effet, un patient ne consultera pas nécessairement un orthodontiste

30 s'il n'en perçoit pas la nécessité. Autrement dit, le procédé n'est souvent mis en œuvre que lorsqu'une malocclusion est constatée et qu'il faut la corriger.

Il existe donc un besoin pour un procédé répondant à ce problème, en facilitant la prévention.

Un but de l'invention est de répondre à ce besoin.

A cet effet, l'invention propose un procédé de modélisation d'une arcade dentaire d'un patient, ledit procédé comportant les étapes suivantes :

- a) création d'une bibliothèque historique comportant plus de 1 000 modèles de dents, dits « modèles de dents historiques », et attribution à chaque modèle de dent historique, d'une valeur pour au moins un attribut de dent, ou « valeur d'attribut de dent » ;
- 10 b) analyse d'au moins une « image d'analyse » de l'arcade dentaire suivant un procédé d'analyse détaillée selon l'invention, de manière à déterminer au moins une zone de dent d'analyse et au moins une valeur d'attribut de dent associée à ladite zone de dent d'analyse ;
- 15 c) pour chaque zone de dent d'analyse déterminée à l'étape précédente, recherche, dans la bibliothèque historique, d'un modèle de dent historique présentant une proximité maximale avec l'image d'analyse ou avec la zone de dent d'analyse, ou « modèle de dent optimal » ;
- d) agencement de l'ensemble des modèles de dents optimaux de manière à créer un modèle qui présente une concordance maximale avec l'image actualisée, ou
- 20 « modèle assemblé » ;
- e) optionnellement, remplacement d'au moins un modèle de dent optimal par un autre modèle de dent historique et reprise à l'étape d) de manière à maximiser la concordance entre le modèle assemblé et l'image d'analyse ;
- 25 f) optionnellement, reprise de l'étape b) avec une autre image d'analyse et à l'étape d) et/ou e), recherche d'une concordance maximale avec l'ensemble des images d'analyse utilisées.

L'invention permet ainsi, à partir d'une simple image d'analyse, par exemple d'une photographie prise au moyen d'un téléphone mobile, de reconstituer, avec une bonne fiabilité, une arcade dentaire. Bien entendu, l'analyse d'une seule image d'analyse ne suffit

30 pas à générer un modèle assemblé qui corresponde précisément à l'agencement des dents

du patient. Une telle précision n'est cependant généralement pas indispensable pour effectuer un premier diagnostic de la situation dentaire du patient.

Par ailleurs, la précision du modèle assemblé peut être augmentée si plusieurs images d'analyse sont traitées.

- 5 Les étapes b) à c) sont de préférence mises en œuvre pour plusieurs images d'analyse et, aux étapes d) et e), on recherche des modèles de dents optimaux et un modèle assemblé de manière à obtenir une concordance maximale au regard de l'ensemble des images d'analyse (étape f)).

10 L'invention concerne encore un procédé d'évaluation d'une situation dentaire d'un patient, comportant les étapes suivantes :

- i) création d'un modèle assemblé suivant un procédé de modélisation selon l'invention ;
- ii) transmission du modèle assemblé à un destinataire, de préférence un orthodontiste et/ou un ordinateur ;
- 15 iii) analyse de la situation orthodontique du patient, par le destinataire, à partir du modèle assemblé ;
- iv) de préférence, information du patient de la situation orthodontique, de préférence, par l'intermédiaire de son téléphone mobile.

20 Le patient peut donc demander très facilement à un orthodontiste de vérifier sa situation dentaire, sans même devoir se déplacer, en se contentant de transmettre une ou de préférence plusieurs photos de ses dents.

Un procédé de modélisation est à présent décrit en détail.

25 **A l'étape a),** on crée une bibliothèque historique comportant plus de 1 000, de préférence plus de 5 000, de préférence plus de 10 000 modèles de dent historiques. Plus le nombre de modèles de dent historiques est élevé, plus précis est le modèle assemblé.

De préférence, on enrichit la bibliothèque avec les modèles de dent résultant de la mise en œuvre du procédé décrit dans WO 2016 066651 ou de l'étape A) ou A') décrite ci-dessus.

Un ou plusieurs attributs de dent, en particulier choisi dans la liste fournie ci-dessus, sont associés aux modèles de dent. Une valeur d'attribut de dent est affectée à chaque attribut

de dent d'un modèle de dent particulier, comme décrit précédemment (voir la description de l'étape A)). Par exemple, un modèle de dent est celui d'une « incisive », « fortement usée » et dont les paramètres de couleur sont, dans le système de couleurs $L^*a^*b^*$ selon la norme NF ISO 7724, « $a^*=2$ », « $b^*=1$ » et « $L^*=58$ ».

- 5 **A l'étape b)**, l'image d'analyse est analysée suivant un procédé d'analyse détaillée selon l'invention. Les caractéristiques optionnelles de ce procédé sont également optionnelles à l'étape b).

A l'issue de l'étape b), on obtient une image d'analyse enrichie d'un descriptif fournissant, pour chaque zone de dent d'analyse, une valeur d'attribut de dent pour au moins un attribut de dent, par exemple un numéro de dent.

A l'étape c), on recherche dans la bibliothèque historique, pour chaque zone de dent d'analyse déterminée à l'étape précédente, un modèle de dent historique présentant une proximité maximale avec la zone de dent d'analyse. Ce modèle de dent est qualifié de « modèle de dent optimal ».

- 15 La « proximité » est une mesure d'une ou plusieurs différences entre le modèle de dent historique et la zone de dent d'analyse. Ces différences peuvent inclure une différence de forme, mais également d'autres différences comme une différence de translucidité ou de couleur. On peut rechercher la proximité maximale en minimisant successivement plusieurs différences, ou en minimisant une combinaison de ces différences, par exemple
20 une somme pondérée de ces différences.

La « proximité » est donc une notion plus large que la « concordance », la concordance ne mesurant qu'une proximité relative à la forme.

L'évaluation de la proximité d'un modèle de dent historique avec une zone de dent d'analyse comporte de préférence une comparaison d'au moins une valeur d'un attribut de dent de la zone de dent d'analyse avec la valeur de cet attribut pour le modèle de dent historique. Une telle évaluation est avantageusement très rapide.

Par exemple, si le descriptif de la zone de dent d'analyse fournit une valeur pour le type ou le numéro de la dent, de l'épaisseur de la dent représentée et/ou la hauteur de sa couronne et/ou sa largeur mésio-palatine et/ou l'indice de déflexion en mésial et distal de son bord incisif, cette valeur peut être comparée à la valeur de l'attribut correspondant de chacun
30 des modèles de dent historiques.



De préférence, on recherche un modèle de dent historique ayant, pour au moins un attribut de dent, la même valeur que ladite zone de dent d'analyse. L'attribut de dent peut en particulier être relatif au type de dent ou au numéro de dent. Autrement dit, on filtre les modèles de dent historique pour n'examiner plus en détail que ceux qui sont relatifs au même type de dent que la dent représentée sur la zone de dent d'analyse.

Alternativement ou, de préférence, en complément de cette comparaison des valeurs d'attribut, la forme de la dent représentée sur la zone de dent d'analyse peut être comparée à la forme d'un modèle de dent historique à évaluer, de préférence au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé.

A cet effet, on observe suivant différents angles le modèle de dent historique à évaluer. Chaque vue ainsi obtenue est comparée avec l'image d'analyse, de préférence avec la zone de dent d'analyse de manière à établir une « distance » entre cette vue et ladite image d'analyse ou, de préférence, ladite zone de dent d'analyse. La distance mesure ainsi la différence entre la vue et la zone de dent d'analyse.

La distance peut être déterminée après un traitement de la vue et de l'image d'analyse ou, de préférence, de la zone de dent d'analyse, de manière à faire apparaître, sur des cartes correspondantes, une même information discriminante, par exemple une information de contour, comme décrit ci-dessus à l'étape C3) ou dans WO 2016 066651.

Pour chaque modèle de dent historique testé, on détermine ainsi une vue fournissant une distance minimale avec l'image d'analyse ou avec la zone de dent d'analyse. Chaque modèle de dent historique examiné est ainsi associé à une distance minimale particulière, qui mesure sa proximité de forme avec la zone de dent d'analyse.

Le modèle de dent historique optimal est celui qui, au regard de la ou des comparaisons effectuées, est considéré comme le plus proche de la zone de dent d'analyse.

On compare ensuite les distances minimales obtenues pour les différents modèles de dent testés et on retient, pour définir le modèle de dent optimal, celui qui présente la plus petite distance minimale. Le modèle de dent optimal présente donc une concordance maximale avec l'image d'analyse.

La recherche de la concordance maximale s'effectue de préférence au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé.

Dans un mode de réalisation préféré, on effectue successivement une première évaluation des modèles de dent historiques par comparaison des valeurs d'au moins un attribut de dent, par exemple du numéro de dent, avec les valeurs correspondantes de la zone de dent d'analyse, puis une deuxième évaluation par comparaison de forme. La première
 5 évaluation, rapide, permet avantageusement de filtrer les modèles de dent historiques afin de ne soumettre à la deuxième évaluation, plus lente, que les modèles de dents historiques retenus par la première évaluation.

Par exemple, si une zone de dent d'analyse représente une dent n°15, la première évaluation permet de ne retenir que les modèles de dent modélisant des dents n°15. Lors de
 10 la deuxième évaluation, on recherche, parmi l'ensemble des modèles de dent historiques modélisant des dents n°15, le modèle de dent historique dont la forme se rapproche le plus de celle de la dent représentée.

De préférence encore, plusieurs premières évaluations sont effectuées avant d'effectuer la deuxième évaluation. Par exemple, les premières évaluations permettent de filtrer les
 15 modèles de dent historiques de manière à ne retenir que les modèles de dent modélisant des dents n°15 et qui présentent une hauteur de couronne comprise entre 8 et 8,5 mm.

A l'issue de l'étape c), on a ainsi associé un modèle de dent optimal à chacune des zones de dent d'analyse.

A l'étape d), on crée un modèle assemblé en agencant les modèles de dent optimaux.

20 Un premier agencement grossier peut être établi en considérant les valeurs d'attribut de dent des modèles de dent optimaux. Par exemple, si les numéros de dent de modèles de dent optimaux sont ceux des canines et des incisives, ces modèles de dents peuvent être disposés suivant un arc correspondant classiquement à la région de l'arcade qui porte ces types de dents.

25 La forme de cet arc peut être affinée en fonction d'autres valeurs d'attribut de dent.

L'ordre des modèles de dent optimaux est celui des zones de dent d'analyse correspondantes.

Par ailleurs, la distance minimale associée à un modèle de dent optimal résulte d'une observation du modèle de dent suivant une direction d'observation « optimale ».

30 Autrement dit, c'est vraisemblablement sensiblement selon cette direction que la dent que ce modèle modélise est également observée dans l'image d'analyse. Tous les modèles de

dent optimaux sont ainsi de préférence orientés de manière que leurs directions d'observation optimales respectives soient toutes parallèles.

Il est ainsi possible de définir un premier agencement des modèles de dent optimaux.

De préférence, le premier agencement des modèles de dent optimaux est ensuite modifié
5 itérativement, de manière à présenter une concordance maximale avec l'image d'analyse.

Pour évaluer un agencement, on l'observe suivant différents angles. Chaque vue ainsi obtenue est comparée avec l'image d'analyse de manière à établir une « distance » entre cette vue et ladite image d'analyse. La distance mesure ainsi la différence entre la vue et l'image d'analyse.

10 La distance peut être déterminée après un traitement de la vue et de l'image d'analyse de manière à faire apparaître, sur une des cartes correspondantes, une information discriminante, par exemple une information de contour, comme décrit ci-dessus à l'étape C3) ou dans WO 2016 066651.

Pour chaque agencement examiné, on détermine ainsi une vue fournissant une distance
15 minimale avec l'image d'analyse. Chaque agencement examiné est ainsi associé à une distance minimale.

On compare ensuite les distances minimales obtenues pour les différents agencements testés et on retient, pour définir l'agencement optimal, celui qui présente la plus petite distance minimale. L'agencement optimal présente donc une concordance maximale avec
20 l'image d'analyse.

La recherche de la concordance maximale s'effectue de préférence au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé.

A l'issue de l'étape d), on obtient un agencement optimal des modèles de dent optimaux, c'est-à-dire le modèle assemblé.

25 **A l'étape e)** optionnelle, on remplace un ou plusieurs modèles de dents optimaux par d'autres modèles de dent, puis on reprend à l'étape d) de manière à maximiser la concordance entre le modèle assemblé et l'image d'analyse.

Il est en effet possible qu'un modèle de dent optimal, dans l'agencement « optimal », ne présente plus une concordance maximale avec l'image d'analyse. En particulier, le modèle
30 de dent pouvait être observé dans une direction « optimale » qui fournissait une vue

présentant une distance minimale avec l'image d'analyse (raison pour laquelle il a été considéré comme optimal). Mais, dans l'agencement optimal, il n'est plus orienté selon la direction optimale.

Une nouvelle recherche d'un modèle assemblé peut donc être effectuée en modifiant les modèles de dents, par exemple en remplaçant les modèles de dents optimaux par des modèles de dent proches.

La recherche des modèles de dent à tester s'effectue de préférence au moyen d'une méthode métaheuristique, de préférence évolutionniste, de préférence par recuit simulé.

Dans le mode de réalisation préféré, le procédé met donc en œuvre une double optimisation, sur les modèles de dent et sur l'agencement des modèles de dent, le modèle assemblé étant l'agencement d'un ensemble de modèles de dent qui fournit la distance minimale avec l'image d'analyse, en considérant tous les modèles de dents possibles et tous les agencements possibles.

A l'étape f), optionnelle et préférée, le procédé met en œuvre plusieurs images d'analyse de l'arcade du patient, de préférence plus de 3, plus de 5, plus de 10, plus de 50, de préférence plus de 100 images d'analyse. Le modèle assemblé est ainsi plus complet. De préférence encore, le procédé met en œuvre une optimisation de manière que le modèle assemblé obtenu soit optimal au regard de l'ensemble des images d'analyse. Autrement dit, le modèle assemblé est de préférence celui qui maximise la concordance avec l'ensemble des images d'analyse.

Dans le mode de réalisation préféré, le procédé met donc en œuvre une double ou, de préférence une triple optimisation, sur les modèles de dent d'une part, sur l'agencement des modèles de dent et/ou sur une pluralité d'images d'analyse d'autre part, le modèle assemblé étant l'agencement d'un ensemble de modèles de dent qui fournit la distance minimale moyenne, sur l'ensemble des images d'analyse, en considérant tous les modèles de dents possibles et, de préférence tous les agencements possibles.

Comme cela apparaît clairement à présent, l'invention permet ainsi de construire un modèle assemblé d'arcade dentaire à partir de simples images d'analyse, par exemple de photographies prises au moyen d'un téléphone mobile. Bien entendu, la précision du modèle assemblé n'atteint pas celle d'un scan. Dans certaines applications, par exemple

pour effectuer un premier diagnostic de la situation dentaire du patient, une telle précision n'est cependant pas indispensable.

Le modèle assemblé peut être donc utilisé pour analyser la situation orthodontique du patient, suivant les étapes ii) à iv).

- 5 **A l'étape ii)**, le modèle assemblé est envoyé à un orthodontiste et/ou à un ordinateur pourvu d'un logiciel de diagnostic.

Dans un mode de réalisation, le modèle assemblé est envoyé accompagné d'un questionnaire rempli par le patient afin d'améliorer la qualité de l'analyse à l'étape iv).

- 10 **A l'étape iii)**, l'orthodontiste et/ou l'ordinateur examine le modèle assemblé. A la différence d'une image actualisée, le modèle assemblé permet une observation selon n'importe quel angle. L'analyse est avantageusement plus précise.

- 15 **A l'étape iv)**, l'orthodontiste et/ou l'ordinateur informe le patient, par exemple en lui transmettant un message sur son téléphone. Ce message peut notamment informer le patient d'une situation défavorable et l'inviter à prendre un rendez-vous chez l'orthodontiste.

L'orthodontiste peut également comparer le modèle assemblé avec des modèles assemblés reçus précédemment pour le même patient. Son analyse permet avantageusement d'évaluer l'évolution de la situation. Le message peut ainsi informer le patient d'une évolution défavorable de sa situation, ce qui améliore la prévention.

- 20 Le modèle assemblé peut être également comparé avec un ou plusieurs modèles obtenus par scannage des dents ou d'un moulage des dents du patient, ou avec un modèle de référence actualisé résultant de la mise en œuvre d'un procédé décrit dans WO 2016 066651.

25 Application au contrôle embarqué

Une analyse d'image selon l'invention est également utile pour guider l'acquisition d'une image d'une arcade dentaire, notamment pour l'établissement d'un diagnostic à distance.

En particulier, WO2016/066651 décrit un procédé dans lequel un modèle de référence initial est déformé de manière à obtenir un modèle de référence actualisé permettant

l'acquisition d'images de référence présentant une concordance maximale avec les images « actualisées » de l'arcade acquises à l'instant actualisé.

Les images de référence sont donc des vues du modèle de référence actualisé, observé dans des conditions d'acquisition virtuelles qui sont les plus concordantes possible avec les conditions d'acquisition réelles mises en œuvre pour acquérir les images actualisées de l'arcade du patient.

La recherche de ces conditions d'acquisition virtuelles est de préférence réalisée au moyen de méthodes métaheuristiques.

Pour accélérer cette recherche, WO2016/066651 préconise d'effectuer une première évaluation grossière des conditions d'acquisition réelles. Par exemple, on exclut de la recherche des conditions qui correspondraient à une position de l'appareil d'acquisition à une distance des dents supérieure à 1 mètre.

Il existe cependant un besoin permanent pour accélérer l'exécution du procédé décrit dans WO2016/066651, et en particulier, pour rechercher, de manière plus rapide, des conditions d'acquisition virtuelles présentant une concordance maximale avec les conditions d'acquisition réelles mises en œuvre pour acquérir une image actualisée de l'arcade du patient.

Un but de l'invention est de répondre, au moins partiellement, à ce problème.

L'invention propose un procédé d'acquisition d'une image d'une arcade dentaire d'un patient, ledit procédé comportant les étapes suivantes :

- a') activation d'un appareil d'acquisition d'images de manière à acquérir une image, dite « image d'analyse », de ladite arcade ;
- b') analyse de l'image d'analyse au moyen d'un dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones, entraîné au moyen d'une base d'apprentissage,
- de préférence suivant un procédé d'analyse détaillée selon l'invention, de manière à identifier au moins une zone de dent d'analyse représentant une dent sur ladite image d'analyse, et à déterminer au moins une valeur d'attribut de dent pour ladite zone de dent d'analyse, ou
- suivant un procédé d'analyse globale selon l'invention ;

- c') détermination, pour l'image d'analyse, d'une valeur pour un attribut d'image, ladite valeur étant en fonction de ladite valeur d'attribut de dent si un procédé d'analyse détaillée selon l'invention a été mis en œuvre à l'étape précédente ;
- 5 d') optionnellement, comparaison de ladite valeur d'attribut d'image avec une consigne ;
- e') émission d'un message d'information en fonction de ladite comparaison.

Comme on le verra plus en détail dans la suite de la description, un procédé d'acquisition selon l'invention permet donc de vérifier si une image d'analyse respecte une consigne et,
 10 si elle ne respecte pas la consigne, de guider l'opérateur afin qu'il acquière une nouvelle image d'analyse. Le procédé permet donc un « contrôle embarqué », de préférence dans l'appareil d'acquisition d'images.

En particulier, pour mettre en œuvre le procédé de WO2016/066651, il peut être souhaité d'acquérir des images actualisées selon différentes direction d'acquisition, par exemple
 15 une image de face, une image de droite et une image de gauche. Ces images actualisées, acquises successivement, peuvent être classées en conséquence. La recherche des conditions d'acquisition virtuelles présentant une concordance maximale avec les conditions d'acquisition réelles en est accélérée.

En effet, la recherche peut commencer à partir de conditions d'acquisition virtuelles dans
 20 lesquelles l'appareil d'acquisition, virtuel, est en face, à gauche ou à droite du modèle de référence actualisé, selon que l'image actualisée considérée est classée comme une image de face, de gauche ou de droite, respectivement.

L'opérateur, généralement le patient, peut cependant se tromper lors de l'acquisition des images actualisées. En particulier, il peut oublier de prendre une image actualisée, par
 25 exemple la vue de face, ou inverser deux images actualisées. Typiquement, l'opérateur peut prendre une image à droite alors qu'on attend de lui une image de gauche.

Cette inversion des images actualisées peut considérablement ralentir leur traitement. Par exemple, si l'image actualisée est supposée être une image prise à gauche mais qu'elle a été par erreur prise à droite, ladite recherche des conditions d'acquisition virtuelles
 30 optimales, c'est-à-dire présentant une concordance maximale avec les conditions d'acquisition réelles, débutera d'un point de départ offrant une vue de gauche du modèle

de référence, alors que les conditions d'acquisition virtuelles optimales correspondent à une vue de droite. La recherche en sera donc considérablement ralentie.

Grâce à l'invention, chaque image actualisée est une image d'analyse qui peut être analysée et contrôlée, de préférence en temps réel.

- 5 Par exemple, le procédé d'acquisition permet de déterminer que l'image actualisée a été « prise à droite » et de comparer cette valeur d'attribut d'image avec la consigne qui avait été donnée à l'opérateur de prendre l'image actualisée à gauche. La valeur d'attribut de l'image actualisée (image prise à droite) ne correspondant pas à la consigne (acquérir une image actualisée à gauche), l'appareil d'acquisition peut avertir immédiatement l'opérateur
10 afin qu'il modifie la direction d'acquisition.

Un procédé d'acquisition est à présent décrit en détail.

A l'étape a'), l'opérateur active l'appareil d'acquisition d'images de manière à acquérir une image d'analyse.

- Dans un mode de réalisation, l'opérateur déclenche l'appareil d'acquisition de manière à
15 stocker l'image d'analyse, de préférence prend une photo ou une vidéo de ses dents, de préférence au moyen d'un téléphone mobile équipé d'un appareil photo.

L'étape a') peut être effectuée comme l'acquisition des images actualisées à l'étape B) décrite ci-dessus.

- Dans un autre mode de réalisation, l'image d'analyse n'est pas stockée. En particulier,
20 l'image d'analyse peut être l'image qui, en temps réel, apparaît sur l'écran du téléphone mobile de l'opérateur, généralement le patient.

- Dans un premier mode de réalisation, **à l'étape b')**, on analyse l'image d'analyse suivant un procédé d'analyse détaillée selon l'invention. Cette analyse conduit de préférence à l'affectation d'une valeur d'attribut de dent à chaque zone de dent d'analyse identifiée, par
25 exemple à affecter un numéro de dent à chacune des zones de dent d'analyse.

- A l'étape c')**, on détermine une valeur d'attribut de l'image d'analyse en fonction des valeurs d'attribut de dent. La valeur d'attribut de l'image d'analyse peut être relative à son orientation générale et peut par exemple prendre une des trois valeurs suivantes : « photo de droite », « photo de gauche » et « photo de face ». La valeur d'attribut de l'image
30 d'analyse peut également être la liste des numéros des dents représentées, par exemple, « 16, 17 et 18 ». La valeur d'attribut de l'image d'analyse peut encore être, par exemple, la

« présence » ou « l'absence » d'un appareil orthodontique, ou l'état d'ouverture de la bouche (« bouche ouverte », « bouche fermée »).

Dans un autre mode de réalisation, un procédé d'analyse globale selon l'invention est mis en œuvre à l'étape b'). Avantageusement, un tel procédé permet d'obtenir directement une valeur pour un attribut d'image, sans avoir à déterminer de valeurs pour un attribut de dent. Il est donc avantageusement plus rapide. L'information résultant d'une analyse globale peut être cependant moins précise que celle résultant d'une analyse détaillée.

Les étapes a') à c') permettent ainsi de caractériser l'image d'analyse.

La caractérisation de l'image d'analyse permet de guider l'opérateur si l'image d'analyse ne correspond pas à l'image attendue, par exemple parce que sa qualité est insuffisante ou parce qu'elle ne représente pas les dents souhaitées.

A l'étape d'), on compare la valeur d'attribut d'image de l'image d'analyse avec une consigne.

Par exemple, si la consigne était d'acquérir une image de droite et que la valeur d'attribut d'image est « prise à gauche », la comparaison conduit à la conclusion que l'image acquise est « insatisfaisante ».

A l'étape e'), un message est envoyé à l'opérateur, de préférence par l'appareil d'acquisition.

De préférence, le message d'information est relatif à la qualité de l'image acquise et/ou à la position de l'appareil d'acquisition par rapport à ladite arcade et/ou au réglage de l'appareil d'acquisition et/ou à l'ouverture de la bouche et/ou au port d'un appareil orthodontique.

Par exemple, si l'image acquise est « insatisfaisante », l'appareil d'acquisition peut émettre une lumière, par exemple rouge, et/ou sonner, et/ou générer un message vocal, et/ou vibrer, et/ou afficher un message sur son écran.

Par exemple, si l'image doit être acquise alors que le patient porte son appareil orthodontique et que ce n'est pas le cas, l'appareil d'acquisition peut émettre le message « portez votre appareil pour cette image ».

Par exemple, si l'image a été acquise alors que le patient n'ouvre pas suffisamment la bouche ou a la bouche fermée, l'appareil d'acquisition peut émettre le message « ouvrez plus votre bouche pour cette image ».

Dans un mode de réalisation, les étapes b') à c') ne sont mises en œuvre que si l'opérateur enregistre l'image d'analyse, c'est-à-dire qu'il appuie sur le déclencheur. Le message invite alors l'opérateur à acquérir une nouvelle image d'analyse. Optionnellement, l'appareil d'acquisition efface l'image d'analyse insatisfaisante.

- 5 Dans un mode de réalisation, les étapes b') à c') sont mises en œuvre en permanence quand l'appareil d'acquisition est en marche et l'image d'analyse est une image qui apparaît sur un écran de l'appareil d'acquisition. L'appareil d'acquisition peut ainsi, par exemple, émettre une lumière rouge tant que l'image d'analyse est insatisfaisante, et émettre une lumière verte quand l'image d'analyse est satisfaisante. Avantageusement, l'appareil
10 d'acquisition ne stocke alors que des images d'analyse qui sont satisfaisantes.

Comme cela apparaît clairement à présent, l'invention permet donc un contrôle embarqué lors de l'acquisition d'images d'analyse. Appliquées à des images actualisées du procédé de WO2016/066651, les étapes a') à e') permettent de s'assurer que ces images sont bien conformes au besoin, et donc d'accélérer considérablement l'exécution de ce procédé.

- 15 Les étapes d') et e') sont optionnelles. Dans un mode de réalisation, l'image d'analyse est seulement associée à son descriptif, qui précise sa valeur d'attribut d'image. Ce descriptif permet également d'accélérer considérablement l'exécution du procédé de WO2016/066651 puisque, lorsque l'image d'analyse est utilisée comme image actualisée de ce procédé, il permet de déterminer approximativement les conditions d'acquisition
20 réelle de cette image, en éliminant le risque d'une erreur grossière, par exemple du fait d'une inversion entre deux images.

Les étapes d') et e') sont cependant préférées. Elles permettent par exemple d'éviter que l'opérateur oublie une image de gauche, ou prenne deux images de droite redondantes.

25 Application au contrôle d'une gouttière orthodontique

- Classiquement, au début d'un traitement orthodontique, l'orthodontiste détermine le positionnement des dents qu'il souhaite obtenir à un instant du traitement, dit "set-up ". Le set-up peut être défini au moyen d'une empreinte ou à partir d'un scan tridimensionnel des dents du patient. L'orthodontiste fait fabriquer ou fabrique alors, en conséquence, un
30 appareil orthodontique adapté à ce traitement.

L'appareil orthodontique peut être une gouttière orthodontique (« *aligner* » en anglais). Une gouttière se présente classiquement sous la forme d'un appareil monobloc amovible,

classiquement en un matériau polymère transparent, qui comporte une goulotte conformée pour que plusieurs dents d'une arcade, généralement toutes les dents d'une arcade, puissent y être logées.

5 La forme de la goulotte est adaptée pour maintenir en position la gouttière sur les dents, tout en exerçant une action de correction du positionnement de certaines dents (figures 14 et 15).

10 On détermine classiquement, au début du traitement, les formes que doivent prendre les différentes gouttières à différents moments du traitement, puis on fait fabriquer l'ensemble des gouttières correspondantes. A des instants prédéterminés, le patient change de gouttière.

Le traitement au moyen de gouttières est avantageusement peu contraignant pour le patient. En particulier, le nombre de rendez-vous chez l'orthodontiste est limité. En outre, la douleur est plus faible qu'avec un arc orthodontique métallique attaché aux dents.

Le marché des gouttières orthodontiques est donc en croissance.

15 A intervalles réguliers, le patient se déplace chez l'orthodontiste pour un contrôle visuel, notamment pour vérifier si le déplacement des dents est conforme aux attentes et si la gouttière portée par le patient est toujours adaptée au traitement.

20 Si l'orthodontiste diagnostique une inadaptation au traitement, il effectue une nouvelle empreinte des dents, ou, de manière équivalente, un nouveau scan tridimensionnel des dents, puis commande une nouvelle série de gouttières configurées en conséquence. On considère qu'en moyenne, le nombre de gouttières finalement fabriquées est d'environ 45, au lieu des 20 gouttières classiquement prévues au début du traitement.

25 La nécessité de devoir se déplacer chez l'orthodontiste est une contrainte pour le patient. La confiance du patient en son orthodontiste peut être également entamée. L'inadaptation peut être inesthétique. Enfin, il en résulte un coût supplémentaire.

Le nombre de visites de contrôle chez l'orthodontiste doit donc être limité.

Il existe un besoin pour des solutions répondant à ces problèmes.

Un but de l'invention est de répondre, au moins partiellement, à ce besoin.

30 L'invention fournit un procédé d'évaluation de la forme d'une gouttière orthodontique, ledit procédé comportant les étapes suivantes :

a") acquisition d'au moins une image représentant au moins partiellement la gouttière dans une position de service dans laquelle elle est portée par un patient, dite « image d'analyse » ;

b") analyse de l'image d'analyse au moyen d'un dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones, entraîné au moyen d'une base d'apprentissage, de manière à déterminer une valeur

pour au moins un attribut de dent d'une « zone de dent d'analyse » de l'image d'analyse, l'attribut de dent étant relatif à un écartement entre la dent représentée par la zone de dent d'analyse, et la gouttière représentée sur l'image d'analyse, et/ou

pour un attribut d'image de l'image d'analyse, l'attribut d'image étant relatif à un écartement entre au moins une dent représentée sur l'image d'analyse, et la gouttière représentée sur ladite image d'analyse ;

c") de préférence, évaluation de l'adéquation de la gouttière en fonction de la valeur dudit attribut de dent ou d'image ;

d") de préférence, émission d'un message d'information en fonction de ladite évaluation.

Comme on le verra plus en détail dans la suite de la description, un procédé d'évaluation selon l'invention facilite considérablement l'évaluation de la bonne adéquation de la gouttière au traitement, tout en rendant cette évaluation particulièrement fiable. En particulier, le procédé peut être mis en œuvre à partir de simples photographies ou films, pris sans précaution particulière, par exemple par le patient. Le nombre de rendez-vous chez l'orthodontiste peut donc être limité.

De préférence, à l'étape b''), on identifie toutes lesdites zones de dent d'analyse, et on détermine la valeur dudit attribut de dent pour chaque zone de dent d'analyse, et, à l'étape c''), on détermine l'adéquation de la gouttière en fonction desdites valeurs d'attribut de dent.

De préférence, ledit attribut de dent est choisi dans le groupe formé par un écartement maximal le long de bord libre de la dent, un écartement moyen le long de bord libre de la dent, et ledit attribut d'image est choisi dans le groupe formé par un écartement maximal le long de l'ensemble des dents représentées, un écartement moyen le long des bords libres de

l'ensemble des dents représentées, une acceptabilité globale de l'écartement des dents représentées.

L'attribut de dent relatif à un écartement peut être en particulier l'existence d'un écartement, cet attribut pouvant prendre les valeurs d'attribut de dent « oui » ou « non » ;
 5 ou une valeur mesurant l'ampleur de l'écartement, par exemple un écartement maximal constaté ou une évaluation relative à une échelle.

A l'étape b''), on met de préférence en œuvre un procédé d'analyse détaillée selon l'invention, un attribut de dent de chaque zone de dent historique de chaque image historique de la base d'apprentissage étant relatif à un écartement entre la dent représentée
 10 par la zone de dent historique, et une gouttière portée par ladite dent et représentée sur ladite image historique.

De préférence, l'étape b'') comporte les étapes suivantes :

b"1) de préférence avant l'étape a''), création d'une base d'apprentissage comportant plus de 1 000, de préférence plus de 5 000, de préférence plus de 10 000 images
 15 d'arcades dentaires, ou « images historiques », chaque image historique représentant une gouttière portée par un patient « historique » et comportant une ou plusieurs zones représentant chacune une dent, ou « zones de dent historiques », à chacune desquelles, pour au moins un attribut de dent relatif à un écartement entre la dent représentée par la zone de dent historique considérée, et la gouttière représentée, une valeur d'attribut de dent est affectée ;
 20

b"2) apprentissage d'un dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones, au moyen de la base d'apprentissage ;

b"3) soumission de l'image d'analyse au dispositif d'apprentissage profond de manière que le dispositif d'apprentissage profond détermine au moins une probabilité relative à
 25

- la présence, à un emplacement de ladite image d'analyse, d'une zone de dent d'analyse, et
- la valeur d'attribut de dent de la dent représentée sur ladite zone de dent d'analyse ;

b"4) détermination, en fonction de ladite probabilité, de la présence d'un écartement
 30 entre la gouttière et la dent représentée par ladite zone de dent d'analyse, et/ou d'une amplitude dudit écartement.

Les étapes b''1) à b''4) peuvent comporter une ou plusieurs des caractéristiques, éventuellement optionnelles, des étapes 1) à 4) décrites ci-dessus, respectivement.

Dans un mode de réalisation, à l'étape b''), on met en œuvre un procédé d'analyse globale selon l'invention, un attribut d'image de chaque image historique de la base d'apprentissage étant relatif à un écartement entre au moins une dent représentée sur l'image historique, et une gouttière portée par ladite dent et représentée sur ladite image historique.

De préférence, l'étape b'') comporte les étapes suivantes :

b"1') création d'une base d'apprentissage comportant plus de 1 000 images d'arcades dentaires, ou « images historiques », chaque image historique comportant une valeur d'attribut pour au moins un attribut d'image, ou « valeur d'attribut d'image », relatif à un écartement entre au moins une dent représentée sur l'image d'analyse, et la gouttière représentée sur ladite image d'analyse ;

b"2') entraînement d'au moins un dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones, au moyen de la base d'apprentissage ;

b"3') soumission de l'image d'analyse au dispositif d'apprentissage profond de manière qu'il détermine, pour ladite image d'analyse, au moins une probabilité relative à ladite valeur d'attribut d'image, et détermination, en fonction de ladite probabilité, de la présence d'un écartement entre la gouttière et la ou les dents représentées sur l'image d'analyse, et/ou d'une amplitude dudit écartement.

Les étapes b''1') à b''3') peuvent comporter une ou plusieurs des caractéristiques, éventuellement optionnelles, des étapes 1') à 3') décrites ci-dessus, respectivement.

Le procédé est à présent décrit lorsqu'une analyse détaillée est mise en œuvre à l'étape b'').

Préalablement à l'étape a''), la base d'apprentissage doit être enrichie, de préférence suivant un procédé d'enrichissement selon l'invention, afin de contenir des images historiques dont le descriptif précise, pour chacune des zones de dent historiques, une valeur pour l'attribut de dent relatif à l'écartement.

Cette information peut être saisie manuellement. Par exemple, on peut présenter à un opérateur, de préférence à un orthodontiste, une image représentant une ou plusieurs zones de dent dites « historiques », et lui demander d'identifier ces zones de dent historiques et

d'indiquer, pour chaque zone de dent historique, s'il y a un écartement ou pas et/ou d'évaluer l'amplitude de cet écartement.

Une image historique peut être une photo représentant une gouttière portée par un patient historique. Alternativement, une image historique peut être le résultat d'un traitement d'une image représentant une arcade dentaire nue (c'est-à-dire sans gouttière) et d'une image représentant la même arcade portant la gouttière. L'image représentant l'arcade nue peut en particulier être une vue d'un modèle de l'arcade déformé pour obtenir une concordance maximale avec l'image représentant l'arcade portant la gouttière. Un tel traitement peut être en particulier utile pour faire mieux apparaître le contour des dents et de gouttière lorsque les dents sont peu visibles à travers la gouttière.

A l'étape a''), l'acquisition de l'image d'analyse peut être effectuée comme l'acquisition des images actualisées à l'étape B) décrite ci-dessus.

De préférence, au moins un rappel informant le patient de la nécessité de créer une image d'analyse est adressé au patient. Ce rappel peut être sous forme papier ou, de préférence, sous forme électronique, par exemple sous la forme d'un courriel, d'une alerte automatique d'un applicatif spécialisé mobile ou d'un SMS. Un tel rappel peut être envoyé par le cabinet ou le laboratoire d'orthodontie ou par le dentiste ou par l'applicatif spécialisé mobile du patient, par exemple.

L'étape a'') est réalisée au moment où l'évaluation de la forme d'une gouttière est souhaitée, par exemple plus de 1 semaine après le début du traitement avec la gouttière.

L'image d'analyse est une image représentant la gouttière portée par les dents du patient.

A l'étape b''), on analyse l'image d'analyse suivant un procédé d'analyse détaillée selon l'invention.

Le dispositif d'apprentissage profond a été entraîné au moyen d'une base d'apprentissage contenant des images historiques dont le descriptif précise, pour au moins une, de préférence chaque zone de dent historique, une valeur pour un attribut de dent relatif à un écartement entre la dent représentée par la zone de dent historique et la gouttière portée par ladite dent et représentée sur ladite image historique.

Le dispositif d'apprentissage profond est donc capable d'analyser l'image d'analyse pour déterminer, de préférence pour chacune des « zones de dent d'analyse », l'existence, voire

l'importance d'un écartement de la gouttière de la dent représentée sur la zone de dent d'analyse.

A l'étape c''), on évalue, en fonction des résultats de l'étape précédente, si la gouttière n'est pas trop décollée des dents. Par exemple, on recherche si l'écartement de la gouttière avec au moins une dent dépasse un seuil d'acceptabilité et, dans ce cas, on décide du remplacement de la gouttière par une gouttière mieux adaptée.

A l'étape d''), une information relative à l'évaluation à l'étape précédente est émise, en particulier à destination du patient et/ou de l'orthodontiste.

Dans un mode de réalisation, le procédé comporte, à l'étape b''), une analyse globale selon l'invention. Les autres étapes ne sont pas modifiées.

L'analyse de l'image d'analyse et des images historiques est alors effectuée globalement, sans identification de la situation individuelle de chacune des dents représentées et l'attribut d'image est relatif à l'image dans sa globalité.

Par exemple, l'attribut d'image relatif à l'écartement peut être relatif à l'acceptabilité d'une situation dentaire, du fait d'un ou plusieurs écartements, ou relatif à l'ampleur globale du ou des écartements des dents. Par exemple la valeur de l'attribut d'image peut être « globalement acceptable » ou « globalement inacceptable ».

Comme cela apparaît clairement à présent, un procédé selon l'invention permet, à partir de simples photos ou d'un simple film, de déterminer si la gouttière est anormalement décollée, voire, si une analyse détaillée a été effectuée à l'étape b''), de déterminer les régions dans lesquelles la gouttière s'est écartée des dents et d'évaluer l'ampleur de cet écartement.

L'invention concerne aussi un procédé d'adaptation d'un traitement orthodontique, procédé dans lequel on met en œuvre un procédé d'évaluation de la forme d'une gouttière orthodontique selon l'invention, puis, en fonction du résultat de ladite évaluation, on fabrique une nouvelle gouttière et/ou on conseille le patient, par exemple pour qu'il améliore les conditions d'utilisation de sa gouttière orthodontique, en particulier le positionnement et/ou les plages horaires de port et/ou l'entretien de sa gouttière orthodontique, afin d'optimiser le traitement.

L'utilisation de gouttières n'est pas limitée à des traitements thérapeutiques. En particulier, un procédé d'évaluation peut être mis en œuvre pour évaluer une gouttière exclusivement utilisée à des fins esthétiques.

5 Le procédé peut être également utilisé pour évaluer d'autres pièces ou appareils orthodontiques.

Programme d'ordinateur

L'invention concerne également :

- 10 - un programme d'ordinateur, et en particulier un applicatif spécialisé pour téléphone mobile, comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution d'une ou plusieurs étapes d'un procédé quelconque selon l'invention, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur,
- un support informatique sur lequel est enregistré un tel programme, par exemple une mémoire ou un CD-ROM.

15 Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits ci-dessus et représentés.

En particulier, le patient n'est pas limité à un être humain. Un procédé selon l'invention peut être utilisé pour un autre animal.

REVENDECATIONS

1. Procédé d'acquisition d'une image d'une arcade dentaire d'un patient, ledit procédé comportant les étapes suivantes :

- 5 a') activation d'un appareil d'acquisition d'images de manière à acquérir une image, dite « image d'analyse », de ladite arcade ;
- b') analyse de l'image d'analyse au moyen d'un dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones, entraîné au moyen d'une base d'apprentissage ;
- 10 c') détermination, pour l'image d'analyse, en fonction des résultats de l'analyse à l'étape précédente, d'une valeur pour un attribut d'image ;
- d') comparaison de ladite valeur d'attribut d'image avec une consigne ;
- e') émission d'un message d'information en fonction de ladite comparaison.

2. Procédé selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel, à l'étape b'), on identifie au moins une zone de dent d'analyse représentant, au moins partiellement, une dent sur ladite image d'analyse, et on détermine au moins une valeur d'un attribut de dent pour ladite au moins une zone de dent d'analyse, et, à l'étape c'), on détermine la valeur pour l'attribut d'image en fonction de ladite valeur d'attribut de dent.

3. Procédé selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel, à l'étape b'), on identifie toutes lesdites zones de dent d'analyse, et on détermine au moins une valeur d'attribut de dent pour chaque zone de dent d'analyse, et, à l'étape c'), on détermine la valeur pour l'attribut d'image en fonction desdites valeurs d'attribut de dent.

4. Procédé selon l'une quelconque des deux revendications immédiatement précédentes, dans lequel l'étape b') comporte les étapes suivantes :

- 25 1) de préférence avant l'étape a'), création d'une base d'apprentissage comportant plus de 1 000 images d'arcades dentaires, ou « images historiques », chaque image historique comportant une ou plusieurs zones représentant chacune une dent, ou « zones de dent historiques », à chacune desquelles, pour ledit attribut de dent, une valeur d'attribut de dent est affectée ;
- 30 2) entraînement d'au moins un dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones, au moyen de la base d'apprentissage ;

- 3) soumission de l'image d'analyse au dispositif d'apprentissage profond de manière qu'il détermine au moins une probabilité relative à :
 - la présence, à un emplacement dans ladite image d'analyse, d'une zone représentant, au moins partiellement, une dent, ou « zone de dent d'analyse »,
 - 5 – la valeur d'attribut de la dent représentée sur ladite zone de dent d'analyse,
- 4) détermination, en fonction de ladite probabilité, de la présence d'une dent à une position représentée par ladite zone de dent d'analyse, et de la valeur d'attribut de ladite dent.
5. Procédé selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel ledit attribut de
 10 dent est choisi parmi un numéro de dent, un type de dent, un paramètre de forme de la dent, un paramètre d'apparence de la dent, un paramètre relatif à l'état de la dent, un âge pour le patient, ou une combinaison de ces attributs.
6. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape b') comporte les étapes suivantes :
 - 15 1') création d'une base d'apprentissage comportant plus de 1 000 images d'arcades dentaires, ou « images historiques », chaque image historique comportant une valeur d'attribut pour au moins un attribut d'image, ou « valeur d'attribut d'image » ;
 - 20 2') entraînement d'au moins un dispositif d'apprentissage profond, de préférence un réseau de neurones, au moyen de la base d'apprentissage ;
 - 30 3') soumission de l'image d'analyse au dispositif d'apprentissage profond de manière qu'il détermine, pour ladite image d'analyse, au moins une probabilité relative à ladite valeur d'attribut d'image.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans lequel, à l'étape 1) ou 1'), on crée une base d'apprentissage comportant plus de 10 000 images historiques.
- 25 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la base d'apprentissage est constituée suivant les étapes suivantes :
 - A) à un instant « actualisé », réalisation d'un modèle d'une arcade dentaire d'un patient, ou « modèle de référence actualisé », et segmentation du modèle de référence actualisé de manière à réaliser, pour chaque dent, un « modèle de dent »,
 30 et pour au moins un attribut de dent, affectation d'une valeur d'attribut de dent à chaque modèle de dent ;

- B) acquisition d'au moins une image de ladite arcade, ou « image actualisée », dans des conditions d'acquisition réelles ;
- C) pour chaque image actualisée, recherche de conditions d'acquisition virtuelles adaptées pour une acquisition d'une image du modèle de référence actualisé, dite « image de référence », présentant une concordance maximale avec l'image actualisée dans lesdites conditions d'acquisition virtuelles, et acquisition de ladite image de référence ;
- D) identification, dans l'image de référence, d'au moins une zone représentant un modèle de dent, ou « zone de dent de référence » et, par comparaison de l'image actualisée et de l'image de référence, détermination, dans l'image actualisée, d'une zone représentant ledit modèle de dent, ou « zone de dent actualisée » ;
- E) affectation, à ladite zone de dent actualisée, de la valeur d'attribut de dent dudit modèle de dent ;
- F) ajout de l'image actualisée enrichie d'un descriptif de ladite zone de dent actualisée et de sa valeur d'attribut de dent, ou « image historique », dans la base d'apprentissage.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel la base d'apprentissage est constituée suivant les étapes suivantes :

- A') à un instant initial, réalisation d'un modèle d'une arcade dentaire d'un patient, ou « modèle de référence initial », et segmentation du modèle de référence initial de manière à réaliser, pour chaque dent, un « modèle de dent », et pour au moins un attribut de dent, affectation d'une valeur d'attribut de dent à chaque modèle de dent ;
- B') à un instant actualisé, acquisition d'au moins une image de ladite arcade, ou « image actualisée », dans des conditions d'acquisition réelles ;
- C') recherche, par déformation du modèle de référence initial, d'un modèle de référence actualisé et de conditions d'acquisition virtuelles adaptés pour une acquisition d'une image du modèle de référence actualisé, dite « image de référence », présentant une concordance maximale avec l'image actualisée dans lesdites conditions d'acquisition virtuelles ;
- D) identification, dans l'image de référence, d'au moins une zone représentant un modèle de dent, ou « zone de dent de référence » et, par comparaison de l'image actualisée et de l'image de référence, détermination, dans l'image

actualisée, d'une zone représentant ledit modèle de dent, ou « zone de dent actualisée » ;

E) affectation, à ladite zone de dent actualisée, de la valeur d'attribut de dent dudit modèle de dent ;

5 F) ajout de l'image actualisée enrichie d'un descriptif de ladite zone de dent actualisée et de sa valeur d'attribut de dent, ou « image historique », dans la base d'apprentissage.

10 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel, pour créer une image historique de la base d'apprentissage, un opérateur, de préférence un orthodontiste,

- identifie une ou plusieurs zones de dent « historiques » sur une image, dite puis affecte, à chaque zone de dent historique identifiée, une valeur pour au moins un attribut de dent, et/ou
- affecte à une image une valeur pour au moins un attribut de dent.

15 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'appareil d'acquisition est un téléphone mobile.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le message d'information est émis par l'appareil d'acquisition.

20 13. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit attribut d'image est relatif à

- une position et/ou une orientation et/ou une calibration d'un appareil d'acquisition utilisé pour acquérir ladite image d'analyse, et/ou
- une qualité de l'image d'analyse, et en particulier relatif à la luminosité, au contraste ou à la netteté de l'image d'analyse, et/ou
- au contenu de l'image d'analyse, en particulier à la représentation des arcades, de

25 la langue, de la bouche, des lèvres, des mâchoires, de la gencive, d'une ou plusieurs dents ou d'un appareil orthodontique.

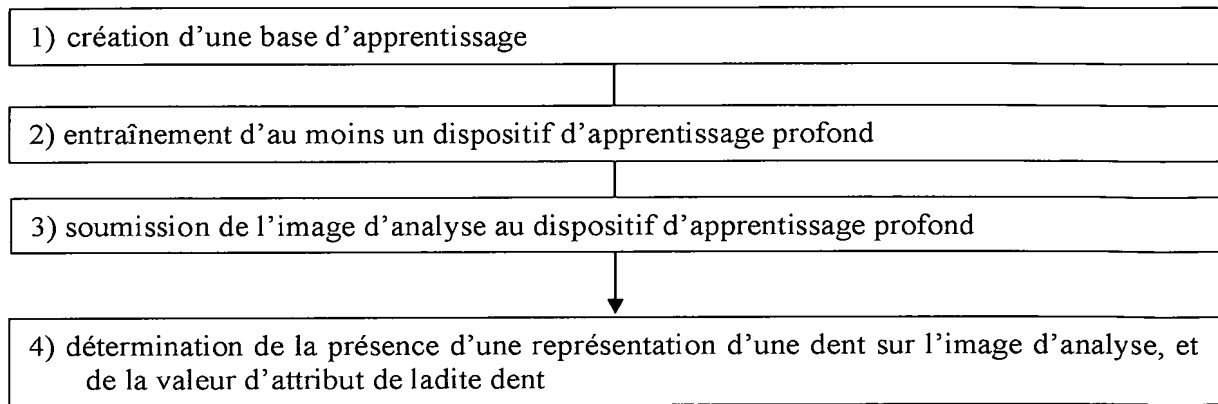


Fig. 1

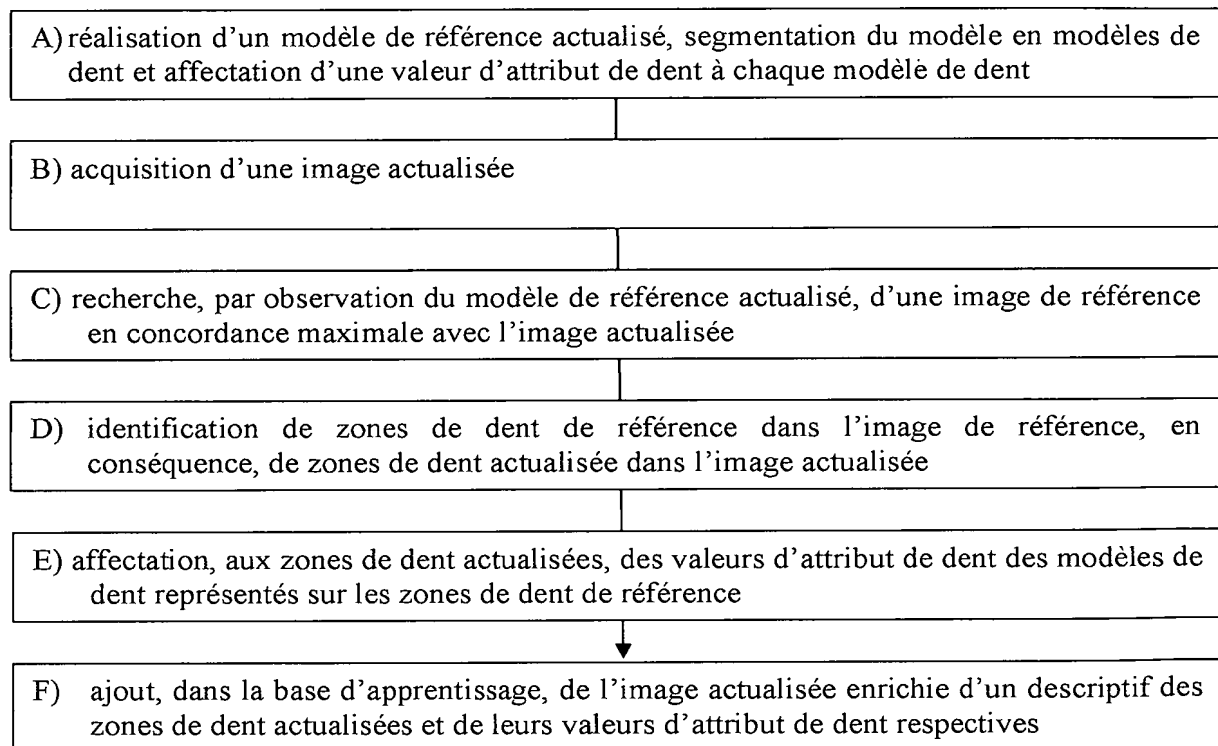


Fig. 2

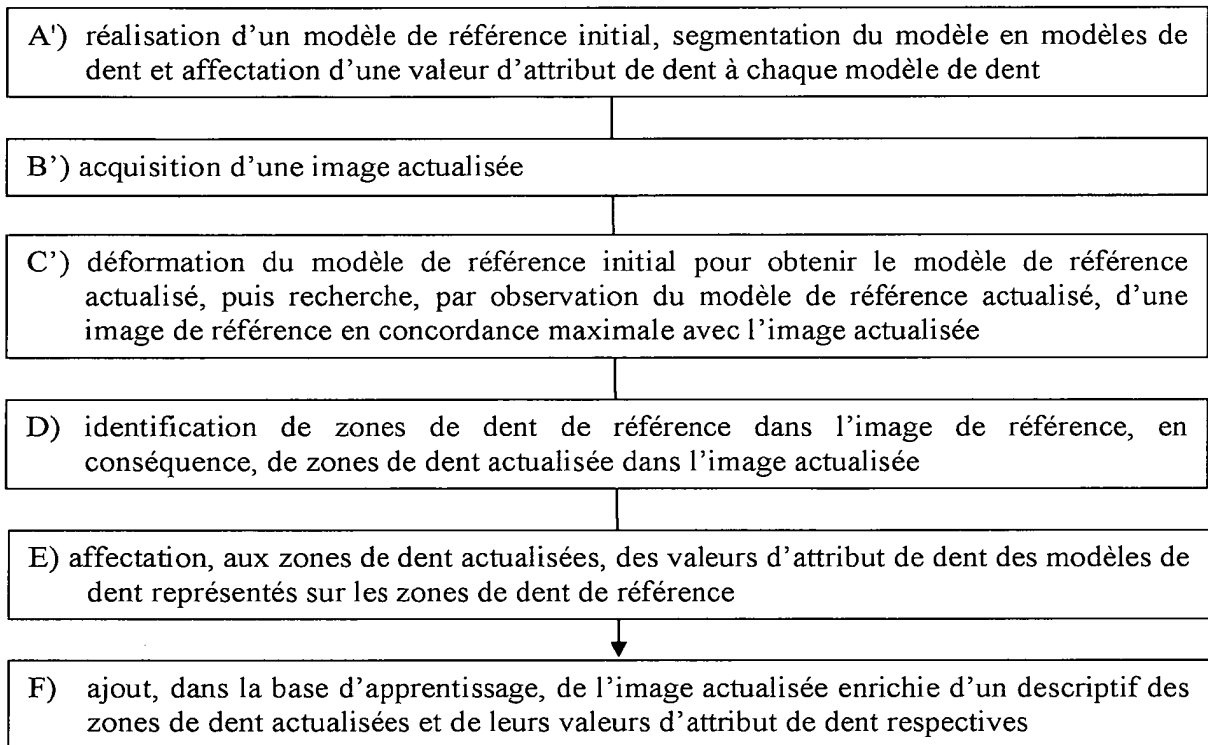


Fig. 3

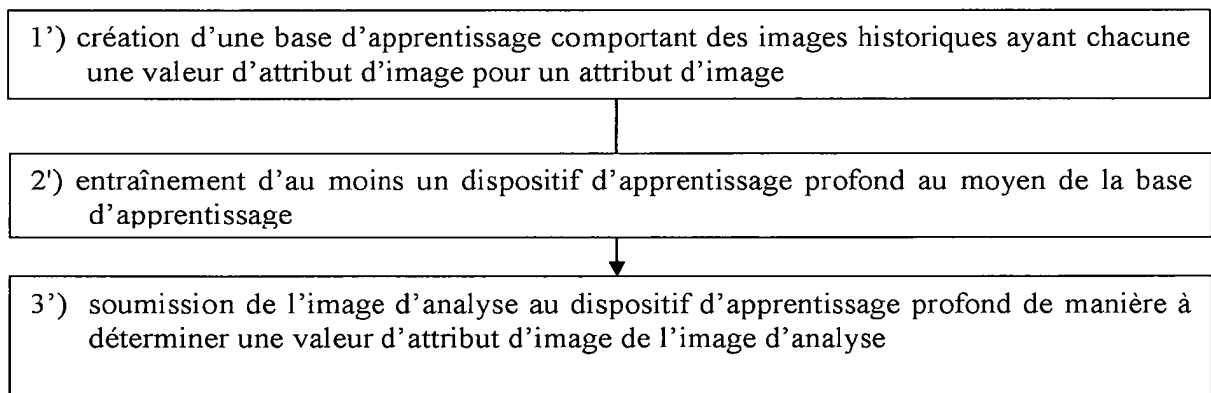


Fig. 4

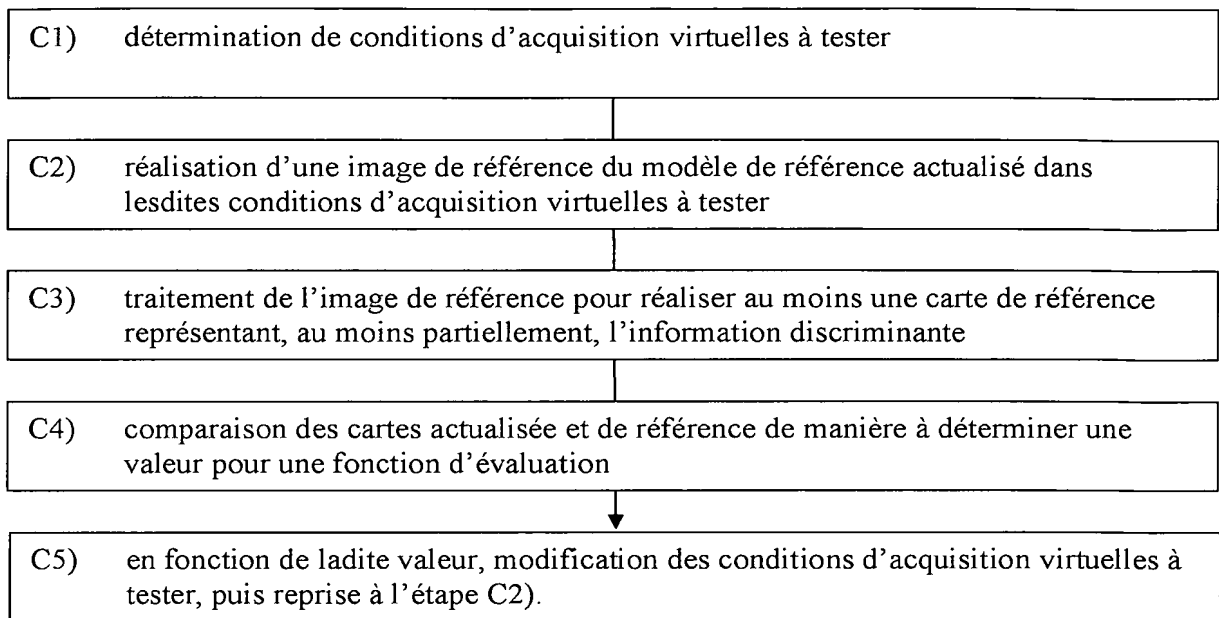


Fig. 5

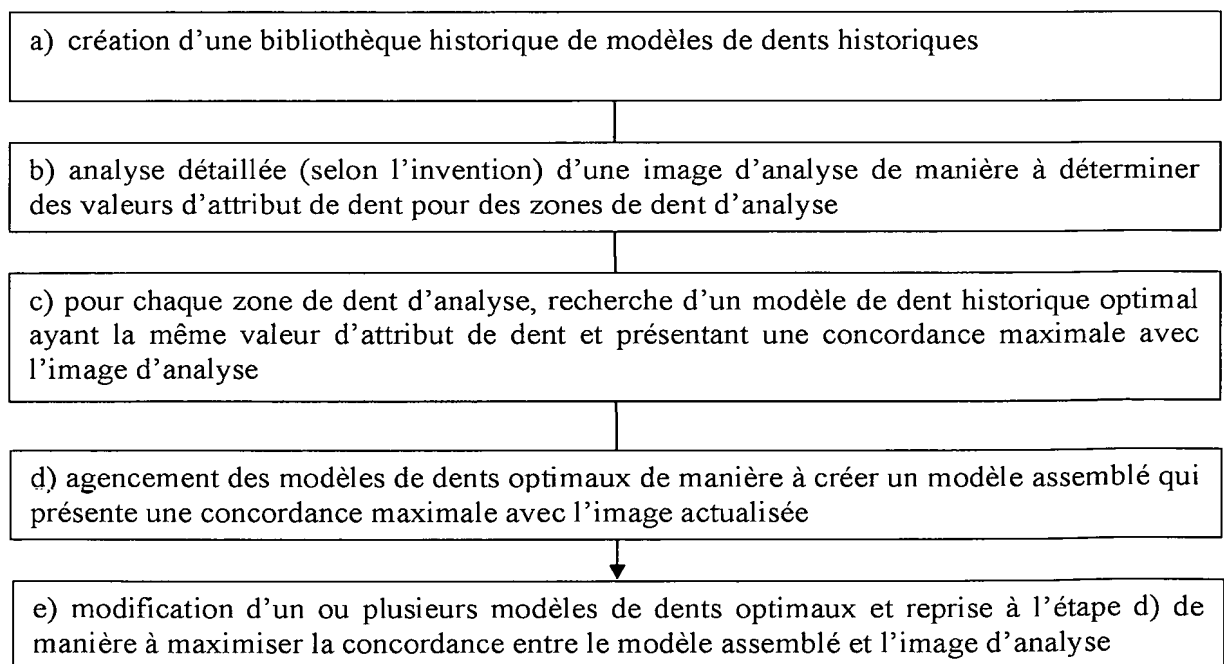


Fig. 6

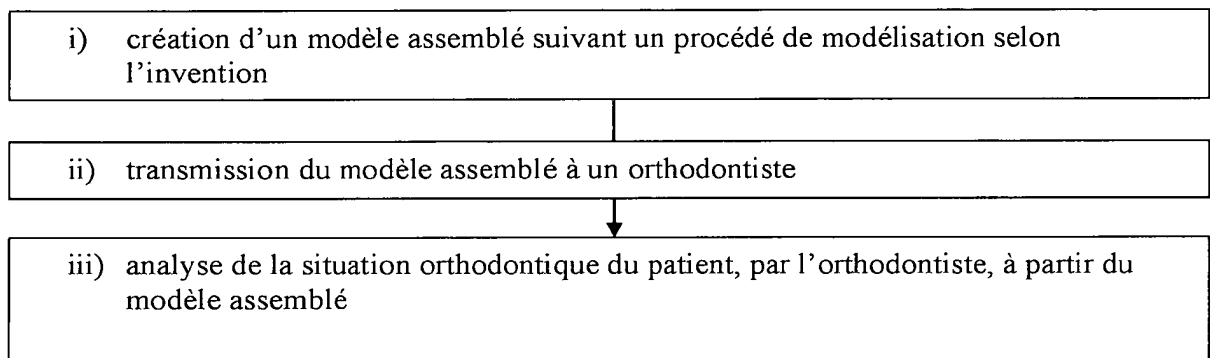


Fig. 7

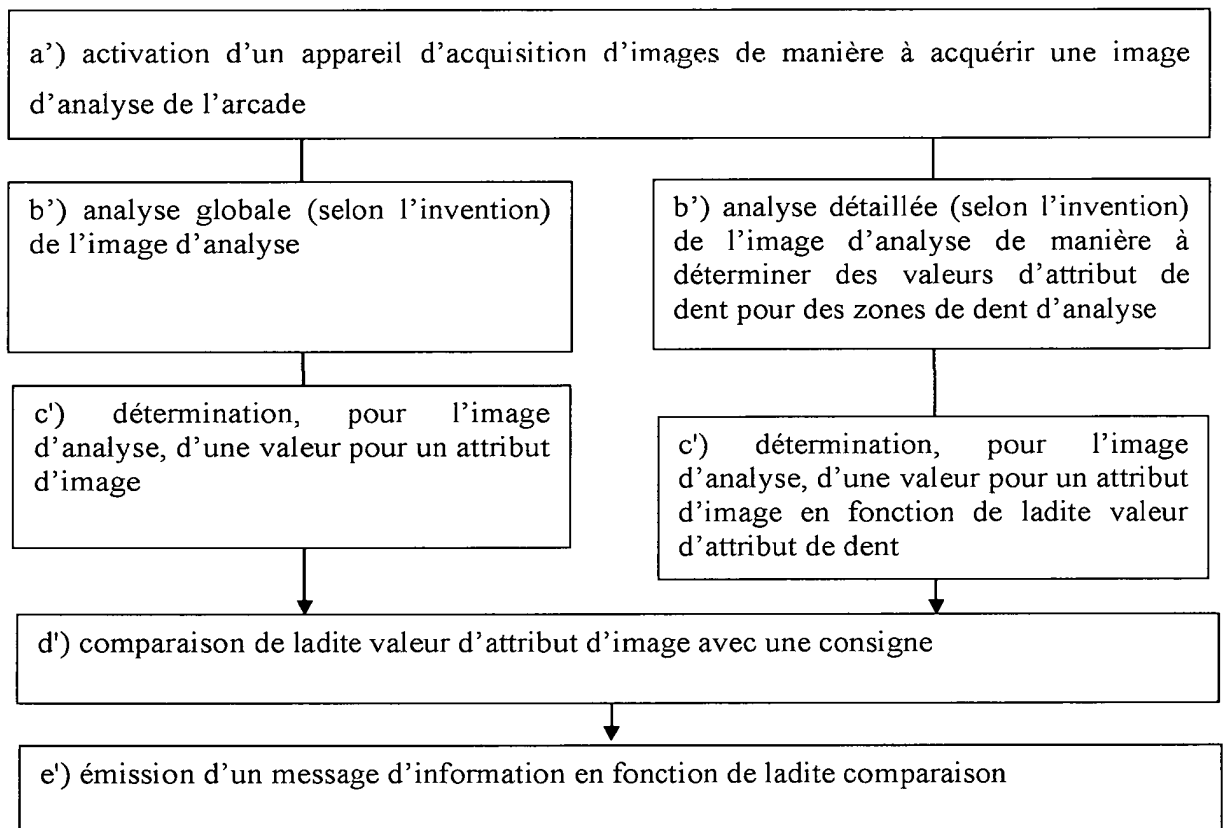


Fig. 8

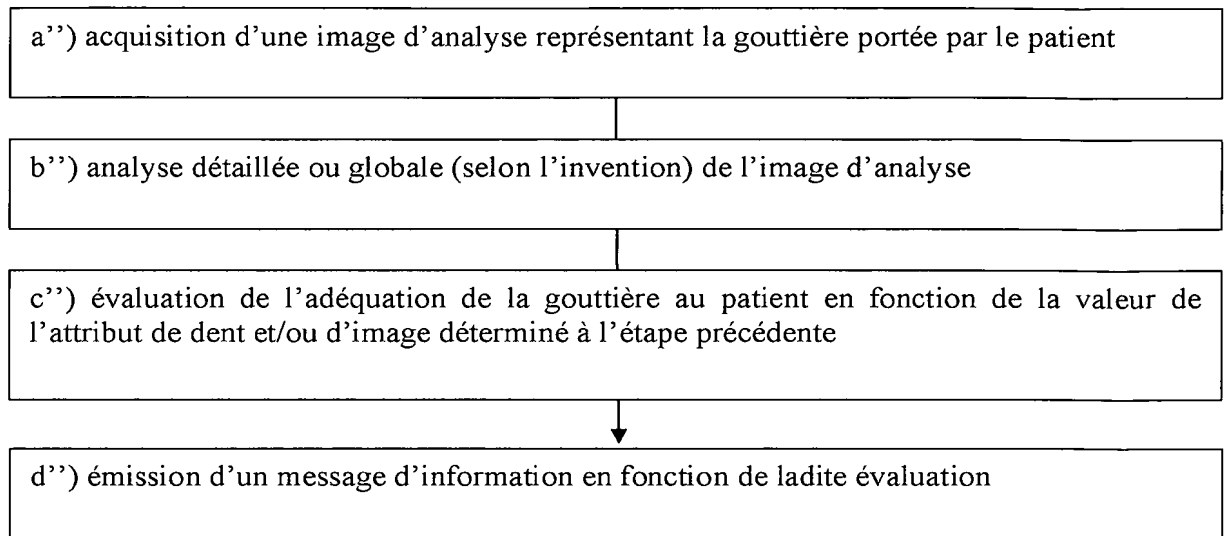


Fig. 9

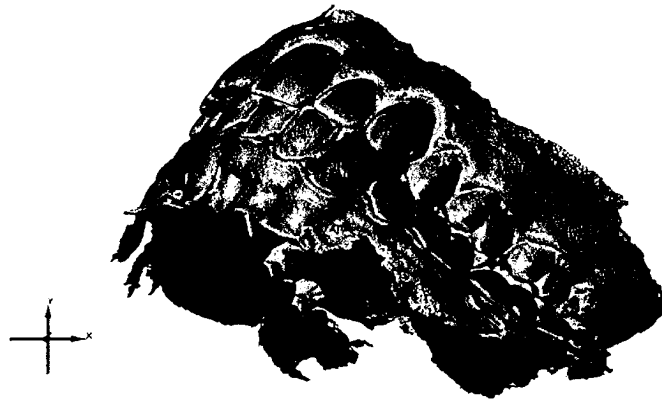


Fig.10



Fig. 11a



Fig. 11b



Fig. 11c

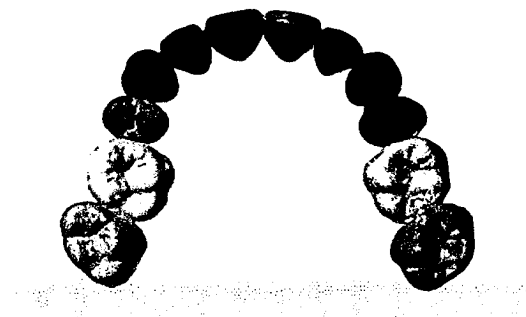


Fig. 11d

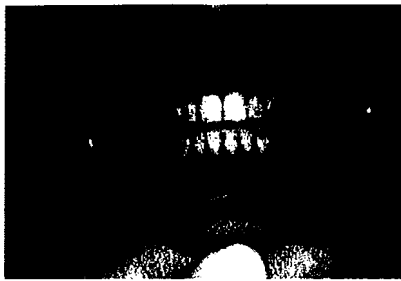


Fig. 12a

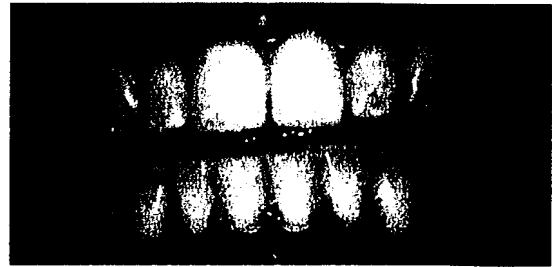


Fig. 12b



Fig. 12c



Fig. 12d

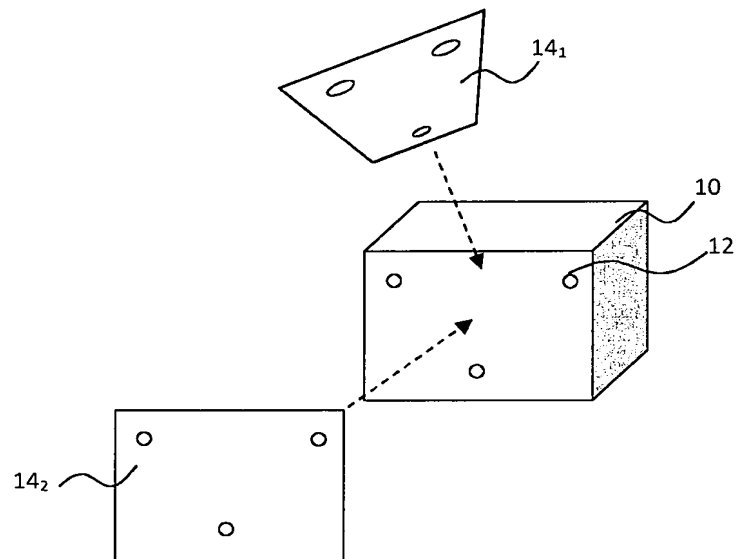


Fig. 13

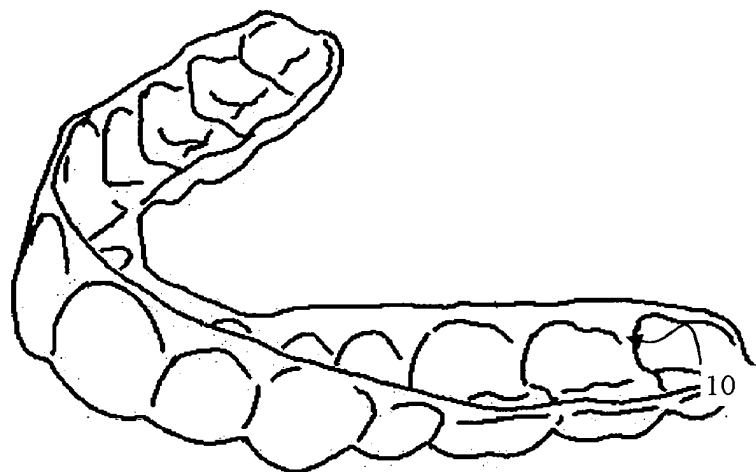


Fig. 14

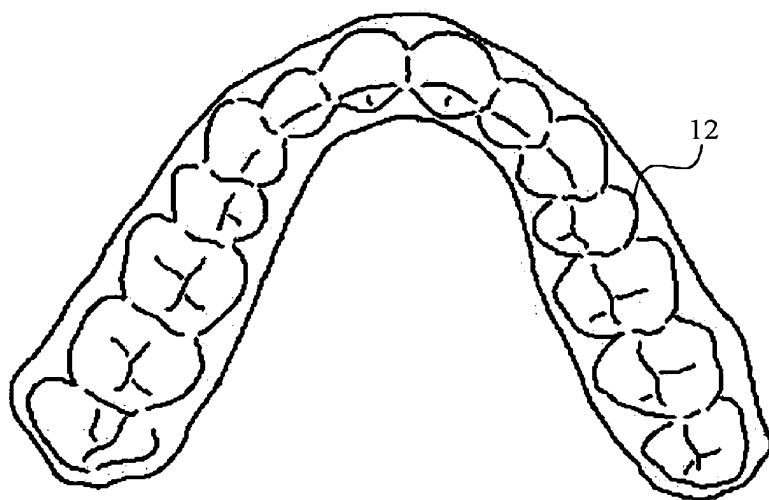


Fig. 15

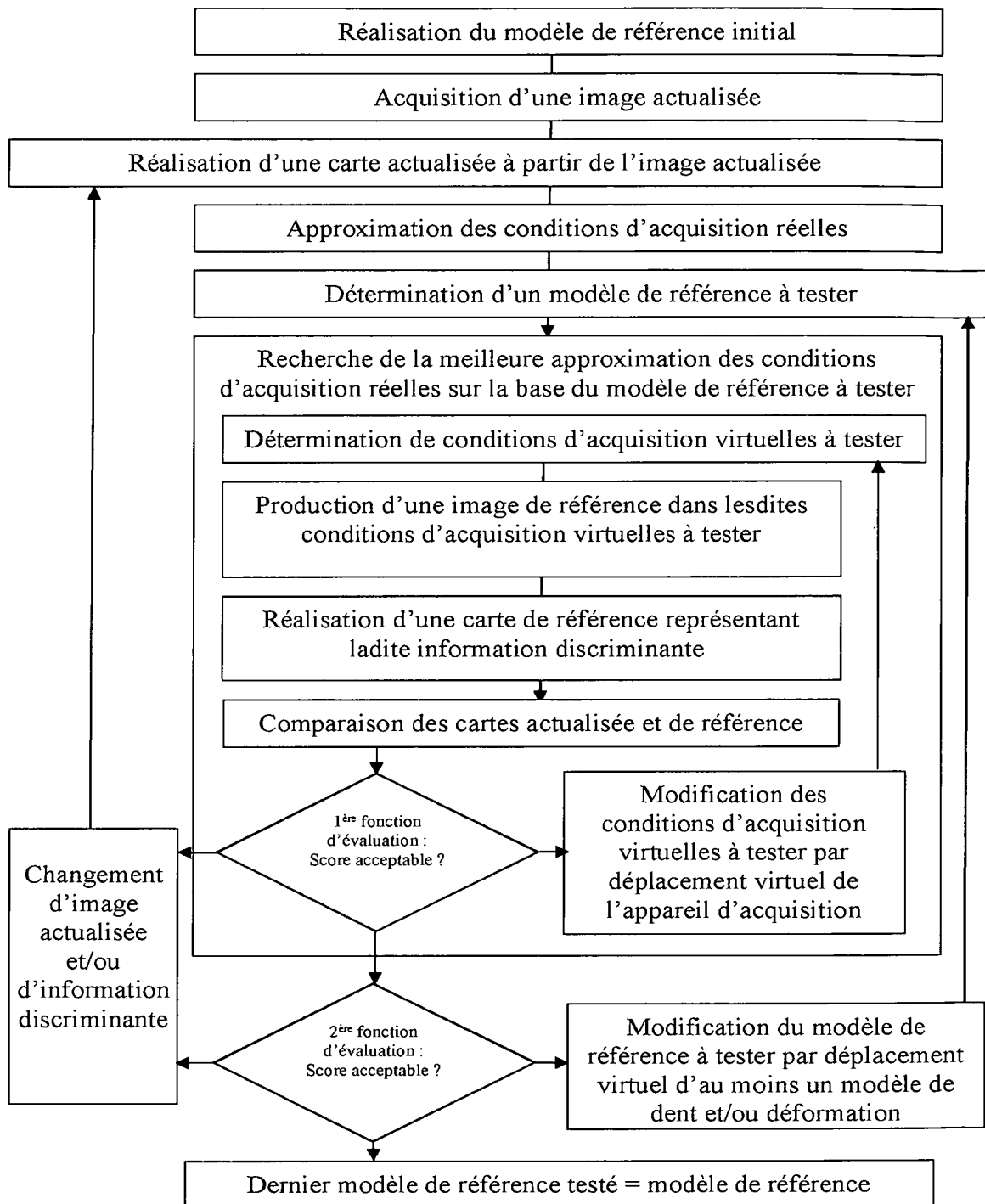


Fig. 16

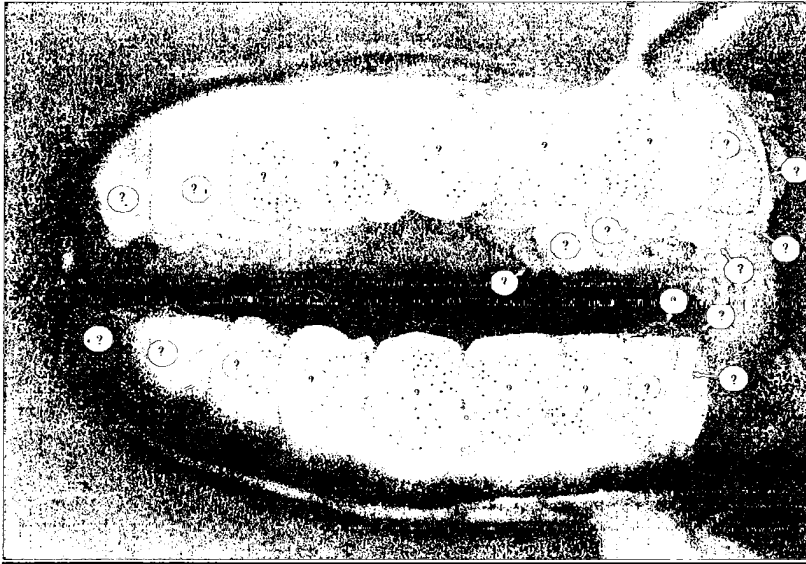


Fig. 17a

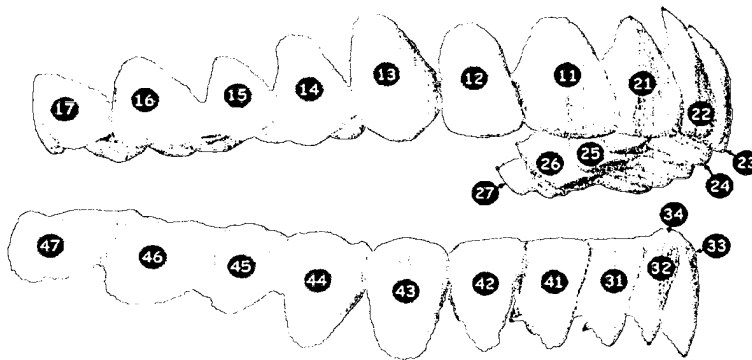


Fig. 17b

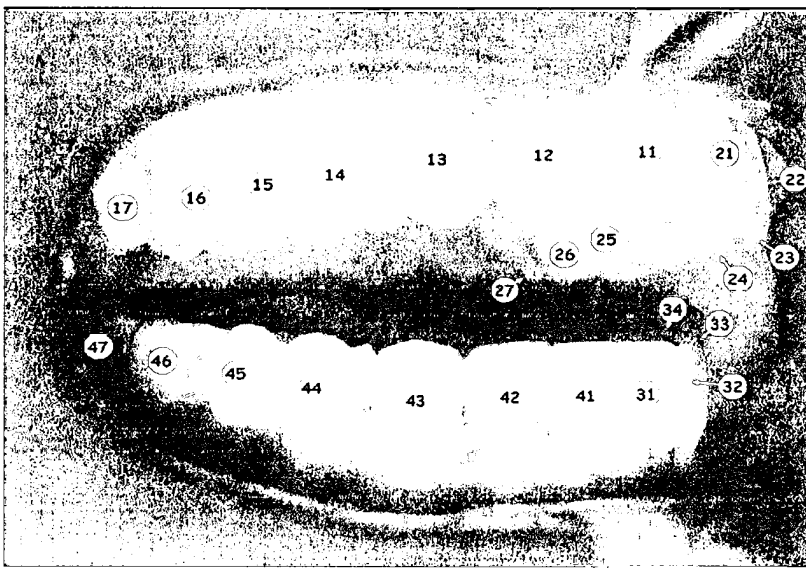


Fig. 17c



Em

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No. : 16/031,201
Applicant : Philippe SALAH
Filed : July 10, 2018
Title : METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Conf. No. : 8853
TC/A.U.
Examiner :

Customer No. : 108676
Docket No. : N&P-51425

LETTER

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir/Madam:

Enclosed, for filing in the above-referenced application, is a certified copy of the French priority document 1756947, priority of which has been claimed in the above-identified application.

Respectfully submitted,
COOPER LEGAL GROUP, LLC

By /Ronald M. Kachmarik/
Ronald M. Kachmarik, Reg. No. 34512

6505 Rockside Road
Suite 330
Independence, Ohio 44131
(216) 654-0090
August 6, 2018

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first-class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on the date indicated below.

Ronald M. Kachmarik
Name of Attorney for Applicant(s)

August 6, 2018 /Ronald M. Kachmarik/
Date Signature of Attorney

SCORE Placeholder Sheet for IFW Content

Application Number: 16031201

Document Date: 08/10/2018

The presence of this form in the IFW record indicates that the following document type was received in electronic format on the date identified above. This content is stored in the SCORE database.

Since this was an electronic submission, there is no physical artifact folder, no artifact folder is recorded in PALM, and no paper documents or physical media exist. The TIFF images in the IFW record were created from the original documents that are stored in SCORE.

- Certified Copy of Foreign Priority w Colored Illustrations

At the time of document entry (noted above):

- USPTO employees may access SCORE content via eDAN using the Supplemental Content tab, or via the SCORE web page.
- External customers may access SCORE content via PAIR using the Supplemental Content tab.

METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Technical field

The present invention relates to the field of dental arch image analysis.

5 **State of the art**

The most recent orthodontic treatments use images to assess the therapeutic situations. This assessment is conventionally performed by an orthodontist, which requires the patient to transmit these images to the orthodontist, even to make an appointment.

10 There is an ongoing need for a method simplifying the analysis of the images of dental arches of patients.

One aim of the invention is to address this need.

Summary of the invention

15 The invention proposes a method for analyzing an image, called “analysis image”, of a dental arch of a patient, a method in which the analysis image is submitted to a deep learning device, preferably a neural network, in order to determine at least one value of a tooth attribute relating to a tooth represented on the analysis image, and/or at least one value of an image attribute relating to the analysis image.

Analysis by tooth

20 The invention proposes in particular a method for detailed analysis of an image called “analysis image” of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- 1) creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or “historical images”, each historical image comprising one or more zones each representing a tooth, or “historical tooth zones”, to each of which, for at least one tooth attribute, a tooth attribute value is assigned;
- 25 2) training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;

- 3) submission of the analysis image to said at least one deep learning device for it to determine at least one probability relating to an attribute value of at least one tooth represented on a zone representing, at least partially, said tooth in the analysis image, or “analysis tooth zone”;
- 5 4) determination, as a function of said probability, of the presence of a tooth of said arch at a position represented by said analysis tooth zone, and of the attribute value of said tooth.

A first deep learning device, preferably a neural network, may in particular be implemented to assess a probability relating to the presence, at a location of said analysis image, of an analysis tooth zone.

10

A second deep learning device, preferably a neural network, may in particular be implemented to assess a probability relating to the type of tooth represented in an analysis tooth zone.

As will be seen in more detail hereinafter in the description, a detailed analysis method according to the invention advantageously makes it possible to immediately recognize the content of the analysis image.

15

The analysis image may advantageously be classified automatically. It may also be used immediately by a computer program.

The invention relies on the use of a deep learning device, preferably a neural network, the performance of which is directly linked to the richness of the learning base. There is therefore also a need for a method that makes it possible to rapidly enrich the learning base.

20

The invention therefore relates also to a method for enriching a learning base, notably intended for the implementation of a detailed analysis method according to the invention, said enrichment method comprising the following steps:

- 25 A) at an “updated” instant, production of a model of a dental arch of a patient, or “updated reference model”, and segmentation of the updated reference model so as to produce, for each tooth, a “tooth model”, and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
- 30 B) preferably less than 6 months, preferably less than 2 months, preferably less than 1 month, preferably less than a fortnight, preferably less than 1 week, preferably less than 1 day before or after the updated instant, preferably substantially at the updated instant, acquisition of at least one, preferably at least three, preferably at least ten,

preferably at least one hundred images of said arch, or “updated images” in respective real acquisition conditions;

- 5 C) for each updated image, search for virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions, and acquisition of said reference image;
- 10 D) identification, in the reference image, of at least one zone representing a tooth model, or “reference tooth zone”, and, by comparison of the updated image and of the reference image, determination, in the updated image, of a zone representing said tooth model, or “updated tooth zone”;
- E) assignment, to said updated tooth zone, of the tooth attribute value or values of said tooth model;
- F) addition of the updated image enriched with a description of said updated tooth zone and its tooth attribute value or values, or “historical image”, in the learning base.

- 15 In particular, each execution of the method described in WO 2016/066651 preferably generates more than three, more than ten, preferably more than one hundred updated images which, by an automated processing by means of the updated reference model, may produce as many historical images.

In a particular embodiment, the method for enriching a learning base comprises, in place of
20 the steps A) to C), the following steps:

- A') at an initial instant, production of a model of a dental arch of a patient, or “initial reference model”, and segmentation of the initial reference model so as to produce, for each tooth, a “tooth model”, and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
- 25 B') at an updated instant, for example spaced apart by more than a fortnight, preferably more than a month, even more than two months from the initial instant, acquisition of at least one, preferably at least three, preferably at least ten, preferably at least one hundred images of said arch, or “updated images”, in respective real acquisition conditions;
- 30 C') for each updated image, search, by deformation of the initial reference model, for an updated reference model and virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions.

This method advantageously makes it possible, after generation of the initial reference model, preferably by means of a scanner, to enrich the learning base at different updated instants, without it being necessary to perform a new scan, and therefore without the patient having to go to the orthodontist. He or she may in fact acquire the updated images him or herself, as described in WO 2016/066651.

A single orthodontic treatment may thus lead to the production of hundreds of historical images.

The invention relates also to a method for training a deep learning device, preferably a neural network, comprising an enrichment of a learning base according to the invention, then the use of said learning base to train the deep learning device.

Global analysis

The detailed analysis method described above advantageously allows for a fine analysis of the analysis image, the situation of each being preferably assessed.

Alternatively, the deep learning device may be used globally, the learning base containing historical images whose description provides a global attribute value for the image. In other words, the value of the image attribute relates to the whole image and not to part of the image. The attribute is not then a “tooth” attribute, but is an “image” attribute. For example, this image attribute may define whether, in light of the image as a whole or of a part of the image, the dental situation “is pathological” or “is not pathological”, without each tooth being examined. The image attribute also makes it possible to detect, for example, whether the mouth is open or closed, or, more generally, whether the image is suitable for a subsequent treatment, for example whether it makes it possible to monitor the occlusion.

The image attribute may in particular relate to

- a position and/or an orientation and/or a calibration of an acquisition apparatus used to acquire said analysis image, and/or
- a quality of the analysis image, and in particular relating to the brightness, to the contrast or to the sharpness of the analysis image, and/or
- the content of the analysis image, for example to the representation of the arches, of the tongue, of the mouth, of the lips, of the jaws, of the gums, of one or more teeth or of a dental, preferably orthodontic, appliance.

When the image attribute refers to the content of the image, the description of the historical images of the learning base specifies a characteristic of this content. For example, it may specify the position of the tongue (for example “retracted”) or the opening of the mouth of the patient (for example mouth open or closed) or the presence of a representation of a dental,
5 preferably orthodontic, appliance and/or of its condition (for example appliance intact, broken or damaged).

A tooth attribute value may be used to define a value for an image attribute. For example, if a value of a tooth attribute is “tooth decayed”, the value of an image attribute may be “unsatisfactory dental situation”.

10 The image attribute may in particular relate to a therapeutic situation.

The invention proposes a method for global analysis of an analysis image of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- 15 1') creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or “historical images”, each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or “image attribute value”;
- 2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- 3') submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value,
20 and determination, as a function of said probability, of a value for said image attribute for the analysis image.

The image attribute may in particular relate to the orientation of the acquisition apparatus upon the acquisition of the analysis image. It may for example take the values “front photo”, “left photo” and “right photo”.

25 The image attribute may also relate to the quality of the image. It may for example take the values “insufficient contrast” and “acceptable contrast”.

The image attribute may also relate to the dental situation of the patient, for example relate to the presence of decay or to the condition of a dental, preferably orthodontic, appliance worn by the patient (“degraded” or “in good condition” for example) or to the suitability of
30 the dental, preferably orthodontic, appliance to the treatment of the patient (for example “unsuitable” or “suitable”).

The image attribute may also relate to the “presence” or “absence” of a dental, preferably orthodontic, appliance, or to the state of opening of the mouth (“mouth open”, “mouth closed” for example).

As will be seen in more detail hereinafter in the description, a global image analysis method
5 according to the invention advantageously makes it possible to immediately and globally assess the content of the analysis image. In particular, it is possible to globally assess a dental situation and, for example, deduce therefrom the need to consult an orthodontist.

Definitions

A “patient” is a person for whom a method according to the invention is implemented,
10 independently of whether or not this person is following an orthodontic treatment.

“Orthodontist” should be understood to mean any person qualified to provide dental care services, which also includes a dentist.

A “dental part”, in particular “orthodontic part”, should be understood to mean all or part of a dental, in particular orthodontic, appliance.

15 An orthodontic part may in particular be an orthodontic aligner. Such an aligner extends in such a way as to follow the successive teeth of the arch on which it is fixed. It defines a generally “U” shaped channel, the shape of which is determined to ensure the fixing of the aligner onto the teeth, but also as a function of a desired target positioning for the teeth. More specifically, the shape is determined in such a way that, when the aligner is in its service
20 position, it exerts stresses tending to move the teeth being treated to their target positioning, or to hold the teeth in this target positioning.

The “service position” is the position in which the dental or orthodontic part is worn by the patient.

“Model” should be understood to be a digital three-dimensional model. An arrangement of
25 tooth models is therefore a model.

“Image” should be understood to be an image in two dimensions, like a photograph or an image taken from a film. An image is formed by pixels.

A “reference image” is a view of a “reference” model.

“Image of an arch” or “model of an arch” should be understood to be a representation of all
30 or part of said arch. Such a representation is preferably in colors.

The “acquisition conditions” of an image specify position and the orientation in space of an acquisition apparatus acquiring this image in relation to the teeth of the patient (real acquisition conditions) or to a model of teeth of the patient (virtual acquisition conditions), and preferably the calibration of this acquisition apparatus. Acquisition conditions are said
5 to be “virtual” when they correspond to a simulation in which the acquisition apparatus would be in said acquisition conditions (theoretical positioning and preferably calibration of the acquisition apparatus) relative to a model.

In virtual conditions of acquisition of a reference image, the acquisition apparatus may be also qualified as “virtual”. The reference image is in fact acquired by a hypothetical
10 acquisition apparatus, having the characteristics of the “real” acquisition apparatus used for the acquisition of the real images, and in particular of the updated images.

The “calibration” of an acquisition apparatus is made up of all the values of the calibration parameters. A “calibration parameter” is a parameter intrinsic to the acquisition apparatus (unlike its position and orientation) whose value influences the image acquired. Preferably,
15 the calibration parameters are chosen from the group formed by the diaphragm aperture, the exposure time, the focal distance and the sensitivity.

A “discriminating information item” is a characteristic feature which may be extracted from an image (*“image feature”*), conventionally by computer processing of this image.

A discriminating information item may exhibit a variable number of values. For example, a
20 contour feature may be equal to 1 or 0 depending on whether a pixel belongs or does not belong to a contour. A brightness feature may take a large number of values. The processing of the image makes it possible to extract and quantify the discriminating information item.

The discriminating information item may be represented in the form of a “map”. A map is thus the result of a processing of an image in order to reveal the discriminating information
25 item, for example the contour of the teeth and of the gums.

“Match” or “fit” between two objects designates a measurement of the difference between these two objects. A match is maximal (*“best fit”*) when it results from an optimization making it possible to minimize said difference.

An object modified to obtain a maximum match may be qualified as “optimal” object.

Two images or “views” which exhibit a maximal match represent substantially at least one same tooth, in the same way. In other words, the representations of the tooth on these two images may be substantially superimposed.

5 The search for a reference image exhibiting a maximal match with an updated image is performed by searching for the virtual acquisition conditions of the reference image exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions of the updated image.

By extension, a model exhibits a maximal match with an image when this model has been chosen from several models because it allows a view exhibiting a maximal match with said image and/or when this image has been chosen from several images because it exhibits a
10 maximal match with a view of said model.

In particular, an updated image is in maximal match with a reference model when a view of this reference model provides a reference image showing a maximal match with the updated image.

15 The comparison between two images results preferably from the comparison of two corresponding maps. “Distance” is used conventionally to denote a measurement of the difference between two maps or between two images.

The “metaheuristic” methods are known optimization methods. They are preferably chosen from the group formed by

- 20 – evolutionary algorithms, preferably chosen from: evolution strategies, genetic algorithms, differential evolution algorithms, distribution estimation algorithms, artificial immunity systems, shuffled complex evolution path recombination, simulated annealing, ant colony algorithms, particular swarm optimization algorithms, search with taboos, and the GRASP method;
- the kangaroo algorithm,
- 25 – the Fletcher and Powell method,
- the sound effects method,
- stochastic tunneling,
- random-restart hill climbing,
- the cross-entropy method, and
- 30 – the hybrid methods between the abovementioned metaheuristic methods.

“Description” of an image denotes information particularly relating to the definition of the tooth zones of this image and to the tooth attribute values which are associated with them,

and/or relating to an image attribute value of said image. The number of possible values for a tooth attribute or an image attribute is unlimited.

A “historical” image is an image of a dental arch enriched with a description. The tooth zones of a historical image are qualified as “historical tooth zones”.

- 5 “Comprising” or “including” or “exhibiting” should be interpreted without restriction, unless indicated otherwise.

Brief description of the figures

Other features and advantages of the invention will become more apparent on reading the following detailed description and studying the attached drawing in which:

- 10 - figure 1 represents, schematically, the different steps of a method for detailed analysis of an image, according to the invention;
- figure 2 represents, schematically, the different steps of a method for enriching a learning base, according to the invention;
- figure 3 represents, schematically, the different steps of a variant of a method for enriching a learning base, according to the invention;
- 15 - figure 4 represents, schematically, the different steps of a method for global analysis of an image, according to the invention;
- figure 5 represents, schematically, the different steps of a step C) of a method for enriching a learning base, according to the invention;
- 20 - figures 6 and 18 represent, schematically, the different steps of a method for modeling the dental arch of a patient, according to the invention;
- figure 7 represents, schematically, the different steps of a method for assessing a dental situation of a patient, according to the invention;
- figure 8 represents, schematically, the different steps of a method for acquiring an image of a dental arch of a patient, according to the invention;
- 25 - figure 9 represents, schematically, the different steps of a method for assessing the shape of an orthodontic aligner of a patient, according to the invention;
- figure 10 represents an example of a reference image of an initial reference model;
- figure 11 (11A-11D) illustrates a way of processing to determine the tooth models in an initial reference model, as described in WO 2016 066651, with figure 11A representing a reference image, figure 11B representing a corresponding reference
- 30

map, figure 11C representing a map relating to the contour of the teeth, and figure 11D representing a segmented reference model;

- figure 12 (12A-12D) illustrates the acquisition of an image by means of a retractor, an operation of cropping of this image, and the processing of an updated image making it possible to determine the contour of the teeth, as described in WO 2016 066651, with figure 12A illustrating the use of a dental retractor, figures 12B and 12C representing an updated image, and figure 12D representing an updated map relating to the contour of the teeth obtained from the updated image of figure 12C;
- figure 13 schematically illustrates the relative position of registration marks 12 of a retractor 10 on updated images 14₁ and 14₂, according to the directions of observation represented by broken lines;
- figures 14 and 15 represent an orthodontic aligner, in perspective and plan views, respectively;
- figure 16 illustrates the step e) described in WO 2016 066651;
- figure 17 (17A-17C) illustrates an enrichment method according to the invention, with figure 17A showing an example of updated image, figure 17B showing the reference image exhibiting a maximal match with the updated image, and figure 17C illustrating the transfer of the tooth numbers to the updated tooth zones; and
- figure 18 is described above with figure 6.

20 **Detailed description**

A detailed analysis method according to the invention requires the creation of a learning base. This creation preferably implements a method comprising the steps A) to F), or, in one embodiment, in place of the steps A) to C), preferably the steps A') to C').

First main embodiment of the enrichment method

25 **The step A)** is intended for the production of an updated reference model modeling an arch of the patient. It preferably comprises one or more of the features of the step a) of WO 2016 066651, incorporated by reference, to produce an initial reference model.

The updated reference model is preferably created with a 3D scanner. Such a so-called “3D” model may be observed from any angle. An observation of the model, from a determined
30 angle and distance, is called a “view” or “reference image”.

Figure 11A is an example of reference image.

The updated reference model may be prepared from measurements performed on the teeth of the patient or on a molding of his or her teeth, for example a plaster molding.

For each tooth, from the updated reference model, a model of said tooth, or “tooth model”, is defined (figure 11D). This operation, known per se, is called “segmentation” of the updated reference model.

In the updated reference model, a tooth model is preferably delimited by a gingival margin which may be broken down into an interior gingival margin (of the side of the interior of the mouth relative to the tooth), an exterior gingival margin (oriented toward the outside of the mouth relative to the tooth) and two lateral gingival margins.

One or more tooth attributes are associated with the tooth models as a function of the teeth that they model.

The tooth attribute is preferably chosen from a tooth number, a tooth type, a tooth shape parameter, for example a tooth width, in particular a mesio-palatine width, a thickness, a crown height, an index of mesial and distal deflection of the incisive margin, or a level of abrasion, a tooth appearance parameter, in particular a translucency index or a color parameter, a parameter relating to the condition of the tooth, for example “abraded”, “broken”, “decayed” or “fitted” (that is to say in contact with a dental, preferably orthodontic, appliance), an age for the patient, or a combination of these attributes. A tooth attribute is preferably an attribute which only relates to the tooth modeled by the tooth model.

A tooth attribute value may be assigned to each tooth attribute of a particular tooth model.

For example, the “tooth type” tooth attribute will have the value “incisor”, “canine” or “molar” depending on whether the tooth model is that of an incisor, of a canine or of a molar, respectively.

The assignment of the tooth attribute values to the tooth models may be manual or, at least partly, automatic. For example, if the value of a tooth attribute is identical whatever the tooth model, such as for the “age of the patient” tooth attribute, it may be sufficient to assign a value to one tooth model to determine the value of this attribute for the other tooth models.

Similarly, the tooth numbers are conventionally assigned according to a standard rule. It is therefore sufficient to know this rule and the number of a tooth modeled by a tooth model to calculate the numbers of the other tooth models.

In a preferred embodiment, the shape of a particular tooth model is analyzed so as to define its tooth attribute value, for example its number. This shape recognition is preferably performed by means of a deep learning device, preferably a neural network. Preferably, a library of historical tooth models is created, each historical tooth model having a value for the tooth attribute, as described hereinbelow (step a)), the deep learning device is trained with views of the historical tooth models of this library, then one or more views of the particular tooth model are analyzed with the trained deep learning device, so as to determine the tooth attribute value of said particular tooth model.

The allocation of the tooth attribute values may then be performed totally without human intervention.

The step B) is intended for the acquisition of one or preferably several updated images.

The step B) preferably comprises one or more of the features of the step b) of WO 2016 066651.

The acquisition of the updated images is performed by means of an image acquisition apparatus, preferably chosen from a cellphone, a so-called “connected” camera, a so-called “smart” watch, a tablet or a personal computer, fixed or portable, comprising an image acquisition system such as a webcam or a camera. Preferably, the image acquisition apparatus is a cellphone.

Also preferably, the image acquisition apparatus is separated from the dental arch by more than 5 cm, more than 8 cm, even more than 10 cm, which avoids the condensation of steam on the optic of the image acquisition apparatus and facilitates the focusing. Furthermore, preferably, the image acquisition apparatus, in particular the cellphone, has no specific optic for the acquisition of the updated images, which is notably possible because of the separation of the dental arch during the acquisition.

Preferably, an updated image is a photograph or an image extracted from a film. It is preferably in color, preferably in real colors.

Preferably, the acquisition of the updated image or images is performed by the patient, preferably without the use of a support which is bearing on the ground and is immobilizing the image acquisition apparatus, and in particular without tripod.

In one embodiment, the triggering of the acquisition is automatic, that is to say without the action of an operator, as soon as the acquisition conditions are approved by the image

acquisition apparatus, in particular when the image acquisition apparatus has determined that it observes a dental arch and/or a retractor and that the conditions of observation are satisfactory (sharpness, brightness, even dimensions of the representation of the dental arch and/or of the retractor).

- 5 The time interval between the steps A) and B) is as short as possible in order for the teeth not to be substantially displaced between the production of the updated model and the acquisition of the updated images. Reference images matching with the updated images may then be acquired by observing the updated reference model.

10 Preferably, a dental retractor 10 is used in the step B), as represented in figure 12A. The retractor conventionally comprises a support provided with a rim extending around an opening and arranged in such a way that the lips of the patient may rest thereon leaving the teeth of the patient apparent through said opening.

In the step C), the updated reference model is explored to find, for each updated image, a reference image exhibiting a maximal match with the updated image.

- 15 The step C) may comprise one or more of the features of the steps c), d) and e) of WO 2016 066651, in as much as they concern such an exploration.

For each updated image, a set of virtual acquisition conditions approximating the real acquisition conditions upon the acquisition of said updated image is preferably determined, roughly. In other words, the position of the image acquisition apparatus is estimated in
20 relation to the teeth at the moment when it took the updated image (position of the acquisition apparatus in space and orientation of this apparatus). This rough assessment advantageously makes it possible to limit the number of tests on virtual acquisition conditions in subsequent operations, and therefore makes it possible to considerably speed up these operations.

To perform this rough assessment, one or more heuristic rules are preferably used. For
25 example, preferably, virtual acquisition conditions likely to be tested in subsequent operations, the conditions which correspond to a position of the image acquisition apparatus behind the teeth or at a distance from the teeth greater than 1 m, are excluded.

In a preferred embodiment, as illustrated in figure 13, registration marks are used that are represented on the updated image, and in particular registration marks 12 of the retractor, to
30 determine a region of the space that is substantially conical delimiting virtual acquisition conditions likely to be tested in subsequent operations, or “test cone”.

More specifically, at least three registration marks 12 are preferably positioned non-aligned on the retractor 10, and their relative positions on the retractor are accurately measured.

The registration marks are then marked on the updated image, as described previously. Simple trigonometric calculations make it possible to determine approximately the direction
5 from which the updated image was taken.

Next, for each updated image, a reference image is sought that exhibits a maximum match with the updated image. This search is preferably performed by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

Preferably, at any instant before the step C4), the updated image is analyzed so as to produce
10 an updated map representing, at least partially, a discriminating information item. The updated map therefore represents the discriminating information item in the reference frame of the updated image.

The discriminating information item is preferably chosen from the group consisting of a contour information item, a color information item, a density information item, a distance
15 information item, a brightness information item, a saturation information item, information on reflections and combinations of these information items.

A person skilled in the art knows how to process an updated image to reveal the discriminating information item.

For example, figure 12D is an updated map relating to the contour of the teeth obtained from
20 the updated image of figure 12B.

Said search comprises the following steps:

- C1) determination of virtual acquisition conditions “to be tested”;
- C2) production of a reference image of the updated reference model in
said virtual acquisition conditions to be tested;
- 25 C3) processing of the reference image to produce at least one reference map representing, at least partially, the discriminating information item;
- C4) comparison of the updated and reference maps so as to determine a
value for an assessment function, said value for the assessment
30 function depending on the differences between said updated and reference maps and corresponding to a decision to continue or stop the search for virtual acquisition conditions approximating said real

acquisition conditions with greater accuracy than said virtual acquisition conditions to be tested determined in the last occurrence of the step C1);

5 C5) if said value for the assessment function corresponds to a decision to continue said search, modification of the virtual acquisition conditions to be tested, then return to the step C2).

The step C1) begins with a determination of the virtual acquisition conditions to be tested, that is to say a virtual position and orientation likely to correspond to the real position and orientation of the acquisition apparatus upon the capture of the updated image, but also,
10 preferably, a virtual calibration likely to correspond to the real calibration of the acquisition apparatus upon the capture of the updated image.

The first virtual acquisition conditions to be tested are preferably virtual acquisition conditions assessed roughly, as described previously.

In the step C2), the image acquisition apparatus is then virtually configured in the virtual acquisition conditions to be tested in order to acquire a reference image of the updated
15 reference model in these virtual acquisition conditions to be tested. The reference image therefore corresponds to the image that the image acquisition apparatus would have taken if it had been placed, relative to the updated reference model, and optionally calibrated, in the virtual acquisition conditions to be tested.

20 If the updated image was taken substantially at the same moment as the updated reference model was created by a scan of the teeth of the patient, the position of the teeth on the updated image is substantially identical to that in the updated reference model. If the virtual acquisition conditions to be tested are exactly the real acquisition conditions, the reference image may therefore be exactly superimposed on the updated image. The differences
25 between the updated image and the reference image result from errors in the assessment of the virtual acquisition conditions to be tested, if they do not correspond exactly to the real acquisition conditions.

In the step C3), the reference image is processed as the updated image so as to produce, from the reference image, a reference map representing the discriminating information item
30 (figures 11A and 11B). A person skilled in the art knows how to process a reference image to reveal the discriminating information item.

In the step C4), the updated and reference maps, both relating to the same discriminating information item, are compared and the difference or “distance” between these two maps is assessed by means of a score. For example, if the discriminating information item is the contour of the teeth, the mean distance between the points of the contour of the teeth which appears on the reference image and the points of the corresponding contour which appears on the updated image may be compared, the score being all the higher when this distance is small.

The score may for example be a correlation coefficient.

Preferably, the virtual acquisition conditions comprise the calibration parameters of the acquisition apparatus. The score is that much higher when the values of the calibration parameters tested are close to the calibration parameter values of the acquisition apparatus used upon the acquisition of the updated image. For example, if the diaphragm aperture tested is far from that of the acquisition apparatus used upon the acquisition of the updated image, the reference image shows fuzzy regions and sharp regions which do not correspond to the fuzzy regions and to the sharp regions of the updated image. If the discriminating information item is the contour of the teeth, the updated and reference maps will not therefore represent the same contours and the score will be low.

The score is then assessed by means of an assessment function. The assessment function makes it possible to decide whether the cycling on the steps C1) to C5) must be continued or stopped. The assessment function may for example be equal to 0 if the cycling must be stopped or be equal to 1 if the cycling must continue.

The value of the assessment function may depend on the score achieved. For example, a decision may be made to continue the cycling if the score does not exceed a threshold. For example, if an exact match between the updated and reference images leads to a score of 100%, the threshold may be, for example, 95%. Obviously, the higher the threshold, the better will be the accuracy of the assessment of the virtual acquisition conditions if the score manages to exceed this threshold.

The value of the assessment function may also depend on scores obtained with virtual acquisition conditions tested previously.

The value of the assessment function may also depend on random parameters and/or on the number of cycles already performed.

In particular, it is possible, despite the repetition of the cycles, not to manage to find virtual acquisition conditions which are sufficiently close to the real acquisition conditions for the score to reach said threshold. The assessment function may then lead to the decision to exit the cycle even through the best score obtained has not reached said threshold. This decision
5 may result, for example, from a number of cycles greater than a predetermined maximum number.

A random parameter in the assessment function may also authorize the continuation of tests of new virtual acquisition conditions, even though the score appears satisfactory.

The assessment functions conventionally used in the metaheuristic optimization, preferably
10 evolutionist, methods, particularly in the simulated annealing methods, may be used for the assessment function.

In the step C5), if the value of the assessment function indicates a decision to continue the cycling, the virtual acquisition conditions to be tested are modified and the cycling recommences on the steps C1) to C5), consisting in producing a reference image and a
15 reference map, in comparing the reference map with the updated map to determine a score, then in taking a decision as a function of this score.

The modification of the virtual acquisition conditions to be tested corresponds to a virtual displacement in space and/or to a modification of the orientation and/or, preferably, to a modification of the calibration of the acquisition apparatus. This modification may be
20 random, preferably such that the new virtual acquisition conditions to be tested still belong to the set determined upon the rough assessment. The modification is preferably guided by heuristic rules, for example by favoring the modifications which, according to an analysis of the preceding scores obtained, appear most favorable for increasing the score.

The cycling is continued until the value of the assessment function indicates a decision to
25 cease this cycling and to continue to the step D), for example if the score reaches or exceeds said threshold.

The optimization of the virtual acquisition conditions is preferably performed by using a metaheuristic, preferably evolutionist, method, preferably a simulated annealing algorithm. Such an algorithm is well known for nonlinear optimization.

30 If the cycling has been exited without a satisfactory score having been able to be obtained, for example without the score having been able to reach said threshold, the method may be

stopped (failure situation) or a new step C) may be launched, with a new discriminating information item and/or with a new updated image. The method may also be continued with the virtual acquisition conditions corresponding to the best score reached. A warning may be emitted in order to inform the user of the error on the result.

- 5 If the cycling has been exited when a satisfactory score has been able to be obtained, for example because the score has reached, even exceeded said threshold, the virtual acquisition conditions correspond substantially to the real acquisition conditions of the updated image.

Preferably, the virtual acquisition conditions comprise the calibration parameters of the acquisition apparatus. The method thus makes it possible to assess the values of these
10 parameters without it being necessary to know the nature of the acquisition apparatus or its setting. The acquisition of the updated images may therefore be performed without any particular precautions, for example by the patient him or herself by means of his or her cellphone.

In addition, the search for the real calibration is performed by comparing an updated image
15 with views of a reference model in virtual acquisition conditions to be tested. Advantageously, it does not require the updated image to show a standard calibration gauge, that is to say a gauge whose characteristics are accurately known making it possible to determine the calibration of the acquisition apparatus.

The step C) therefore culminates in the determination of virtual acquisition conditions
20 exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions. The reference image therefore exhibits a maximal match with the updated image, that is to say that these two images may substantially be superimposed.

In one embodiment, said search of the virtual acquisition conditions in the step C) is performed by using a metaheuristic, preferably evolutionist, method, preferably a simulated
25 annealing algorithm.

In the step D), the reference tooth zones are identified on the reference image and they are transferred to the updated image to define corresponding updated tooth zones.

In particular, the reference image is a view of the updated reference model segmented into tooth models. The limits of the representation of each tooth model on the reference image,
30 or “reference tooth zone”, may therefore be identified.

The superimposition of the updated and reference images then makes it possible to transfer the limits of the reference tooth zones to the updated image, and thus define the updated tooth zones. Since the reference image exhibits a maximal match with the updated image, the updated tooth zones therefore substantially define the limits of the tooth models
5 represented on the reference image.

In the step E), each updated tooth zone is assigned the tooth attribute value or values of the tooth model which corresponds to it.

In particular, the reference image is a view of the updated reference model in which the tooth models have been assigned respective tooth attribute values for at least one tooth attribute,
10 for example a tooth number. Each reference tooth zone may therefore inherit the tooth attribute value of the tooth model that it represents. Each updated tooth zone may then inherit the tooth attribute value of the reference tooth zone which allowed it to be defined.

At the end of the step E), an updated image and a description of the updated image is therefore obtained that defines one or more updated tooth zones and, for each of these zones,
15 a tooth attribute value for at least one tooth attribute, for example a tooth number.

The updated image enriched with its description is called “historical image”.

Figure 17A shows an example of updated image (acquired in the step B)) being analyzed in order to determine the contours of the teeth. Figure 17B shows the reference image exhibiting a maximal match with the updated image (resulting from the step C)). The
20 numbers of the teeth are displayed on the corresponding teeth. Figure 17C illustrates the transfer of the tooth numbers to the updated tooth zones (step D) and E)).

In the step F), the historical image is added to the learning base.

The steps A) to F) are preferably performed for more than 1000, more than 5000, or more than 10 000 different patients, or “historical patients”.

25 As now clearly emerges, the invention provides a method that is particularly effective for creating a learning base.

The invention relates also to a method for training a deep learning device, preferably a neural network, said method comprising an enrichment of a learning base according to a method comprising steps A) to F) so as to acquire a plurality of historical images, then the use of
30 said learning base to train said deep learning device.

Second main embodiment of the enrichment method

The invention is not however limited to the embodiments described above.

In particular, the updated reference model is not necessarily the direct result of a scan of the arch of the patient. The updated reference model may in particular be a model obtained by
5 deformation of an initial reference model which is itself resulting directly from such a scan. The method then comprises, preferably, in place of the steps A) to C), the steps A') to C').

The step A') is identical to the step A). In the step A'), the reference model generated is however intended to be modified. It is therefore qualified as "initial reference model", and not as "updated reference model", as according to the step A).

10 The initial reference model may in particular be generated at an initial instant preceding an active orthodontic treatment, for example less than 6 months, less than 3 months, or less than 1 month before the start of the treatment. The steps B') to C') may then be implemented to track the trend of the treatment between the initial instant and the updated instant of the step B').

15 The initial instant may alternatively be an instant at the end of active orthodontic treatment, for example less than 6 months, less than 3 months, or less than 1 month after the end of the treatment. The steps B') to C') may then be implemented to monitor the appearance of any recurrence.

The step B') is identical to the step B). In the step B'), the updated images are however also
20 intended to guide the modification of the initial reference model to define the updated reference model, in the step C').

The time interval between the steps A') and B') is not limited, since, as explained hereinbelow, the initial reference model will be deformed to obtain an updated reference model with maximal match with the updated images. The time interval between the steps
25 A') and B') may for example be greater than 1 week, than 2 weeks, than 1 month, than 2 months or more than 6 months.

The step C') is more complex than the step C) since the search for a reference image exhibiting a maximal match with an updated image is not limited to searching for the optimal virtual acquisition conditions. It also includes a search for an updated reference model, that

is to say a reference model in which the teeth have substantially the same position as on the updated image.

The step C') preferably comprises one or more of the features of the steps c), d) and e) of WO 2016 066651, and in particular of the step e) illustrated in figure 16.

- 5 The objective is to modify the initial reference model until an updated reference model is obtained which exhibits a maximal match with the updated image. Ideally, the updated reference model is therefore a model of the arch from which the updated image would have been able to be taken if this model had been the arch itself.

A succession of reference models "to be tested" is therefore tested, the choice of a reference
10 model to be tested preferably being dependent on the level of correspondence of the reference models "to be tested" previously tested with the updated image.

Preferably, the search comprises, for an updated image,

- a first optimization operation making it possible to search, in a reference model to be tested determined from the initial reference model, for virtual acquisition conditions best
15 corresponding to the real acquisition conditions of the updated image, and
- a second optimization operation making it possible to search, by testing a plurality of said reference models to be tested, for the reference model best corresponding to the positioning of the teeth of the patient upon the acquisition of the updated image.

Preferably, a first optimization operation is performed for each test of a reference model to
20 be tested during the second optimization operation.

Preferably, the first optimization operation and/or the second optimization operation, preferably the first optimization operation and the second optimization operation, implement a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably a simulated annealing.

The step C') therefore culminates in the determination

- 25 – of an updated reference model exhibiting a maximal match with the updated image, and
– virtual acquisition conditions exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions.

A method comprising the steps A') to C') may advantageously be implemented in the
30 context of an active or passive orthodontic treatment, or, more generally, to track any changes to the teeth.

In the different methods according to the invention, the enrichment of the learning base does not necessarily result from an enrichment method according to the invention.

5 In one embodiment, the learning base is created by an operator. The latter thus analyzes thousands of analysis images. For the learning base to be able to be used for the implementation of a detailed analysis method, it determines the tooth zones, then assigns them tooth attribute values. For the learning base to be able to be used for the implementation of a global analysis method, it assigns image attribute values to each image. It may thus form historical images.

Detailed image analysis method

10 The method for detailed analysis of an “analysis image” of a dental arch of a patient according to the invention comprises the steps 1) to 4).

Preferably, the analysis image, preferably a photograph or an image extracted from a film, preferably in color, preferably in real color, is acquired with an image acquisition apparatus, preferably a cellphone, separated from the dental arch by more than 5 cm, more than 8 cm,
15 even more than 10 cm, and which, preferably, has no other specific optic.

Preferably, the analysis image represents several teeth, preferably more than 2, more than 3, more than 4 or more than 5 teeth of the patient. Figure 12A or figure 12B could be examples of analysis images. The arrangement of the teeth is realistic, i.e. it corresponds to the arrangement which is observed by the image acquisition apparatus when it has acquired the
20 analysis image.

Preferably, the acquisition of the analysis image is performed by the patient, preferably without the use of a support which is bearing on the ground and is immobilizing the image acquisition apparatus, and in particular without tripod.

25 In one embodiment, the triggering of the acquisition of the analysis image is automatic, that is to say without the action of an operator, as soon as the acquisition conditions are approved by the image acquisition apparatus, in particular when the image acquisition apparatus has determined that it observes a dental arch and/or a retractor and that the observation conditions are satisfactory (sharpness, brightness, even dimensions of the representation of the dental arch and/or of the retractor).

In the step 1), a learning base is created comprising more than 1000, preferably more than 5000, preferably more than 10 000, preferably more than 30 000, preferably more than 50 000, preferably more than 100 000 historical images. The greater the number of historical images, the better the analysis performed by the method.

- 5 Preferably, a learning base is used that is enriched according to an enrichment method according to the invention.

The learning base may however be constructed according to other methods, for example be created manually. To create a historical image of the learning base, an operator, preferably an orthodontist, identifies one or more “historical” tooth zones on an image, called then
10 assigns, to each identified historical tooth zone, a value for at least one tooth attribute.

In step 2), a deep learning device, preferably a neural network, is trained with the learning base.

A “neural network” or “artificial neural network” is a set of algorithms well known to a person skilled in the art.

- 15 The neural network may in particular be chosen from:

- the networks specializing in the classification of images, called “CNN” (“convolutional neural network”), for example
 - AlexNet (2012)
 - ZF Net (2013)
 - 20 – VGG Net (2014)
 - GoogleNet (2015)
 - Microsoft ResNet (2015)
 - Caffe: BAIR Reference CaffeNet, BAIR AlexNet
 - Torch: VGG_CNN_S, VGG_CNN_M, VGG_CNN_M_2048, VGG_CNN_M_10
 - 25 24, VGG_CNN_M_128, VGG_CNN_F, VGG ILSVRC-2014 16-layer, VGG
ILSVRC-2014 19-layer, Network-in-Network (Imagenet & CIFAR-10)
 - Google: Inception (V3, V4).
- The networks specializing in the location and detection of objects in an image, the object detection network, for example:
30 – R-CNN (2013)

- SSD (Single Shot MultiBox Detector: Object Detection network), Faster R-CNN (Faster Region-based Convolutional Network method: Object Detection network)
- Faster R-CNN (2015)
- 5 – SSD (2015).

The above list is not limiting

In the step 2), the deep learning device is preferably trained by a learning process called “*deep learning*”. By presenting, as input for the deep learning device, historical images (images + descriptions), the deep learning device progressively learns to recognize *patterns*
10 on an image, and to associate them with tooth zones and with tooth attribute values, for example tooth numbers.

In the step 3), the image that is to be analyzed, or “analysis image”, is submitted to the deep learning device.

Through its training in the step 2), the deep learning device is capable of analyzing the
15 analysis image and of recognizing said patterns therein. It may in particular determine a probability relating to:

- the presence, at a location in said analysis image, of a zone representing, at least partially, a tooth, or “analysis tooth zone”,
- the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone.

20 For example, it is capable of determining that there is a 95% chance that a form of the analysis image represents an incisor.

Preferably, the deep learning device analyses all the analysis image and determines probabilities for all the analysis tooth zones that it has identified.

In the step 4), the results of the preceding step are analyzed to determine the teeth
25 represented on the analysis image.

When the learning base comprises more than 10 000 historical images, the step 3) gives particularly satisfactory results. In particular, such a learning base makes it possible to establish a probability threshold such that, if a probability associated with an analysis tooth zone and with a tooth attribute value for this analysis tooth zone exceeds said threshold, the
30 analysis tooth zone effectively represents a tooth having said tooth attribute value.

The step 4) thus leads to the definition of an analysis image enriched with a description defining the analysis tooth zones and, for each analysis tooth zone, the values of the attributes of the tooth represented by the analysis tooth zone.

5 Global image analysis method

The method for global analysis of an updated image of a dental arch of a patient according to the invention comprises the steps 1') to 3').

The method is similar to the detailed analysis method described above, apart from the fact that, according to the global analysis, it is not necessary to analyze the individual situation of each tooth. The analysis is global to all the image. In other words, the deep learning device determines the value of an "image" attribute without having to previously determine tooth attribute values.

For example, the deep learning device may conclude that, "globally", the dental situation is "satisfactory" or "unsatisfactory", without determining the tooth potentially at the origin of the dissatisfaction.

The step 1') is similar to the step 1). The historical images however include a description specifying an image attribute value for each image.

The step 2') is similar to the step 2).

In the step 3'), the analysis image is submitted to the deep learning device.

Through its training in the step 2'), the deep learning device is capable of analyzing the analysis image and of recognizing said patterns therein. Based on these patterns, it may in particular determine a probability relating to the value of the image attribute considered.

Application to the modeling of a dental arch

A detailed analysis method according to the invention is in particular useful for modeling a dental arch, notably for establishing a remote diagnostic.

It is desirable for each to regularly check his or her dentition, particularly in order to check that the position of his or her teeth is not changing for the worse. In an orthodontic treatment, this change for the worse may in particular lead to the treatment being modified. After an orthodontic treatment, a change for the worse, called "recurrence", may lead to a repeat of a

treatment. Finally, more generally and independently of any treatment, each may want to track any displacements of his or her teeth.

Conventionally, the checks are performed by an orthodontist who has appropriate apparatus. These checks are therefore costly. Furthermore, the appointments are restrictive. Finally,
5 some people are apprehensive of a visit to an orthodontist and will fail to make an appointment for a simple check or to assess the feasibility of an orthodontic treatment.

US 2009/0291417 describes a method making it possible to create, then modify, three-dimensional models, particularly for the manufacture of orthodontic appliances.

WO 2016 066651 describes a method for checking the positioning and/or the shape and/or
10 the appearance of teeth of a patient. This method comprises a step of creation of an initial reference model of the teeth, at an initial instant, preferably with a 3D scanner, then, at a subsequent instant, or “updated instant”, for example six months after the initial instant, the creation of an updated reference model, by deformation of the initial reference model. This deformation is performed in such a way that the updated reference model allows observation
15 substantially identical to images of the teeth acquired at the updated instant, in particular to photos or images from a video taken by the patient him or herself, with no particular precautions, called “updated images”.

The updated images are therefore used to modify the initial, very accurate, reference model. The updated reference model which results from the deformation of the initial reference
20 model, guided by the analysis of the updated images, is therefore also very accurate.

The method described in WO 2016/66651 does however require an appointment with the orthodontist in order to create the initial reference model. This appointment constitutes a brake to prevention. In effect, a patient will not necessarily consult an orthodontist if he or she does not perceive the need therefor. In other words, the method is often implemented
25 only if a malocclusion is found and has to be corrected.

There is therefore a need for a method that addresses this problem, by facilitating prevention.

One aim of the invention is to address this need.

To this end, the invention proposes a method for modeling a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- a) creation of a historical library comprising more than 1000 tooth models, called “historical tooth models”, and assignment to each historical tooth model of a value for at least one tooth attribute, or “tooth attribute value”;
- 5 b) analysis of at least one “analysis image” of the dental arch according to a detailed analysis method according to the invention, so as to determine at least one analysis tooth zone and at least one tooth attribute value associated with said analysis tooth zone;
- c) for each analysis tooth zone determined in the preceding step, search, in the historical library, for a historical tooth model exhibiting a maximum proximity with the analysis image or with the analysis tooth zone, or “optimal tooth model”;
- 10 d) arrangement of all the optimal tooth models so as to create a model which exhibits a maximal match with the updated image, or “assembled model”;
- e) optionally, replacement of at least one optimal tooth model by another historical tooth model and repeat of the step d) so as to maximize the match between the assembled model and the analysis image;
- 15 f) optionally, repeat of the step b) with another analysis image and, in the step d) and/or e), search for a maximal match with all the analysis images used.

The invention thus makes it possible, from a simple analysis image, for example a photograph taken by means of a cellphone, to reconstruct, with a good reliability, a dental arch in the form of an assembled model. In particular, the analysis image may be acquired as described here above at step 1).

20

Obviously, the analysis of a single analysis image is insufficient to generate an assembled model which accurately corresponds to the arrangement of the teeth of the patient. Such an accuracy is however not generally essential for performing a first diagnosis of the dental situation of the patient.

25

Moreover, the accuracy of the assembled model may be increased if several analysis images are processed.

The steps b) to c) are preferably implemented for several analysis images and, in the steps d) and e), the optimal tooth models and an assembled model are searched so as to obtain a maximal match in light of all the analysis images (step f)).

30

The invention also relates to a method for assessing a dental situation of a patient, comprising the following steps:

- i) creation of an assembled model according to a modeling method according to the invention;
- 5 ii) transmission of the assembled model to a recipient, preferably an orthodontist and/or a computer;
- iii) analysis of the orthodontic situation of the patient, by the recipient, from the assembled model;
- iv) preferably, informing of the patient of the orthodontic situation, preferably, via his
10 or her cellphone.

The patient may therefore very easily ask an orthodontist to check his or her dental situation, without even having to travel, by simply transmitting one or preferably several photos of his or her teeth.

A modeling method is now described in detail.

- 15 **In the step a)**, a historical library 20 (figure 18) is created comprising more than 1000, preferably more than 5000, preferably more than 10 000 historical tooth models 22. The greater the number of historical tooth models, the more accurate the assembled model.

A historical tooth model can in particular be obtained from a model of a dental arch of a “historical” patient obtained with a scanner. This arch model may be segmented in order to
20 isolate the representations of the teeth, as in figure 11D. Each of these representations, exhibiting a specific gray shade in figure 11D, can constitute a historical tooth model.

Preferably, the library is enriched with the tooth models resulting from the implementation of the method described in WO 2016 066651 or of the step A) or A’) described above.

One or several tooth attributes, in particular chosen from the list supplied above, are
25 associated with the tooth models. A tooth attribute value is assigned to each tooth attribute of a particular tooth model, as described previously (see the description of the step A)). For example, a tooth model is that of an “incisor”, “greatly worn”, and whose color parameters are, in the color system $L^*a^*b^*$ according to the standard NF ISO 7724, “ $a^*=2$ ”, “ $b^*=1$ ” and “ $L^*=58$ ”.

The historical library therefore contains historical tooth models and associated attribute values which facilitate the search in the step c). In figure 18, only historical tooth models 22 representing molars have been represented in the historical library 20.

5 In the step b), an analysis image is acquired, as described above for the step B), before analyzing it. In particular, the analysis image is preferably a photo or an image from a film, preferably with a cellphone.

The analysis image can be acquired at any moment after the step a), for example more than one week, more than one month or more than six months after the step a).

10 The analysis image is analyzed according to a detailed analysis method according to the invention. The optional features of this method are also optional in the step b).

On completion of the step b), an analysis image is obtained that is enriched with a description providing, for each analysis tooth zone, a tooth attribute value for at least one tooth attribute, for example a tooth number.

15 **In the step c),** a search is carried out in the historical library, for each analysis tooth zone determined in the preceding step, for a historical tooth model exhibiting a maximal proximity with the analysis tooth zone. This tooth model is qualified as “optimal tooth model”.

20 The “proximity” is a measurement of one or more differences between the historical tooth model and the analysis tooth zone. These differences may include a difference in shape, but also other differences like a difference in translucency or in color. The maximal proximity may be searched for by successively minimizing several differences, or by minimizing a combination of these differences, for example a weighted sum of these differences.

The “proximity” is therefore a broader concept than “match”, the match measuring only a shape-related proximity.

25 The assessment of the proximity of a historical tooth model with an analysis tooth zone preferably comprises a comparison of at least one value of a tooth attribute of the analysis tooth zone with the value of this attribute for the historical tooth model. Such an assessment is advantageously very rapid.

30 For example, if the description of the analysis tooth zone provides a value for the type or the number of the tooth, the thickness of the tooth represented and/or the height of its crown and/or its mesio palatine width and/or the mesial and distal deflection index of its incisal

edge, this value may be compared to the value of the corresponding attribute of each of the historical tooth models.

Preferably, a historical tooth model is sought that has, for at least one tooth attribute, the same value as said analysis tooth zone. The tooth attribute may in particular relate to the tooth type or to the tooth number. In other words, the historical tooth models are filtered to
5 examine in more detail only those which relate to the same type of tooth as the tooth represented on the analysis tooth zone.

Alternatively or, preferably, in addition to this comparison of the attribute values, the shape of the tooth represented on the analysis tooth zone may be compared to the shape of a
10 historical tooth model to be assessed, preferably by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

To this end, the historical tooth model to be assessed is observed from different angles. Each view thus obtained is compared with the analysis image, preferably with the analysis tooth zone, so as to establish a “distance” between this view and said analysis image or, preferably,
15 said analysis tooth zone. The distance thus measures the difference between the view and the analysis tooth zone.

The distance may be determined after a processing of the view and of the analysis image or, preferably, of the analysis tooth zone, so as to reveal, on corresponding maps, one and the same discriminating information item, for example a contour information item, as described
20 above in the step C3) or in WO 2016 066651.

For each historical tooth model tested, a view is thus determined which provides a minimal distance with the analysis image or with the analysis tooth zone. Each historical tooth model examined is thus associated with a particular minimal distance, which measures its proximity of shape with the analysis tooth zone.

25 The optimal historical tooth model is the one which, in light of the comparison or comparisons performed, is considered to be closest to the analysis tooth zone.

The minimal distances obtained for the different tooth models tested are then compared and, to define the optimal tooth model, the one which exhibits the smallest minimal distance is retained. The optimal tooth model therefore exhibits a maximal match with the analysis
30 image.

The search for the maximal match is preferably performed by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

In a preferred embodiment, a first assessment of the historical tooth models by comparison of the values of at least one tooth attribute, for example the tooth number, with the
5 corresponding values of the analysis tooth zone, then a second assessment by comparison of shape are performed in succession. The first, rapid assessment, advantageously makes it possible to filter the historical tooth models in order to submit only the historical tooth models retained by the first assessment to the second, slower assessment.

For example, if an analysis tooth zone represents a tooth number 15, the first assessment
10 makes it possible to retain only the tooth models modeling teeth number 15. During the second assessment, a search is conducted, among all the historical tooth models modeling teeth number 15, for the historical tooth model whose shape most approximates that of the tooth represented.

More preferably, several first assessments are performed before performing the second
15 assessment. For example, the first assessments make it possible to filter the historical tooth models so as to retain only the tooth models modeling teeth number 15 and which exhibit a crown height of between 8 and 8.5 mm.

On completion of the step c), an optimal tooth model has thus been associated with each of the analysis tooth zones.

For example, in figure 18, the historical tooth model 22₁ can be observed so as to strongly
20 resemble an analysis zone identified on the analysis image. It is considered as optimal for this analysis zone.

In the step d), an assembled model is created by arranging the optimal tooth models.

According to one embodiment, at the start of the step d), a first rough arrangement is created,
25 that is to say that a rough model is produced by assembling optimal tooth models.

To establish the first rough arrangement, the optimal tooth models can be oriented so that their optimal directions of observation are all parallel, the optimal direction of observation of a tooth model being the direction in which said tooth model exhibits a maximum match with the analysis image.

The first rough arrangement may be also established by considering the tooth attribute values of the optimal tooth models. For example, if the tooth numbers of optimal tooth models are those of the canines and of the incisors, these tooth models may be arranged according to an arc 24 (figure 18) corresponding conventionally to the region of the arch which bears these types of teeth.

The shape of this arc may be refined as a function of other tooth attribute values.

The order of the optimal tooth models is that of the corresponding analysis tooth zones.

Moreover, the minimal distance associated with an optimal tooth model results from an observation of the tooth model according to an “optimal” observation direction. In other words, it is probably substantially from this direction that the tooth that this model models is also observed in the analysis image. All the optimal tooth models are thus preferably oriented in such a way that their respective optimal observation directions are all parallel.

It is thus possible to define a first arrangement of the optimal tooth models.

Preferably, the first arrangement of the optimal tooth models is then modified iteratively, so as to exhibit a maximal match with the analysis image.

To assess an arrangement, it is observed according to different angles. Each view thus obtained is compared with the analysis image so as to establish a “distance” between this view and said analysis image. The distance thus measures the difference between the view and the analysis image.

The distance may be determined after a processing of the view and of the analysis image so as to reveal, on one of the corresponding maps, a discriminating information item, for example a contour information item, as described above in the step C3) or in WO 2016 066651.

For each arrangement examined, a view is thus determined that provides a minimal distance with the analysis image. Each arrangement examined is thus associated with a minimal distance.

The minimal distances obtained for the different arrangements tested are then compared and, to define the optimal arrangement, the one which exhibits the smallest minimal distance is retained. The optimal arrangement thus exhibits a maximal match with the analysis image.

The search for the maximal match is performed preferably by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

On completion of the step d), an optimal arrangement of the optimal tooth models, that is to say the assembled model 26, is obtained.

- 5 **In the optional step e)**, one or more optimal tooth models are replaced by other tooth models, then there is a return to the step d) so as to maximize the match between the assembled model and the analysis image.

It is in fact possible for an optimal tooth model, in the “optimal” arrangement, to no longer exhibit a maximal match with the analysis image. In particular, the tooth model might have
10 been observed in an “optimal” direction which provided a view exhibiting a minimal distance with the analysis image (reason why it was considered as optimal), but, in the optimal arrangement, it is no longer oriented according to the optimal direction.

A new search for an assembled model may therefore be performed by modifying the tooth models, for example by replacing the optimal tooth models with close tooth models.

- 15 The search for the tooth models to be tested is preferably performed by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

In the preferred embodiment, the method therefore implements a double optimization, on the tooth models and on the arrangement of the tooth models, the assembled model being the arrangement of a set of tooth models which provides the minimal distance with the
20 analysis image, by considering all the possible tooth models and all the possible arrangements.

- In the optional and preferred step f)**, the method implements several analysis images of the arch of the patient, preferably more than 3, more than 5, more than 10, more than 50, preferably more than 100 analysis images. The assembled model is thus more complete.
25 More preferably, the method implements an optimization such that the assembled model obtained is optimal in light of all of the analysis images. In other words, the assembled model is preferably the one which maximizes the match with all of the analysis images.

In the preferred embodiment, the method therefore implements a double or, preferably a triple optimization, on the tooth models on the one hand, on the arrangement of the tooth
30 models and/or on a plurality of analysis images on the other hand, the assembled model being the arrangement of a set of tooth models which provides the mean minimal distance,

over all of the analysis images, by considering all the possible tooth models and, preferably, all the possible arrangements.

According to one embodiment, in the step d) and/or e) and/or f), a metaheuristic, preferably evolutionist, method, preferably by simulated annealing, is used.

- 5 As now clearly appears, the invention thus makes it possible to construct an assembled dental arch model from simple analysis images, for example photographs taken by means of a cellphone. Obviously, the accuracy of the assembled model does not reach that of a scan. In some applications, for example to perform a first diagnosis of the dental situation of the patient, such an accuracy is not however essential.
- 10 The assembled model may therefore be used to analyze the orthodontic situation of the patient, according to the steps ii) to iv).

In the step ii), the assembled model is sent to an orthodontist and/or to a computer provided with diagnostic software.

- In one embodiment, the assembled model is sent accompanied by a questionnaire filled out
15 by the patient in order to improve the quality of the analysis in the step iv).

In the step iii), the orthodontist and/or the computer examines the assembled model. Unlike an updated image, the assembled model allows an observation from any angle. The analysis is advantageously more accurate.

- In the step iv),** the orthodontist and/or the computer informs the patient, for example by
20 sending him or her a message on his or her telephone. This message may in particular inform the patient of an unfavorable situation and urge him or her to make an appointment with the orthodontist.

- The orthodontist may also compare the assembled model with assembled models received previously for the same patient. The analysis thereof advantageously makes it possible to
25 assess the trend of the situation. The message may thus inform the patient of an unfavorable change of his or her situation, which improves the prevention.

The assembled model may also be compared with one or more models obtained by scanning of the teeth or from a molding of the teeth of the patient, or with an updated reference model resulting from the implementation of a method described in WO 2016 066651.

Application to embedded monitoring

An image analysis according to the invention is also useful for guiding the acquisition of an image of a dental arch, in particular for establishing a remote diagnosis.

5 In particular, WO 2016/066651 describes a method in which an initial reference model is deformed so as to obtain an updated reference model allowing the acquisition of reference images exhibiting a maximal match with the “updated” images of the arch acquired at the updated instant.

The reference images are therefore views of the updated reference model, observed in virtual acquisition conditions which are the closest possible matches with the real acquisition
10 conditions implemented to acquire the updated images of the arch of the patient.

The search for these virtual acquisition conditions is preferably performed by means of metaheuristic methods.

To speed up this search, WO 2016/066651 recommends performing a first rough assessment of the real acquisition conditions. For example, conditions which would correspond to a
15 position of the acquisition apparatus at a distance from the teeth greater than 1 meter are excluded from the search.

There is however an ongoing need to speed up the execution of the method described in WO 2016/066651, and in particular, to search, more rapidly, for the virtual acquisition conditions exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions implemented to
20 acquire an updated image of the arch of the patient.

One aim of the invention is to at least partially address this problem.

The invention proposes a method for acquiring an image of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- 25 a') activation of an image acquisition apparatus so as to acquire an image, called “analysis image”, of said arch;
- b') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably a neural network, trained by means of a learning base, preferably according to a detailed analysis method according to the invention, so as to identify at least one analysis tooth zone representing a

tooth on said analysis image, and to determine at least one tooth attribute value for said analysis tooth zone, or

according to a global analysis method according to the invention;

c') determination, for the analysis image, of a value for an image attribute, said value being a function of said tooth attribute value if a detailed analysis method according to the invention has been implemented in the preceding step;

d') optionally, comparison of said image attribute value with an instruction;

e') sending of an information message as a function of said comparison.

In one embodiment, in the step b'), all said analysis tooth zones are identified, and at least one tooth attribute value is determined for each analysis tooth zone, and, in the step c'), the value for the image attribute is determined as a function of said tooth attribute values.

In one embodiment, the step b') comprises the following steps:

1) preferably before the step a'), creation of a learning base comprising more than 1 000 dental arch images, or "historical images", each historical image comprising one or more zones each representing a tooth, or "historical tooth zones", to each of which, for said tooth attribute, a tooth attribute value is assigned;

2) training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;

3) submission of the analysis image to the deep learning device so that it determines at least one probability relating to:

- the presence, at a location in said analysis image, of a zone representing, at least partially, a tooth, or "analysis tooth zone",
- the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone,

4) determination, as a function of said probability, of the presence of a tooth at a position represented by said analysis tooth zone, and of the attribute value of said tooth.

In one embodiment, the step b') comprises the following steps:

- 1') creation of a learning base comprising more than 1 000 dental arch images, or "historical images", each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or "image attribute value";
- 2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- 3') submission of the analysis image to the deep learning device so that it determines, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value.

In one embodiment, to create a historical image of the learning base, an operator, preferably an orthodontist,

- identifies one more "historical" tooth zones on an image, then assigns each identified historical tooth zone a value for at least one tooth attribute, and/or
- assigns an image a value for at least one tooth attribute.

In one embodiment, the information message is sent by the acquisition apparatus.

As will be seen in more detail hereinafter in the description, an acquisition method according to the invention therefore makes it possible to check whether an analysis image respects an instruction and, if it does not respect the instruction, to guide the operator in order for him or her to acquire a new analysis image. The method therefore allows an "embedded monitoring", preferably in the image acquisition apparatus.

In particular, to implement the method of WO 2016/066651, there may be a desire to acquire updated images from different acquisition directions, for example a front image, a right image and a left image. These updated images, acquired in succession, may be classified accordingly. The search for the virtual acquisition conditions exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions is speeded up thereby.

In effect, the search may begin from virtual acquisition conditions in which the virtual acquisition apparatus is in front, to the left or to the right of the updated reference model, depending on whether the updated image considered is classified as a front, left or right image, respectively.

The operator, generally the patient, may however make a mistake in the acquisition of the updated images. In particular, he or she may forget to take an updated image, for example the front view, or invert two updated images. Typically, the operator may take an image on the right whereas a left image is expected from him or her.

This inversion of the updated images may considerably slow down their processing. For example, if the updated image is assumed to be an image taken on the left but it was in error taken on the right, said search for the optimal virtual acquisition conditions, that is to say those exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions, will begin from a starting point offering a left view of the reference model, whereas the optimal virtual acquisition conditions correspond to a right view. The search will therefore be considerably slowed down thereby.

By virtue of the invention, each updated image is an analysis image which may be analyzed and checked, preferably in real time.

For example, the acquisition method makes it possible to determine that the updated image has been “taken on the right” and compare this image attribute value with the instruction which had been given to the operator to take the updated image on the left. Since the attribute value of the updated image (image taken on the right) does not correspond to the instruction (acquire an updated image on the left), the acquisition apparatus may immediately alert the operator in order for him or her to modify the acquisition direction.

An acquisition method is now described in detail.

In the step a’), the operator activates the image acquisition apparatus so as to acquire an analysis image.

In one embodiment, the operator triggers the acquisition apparatus so as to store the analysis image, preferably takes a photo or video of his or her teeth, preferably by means of a cellphone equipped with a camera.

The step a’) may be performed like the acquisition of the updated images in the step B) described above.

In another embodiment, the analysis image is not stored. In particular, the analysis image may be the image which, in real time, appears on the screen of the cellphone of the operator, generally the patient.

In a first embodiment, **in the step b’)**, the analysis image is analyzed according to a detailed analysis method according to the invention. This analysis preferably leads to the assignment of a tooth attribute value to each identified analysis tooth zone, for example to assigning a tooth number to each of the analysis tooth zones.

In the step c'), an attribute value of the analysis image is determined as a function of the tooth attribute values. The attribute value of the analysis image may relate to its general orientation and may for example take one of the following three values: "right photo", "left photo" and "front photo". The attribute value of the analysis image may also be the list of
5 the tooth numbers represented, for example, "16, 17 and 18". The attribute value of the analysis image may also be, for example, the "presence" or "absence" of a dental, preferably orthodontic, appliance, or the state of opening of the mouth ("mouth open", "mouth closed").

In another embodiment, a global analysis method according to the invention is implemented in the step b'). Advantageously, such a method makes it possible to directly obtain a value
10 for an image attribute, without having to determine values for a tooth attribute. It is therefore advantageously more rapid. The information resulting from a global analysis may however be less accurate than that resulting from a detailed analysis.

The steps a') to c') thus make it possible to characterize the analysis image.

The characterization of the analysis image makes it possible to guide the operator if the
15 analysis image does not correspond to the expected image, for example because its quality is insufficient or because it does not represent the desired teeth.

In the step d'), the image attribute value of the analysis image is compared with an instruction.

For example, if the instruction was to acquire a right image and the image attribute value is
20 "take on the left", the comparison leads to the conclusion that the image acquired is "unsatisfactory".

In the step e'), a message is sent to the operator, preferably by the acquisition apparatus.

Preferably, the information message relates to the quality of the image acquired and/or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch and/or to the setting of the
25 acquisition apparatus and/or to the opening of the mouth and/or to the wearing of a dental, preferably orthodontic, appliance.

For example, if the image acquired is "unsatisfactory", the acquisition apparatus may emit a light, for example red, and/or ring, and/or generate a voice message, and/or vibrate, and/or display a message on its screen.

For example, if the image has to be acquired while the patient wears his or her dental appliance and this is not the case, the acquisition apparatus may send the message “wear your appliance for this image”.

5 For example, if the image was acquired with the patient not sufficiently opening the mouth or with the mouth closed, the acquisition apparatus may send the message “open your mouth more for this image”.

In one embodiment, the steps b') to c') are implemented only if the operator records the analysis image, that is to say he or she presses on the trigger. The message then prompts the operator to acquire a new analysis image. Optionally, the acquisition apparatus deletes the
10 unsatisfactory analysis image.

In one embodiment, the steps b') to c') are implemented permanently when the acquisition apparatus is switched on and the analysis image is an image which appears on a screen of the acquisition apparatus. The acquisition apparatus may thus, for example, emit a red light as long as the analysis image is unsatisfactory, and emit a green light when the analysis
15 image is satisfactory. Advantageously, the acquisition apparatus then stores only analysis images which are satisfactory.

As now clearly emerges, the invention therefore allows an embedded monitoring upon the acquisition of analysis images. When applied to updated images of the method of WO 2016/066651, the steps a') to e') make it possible to check that these images do indeed
20 conform to the need, and therefore to considerably speed up the execution of this method.

The steps d') and e') are optional. In one embodiment, the analysis image is only associated with its description, which specifies its image attribute value. This description also makes it possible to considerably speed up the execution of the method of WO 2016/066651 since, when the analysis image is used as updated image of this method, it makes it possible to
25 approximately determine the real acquisition conditions of this image, by eliminating the risk of a rough error, for example because of a reversal between two images.

The steps d') and e') are however preferred. They make it possible for example to avoid having the operator forget a left image, or take two redundant right images.

30 Application to the monitoring of an orthodontic aligner

Conventionally, at the start of an orthodontic treatment, the orthodontist determines the positioning of the teeth that he or she wants to obtain at a so-called “set-up” instant of the treatment. The set-up may be defined by means of an imprint or from a three-dimensional scan of the teeth of the patient. The orthodontist then has manufactured, or manufactures,
5 accordingly, an orthodontic appliance suited to this treatment.

The orthodontic appliance may be an orthodontic aligner. An aligner conventionally takes the form of a removable single-piece appliance, conventionally made of a transparent polymer material, which comprises a channel conformed for several teeth of an arch, generally all the teeth of an arch, to be able to be housed therein.

10 The form of the channel is adapted to hold the aligner in position on the teeth, while exerting an action of correction of the positioning of certain teeth (figures 14 and 15).

At the start of the treatment, the shapes that the different aligners have to take at different moments of the treatment are conventionally determined, then the set of corresponding aligners is manufactured. At predetermined instants, the patient changes the aligner.

15 The treatment by means of aligners is advantageously less stressful for the patient. In particular, the number of appointments with the orthodontist is limited. Furthermore, there is less pain than with a metal orthodontic brace attached to the teeth.

The market for orthodontic aligners is therefore on the increase.

At regular intervals, the patient goes to the orthodontist for a visual inspection, notably to
20 check whether the displacement of the teeth conforms to the expectations and whether the aligner worn by the patient is still suited to the treatment.

If the orthodontist diagnoses an unsuitability to the treatment, he or she takes a new imprint of the teeth, or, in an equivalent manner, a new three-dimensional scan of the teeth, then orders a new series of aligners configured accordingly. It is considered that, on average, the
25 number of aligners finally manufactured is approximately 45, instead of 20 aligners conventionally provided at the start of the treatment.

The need to have to go to the orthodontist is a constraint for the patient. The trust of the patient in his or her orthodontist may also be affected. The inadequacy may be unsightly. Finally, the result thereof is an additional cost.

30 The number of inspection visits to the orthodontist must therefore be limited.

There is a need for solutions addressing these problems.

One aim of the invention is to at least partially address this need.

The invention provides a method for assessing the shape of an orthodontic aligner, said method comprising the following steps:

- 5 a") acquisition of at least one image at least partially representing the aligner in a service position in which it is worn by a patient, called "analysis image";
- b") analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably a neural network, trained by means of a learning base, so as to determine a value
10 for at least one tooth attribute of an "analysis tooth zone" of the analysis image, the tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the analysis
tooth zone, and the aligner represented on the analysis image, and/or
 for an image attribute of the analysis image, the image attribute relating to a separation between at least one tooth represented on the analysis image, and the aligner represented on said analysis image;
- 15 c") preferably, assessment of the suitability of the aligner as a function of the value of said tooth or image attribute;
- d") preferably, sending of an information message as a function of said assessment.

As will be seen in more detail hereinafter in the description, an assessment method according to the invention considerably simplifies the assessment of the good suitability of the aligner
20 to the treatment, while making this assessment particularly reliable. In particular, the method may be implemented from simple photographs or films, taken with no particular precautions, for example by the patient. The number of appointments with the orthodontist may therefore be limited.

Preferably, in the step b''), all said analysis tooth zones are identified, and the value of said
25 tooth attribute is determined for each analysis tooth zone, and, in the step c''), the suitability of the aligner is determined as a function of said tooth attribute values.

Preferably, said tooth attribute is chosen from the group formed by a maximal separation along the free edge of the tooth, a mean separation along the free edge of the tooth, and said image attribute is chosen from the group formed by a maximal separation along all of the
30 teeth represented, a mean separation along the free edges of all of the teeth represented, an overall acceptability of the separation of the teeth represented.

The tooth attribute relating to a separation may in particular be the existence of a separation, this attribute being able to take the tooth attribute values “yes” or “no”; or a value measuring the scale of the separation, for example an observed maximal separation or an assessment in relation to a scale.

- 5 In the step b''), a detailed analysis method according to the invention is preferably implemented, a tooth attribute of each historical tooth zone of each historical image of the learning base relating to a separation between the tooth represented by the historical tooth zone, and an aligner worn by said tooth and represented on said historical image.

Preferably, the step b'') comprises the following steps:

- 10 b"1) preferably before the step a''), creation of a learning base comprising more than 1000, preferably more than 5000, preferably more than 10 000 images of dental arches, or “historical images”, each historical image representing an aligner worn by a “historical” patient and comprising one or more zones each representing a tooth, or “historical tooth zones”, to each of which is assigned, for at least one tooth
15 attribute relating to a separation between the tooth represented by the historical tooth zone considered, and the aligner represented, a tooth attribute value;
- b"2) learning of a deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- b"3) submission of the analysis image to the deep learning device for the deep learning
20 device to determine at least one probability relating to
- the presence, at a location of said analysis image, of an analysis tooth zone, and
 - the tooth attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone;
- b"4) determination, as a function of said probability, of the presence of a separation
25 between the aligner and the tooth represented by said analysis tooth zone, and/or of an amplitude of said separation.

The steps b''1) to b''4) may comprise one or more of the features, possibly optional, of the steps 1) to 4) described above, respectively.

- In one embodiment, in the step b''), a global analysis method according to the invention is implemented, an image attribute of each historical image of the learning base relating to a
30 separation between at least one tooth represented on the historical image, and an aligner worn by said tooth and represented on said historical image.

Preferably, the step b'') comprises the following steps:

- b"1') creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or "historical images", each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or "image attribute value", relating to a separation between at least one tooth represented on the analysis image, and the aligner represented on said analysis image;
- 5 b"2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- b"3') submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value, and determination, as a function of said probability, of the presence of a separation
- 10 between the aligner and the tooth or teeth represented on the analysis image, and/or of an amplitude of said separation.

The steps b''1') to b''3') may comprise one or more of the features, possibly optional, of the steps 1') to 3') described above, respectively.

- 15 The method is now described when a detailed analysis is implemented in the step b'').

Prior to the step a''), the learning base must be enriched, preferably according to an enrichment method according to the invention, in order to contain historical images whose description specifies, for each of the historical tooth zones, a value for the tooth attribute relating to the separation.

- 20 This information may be input manually. For example, an image representing one or more so-called "historical" tooth zones may be presented to an operator, preferably an orthodontist, and he or she may be asked to identify these historical tooth zones and indicate, for each historical tooth zone, whether there is a separation or not and/or assess the amplitude of this separation.
- 25 A historical image may be a photo representing an aligner worn by a historical patient. Alternatively, a historical image may be the result of a processing of an image representing a naked dental arch (that is to say without aligner) and of an image representing the same arch bearing the aligner. The image representing the naked arch may in particular be a view of a model of the arch deformed to obtain a maximal match with the image representing the arch bearing the aligner. Such a processing may in particular be useful for better revealing
- 30 the outline of the teeth and of the aligner when the teeth are not very visible through the aligner.

In the step a''), the acquisition of the analysis image may be performed like the acquisition of the updated images in the step B) described above.

Preferably, at least one reminder informing the patient of the need to create an analysis image is addressed to the patient. This reminder may be in paper form or, preferably, in electronic
5 form, for example in the form of an email, of an automatic alert from a dedicated mobile device or an SMS. Such a reminder may be sent by the orthodontic practice or laboratory or by the dentist or by the dedicated mobile application of the patient, for example.

The step a'') is performed at the moment when the assessment of the shape of an aligner is desired, for example more than 1 week after the start of the treatment with the aligner.

10 The analysis image is an image representing the aligner worn by the teeth of the patient.

In the step b''), the analysis image is analyzed according to a detailed analysis method according to the invention.

The deep learning device has been trained by means of a learning base containing historical images whose description specifies, for at least one, preferably each historical tooth zone, a
15 value for a tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the historical tooth zone and the aligner worn by said tooth and represented on said historical image.

The value for this tooth attribute therefore provides an information item relating to the shape of the aligner relative to the shape of the teeth of the patient.

20 The value for this tooth attribute can be a measurement of the separation, for example a measurement of the maximum separation, or of the mean separation for the tooth represented by the historical tooth zone.

The deep learning device is therefore capable of analyzing the analysis image to determine, preferably for each of the "analysis tooth zones", the existence, even the extent, of a
25 separation of the aligner of the tooth represented on the analysis tooth zone.

In the step c''), an assessment is made, as a function of the results of the preceding step, as to the compatibility the aligner. For example, a search is conducted to see if the separation of the aligner with at least one tooth exceeds an acceptability threshold and, in this case, a decision is made as to the replacement of the aligner by a better suited aligner.

The suitability of the aligner can be assessed in the context of an orthodontic treatment (separation compatible or not with the orthodontic treatment) but also in the context of a non-therapeutic, in particular esthetic, treatment. Aligners can indeed be used to displace teeth for purely esthetic purposes, without this displacement modifying the state of health of the patient. The suitability of the aligner can also be assessed in the context of a research program concerning the effectiveness of the aligner, for example to assess a new material for the aligner, on a human being or on another animal.

In the step d''), an information item relating to the assessment in the preceding step is sent, in particular to the patient and/or the orthodontist.

The orthodontist can then use this information, possibly in combination with additional information, for example the age of the patient or the duration for which the aligner has been worn, to establish a diagnosis and, if necessary, decide on a suitable treatment.

In one embodiment, the method comprises, in the step b''), a global analysis according to the invention. The other steps are unchanged.

The analysis of the analysis image and of the historical images is then performed globally, without identification of the individual situation of each of the teeth represented and the image attribute relates to the image as a whole.

For example, the image attribute relating to the separation may relate to the acceptability of a dental situation, the cause of one or more separations, or relate to the global scale of the separation or separations of the teeth. For example, the value of the image attribute may be “globally acceptable” or “globally unacceptable”. The value of the image attribute can also, for example, be a measurement of the separation, for example a measurement of the maximum separation, or of the mean separation between the teeth represented on the analysis image and the aligner.

As now clearly emerges, a method according to the invention makes it possible, from simple photos or a simple film, to determine whether the aligner is abnormally detached, even, if a detailed analysis was performed in the step b''), to determine the regions in which the aligner is separated from the teeth and assess the scale of this separation.

The invention also relates to a method for adapting an orthodontic treatment, a method in which a method for assessing the shape of an orthodontic aligner according to the invention is implemented, then, as a function of the result of said assessment, a new aligner is

manufactured and/or the patient is counseled, for example for him or her to improve the conditions of use of his or her orthodontic aligner, in particular the positioning and/or the time bands when it should be worn and/or the maintenance of his or her orthodontic aligner, in order to optimize the treatment.

- 5 The use of aligners is not limited to therapeutic treatments. In particular, an assessment method may be implemented to assess an aligner exclusively used for esthetic purposes.

The method may also be used to assess other dental, in particular orthodontic, parts or appliances.

Computer program

- 10 The invention relates also:

- to a computer program, and in particular a dedicated application for cellphones, comprising program code instructions for the execution of one or more steps of any method according to the invention, when said program is run by a computer,
- to a computer medium on which such a program is stored, for example a memory or a

- 15 CD-ROM.

Obviously, the invention is not limited to the embodiments described above and represented.

In particular, the patient is not necessarily a human being. A method according to the invention may be used for another animal.

The patient could be alive or dead. He is preferably alive.

- 20 The methods of the invention may be used for an orthodontic treatment, but also out of any orthodontic treatment, and even out of any therapeutic treatment.

METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Technical field

The present invention relates to the field of dental arch image analysis.

5 **State of the art**

The most recent orthodontic treatments use images to assess the therapeutic situations. This assessment is conventionally performed by an orthodontist, which requires the patient to transmit these images to the orthodontist, even to make an appointment.

10 There is an ongoing need for a method simplifying the analysis of the images of dental arches of patients.

One aim of the invention is to address this need.

Summary of the invention

15 The invention proposes a method for analyzing an image, called “analysis image”, of a dental arch of a patient, a method in which the analysis image is submitted to a deep learning device, preferably a neural network, in order to determine at least one value of a tooth attribute relating to a tooth represented on the analysis image, and/or at least one value of an image attribute relating to the analysis image.

Analysis by tooth

20 The invention proposes in particular a method for detailed analysis of an image called “analysis image” of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- 1) creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or “historical images”, each historical image comprising one or more zones each representing a tooth, or “historical tooth zones”, to each of which, for at least one tooth attribute, a tooth attribute value is assigned;
- 25 2) training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;

- 3) submission of the analysis image to said at least one deep learning device for it to determine at least one probability relating to an attribute value of at least one tooth represented on a zone representing, at least partially, said tooth in the analysis image, or “analysis tooth zone”;
- 5 4) determination, as a function of said probability, of the presence of a tooth of said arch at a position represented by said analysis tooth zone, and of the attribute value of said tooth.

A first deep learning device, preferably a neural network, may in particular be implemented to assess a probability relating to the presence, at a location of said analysis image, of an analysis tooth zone.

10

A second deep learning device, preferably a neural network, may in particular be implemented to assess a probability relating to the type of tooth represented in an analysis tooth zone.

As will be seen in more detail hereinafter in the description, a detailed analysis method according to the invention advantageously makes it possible to immediately recognize the content of the analysis image.

15

The analysis image may advantageously be classified automatically. It may also be used immediately by a computer program.

The invention relies on the use of a deep learning device, preferably a neural network, the performance of which is directly linked to the richness of the learning base. There is therefore also a need for a method that makes it possible to rapidly enrich the learning base.

20

The invention therefore relates also to a method for enriching a learning base, notably intended for the implementation of a detailed analysis method according to the invention, said enrichment method comprising the following steps:

- 25 A) at an “updated” instant, production of a model of a dental arch of a patient, or “updated reference model”, and segmentation of the updated reference model so as to produce, for each tooth, a “tooth model”, and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
- 30 B) preferably less than 6 months, preferably less than 2 months, preferably less than 1 month, preferably less than a fortnight, preferably less than 1 week, preferably less than 1 day before or after the updated instant, preferably substantially at the updated instant, acquisition of at least one, preferably at least three, preferably at least ten,

preferably at least one hundred images of said arch, or “updated images” in respective real acquisition conditions;

- 5 C) for each updated image, search for virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions, and acquisition of said reference image;
- 10 D) identification, in the reference image, of at least one zone representing a tooth model, or “reference tooth zone”, and, by comparison of the updated image and of the reference image, determination, in the updated image, of a zone representing said tooth model, or “updated tooth zone”;
- E) assignment, to said updated tooth zone, of the tooth attribute value or values of said tooth model;
- F) addition of the updated image enriched with a description of said updated tooth zone and its tooth attribute value or values, or “historical image”, in the learning base.

- 15 In particular, each execution of the method described in WO 2016/066651 preferably generates more than three, more than ten, preferably more than one hundred updated images which, by an automated processing by means of the updated reference model, may produce as many historical images.

20 In a particular embodiment, the method for enriching a learning base comprises, in place of the steps A) to C), the following steps:

- A') at an initial instant, production of a model of a dental arch of a patient, or “initial reference model”, and segmentation of the initial reference model so as to produce, for each tooth, a “tooth model”, and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
- 25 B') at an updated instant, for example spaced apart by more than a fortnight, preferably more than a month, even more than two months from the initial instant, acquisition of at least one, preferably at least three, preferably at least ten, preferably at least one hundred images of said arch, or “updated images”, in respective real acquisition conditions;
- 30 C') for each updated image, search, by deformation of the initial reference model, for an updated reference model and virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions.

This method advantageously makes it possible, after generation of the initial reference model, preferably by means of a scanner, to enrich the learning base at different updated instants, without it being necessary to perform a new scan, and therefore without the patient having to go to the orthodontist. He or she may in fact acquire the updated images him or herself, as described in WO 2016/066651.

A single orthodontic treatment may thus lead to the production of hundreds of historical images.

The invention relates also to a method for training a deep learning device, preferably a neural network, comprising an enrichment of a learning base according to the invention, then the use of said learning base to train the deep learning device.

Global analysis

The detailed analysis method described above advantageously allows for a fine analysis of the analysis image, the situation of each being preferably assessed.

Alternatively, the deep learning device may be used globally, the learning base containing historical images whose description provides a global attribute value for the image. In other words, the value of the image attribute relates to the whole image and not to part of the image. The attribute is not then a “tooth” attribute, but is an “image” attribute. For example, this image attribute may define whether, in light of the image as a whole or of a part of the image, the dental situation “is pathological” or “is not pathological”, without each tooth being examined. The image attribute also makes it possible to detect, for example, whether the mouth is open or closed, or, more generally, whether the image is suitable for a subsequent treatment, for example whether it makes it possible to monitor the occlusion.

The image attribute may in particular relate to

- a position and/or an orientation and/or a calibration of an acquisition apparatus used to acquire said analysis image, and/or
- a quality of the analysis image, and in particular relating to the brightness, to the contrast or to the sharpness of the analysis image, and/or
- the content of the analysis image, for example to the representation of the arches, of the tongue, of the mouth, of the lips, of the jaws, of the gums, of one or more teeth or of a dental, preferably orthodontic, appliance.

When the image attribute refers to the content of the image, the description of the historical images of the learning base specifies a characteristic of this content. For example, it may specify the position of the tongue (for example “retracted”) or the opening of the mouth of the patient (for example mouth open or closed) or the presence of a representation of a dental,
5 preferably orthodontic, appliance and/or of its condition (for example appliance intact, broken or damaged).

A tooth attribute value may be used to define a value for an image attribute. For example, if a value of a tooth attribute is “tooth decayed”, the value of an image attribute may be “unsatisfactory dental situation”.

10 The image attribute may in particular relate to a therapeutic situation.

The invention proposes a method for global analysis of an analysis image of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- 15 1') creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or “historical images”, each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or “image attribute value”;
- 2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- 3') submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value,
20 and determination, as a function of said probability, of a value for said image attribute for the analysis image.

The image attribute may in particular relate to the orientation of the acquisition apparatus upon the acquisition of the analysis image. It may for example take the values “front photo”, “left photo” and “right photo”.

25 The image attribute may also relate to the quality of the image. It may for example take the values “insufficient contrast” and “acceptable contrast”.

The image attribute may also relate to the dental situation of the patient, for example relate to the presence of decay or to the condition of a dental, preferably orthodontic, appliance worn by the patient (“degraded” or “in good condition” for example) or to the suitability of
30 the dental, preferably orthodontic, appliance to the treatment of the patient (for example “unsuitable” or “suitable”).

The image attribute may also relate to the “presence” or “absence” of a dental, preferably orthodontic, appliance, or to the state of opening of the mouth (“mouth open”, “mouth closed” for example).

As will be seen in more detail hereinafter in the description, a global image analysis method according to the invention advantageously makes it possible to immediately and globally assess the content of the analysis image. In particular, it is possible to globally assess a dental situation and, for example, deduce therefrom the need to consult an orthodontist.

Definitions

A “patient” is a person for whom a method according to the invention is implemented, independently of whether or not this person is following an orthodontic treatment.

“Orthodontist” should be understood to mean any person qualified to provide dental care services, which also includes a dentist.

A “dental part”, in particular “orthodontic part”, should be understood to mean all or part of a dental, in particular orthodontic, appliance.

An orthodontic part may in particular be an orthodontic aligner. Such an aligner extends in such a way as to follow the successive teeth of the arch on which it is fixed. It defines a generally “U” shaped channel, the shape of which is determined to ensure the fixing of the aligner onto the teeth, but also as a function of a desired target positioning for the teeth. More specifically, the shape is determined in such a way that, when the aligner is in its service position, it exerts stresses tending to move the teeth being treated to their target positioning, or to hold the teeth in this target positioning.

The “service position” is the position in which the dental or orthodontic part is worn by the patient.

“Model” should be understood to be a digital three-dimensional model. An arrangement of tooth models is therefore a model.

“Image” should be understood to be an image in two dimensions, like a photograph or an image taken from a film. An image is formed by pixels.

A “reference image” is a view of a “reference” model.

“Image of an arch” or “model of an arch” should be understood to be a representation of all or part of said arch. Such a representation is preferably in colors.

The “acquisition conditions” of an image specify position and the orientation in space of an acquisition apparatus acquiring this image in relation to the teeth of the patient (real acquisition conditions) or to a model of teeth of the patient (virtual acquisition conditions), and preferably the calibration of this acquisition apparatus. Acquisition conditions are said
5 to be “virtual” when they correspond to a simulation in which the acquisition apparatus would be in said acquisition conditions (theoretical positioning and preferably calibration of the acquisition apparatus) relative to a model.

In virtual conditions of acquisition of a reference image, the acquisition apparatus may be also qualified as “virtual”. The reference image is in fact acquired by a hypothetical
10 acquisition apparatus, having the characteristics of the “real” acquisition apparatus used for the acquisition of the real images, and in particular of the updated images.

The “calibration” of an acquisition apparatus is made up of all the values of the calibration parameters. A “calibration parameter” is a parameter intrinsic to the acquisition apparatus (unlike its position and orientation) whose value influences the image acquired. Preferably,
15 the calibration parameters are chosen from the group formed by the diaphragm aperture, the exposure time, the focal distance and the sensitivity.

A “discriminating information item” is a characteristic feature which may be extracted from an image (*“image feature”*), conventionally by computer processing of this image.

A discriminating information item may exhibit a variable number of values. For example, a
20 contour feature may be equal to 1 or 0 depending on whether a pixel belongs or does not belong to a contour. A brightness feature may take a large number of values. The processing of the image makes it possible to extract and quantify the discriminating information item.

The discriminating information item may be represented in the form of a “map”. A map is thus the result of a processing of an image in order to reveal the discriminating information
25 item, for example the contour of the teeth and of the gums.

“Match” or “fit” between two objects designates a measurement of the difference between these two objects. A match is maximal (*“best fit”*) when it results from an optimization making it possible to minimize said difference.

An object modified to obtain a maximum match may be qualified as “optimal” object.

Two images or “views” which exhibit a maximal match represent substantially at least one same tooth, in the same way. In other words, the representations of the tooth on these two images may be substantially superimposed.

5 The search for a reference image exhibiting a maximal match with an updated image is performed by searching for the virtual acquisition conditions of the reference image exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions of the updated image.

By extension, a model exhibits a maximal match with an image when this model has been chosen from several models because it allows a view exhibiting a maximal match with said image and/or when this image has been chosen from several images because it exhibits a
10 maximal match with a view of said model.

In particular, an updated image is in maximal match with a reference model when a view of this reference model provides a reference image showing a maximal match with the updated image.

15 The comparison between two images results preferably from the comparison of two corresponding maps. “Distance” is used conventionally to denote a measurement of the difference between two maps or between two images.

The “metaheuristic” methods are known optimization methods. They are preferably chosen from the group formed by

- 20 – evolutionary algorithms, preferably chosen from: evolution strategies, genetic algorithms, differential evolution algorithms, distribution estimation algorithms, artificial immunity systems, shuffled complex evolution path recombination, simulated annealing, ant colony algorithms, particular swarm optimization algorithms, search with taboos, and the GRASP method;
- the kangaroo algorithm,
- 25 – the Fletcher and Powell method,
- the sound effects method,
- stochastic tunneling,
- random-restart hill climbing,
- the cross-entropy method, and
- 30 – the hybrid methods between the abovementioned metaheuristic methods.

“Description” of an image denotes information particularly relating to the definition of the tooth zones of this image and to the tooth attribute values which are associated with them,

and/or relating to an image attribute value of said image. The number of possible values for a tooth attribute or an image attribute is unlimited.

A “historical” image is an image of a dental arch enriched with a description. The tooth zones of a historical image are qualified as “historical tooth zones”.

- 5 “Comprising” or “including” or “exhibiting” should be interpreted without restriction, unless indicated otherwise.

Brief description of the figures

Other features and advantages of the invention will become more apparent on reading the following detailed description and studying the attached drawing in which:

- 10 - figure 1 represents, schematically, the different steps of a method for detailed analysis of an image, according to the invention;
- figure 2 represents, schematically, the different steps of a method for enriching a learning base, according to the invention;
- figure 3 represents, schematically, the different steps of a variant of a method for enriching a learning base, according to the invention;
- 15 - figure 4 represents, schematically, the different steps of a method for global analysis of an image, according to the invention;
- figure 5 represents, schematically, the different steps of a step C) of a method for enriching a learning base, according to the invention;
- 20 - figures 6 and 18 represent, schematically, the different steps of a method for modeling the dental arch of a patient, according to the invention;
- figure 7 represents, schematically, the different steps of a method for assessing a dental situation of a patient, according to the invention;
- figure 8 represents, schematically, the different steps of a method for acquiring an image of a dental arch of a patient, according to the invention;
- 25 - figure 9 represents, schematically, the different steps of a method for assessing the shape of an orthodontic aligner of a patient, according to the invention;
- figure 10 represents an example of a reference image of an initial reference model;
- figure 11 ~~(11a-11d)~~ (11A-11D) illustrates a way of processing to determine the tooth models in an initial reference model, as described in WO 2016 066651, with figure 11A representing a reference image, figure 11B representing a corresponding
- 30

reference map, figure 11C representing a map relating to the contour of the teeth, and figure 11D representing a segmented reference model;

- figure 12 (~~12a-12d~~) (12A-12D) illustrates the acquisition of an image by means of a retractor, an operation of cropping of this image, and the processing of an updated image making it possible to determine the contour of the teeth, as described in WO 2016 066651, with figure 12A illustrating the use of a dental retractor, figures 12B and 12C representing an updated image, and figure 12D representing an updated map relating to the contour of the teeth obtained from the updated image of figure 12C;
- figure 13 schematically illustrates the relative position of registration marks 12 of a retractor 10 on updated images 14₁ and 14₂, according to the directions of observation represented by broken lines;
- figures 14 and 15 represent an orthodontic aligner, in perspective and plan views, respectively;
- figure 16 illustrates the step e) described in WO 2016 066651;
- figure 17 (17A-17C) illustrates an enrichment method according to the invention, with figure 17A showing an example of updated image, figure 17B showing the reference image exhibiting a maximal match with the updated image, and figure 17C illustrating the transfer of the tooth numbers to the updated tooth zones; and
- figure 18 is described above with figure 6.

20 **Detailed description**

A detailed analysis method according to the invention requires the creation of a learning base. This creation preferably implements a method comprising the steps A) to F), or, in one embodiment, in place of the steps A) to C), preferably the steps A') to C').

First main embodiment of the enrichment method

25 **The step A)** is intended for the production of an updated reference model modeling an arch of the patient. It preferably comprises one or more of the features of the step a) of WO 2016 066651, incorporated by reference, to produce an initial reference model.

The updated reference model is preferably created with a 3D scanner. Such a so-called “3D” model may be observed from any angle. An observation of the model, from a determined
30 angle and distance, is called a “view” or “reference image”.

Figure ~~44a~~ 11A is an example of reference image.

The updated reference model may be prepared from measurements performed on the teeth of the patient or on a molding of his or her teeth, for example a plaster molding.

For each tooth, from the updated reference model, a model of said tooth, or “tooth model”, is defined (figure 11D). This operation, known per se, is called “segmentation” of the updated reference model.

In the updated reference model, a tooth model is preferably delimited by a gingival margin which may be broken down into an interior gingival margin (of the side of the interior of the mouth relative to the tooth), an exterior gingival margin (oriented toward the outside of the mouth relative to the tooth) and two lateral gingival margins.

One or more tooth attributes are associated with the tooth models as a function of the teeth that they model.

The tooth attribute is preferably chosen from a tooth number, a tooth type, a tooth shape parameter, for example a tooth width, in particular a mesio-palatine width, a thickness, a crown height, an index of mesial and distal deflection of the incisive margin, or a level of abrasion, a tooth appearance parameter, in particular a translucency index or a color parameter, a parameter relating to the condition of the tooth, for example “abraded”, “broken”, “decayed” or “fitted” (that is to say in contact with a dental, preferably orthodontic, appliance), an age for the patient, or a combination of these attributes. A tooth attribute is preferably an attribute which only relates to the tooth modeled by the tooth model.

A tooth attribute value may be assigned to each tooth attribute of a particular tooth model.

For example, the “tooth type” tooth attribute will have the value “incisor”, “canine” or “molar” depending on whether the tooth model is that of an incisor, of a canine or of a molar, respectively.

The assignment of the tooth attribute values to the tooth models may be manual or, at least partly, automatic. For example, if the value of a tooth attribute is identical whatever the tooth model, such as for the “age of the patient” tooth attribute, it may be sufficient to assign a value to one tooth model to determine the value of this attribute for the other tooth models.

Similarly, the tooth numbers are conventionally assigned according to a standard rule. It is therefore sufficient to know this rule and the number of a tooth modeled by a tooth model to calculate the numbers of the other tooth models.

In a preferred embodiment, the shape of a particular tooth model is analyzed so as to define its tooth attribute value, for example its number. This shape recognition is preferably performed by means of a deep learning device, preferably a neural network. Preferably, a library of historical tooth models is created, each historical tooth model having a value for the tooth attribute, as described hereinbelow (step a)), the deep learning device is trained with views of the historical tooth models of this library, then one or more views of the particular tooth model are analyzed with the trained deep learning device, so as to determine the tooth attribute value of said particular tooth model.

The allocation of the tooth attribute values may then be performed totally without human intervention.

The step B) is intended for the acquisition of one or preferably several updated images.

The step B) preferably comprises one or more of the features of the step b) of WO 2016 066651.

The acquisition of the updated images is performed by means of an image acquisition apparatus, preferably chosen from a cellphone, a so-called “connected” camera, a so-called “smart” watch, a tablet or a personal computer, fixed or portable, comprising an image acquisition system such as a webcam or a camera. Preferably, the image acquisition apparatus is a cellphone.

Also preferably, the image acquisition apparatus is separated from the dental arch by more than 5 cm, more than 8 cm, even more than 10 cm, which avoids the condensation of steam on the optic of the image acquisition apparatus and facilitates the focusing. Furthermore, preferably, the image acquisition apparatus, in particular the cellphone, has no specific optic for the acquisition of the updated images, which is notably possible because of the separation of the dental arch during the acquisition.

Preferably, an updated image is a photograph or an image extracted from a film. It is preferably in color, preferably in real colors.

Preferably, the acquisition of the updated image or images is performed by the patient, preferably without the use of a support which is bearing on the ground and is immobilizing the image acquisition apparatus, and in particular without tripod.

In one embodiment, the triggering of the acquisition is automatic, that is to say without the action of an operator, as soon as the acquisition conditions are approved by the image

acquisition apparatus, in particular when the image acquisition apparatus has determined that it observes a dental arch and/or a retractor and that the conditions of observation are satisfactory (sharpness, brightness, even dimensions of the representation of the dental arch and/or of the retractor).

- 5 The time interval between the steps A) and B) is as short as possible in order for the teeth not to be substantially displaced between the production of the updated model and the acquisition of the updated images. Reference images matching with the updated images may then be acquired by observing the updated reference model.

10 Preferably, a dental retractor 10 is used in the step B), as represented in figure 12a ~~12a~~ 12A. The retractor conventionally comprises a support provided with a rim extending around an opening and arranged in such a way that the lips of the patient may rest thereon leaving the teeth of the patient apparent through said opening.

In the step C), the updated reference model is explored to find, for each updated image, a reference image exhibiting a maximal match with the updated image.

- 15 The step C) may comprise one or more of the features of the steps c), d) and e) of WO 2016 066651, in as much as they concern such an exploration.

For each updated image, a set of virtual acquisition conditions approximating the real acquisition conditions upon the acquisition of said updated image is preferably determined, roughly. In other words, the position of the image acquisition apparatus is estimated in
20 relation to the teeth at the moment when it took the updated image (position of the acquisition apparatus in space and orientation of this apparatus). This rough assessment advantageously makes it possible to limit the number of tests on virtual acquisition conditions in subsequent operations, and therefore makes it possible to considerably speed up these operations.

To perform this rough assessment, one or more heuristic rules are preferably used. For
25 example, preferably, virtual acquisition conditions likely to be tested in subsequent operations, the conditions which correspond to a position of the image acquisition apparatus behind the teeth or at a distance from the teeth greater than 1 m, are excluded.

In a preferred embodiment, as illustrated in figure 13, registration marks are used that are represented on the updated image, and in particular registration marks 12 of the retractor, to
30 determine a region of the space that is substantially conical delimiting virtual acquisition conditions likely to be tested in subsequent operations, or “test cone”.

More specifically, at least three registration marks 12 are preferably positioned non-aligned on the retractor 10, and their relative positions on the retractor are accurately measured.

The registration marks are then marked on the updated image, as described previously. Simple trigonometric calculations make it possible to determine approximately the direction
5 from which the updated image was taken.

Next, for each updated image, a reference image is sought that exhibits a maximum match with the updated image. This search is preferably performed by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

Preferably, at any instant before the step C4), the updated image is analyzed so as to produce
10 an updated map representing, at least partially, a discriminating information item. The updated map therefore represents the discriminating information item in the reference frame of the updated image.

The discriminating information item is preferably chosen from the group consisting of a contour information item, a color information item, a density information item, a distance
15 information item, a brightness information item, a saturation information item, information on reflections and combinations of these information items.

A person skilled in the art knows how to process an updated image to reveal the discriminating information item.

For example, figure ~~12d~~ 12D is an updated map relating to the contour of the teeth obtained
20 from the updated image of figure ~~12b~~ 12B.

Said search comprises the following steps:

- C1) determination of virtual acquisition conditions “to be tested”;
- C2) production of a reference image of the updated reference model in
said virtual acquisition conditions to be tested;
- 25 C3) processing of the reference image to produce at least one reference
map representing, at least partially, the discriminating information
item;
- C4) comparison of the updated and reference maps so as to determine a
value for an assessment function, said value for the assessment
30 function depending on the differences between said updated and
reference maps and corresponding to a decision to continue or stop
the search for virtual acquisition conditions approximating said real

acquisition conditions with greater accuracy than said virtual acquisition conditions to be tested determined in the last occurrence of the step C1);

5 C5) if said value for the assessment function corresponds to a decision to continue said search, modification of the virtual acquisition conditions to be tested, then return to the step C2).

The step C1) begins with a determination of the virtual acquisition conditions to be tested, that is to say a virtual position and orientation likely to correspond to the real position and orientation of the acquisition apparatus upon the capture of the updated image, but also,
10 preferably, a virtual calibration likely to correspond to the real calibration of the acquisition apparatus upon the capture of the updated image.

The first virtual acquisition conditions to be tested are preferably virtual acquisition conditions assessed roughly, as described previously.

In the step C2), the image acquisition apparatus is then virtually configured in the virtual acquisition conditions to be tested in order to acquire a reference image of the updated
15 reference model in these virtual acquisition conditions to be tested. The reference image therefore corresponds to the image that the image acquisition apparatus would have taken if it had been placed, relative to the updated reference model, and optionally calibrated, in the virtual acquisition conditions to be tested.

20 If the updated image was taken substantially at the same moment as the updated reference model was created by a scan of the teeth of the patient, the position of the teeth on the updated image is substantially identical to that in the updated reference model. If the virtual acquisition conditions to be tested are exactly the real acquisition conditions, the reference image may therefore be exactly superimposed on the updated image. The differences
25 between the updated image and the reference image result from errors in the assessment of the virtual acquisition conditions to be tested, if they do not correspond exactly to the real acquisition conditions.

In the step C3), the reference image is processed as the updated image so as to produce, from the reference image, a reference map representing the discriminating information item
30 (figures ~~44a~~ 11A and ~~44b~~ 11B). A person skilled in the art knows how to process a reference image to reveal the discriminating information item.

In the step C4), the updated and reference maps, both relating to the same discriminating information item, are compared and the difference or “distance” between these two maps is assessed by means of a score. For example, if the discriminating information item is the contour of the teeth, the mean distance between the points of the contour of the teeth which appears on the reference image and the points of the corresponding contour which appears on the updated image may be compared, the score being all the higher when this distance is small.

The score may for example be a correlation coefficient.

Preferably, the virtual acquisition conditions comprise the calibration parameters of the acquisition apparatus. The score is that much higher when the values of the calibration parameters tested are close to the calibration parameter values of the acquisition apparatus used upon the acquisition of the updated image. For example, if the diaphragm aperture tested is far from that of the acquisition apparatus used upon the acquisition of the updated image, the reference image shows fuzzy regions and sharp regions which do not correspond to the fuzzy regions and to the sharp regions of the updated image. If the discriminating information item is the contour of the teeth, the updated and reference maps will not therefore represent the same contours and the score will be low.

The score is then assessed by means of an assessment function. The assessment function makes it possible to decide whether the cycling on the steps C1) to C5) must be continued or stopped. The assessment function may for example be equal to 0 if the cycling must be stopped or be equal to 1 if the cycling must continue.

The value of the assessment function may depend on the score achieved. For example, a decision may be made to continue the cycling if the score does not exceed a threshold. For example, if an exact match between the updated and reference images leads to a score of 100%, the threshold may be, for example, 95%. Obviously, the higher the threshold, the better will be the accuracy of the assessment of the virtual acquisition conditions if the score manages to exceed this threshold.

The value of the assessment function may also depend on scores obtained with virtual acquisition conditions tested previously.

The value of the assessment function may also depend on random parameters and/or on the number of cycles already performed.

In particular, it is possible, despite the repetition of the cycles, not to manage to find virtual acquisition conditions which are sufficiently close to the real acquisition conditions for the score to reach said threshold. The assessment function may then lead to the decision to exit the cycle even through the best score obtained has not reached said threshold. This decision
5 may result, for example, from a number of cycles greater than a predetermined maximum number.

A random parameter in the assessment function may also authorize the continuation of tests of new virtual acquisition conditions, even though the score appears satisfactory.

The assessment functions conventionally used in the metaheuristic optimization, preferably
10 evolutionist, methods, particularly in the simulated annealing methods, may be used for the assessment function.

In the step C5), if the value of the assessment function indicates a decision to continue the cycling, the virtual acquisition conditions to be tested are modified and the cycling recommences on the steps C1) to C5), consisting in producing a reference image and a
15 reference map, in comparing the reference map with the updated map to determine a score, then in taking a decision as a function of this score.

The modification of the virtual acquisition conditions to be tested corresponds to a virtual displacement in space and/or to a modification of the orientation and/or, preferably, to a modification of the calibration of the acquisition apparatus. This modification may be
20 random, preferably such that the new virtual acquisition conditions to be tested still belong to the set determined upon the rough assessment. The modification is preferably guided by heuristic rules, for example by favoring the modifications which, according to an analysis of the preceding scores obtained, appear most favorable for increasing the score.

The cycling is continued until the value of the assessment function indicates a decision to
25 cease this cycling and to continue to the step D), for example if the score reaches or exceeds said threshold.

The optimization of the virtual acquisition conditions is preferably performed by using a metaheuristic, preferably evolutionist, method, preferably a simulated annealing algorithm. Such an algorithm is well known for nonlinear optimization.

30 If the cycling has been exited without a satisfactory score having been able to be obtained, for example without the score having been able to reach said threshold, the method may be

stopped (failure situation) or a new step C) may be launched, with a new discriminating information item and/or with a new updated image. The method may also be continued with the virtual acquisition conditions corresponding to the best score reached. A warning may be emitted in order to inform the user of the error on the result.

- 5 If the cycling has been exited when a satisfactory score has been able to be obtained, for example because the score has reached, even exceeded said threshold, the virtual acquisition conditions correspond substantially to the real acquisition conditions of the updated image.

Preferably, the virtual acquisition conditions comprise the calibration parameters of the acquisition apparatus. The method thus makes it possible to assess the values of these
10 parameters without it being necessary to know the nature of the acquisition apparatus or its setting. The acquisition of the updated images may therefore be performed without any particular precautions, for example by the patient him or herself by means of his or her cellphone.

In addition, the search for the real calibration is performed by comparing an updated image
15 with views of a reference model in virtual acquisition conditions to be tested. Advantageously, it does not require the updated image to show a standard calibration gauge, that is to say a gauge whose characteristics are accurately known making it possible to determine the calibration of the acquisition apparatus.

The step C) therefore culminates in the determination of virtual acquisition conditions
20 exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions. The reference image therefore exhibits a maximal match with the updated image, that is to say that these two images may substantially be superimposed.

In one embodiment, said search of the virtual acquisition conditions in the step C) is performed by using a metaheuristic, preferably evolutionist, method, preferably a simulated
25 annealing algorithm.

In the step D), the reference tooth zones are identified on the reference image and they are transferred to the updated image to define corresponding updated tooth zones.

In particular, the reference image is a view of the updated reference model segmented into tooth models. The limits of the representation of each tooth model on the reference image,
30 or “reference tooth zone”, may therefore be identified.

The superimposition of the updated and reference images then makes it possible to transfer the limits of the reference tooth zones to the updated image, and thus define the updated tooth zones. Since the reference image exhibits a maximal match with the updated image, the updated tooth zones therefore substantially define the limits of the tooth models represented on the reference image.

In the step E), each updated tooth zone is assigned the tooth attribute value or values of the tooth model which corresponds to it.

In particular, the reference image is a view of the updated reference model in which the tooth models have been assigned respective tooth attribute values for at least one tooth attribute, for example a tooth number. Each reference tooth zone may therefore inherit the tooth attribute value of the tooth model that it represents. Each updated tooth zone may then inherit the tooth attribute value of the reference tooth zone which allowed it to be defined.

At the end of the step E), an updated image and a description of the updated image is therefore obtained that defines one or more updated tooth zones and, for each of these zones, a tooth attribute value for at least one tooth attribute, for example a tooth number.

The updated image enriched with its description is called “historical image”.

Figure ~~17a~~ 17A shows an example of updated image (acquired in the step B)) being analyzed in order to determine the contours of the teeth. Figure ~~17b~~ 17B shows the reference image exhibiting a maximal match with the updated image (resulting from the step C)). The numbers of the teeth are displayed on the corresponding teeth. Figure ~~17c~~ 17C illustrates the transfer of the tooth numbers to the updated tooth zones (step D) and E)).

In the step F), the historical image is added to the learning base.

The steps A) to F) are preferably performed for more than 1000, more than 5000, or more than 10 000 different patients, or “historical patients”.

As now clearly emerges, the invention provides a method that is particularly effective for creating a learning base.

The invention relates also to a method for training a deep learning device, preferably a neural network, said method comprising an enrichment of a learning base according to a method comprising steps A) to F) so as to acquire a plurality of historical images, then the use of said learning base to train said deep learning device.

Second main embodiment of the enrichment method

The invention is not however limited to the embodiments described above.

In particular, the updated reference model is not necessarily the direct result of a scan of the arch of the patient. The updated reference model may in particular be a model obtained by
5 deformation of an initial reference model which is itself resulting directly from such a scan. The method then comprises, preferably, in place of the steps A) to C), the steps A') to C').

The step A') is identical to the step A). In the step A'), the reference model generated is however intended to be modified. It is therefore qualified as "initial reference model", and not as "updated reference model", as according to the step A).

10 The initial reference model may in particular be generated at an initial instant preceding an active orthodontic treatment, for example less than 6 months, less than 3 months, or less than 1 month before the start of the treatment. The steps B') to C') may then be implemented to track the trend of the treatment between the initial instant and the updated instant of the step B').

15 The initial instant may alternatively be an instant at the end of active orthodontic treatment, for example less than 6 months, less than 3 months, or less than 1 month after the end of the treatment. The steps B') to C') may then be implemented to monitor the appearance of any recurrence.

The step B') is identical to the step B). In the step B'), the updated images are however also
20 intended to guide the modification of the initial reference model to define the updated reference model, in the step C').

The time interval between the steps A') and B') is not limited, since, as explained hereinbelow, the initial reference model will be deformed to obtain an updated reference model with maximal match with the updated images. The time interval between the steps
25 A') and B') may for example be greater than 1 week, than 2 weeks, than 1 month, than 2 months or more than 6 months.

The step C') is more complex than the step C) since the search for a reference image exhibiting a maximal match with an updated image is not limited to searching for the optimal virtual acquisition conditions. It also includes a search for an updated reference model, that

is to say a reference model in which the teeth have substantially the same position as on the updated image.

The step C') preferably comprises one or more of the features of the steps c), d) and e) of WO 2016 066651, and in particular of the step e) illustrated in figure 16.

- 5 The objective is to modify the initial reference model until an updated reference model is obtained which exhibits a maximal match with the updated image. Ideally, the updated reference model is therefore a model of the arch from which the updated image would have been able to be taken if this model had been the arch itself.

A succession of reference models "to be tested" is therefore tested, the choice of a reference
10 model to be tested preferably being dependent on the level of correspondence of the reference models "to be tested" previously tested with the updated image.

Preferably, the search comprises, for an updated image,

- a first optimization operation making it possible to search, in a reference model to be tested determined from the initial reference model, for virtual acquisition conditions best
15 corresponding to the real acquisition conditions of the updated image, and
- a second optimization operation making it possible to search, by testing a plurality of said reference models to be tested, for the reference model best corresponding to the positioning of the teeth of the patient upon the acquisition of the updated image.

Preferably, a first optimization operation is performed for each test of a reference model to
20 be tested during the second optimization operation.

Preferably, the first optimization operation and/or the second optimization operation, preferably the first optimization operation and the second optimization operation, implement a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably a simulated annealing.

The step C') therefore culminates in the determination

- 25
- of an updated reference model exhibiting a maximal match with the updated image, and
 - virtual acquisition conditions exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions.

A method comprising the steps A') to C') may advantageously be implemented in the
30 context of an active or passive orthodontic treatment, or, more generally, to track any changes to the teeth.

In the different methods according to the invention, the enrichment of the learning base does not necessarily result from an enrichment method according to the invention.

In one embodiment, the learning base is created by an operator. The latter thus analyzes thousands of analysis images. For the learning base to be able to be used for the
5 implementation of a detailed analysis method, it determines the tooth zones, then assigns them tooth attribute values. For the learning base to be able to be used for the implementation of a global analysis method, it assigns image attribute values to each image. It may thus form historical images.

Detailed image analysis method

10 The method for detailed analysis of an “analysis image” of a dental arch of a patient according to the invention comprises the steps 1) to 4).

Preferably, the analysis image, preferably a photograph or an image extracted from a film, preferably in color, preferably in real color, is acquired with an image acquisition apparatus, preferably a cellphone, separated from the dental arch by more than 5 cm, more than 8 cm,
15 even more than 10 cm, and which, preferably, has no other specific optic.

Preferably, the analysis image represents several teeth, preferably more than 2, more than 3, more than 4 or more than 5 teeth of the patient. Figure ~~42a~~ 12A or figure ~~42b~~ 12B could be examples of analysis images. The arrangement of the teeth is realistic, i.e. it corresponds to the arrangement which is observed by the image acquisition apparatus when it has acquired
20 the analysis image.

Preferably, the acquisition of the analysis image is performed by the patient, preferably without the use of a support which is bearing on the ground and is immobilizing the image acquisition apparatus, and in particular without tripod.

In one embodiment, the triggering of the acquisition of the analysis image is automatic, that
25 is to say without the action of an operator, as soon as the acquisition conditions are approved by the image acquisition apparatus, in particular when the image acquisition apparatus has determined that it observes a dental arch and/or a retractor and that the observation conditions are satisfactory (sharpness, brightness, even dimensions of the representation of the dental arch and/or of the retractor).

In the step 1), a learning base is created comprising more than 1000, preferably more than 5000, preferably more than 10 000, preferably more than 30 000, preferably more than 50 000, preferably more than 100 000 historical images. The greater the number of historical images, the better the analysis performed by the method.

- 5 Preferably, a learning base is used that is enriched according to an enrichment method according to the invention.

The learning base may however be constructed according to other methods, for example be created manually. To create a historical image of the learning base, an operator, preferably an orthodontist, identifies one or more “historical” tooth zones on an image, called then
10 assigns, to each identified historical tooth zone, a value for at least one tooth attribute.

In step 2), a deep learning device, preferably a neural network, is trained with the learning base.

A “neural network” or “artificial neural network” is a set of algorithms well known to a person skilled in the art.

- 15 The neural network may in particular be chosen from:

- the networks specializing in the classification of images, called “CNN” (“convolutional neural network”), for example
 - AlexNet (2012)
 - ZF Net (2013)
 - 20 – VGG Net (2014)
 - GoogleNet (2015)
 - Microsoft ResNet (2015)
 - Caffe: BAIR Reference CaffeNet, BAIR AlexNet
 - Torch: VGG_CNN_S, VGG_CNN_M, VGG_CNN_M_2048, VGG_CNN_M_10
 - 25 24, VGG_CNN_M_128, VGG_CNN_F, VGG ILSVRC-2014 16-layer, VGG ILSVRC-2014 19-layer, Network-in-Network (Imagenet & CIFAR-10)
 - Google: Inception (V3, V4).
- The networks specializing in the location and detection of objects in an image, the object detection network, for example:
 - 30 – R-CNN (2013)

- SSD (Single Shot MultiBox Detector: Object Detection network), Faster R-CNN (Faster Region-based Convolutional Network method: Object Detection network)
- Faster R-CNN (2015)
- 5 – SSD (2015).

The above list is not limiting

In the step 2), the deep learning device is preferably trained by a learning process called “*deep learning*”. By presenting, as input for the deep learning device, historical images (images + descriptions), the deep learning device progressively learns to recognize *patterns*
10 on an image, and to associate them with tooth zones and with tooth attribute values, for example tooth numbers.

In the step 3), the image that is to be analyzed, or “analysis image”, is submitted to the deep learning device.

Through its training in the step 2), the deep learning device is capable of analyzing the
15 analysis image and of recognizing said patterns therein. It may in particular determine a probability relating to:

- the presence, at a location in said analysis image, of a zone representing, at least partially, a tooth, or “analysis tooth zone”,
- the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone.

20 For example, it is capable of determining that there is a 95% chance that a form of the analysis image represents an incisor.

Preferably, the deep learning device analyses all the analysis image and determines probabilities for all the analysis tooth zones that it has identified.

In the step 4), the results of the preceding step are analyzed to determine the teeth
25 represented on the analysis image.

When the learning base comprises more than 10 000 historical images, the step 3) gives particularly satisfactory results. In particular, such a learning base makes it possible to establish a probability threshold such that, if a probability associated with an analysis tooth zone and with a tooth attribute value for this analysis tooth zone exceeds said threshold, the
30 analysis tooth zone effectively represents a tooth having said tooth attribute value.

The step 4) thus leads to the definition of an analysis image enriched with a description defining the analysis tooth zones and, for each analysis tooth zone, the values of the attributes of the tooth represented by the analysis tooth zone.

5 Global image analysis method

The method for global analysis of an updated image of a dental arch of a patient according to the invention comprises the steps 1') to 3').

The method is similar to the detailed analysis method described above, apart from the fact that, according to the global analysis, it is not necessary to analyze the individual situation of each tooth. The analysis is global to all the image. In other words, the deep learning device determines the value of an "image" attribute without having to previously determine tooth attribute values.

For example, the deep learning device may conclude that, "globally", the dental situation is "satisfactory" or "unsatisfactory", without determining the tooth potentially at the origin of the dissatisfaction.

The step 1') is similar to the step 1). The historical images however include a description specifying an image attribute value for each image.

The step 2') is similar to the step 2).

In the step 3'), the analysis image is submitted to the deep learning device.

Through its training in the step 2'), the deep learning device is capable of analyzing the analysis image and of recognizing said patterns therein. Based on these patterns, it may in particular determine a probability relating to the value of the image attribute considered.

Application to the modeling of a dental arch

A detailed analysis method according to the invention is in particular useful for modeling a dental arch, notably for establishing a remote diagnostic.

It is desirable for each to regularly check his or her dentition, particularly in order to check that the position of his or her teeth is not changing for the worse. In an orthodontic treatment, this change for the worse may in particular lead to the treatment being modified. After an orthodontic treatment, a change for the worse, called "recurrence", may lead to a repeat of a

treatment. Finally, more generally and independently of any treatment, each may want to track any displacements of his or her teeth.

Conventionally, the checks are performed by an orthodontist who has appropriate apparatus. These checks are therefore costly. Furthermore, the appointments are restrictive. Finally,
5 some people are apprehensive of a visit to an orthodontist and will fail to make an appointment for a simple check or to assess the feasibility of an orthodontic treatment.

US 2009/0291417 describes a method making it possible to create, then modify, three-dimensional models, particularly for the manufacture of orthodontic appliances.

WO 2016 066651 describes a method for checking the positioning and/or the shape and/or
10 the appearance of teeth of a patient. This method comprises a step of creation of an initial reference model of the teeth, at an initial instant, preferably with a 3D scanner, then, at a subsequent instant, or “updated instant”, for example six months after the initial instant, the creation of an updated reference model, by deformation of the initial reference model. This deformation is performed in such a way that the updated reference model allows observation
15 substantially identical to images of the teeth acquired at the updated instant, in particular to photos or images from a video taken by the patient him or herself, with no particular precautions, called “updated images”.

The updated images are therefore used to modify the initial, very accurate, reference model. The updated reference model which results from the deformation of the initial reference
20 model, guided by the analysis of the updated images, is therefore also very accurate.

The method described in WO 2016/66651 does however require an appointment with the orthodontist in order to create the initial reference model. This appointment constitutes a brake to prevention. In effect, a patient will not necessarily consult an orthodontist if he or she does not perceive the need therefor. In other words, the method is often implemented
25 only if a malocclusion is found and has to be corrected.

There is therefore a need for a method that addresses this problem, by facilitating prevention.

One aim of the invention is to address this need.

To this end, the invention proposes a method for modeling a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- a) creation of a historical library comprising more than 1000 tooth models, called “historical tooth models”, and assignment to each historical tooth model of a value for at least one tooth attribute, or “tooth attribute value”;
- 5 b) analysis of at least one “analysis image” of the dental arch according to a detailed analysis method according to the invention, so as to determine at least one analysis tooth zone and at least one tooth attribute value associated with said analysis tooth zone;
- c) for each analysis tooth zone determined in the preceding step, search, in the historical library, for a historical tooth model exhibiting a maximum proximity with the analysis image or with the analysis tooth zone, or “optimal tooth model”;
- 10 d) arrangement of all the optimal tooth models so as to create a model which exhibits a maximal match with the updated image, or “assembled model”;
- e) optionally, replacement of at least one optimal tooth model by another historical tooth model and repeat of the step d) so as to maximize the match between the assembled model and the analysis image;
- 15 f) optionally, repeat of the step b) with another analysis image and, in the step d) and/or e), search for a maximal match with all the analysis images used.

The invention thus makes it possible, from a simple analysis image, for example a photograph taken by means of a cellphone, to reconstruct, with a good reliability, a dental arch in the form of an assembled model. In particular, the analysis image may be acquired as described here above at step 1).

20

Obviously, the analysis of a single analysis image is insufficient to generate an assembled model which accurately corresponds to the arrangement of the teeth of the patient. Such an accuracy is however not generally essential for performing a first diagnosis of the dental situation of the patient.

25

Moreover, the accuracy of the assembled model may be increased if several analysis images are processed.

The steps b) to c) are preferably implemented for several analysis images and, in the steps d) and e), the optimal tooth models and an assembled model are searched so as to obtain a maximal match in light of all the analysis images (step f)).

30

The invention also relates to a method for assessing a dental situation of a patient, comprising the following steps:

- i) creation of an assembled model according to a modeling method according to the invention;
- 5 ii) transmission of the assembled model to a recipient, preferably an orthodontist and/or a computer;
- iii) analysis of the orthodontic situation of the patient, by the recipient, from the assembled model;
- 10 iv) preferably, informing of the patient of the orthodontic situation, preferably, via his or her cellphone.

The patient may therefore very easily ask an orthodontist to check his or her dental situation, without even having to travel, by simply transmitting one or preferably several photos of his or her teeth.

A modeling method is now described in detail.

- 15 **In the step a)**, a historical library 20 (figure 18) is created comprising more than 1000, preferably more than 5000, preferably more than 10 000 historical tooth models 22. The greater the number of historical tooth models, the more accurate the assembled model.

A historical tooth model can in particular be obtained from a model of a dental arch of a “historical” patient obtained with a scanner. This arch model may be segmented in order to
20 isolate the representations of the teeth, as in figure 44d 11D. Each of these representations, exhibiting a specific gray shade in figure 44d 11D, can constitute a historical tooth model.

Preferably, the library is enriched with the tooth models resulting from the implementation of the method described in WO 2016 066651 or of the step A) or A’) described above.

One or several tooth attributes, in particular chosen from the list supplied above, are
25 associated with the tooth models. A tooth attribute value is assigned to each tooth attribute of a particular tooth model, as described previously (see the description of the step A)). For example, a tooth model is that of an “incisor”, “greatly worn”, and whose color parameters are, in the color system $L^*a^*b^*$ according to the standard NF ISO 7724, “ $a^*=2$ ”, “ $b^*=1$ ” and “ $L^*=58$ ”.

The historical library therefore contains historical tooth models and associated attribute values which facilitate the search in the step c). In figure 18, only historical tooth models 22 representing molars have been represented in the historical library 20.

5 In the step b), an analysis image is acquired, as described above for the step B), before analyzing it. In particular, the analysis image is preferably a photo or an image from a film, preferably with a cellphone.

The analysis image can be acquired at any moment after the step a), for example more than one week, more than one month or more than six months after the step a).

10 The analysis image is analyzed according to a detailed analysis method according to the invention. The optional features of this method are also optional in the step b).

On completion of the step b), an analysis image is obtained that is enriched with a description providing, for each analysis tooth zone, a tooth attribute value for at least one tooth attribute, for example a tooth number.

15 **In the step c),** a search is carried out in the historical library, for each analysis tooth zone determined in the preceding step, for a historical tooth model exhibiting a maximal proximity with the analysis tooth zone. This tooth model is qualified as “optimal tooth model”.

20 The “proximity” is a measurement of one or more differences between the historical tooth model and the analysis tooth zone. These differences may include a difference in shape, but also other differences like a difference in translucency or in color. The maximal proximity may be searched for by successively minimizing several differences, or by minimizing a combination of these differences, for example a weighted sum of these differences.

The “proximity” is therefore a broader concept than “match”, the match measuring only a shape-related proximity.

25 The assessment of the proximity of a historical tooth model with an analysis tooth zone preferably comprises a comparison of at least one value of a tooth attribute of the analysis tooth zone with the value of this attribute for the historical tooth model. Such an assessment is advantageously very rapid.

30 For example, if the description of the analysis tooth zone provides a value for the type or the number of the tooth, the thickness of the tooth represented and/or the height of its crown and/or its mesio palatine width and/or the mesial and distal deflection index of its incisal

edge, this value may be compared to the value of the corresponding attribute of each of the historical tooth models.

Preferably, a historical tooth model is sought that has, for at least one tooth attribute, the same value as said analysis tooth zone. The tooth attribute may in particular relate to the tooth type or to the tooth number. In other words, the historical tooth models are filtered to
5 examine in more detail only those which relate to the same type of tooth as the tooth represented on the analysis tooth zone.

Alternatively or, preferably, in addition to this comparison of the attribute values, the shape of the tooth represented on the analysis tooth zone may be compared to the shape of a
10 historical tooth model to be assessed, preferably by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

To this end, the historical tooth model to be assessed is observed from different angles. Each view thus obtained is compared with the analysis image, preferably with the analysis tooth zone, so as to establish a “distance” between this view and said analysis image or, preferably,
15 said analysis tooth zone. The distance thus measures the difference between the view and the analysis tooth zone.

The distance may be determined after a processing of the view and of the analysis image or, preferably, of the analysis tooth zone, so as to reveal, on corresponding maps, one and the same discriminating information item, for example a contour information item, as described
20 above in the step C3) or in WO 2016 066651.

For each historical tooth model tested, a view is thus determined which provides a minimal distance with the analysis image or with the analysis tooth zone. Each historical tooth model examined is thus associated with a particular minimal distance, which measures its proximity of shape with the analysis tooth zone.

25 The optimal historical tooth model is the one which, in light of the comparison or comparisons performed, is considered to be closest to the analysis tooth zone.

The minimal distances obtained for the different tooth models tested are then compared and, to define the optimal tooth model, the one which exhibits the smallest minimal distance is retained. The optimal tooth model therefore exhibits a maximal match with the analysis
30 image.

The search for the maximal match is preferably performed by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

In a preferred embodiment, a first assessment of the historical tooth models by comparison of the values of at least one tooth attribute, for example the tooth number, with the
5 corresponding values of the analysis tooth zone, then a second assessment by comparison of shape are performed in succession. The first, rapid assessment, advantageously makes it possible to filter the historical tooth models in order to submit only the historical tooth models retained by the first assessment to the second, slower assessment.

For example, if an analysis tooth zone represents a tooth number 15, the first assessment
10 makes it possible to retain only the tooth models modeling teeth number 15. During the second assessment, a search is conducted, among all the historical tooth models modeling teeth number 15, for the historical tooth model whose shape most approximates that of the tooth represented.

More preferably, several first assessments are performed before performing the second
15 assessment. For example, the first assessments make it possible to filter the historical tooth models so as to retain only the tooth models modeling teeth number 15 and which exhibit a crown height of between 8 and 8.5 mm.

On completion of the step c), an optimal tooth model has thus been associated with each of the analysis tooth zones.

For example, in figure 18, the historical tooth model 22₁ can be observed so as to strongly
20 resemble an analysis zone identified on the analysis image. It is considered as optimal for this analysis zone.

In the step d), an assembled model is created by arranging the optimal tooth models.

According to one embodiment, at the start of the step d), a first rough arrangement is created,
25 that is to say that a rough model is produced by assembling optimal tooth models.

To establish the first rough arrangement, the optimal tooth models can be oriented so that their optimal directions of observation are all parallel, the optimal direction of observation of a tooth model being the direction in which said tooth model exhibits a maximum match with the analysis image.

The first rough arrangement may be also established by considering the tooth attribute values of the optimal tooth models. For example, if the tooth numbers of optimal tooth models are those of the canines and of the incisors, these tooth models may be arranged according to an arc 24 (figure 18) corresponding conventionally to the region of the arch which bears these types of teeth.

The shape of this arc may be refined as a function of other tooth attribute values.

The order of the optimal tooth models is that of the corresponding analysis tooth zones.

Moreover, the minimal distance associated with an optimal tooth model results from an observation of the tooth model according to an “optimal” observation direction. In other words, it is probably substantially from this direction that the tooth that this model models is also observed in the analysis image. All the optimal tooth models are thus preferably oriented in such a way that their respective optimal observation directions are all parallel.

It is thus possible to define a first arrangement of the optimal tooth models.

Preferably, the first arrangement of the optimal tooth models is then modified iteratively, so as to exhibit a maximal match with the analysis image.

To assess an arrangement, it is observed according to different angles. Each view thus obtained is compared with the analysis image so as to establish a “distance” between this view and said analysis image. The distance thus measures the difference between the view and the analysis image.

The distance may be determined after a processing of the view and of the analysis image so as to reveal, on one of the corresponding maps, a discriminating information item, for example a contour information item, as described above in the step C3) or in WO 2016 066651.

For each arrangement examined, a view is thus determined that provides a minimal distance with the analysis image. Each arrangement examined is thus associated with a minimal distance.

The minimal distances obtained for the different arrangements tested are then compared and, to define the optimal arrangement, the one which exhibits the smallest minimal distance is retained. The optimal arrangement thus exhibits a maximal match with the analysis image.

The search for the maximal match is performed preferably by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

On completion of the step d), an optimal arrangement of the optimal tooth models, that is to say the assembled model 26, is obtained.

- 5 **In the optional step e)**, one or more optimal tooth models are replaced by other tooth models, then there is a return to the step d) so as to maximize the match between the assembled model and the analysis image.

It is in fact possible for an optimal tooth model, in the “optimal” arrangement, to no longer exhibit a maximal match with the analysis image. In particular, the tooth model might have
10 been observed in an “optimal” direction which provided a view exhibiting a minimal distance with the analysis image (reason why it was considered as optimal), but, in the optimal arrangement, it is no longer oriented according to the optimal direction.

A new search for an assembled model may therefore be performed by modifying the tooth models, for example by replacing the optimal tooth models with close tooth models.

- 15 The search for the tooth models to be tested is preferably performed by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

In the preferred embodiment, the method therefore implements a double optimization, on the tooth models and on the arrangement of the tooth models, the assembled model being the arrangement of a set of tooth models which provides the minimal distance with the
20 analysis image, by considering all the possible tooth models and all the possible arrangements.

- In the optional and preferred step f)**, the method implements several analysis images of the arch of the patient, preferably more than 3, more than 5, more than 10, more than 50, preferably more than 100 analysis images. The assembled model is thus more complete.
25 More preferably, the method implements an optimization such that the assembled model obtained is optimal in light of all of the analysis images. In other words, the assembled model is preferably the one which maximizes the match with all of the analysis images.

In the preferred embodiment, the method therefore implements a double or, preferably a triple optimization, on the tooth models on the one hand, on the arrangement of the tooth
30 models and/or on a plurality of analysis images on the other hand, the assembled model being the arrangement of a set of tooth models which provides the mean minimal distance,

over all of the analysis images, by considering all the possible tooth models and, preferably, all the possible arrangements.

According to one embodiment, in the step d) and/or e) and/or f), a metaheuristic, preferably evolutionist, method, preferably by simulated annealing, is used.

- 5 As now clearly appears, the invention thus makes it possible to construct an assembled dental arch model from simple analysis images, for example photographs taken by means of a cellphone. Obviously, the accuracy of the assembled model does not reach that of a scan. In some applications, for example to perform a first diagnosis of the dental situation of the patient, such an accuracy is not however essential.
- 10 The assembled model may therefore be used to analyze the orthodontic situation of the patient, according to the steps ii) to iv).

In the step ii), the assembled model is sent to an orthodontist and/or to a computer provided with diagnostic software.

- In one embodiment, the assembled model is sent accompanied by a questionnaire filled out
15 by the patient in order to improve the quality of the analysis in the step iv).

In the step iii), the orthodontist and/or the computer examines the assembled model. Unlike an updated image, the assembled model allows an observation from any angle. The analysis is advantageously more accurate.

- In the step iv),** the orthodontist and/or the computer informs the patient, for example by
20 sending him or her a message on his or her telephone. This message may in particular inform the patient of an unfavorable situation and urge him or her to make an appointment with the orthodontist.

- The orthodontist may also compare the assembled model with assembled models received previously for the same patient. The analysis thereof advantageously makes it possible to
25 assess the trend of the situation. The message may thus inform the patient of an unfavorable change of his or her situation, which improves the prevention.

The assembled model may also be compared with one or more models obtained by scanning of the teeth or from a molding of the teeth of the patient, or with an updated reference model resulting from the implementation of a method described in WO 2016 066651.

Application to embedded monitoring

An image analysis according to the invention is also useful for guiding the acquisition of an image of a dental arch, in particular for establishing a remote diagnosis.

5 In particular, WO 2016/066651 describes a method in which an initial reference model is deformed so as to obtain an updated reference model allowing the acquisition of reference images exhibiting a maximal match with the “updated” images of the arch acquired at the updated instant.

The reference images are therefore views of the updated reference model, observed in virtual acquisition conditions which are the closest possible matches with the real acquisition
10 conditions implemented to acquire the updated images of the arch of the patient.

The search for these virtual acquisition conditions is preferably performed by means of metaheuristic methods.

To speed up this search, WO 2016/066651 recommends performing a first rough assessment of the real acquisition conditions. For example, conditions which would correspond to a
15 position of the acquisition apparatus at a distance from the teeth greater than 1 meter are excluded from the search.

There is however an ongoing need to speed up the execution of the method described in WO 2016/066651, and in particular, to search, more rapidly, for the virtual acquisition conditions exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions implemented to
20 acquire an updated image of the arch of the patient.

One aim of the invention is to at least partially address this problem.

The invention proposes a method for acquiring an image of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- 25 a') activation of an image acquisition apparatus so as to acquire an image, called “analysis image”, of said arch;
- b') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably a neural network, trained by means of a learning base, preferably according to a detailed analysis method according to the invention, so as to identify at least one analysis tooth zone representing a

tooth on said analysis image, and to determine at least one tooth attribute value for said analysis tooth zone, or

according to a global analysis method according to the invention;

c') determination, for the analysis image, of a value for an image attribute, said value being a function of said tooth attribute value if a detailed analysis method according to the invention has been implemented in the preceding step;

d') optionally, comparison of said image attribute value with an instruction;

e') sending of an information message as a function of said comparison.

In one embodiment, in the step b'), all said analysis tooth zones are identified, and at least one tooth attribute value is determined for each analysis tooth zone, and, in the step c'), the value for the image attribute is determined as a function of said tooth attribute values.

In one embodiment, the step b') comprises the following steps:

1) preferably before the step a'), creation of a learning base comprising more than 1 000 dental arch images, or "historical images", each historical image comprising one or more zones each representing a tooth, or "historical tooth zones", to each of which, for said tooth attribute, a tooth attribute value is assigned;

2) training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;

3) submission of the analysis image to the deep learning device so that it determines at least one probability relating to:

- the presence, at a location in said analysis image, of a zone representing, at least partially, a tooth, or "analysis tooth zone",
- the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone,

4) determination, as a function of said probability, of the presence of a tooth at a position represented by said analysis tooth zone, and of the attribute value of said tooth.

In one embodiment, the step b') comprises the following steps:

- 1') creation of a learning base comprising more than 1 000 dental arch images, or "historical images", each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or "image attribute value";
- 2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- 3') submission of the analysis image to the deep learning device so that it determines, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value.

In one embodiment, to create a historical image of the learning base, an operator, preferably an orthodontist,

- identifies one more "historical" tooth zones on an image, then assigns each identified historical tooth zone a value for at least one tooth attribute, and/or
- assigns an image a value for at least one tooth attribute.

In one embodiment, the information message is sent by the acquisition apparatus.

As will be seen in more detail hereinafter in the description, an acquisition method according to the invention therefore makes it possible to check whether an analysis image respects an instruction and, if it does not respect the instruction, to guide the operator in order for him or her to acquire a new analysis image. The method therefore allows an "embedded monitoring", preferably in the image acquisition apparatus.

In particular, to implement the method of WO 2016/066651, there may be a desire to acquire updated images from different acquisition directions, for example a front image, a right image and a left image. These updated images, acquired in succession, may be classified accordingly. The search for the virtual acquisition conditions exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions is speeded up thereby.

In effect, the search may begin from virtual acquisition conditions in which the virtual acquisition apparatus is in front, to the left or to the right of the updated reference model, depending on whether the updated image considered is classified as a front, left or right image, respectively.

The operator, generally the patient, may however make a mistake in the acquisition of the updated images. In particular, he or she may forget to take an updated image, for example the front view, or invert two updated images. Typically, the operator may take an image on the right whereas a left image is expected from him or her.

This inversion of the updated images may considerably slow down their processing. For example, if the updated image is assumed to be an image taken on the left but it was in error taken on the right, said search for the optimal virtual acquisition conditions, that is to say those exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions, will begin from a starting point offering a left view of the reference model, whereas the optimal virtual acquisition conditions correspond to a right view. The search will therefore be considerably slowed down thereby.

By virtue of the invention, each updated image is an analysis image which may be analyzed and checked, preferably in real time.

For example, the acquisition method makes it possible to determine that the updated image has been “taken on the right” and compare this image attribute value with the instruction which had been given to the operator to take the updated image on the left. Since the attribute value of the updated image (image taken on the right) does not correspond to the instruction (acquire an updated image on the left), the acquisition apparatus may immediately alert the operator in order for him or her to modify the acquisition direction.

An acquisition method is now described in detail.

In the step a’), the operator activates the image acquisition apparatus so as to acquire an analysis image.

In one embodiment, the operator triggers the acquisition apparatus so as to store the analysis image, preferably takes a photo or video of his or her teeth, preferably by means of a cellphone equipped with a camera.

The step a’) may be performed like the acquisition of the updated images in the step B) described above.

In another embodiment, the analysis image is not stored. In particular, the analysis image may be the image which, in real time, appears on the screen of the cellphone of the operator, generally the patient.

In a first embodiment, **in the step b’)**, the analysis image is analyzed according to a detailed analysis method according to the invention. This analysis preferably leads to the assignment of a tooth attribute value to each identified analysis tooth zone, for example to assigning a tooth number to each of the analysis tooth zones.

In the step c'), an attribute value of the analysis image is determined as a function of the tooth attribute values. The attribute value of the analysis image may relate to its general orientation and may for example take one of the following three values: "right photo", "left photo" and "front photo". The attribute value of the analysis image may also be the list of
5 the tooth numbers represented, for example, "16, 17 and 18". The attribute value of the analysis image may also be, for example, the "presence" or "absence" of a dental, preferably orthodontic, appliance, or the state of opening of the mouth ("mouth open", "mouth closed").

In another embodiment, a global analysis method according to the invention is implemented in the step b'). Advantageously, such a method makes it possible to directly obtain a value
10 for an image attribute, without having to determine values for a tooth attribute. It is therefore advantageously more rapid. The information resulting from a global analysis may however be less accurate than that resulting from a detailed analysis.

The steps a') to c') thus make it possible to characterize the analysis image.

The characterization of the analysis image makes it possible to guide the operator if the
15 analysis image does not correspond to the expected image, for example because its quality is insufficient or because it does not represent the desired teeth.

In the step d'), the image attribute value of the analysis image is compared with an instruction.

For example, if the instruction was to acquire a right image and the image attribute value is
20 "take on the left", the comparison leads to the conclusion that the image acquired is "unsatisfactory".

In the step e'), a message is sent to the operator, preferably by the acquisition apparatus.

Preferably, the information message relates to the quality of the image acquired and/or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch and/or to the setting of the
25 acquisition apparatus and/or to the opening of the mouth and/or to the wearing of a dental, preferably orthodontic, appliance.

For example, if the image acquired is "unsatisfactory", the acquisition apparatus may emit a light, for example red, and/or ring, and/or generate a voice message, and/or vibrate, and/or display a message on its screen.

For example, if the image has to be acquired while the patient wears his or her dental appliance and this is not the case, the acquisition apparatus may send the message “wear your appliance for this image”.

5 For example, if the image was acquired with the patient not sufficiently opening the mouth or with the mouth closed, the acquisition apparatus may send the message “open your mouth more for this image”.

In one embodiment, the steps b') to c') are implemented only if the operator records the analysis image, that is to say he or she presses on the trigger. The message then prompts the operator to acquire a new analysis image. Optionally, the acquisition apparatus deletes the
10 unsatisfactory analysis image.

In one embodiment, the steps b') to c') are implemented permanently when the acquisition apparatus is switched on and the analysis image is an image which appears on a screen of the acquisition apparatus. The acquisition apparatus may thus, for example, emit a red light as long as the analysis image is unsatisfactory, and emit a green light when the analysis
15 image is satisfactory. Advantageously, the acquisition apparatus then stores only analysis images which are satisfactory.

As now clearly emerges, the invention therefore allows an embedded monitoring upon the acquisition of analysis images. When applied to updated images of the method of WO 2016/066651, the steps a') to e') make it possible to check that these images do indeed
20 conform to the need, and therefore to considerably speed up the execution of this method.

The steps d') and e') are optional. In one embodiment, the analysis image is only associated with its description, which specifies its image attribute value. This description also makes it possible to considerably speed up the execution of the method of WO 2016/066651 since, when the analysis image is used as updated image of this method, it makes it possible to
25 approximately determine the real acquisition conditions of this image, by eliminating the risk of a rough error, for example because of a reversal between two images.

The steps d') and e') are however preferred. They make it possible for example to avoid having the operator forget a left image, or take two redundant right images.

30 Application to the monitoring of an orthodontic aligner

Conventionally, at the start of an orthodontic treatment, the orthodontist determines the positioning of the teeth that he or she wants to obtain at a so-called “set-up” instant of the treatment. The set-up may be defined by means of an imprint or from a three-dimensional scan of the teeth of the patient. The orthodontist then has manufactured, or manufactures,
5 accordingly, an orthodontic appliance suited to this treatment.

The orthodontic appliance may be an orthodontic aligner. An aligner conventionally takes the form of a removable single-piece appliance, conventionally made of a transparent polymer material, which comprises a channel conformed for several teeth of an arch, generally all the teeth of an arch, to be able to be housed therein.

10 The form of the channel is adapted to hold the aligner in position on the teeth, while exerting an action of correction of the positioning of certain teeth (figures 14 and 15).

At the start of the treatment, the shapes that the different aligners have to take at different moments of the treatment are conventionally determined, then the set of corresponding aligners is manufactured. At predetermined instants, the patient changes the aligner.

15 The treatment by means of aligners is advantageously less stressful for the patient. In particular, the number of appointments with the orthodontist is limited. Furthermore, there is less pain than with a metal orthodontic brace attached to the teeth.

The market for orthodontic aligners is therefore on the increase.

At regular intervals, the patient goes to the orthodontist for a visual inspection, notably to
20 check whether the displacement of the teeth conforms to the expectations and whether the aligner worn by the patient is still suited to the treatment.

If the orthodontist diagnoses an unsuitability to the treatment, he or she takes a new imprint of the teeth, or, in an equivalent manner, a new three-dimensional scan of the teeth, then orders a new series of aligners configured accordingly. It is considered that, on average, the
25 number of aligners finally manufactured is approximately 45, instead of 20 aligners conventionally provided at the start of the treatment.

The need to have to go to the orthodontist is a constraint for the patient. The trust of the patient in his or her orthodontist may also be affected. The inadequacy may be unsightly. Finally, the result thereof is an additional cost.

30 The number of inspection visits to the orthodontist must therefore be limited.

There is a need for solutions addressing these problems.

One aim of the invention is to at least partially address this need.

The invention provides a method for assessing the shape of an orthodontic aligner, said method comprising the following steps:

- 5 a") acquisition of at least one image at least partially representing the aligner in a service position in which it is worn by a patient, called "analysis image";
- b") analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably a neural network, trained by means of a learning base, so as to determine a value
10 for at least one tooth attribute of an "analysis tooth zone" of the analysis image, the tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the analysis tooth zone, and the aligner represented on the analysis image, and/or
 for an image attribute of the analysis image, the image attribute relating to a separation between at least one tooth represented on the analysis image, and the aligner represented on said analysis image;
- 15 c") preferably, assessment of the suitability of the aligner as a function of the value of said tooth or image attribute;
- d") preferably, sending of an information message as a function of said assessment.

As will be seen in more detail hereinafter in the description, an assessment method according to the invention considerably simplifies the assessment of the good suitability of the aligner
20 to the treatment, while making this assessment particularly reliable. In particular, the method may be implemented from simple photographs or films, taken with no particular precautions, for example by the patient. The number of appointments with the orthodontist may therefore be limited.

Preferably, in the step b''), all said analysis tooth zones are identified, and the value of said
25 tooth attribute is determined for each analysis tooth zone, and, in the step c''), the suitability of the aligner is determined as a function of said tooth attribute values.

Preferably, said tooth attribute is chosen from the group formed by a maximal separation along the free edge of the tooth, a mean separation along the free edge of the tooth, and said
30 image attribute is chosen from the group formed by a maximal separation along all of the teeth represented, a mean separation along the free edges of all of the teeth represented, an overall acceptability of the separation of the teeth represented.

The tooth attribute relating to a separation may in particular be the existence of a separation, this attribute being able to take the tooth attribute values “yes” or “no”; or a value measuring the scale of the separation, for example an observed maximal separation or an assessment in relation to a scale.

- 5 In the step b''), a detailed analysis method according to the invention is preferably implemented, a tooth attribute of each historical tooth zone of each historical image of the learning base relating to a separation between the tooth represented by the historical tooth zone, and an aligner worn by said tooth and represented on said historical image.

Preferably, the step b'') comprises the following steps:

- 10 b"1) preferably before the step a''), creation of a learning base comprising more than 1000, preferably more than 5000, preferably more than 10 000 images of dental arches, or “historical images”, each historical image representing an aligner worn by a “historical” patient and comprising one or more zones each representing a tooth, or “historical tooth zones”, to each of which is assigned, for at least one tooth
15 attribute relating to a separation between the tooth represented by the historical tooth zone considered, and the aligner represented, a tooth attribute value;
- b"2) learning of a deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- b"3) submission of the analysis image to the deep learning device for the deep learning
20 device to determine at least one probability relating to
- the presence, at a location of said analysis image, of an analysis tooth zone, and
 - the tooth attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone;
- b"4) determination, as a function of said probability, of the presence of a separation
25 between the aligner and the tooth represented by said analysis tooth zone, and/or of an amplitude of said separation.

The steps b''1) to b''4) may comprise one or more of the features, possibly optional, of the steps 1) to 4) described above, respectively.

- In one embodiment, in the step b''), a global analysis method according to the invention is implemented, an image attribute of each historical image of the learning base relating to a
30 separation between at least one tooth represented on the historical image, and an aligner worn by said tooth and represented on said historical image.

Preferably, the step b'') comprises the following steps:

- b"1') creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or "historical images", each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or "image attribute value", relating to a separation between at least one tooth represented on the analysis image, and the aligner represented on said analysis image;
- 5 b"2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- b"3') submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value,
- 10 and determination, as a function of said probability, of the presence of a separation between the aligner and the tooth or teeth represented on the analysis image, and/or of an amplitude of said separation.

The steps b''1') to b''3') may comprise one or more of the features, possibly optional, of the steps 1') to 3') described above, respectively.

- 15 The method is now described when a detailed analysis is implemented in the step b'').

Prior to the step a''), the learning base must be enriched, preferably according to an enrichment method according to the invention, in order to contain historical images whose description specifies, for each of the historical tooth zones, a value for the tooth attribute relating to the separation.

- 20 This information may be input manually. For example, an image representing one or more so-called "historical" tooth zones may be presented to an operator, preferably an orthodontist, and he or she may be asked to identify these historical tooth zones and indicate, for each historical tooth zone, whether there is a separation or not and/or assess the amplitude of this separation.
- 25 A historical image may be a photo representing an aligner worn by a historical patient. Alternatively, a historical image may be the result of a processing of an image representing a naked dental arch (that is to say without aligner) and of an image representing the same arch bearing the aligner. The image representing the naked arch may in particular be a view of a model of the arch deformed to obtain a maximal match with the image representing the
- 30 arch bearing the aligner. Such a processing may in particular be useful for better revealing the outline of the teeth and of the aligner when the teeth are not very visible through the aligner.

In the step a''), the acquisition of the analysis image may be performed like the acquisition of the updated images in the step B) described above.

Preferably, at least one reminder informing the patient of the need to create an analysis image is addressed to the patient. This reminder may be in paper form or, preferably, in electronic
5 form, for example in the form of an email, of an automatic alert from a dedicated mobile device or an SMS. Such a reminder may be sent by the orthodontic practice or laboratory or by the dentist or by the dedicated mobile application of the patient, for example.

The step a'') is performed at the moment when the assessment of the shape of an aligner is desired, for example more than 1 week after the start of the treatment with the aligner.

10 The analysis image is an image representing the aligner worn by the teeth of the patient.

In the step b''), the analysis image is analyzed according to a detailed analysis method according to the invention.

The deep learning device has been trained by means of a learning base containing historical images whose description specifies, for at least one, preferably each historical tooth zone, a
15 value for a tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the historical tooth zone and the aligner worn by said tooth and represented on said historical image.

The value for this tooth attribute therefore provides an information item relating to the shape of the aligner relative to the shape of the teeth of the patient.

20 The value for this tooth attribute can be a measurement of the separation, for example a measurement of the maximum separation, or of the mean separation for the tooth represented by the historical tooth zone.

The deep learning device is therefore capable of analyzing the analysis image to determine, preferably for each of the "analysis tooth zones", the existence, even the extent, of a
25 separation of the aligner of the tooth represented on the analysis tooth zone.

In the step c''), an assessment is made, as a function of the results of the preceding step, as to the compatibility the aligner. For example, a search is conducted to see if the separation of the aligner with at least one tooth exceeds an acceptability threshold and, in this case, a decision is made as to the replacement of the aligner by a better suited aligner.

The suitability of the aligner can be assessed in the context of an orthodontic treatment (separation compatible or not with the orthodontic treatment) but also in the context of a non-therapeutic, in particular esthetic, treatment. Aligners can indeed be used to displace teeth for purely esthetic purposes, without this displacement modifying the state of health of the patient. The suitability of the aligner can also be assessed in the context of a research program concerning the effectiveness of the aligner, for example to assess a new material for the aligner, on a human being or on another animal.

In the step d''), an information item relating to the assessment in the preceding step is sent, in particular to the patient and/or the orthodontist.

The orthodontist can then use this information, possibly in combination with additional information, for example the age of the patient or the duration for which the aligner has been worn, to establish a diagnosis and, if necessary, decide on a suitable treatment.

In one embodiment, the method comprises, in the step b''), a global analysis according to the invention. The other steps are unchanged.

The analysis of the analysis image and of the historical images is then performed globally, without identification of the individual situation of each of the teeth represented and the image attribute relates to the image as a whole.

For example, the image attribute relating to the separation may relate to the acceptability of a dental situation, the cause of one or more separations, or relate to the global scale of the separation or separations of the teeth. For example, the value of the image attribute may be “globally acceptable” or “globally unacceptable”. The value of the image attribute can also, for example, be a measurement of the separation, for example a measurement of the maximum separation, or of the mean separation between the teeth represented on the analysis image and the aligner.

As now clearly emerges, a method according to the invention makes it possible, from simple photos or a simple film, to determine whether the aligner is abnormally detached, even, if a detailed analysis was performed in the step b''), to determine the regions in which the aligner is separated from the teeth and assess the scale of this separation.

The invention also relates to a method for adapting an orthodontic treatment, a method in which a method for assessing the shape of an orthodontic aligner according to the invention is implemented, then, as a function of the result of said assessment, a new aligner is

manufactured and/or the patient is counseled, for example for him or her to improve the conditions of use of his or her orthodontic aligner, in particular the positioning and/or the time bands when it should be worn and/or the maintenance of his or her orthodontic aligner, in order to optimize the treatment.

- 5 The use of aligners is not limited to therapeutic treatments. In particular, an assessment method may be implemented to assess an aligner exclusively used for esthetic purposes.

The method may also be used to assess other dental, in particular orthodontic, parts or appliances.

Computer program

- 10 The invention relates also:

- to a computer program, and in particular a dedicated application for cellphones, comprising program code instructions for the execution of one or more steps of any method according to the invention, when said program is run by a computer,
- to a computer medium on which such a program is stored, for example a memory or a

- 15 CD-ROM.

Obviously, the invention is not limited to the embodiments described above and represented.

In particular, the patient is not necessarily a human being. A method according to the invention may be used for another animal.

The patient could be alive or dead. He is preferably alive.

- 20 The methods of the invention may be used for an orthodontic treatment, but also out of any orthodontic treatment, and even out of any therapeutic treatment.

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	33767994
Application Number:	16031201
International Application Number:	
Confirmation Number:	8853
Title of Invention:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
First Named Inventor/Applicant Name:	Philippe SALAH
Customer Number:	108676
Filer:	Ronald M. Kachmarik/Jackie Carpenter
Filer Authorized By:	Ronald M. Kachmarik
Attorney Docket Number:	N&P-51425
Receipt Date:	19-SEP-2018
Filing Date:	10-JUL-2018
Time Stamp:	15:10:38
Application Type:	Utility under 35 USC 111(a)

Payment information:

Submitted with Payment	no
------------------------	----

File Listing:

Document Number	Document Description	File Name	File Size(Bytes)/ Message Digest	Multi Part /.zip	Pages (if appl.)
1	Applicant Response to Pre-Exam Formalities Notice	N-P-51425-UPPA-B-withreplacementSheets.pdf	2169980	no	7
			1007cef524baaab51dd87f62613df8f18fffa544		

Warnings:

0754

Information:					
2	Specification	N-P-51425-SubstituteSpecificationcleanversion.pdf	266084 54b28606f7a0402c1c31428f30a583bfa3db16fa	no	47
Warnings:					
Information:					
3	Specification	N-P-51425-SubstituteSpecificationwithmarkings.pdf	266841 232c999509fe2fc512e2c26f5a03b0df6f5ded5	no	47
Warnings:					
Information:					
Total Files Size (in bytes):			2702905		
<p>This Acknowledgement Receipt evidences receipt on the noted date by the USPTO of the indicated documents, characterized by the applicant, and including page counts, where applicable. It serves as evidence of receipt similar to a Post Card, as described in MPEP 503.</p> <p><u>New Applications Under 35 U.S.C. 111</u> If a new application is being filed and the application includes the necessary components for a filing date (see 37 CFR 1.53(b)-(d) and MPEP 506), a Filing Receipt (37 CFR 1.54) will be issued in due course and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the filing date of the application.</p> <p><u>National Stage of an International Application under 35 U.S.C. 371</u> If a timely submission to enter the national stage of an international application is compliant with the conditions of 35 U.S.C. 371 and other applicable requirements a Form PCT/DO/EO/903 indicating acceptance of the application as a national stage submission under 35 U.S.C. 371 will be issued in addition to the Filing Receipt, in due course.</p> <p><u>New International Application Filed with the USPTO as a Receiving Office</u> If a new international application is being filed and the international application includes the necessary components for an international filing date (see PCT Article 11 and MPEP 1810), a Notification of the International Application Number and of the International Filing Date (Form PCT/RO/105) will be issued in due course, subject to prescriptions concerning national security, and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the international filing date of the application.</p>					



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
www.uspto.gov

APPLICATION NUMBER	FILING or 371(c) DATE	GRP ART UNIT	FIL FEE REC'D	ATTY. DOCKET NO	TOT CLAIMS	IND CLAIMS
16/031,201	07/10/2018	2668	1880	N&P-51425	13	1

CONFIRMATION NO. 8853
UPDATED FILING RECEIPT

108676
Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131



Date Mailed: 09/24/2018

Receipt is acknowledged of this non-provisional patent application. The application will be taken up for examination in due course. Applicant will be notified as to the results of the examination. Any correspondence concerning the application must include the following identification information: the U.S. APPLICATION NUMBER, FILING DATE, NAME OF APPLICANT, and TITLE OF INVENTION. Fees transmitted by check or draft are subject to collection. Please verify the accuracy of the data presented on this receipt. **If an error is noted on this Filing Receipt, please submit a written request for a Filing Receipt Correction. Please provide a copy of this Filing Receipt with the changes noted thereon. If you received a "Notice to File Missing Parts" for this application, please submit any corrections to this Filing Receipt with your reply to the Notice. When the USPTO processes the reply to the Notice, the USPTO will generate another Filing Receipt incorporating the requested corrections**

Inventor(s)

Philippe SALAH, Bagnolet, FRANCE;
Thomas Pellissard, Clichy, FRANCE;
Guillaume Ghyselinck, Cantin, FRANCE;
Laurent Debraux, Paris, FRANCE;

Applicant(s)

DENTAL MONITORING, Paris, FRANCE

Power of Attorney: None

Domestic Applications for which benefit is claimed - None.

A proper domestic benefit claim must be provided in an Application Data Sheet in order to constitute a claim for domestic benefit. See 37 CFR 1.76 and 1.78.

Foreign Applications (You may be eligible to benefit from the **Patent Prosecution Highway** program at the USPTO. Please see <http://www.uspto.gov> for more information.)
FRANCE 1756947 07/21/2017

Permission to Access Application via Priority Document Exchange: Yes

Permission to Access Search Results: Yes

Applicant may provide or rescind an authorization for access using Form PTO/SB/39 or Form PTO/SB/69 as appropriate.

If Required, Foreign Filing License Granted: 07/25/2018

The country code and number of your priority application, to be used for filing abroad under the Paris Convention, is **US 16/031,201**

Projected Publication Date: 01/24/2019

Non-Publication Request: No

Early Publication Request: No

Title

METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Preliminary Class

382

Statement under 37 CFR 1.55 or 1.78 for AIA (First Inventor to File) Transition Applications: No

PROTECTING YOUR INVENTION OUTSIDE THE UNITED STATES

Since the rights granted by a U.S. patent extend only throughout the territory of the United States and have no effect in a foreign country, an inventor who wishes patent protection in another country must apply for a patent in a specific country or in regional patent offices. Applicants may wish to consider the filing of an international application under the Patent Cooperation Treaty (PCT). An international (PCT) application generally has the same effect as a regular national patent application in each PCT-member country. The PCT process **simplifies** the filing of patent applications on the same invention in member countries, but **does not result** in a grant of "an international patent" and does not eliminate the need of applicants to file additional documents and fees in countries where patent protection is desired.

Almost every country has its own patent law, and a person desiring a patent in a particular country must make an application for patent in that country in accordance with its particular laws. Since the laws of many countries differ in various respects from the patent law of the United States, applicants are advised to seek guidance from specific foreign countries to ensure that patent rights are not lost prematurely.

Applicants also are advised that in the case of inventions made in the United States, the Director of the USPTO must issue a license before applicants can apply for a patent in a foreign country. The filing of a U.S. patent application serves as a request for a foreign filing license. The application's filing receipt contains further information and guidance as to the status of applicant's license for foreign filing.

Applicants may wish to consult the USPTO booklet, "General Information Concerning Patents" (specifically, the section entitled "Treaties and Foreign Patents") for more information on timeframes and deadlines for filing foreign patent applications. The guide is available either by contacting the USPTO Contact Center at 800-786-9199, or it can be viewed on the USPTO website at <http://www.uspto.gov/web/offices/pac/doc/general/index.html>.

For information on preventing theft of your intellectual property (patents, trademarks and copyrights), you may wish to consult the U.S. Government website, <http://www.stopfakes.gov>. Part of a Department of Commerce initiative, this website includes self-help "toolkits" giving innovators guidance on how to protect intellectual property in specific countries such as China, Korea and Mexico. For questions regarding patent enforcement issues, applicants may call the U.S. Government hotline at 1-866-999-HALT (1-866-999-4258).

LICENSE FOR FOREIGN FILING UNDER
Title 35, United States Code, Section 184
Title 37, Code of Federal Regulations, 5.11 & 5.15

GRANTED

The applicant has been granted a license under 35 U.S.C. 184, if the phrase "IF REQUIRED, FOREIGN FILING LICENSE GRANTED" followed by a date appears on this form. Such licenses are issued in all applications where the conditions for issuance of a license have been met, regardless of whether or not a license may be required as set forth in 37 CFR 5.15. The scope and limitations of this license are set forth in 37 CFR 5.15(a) unless an earlier license has been issued under 37 CFR 5.15(b). The license is subject to revocation upon written notification. The date indicated is the effective date of the license, unless an earlier license of similar scope has been granted under 37 CFR 5.13 or 5.14.

This license is to be retained by the licensee and may be used at any time on or after the effective date thereof unless it is revoked. This license is automatically transferred to any related applications(s) filed under 37 CFR 1.53(d). This license is not retroactive.

The grant of a license does not in any way lessen the responsibility of a licensee for the security of the subject matter as imposed by any Government contract or the provisions of existing laws relating to espionage and the national security or the export of technical data. Licensees should apprise themselves of current regulations especially with respect to certain countries, of other agencies, particularly the Office of Defense Trade Controls, Department of State (with respect to Arms, Munitions and Implements of War (22 CFR 121-128)); the Bureau of Industry and Security, Department of Commerce (15 CFR parts 730-774); the Office of Foreign Assets Control, Department of Treasury (31 CFR Parts 500+) and the Department of Energy.

NOT GRANTED

No license under 35 U.S.C. 184 has been granted at this time, if the phrase "IF REQUIRED, FOREIGN FILING LICENSE GRANTED" DOES NOT appear on this form. Applicant may still petition for a license under 37 CFR 5.12, if a license is desired before the expiration of 6 months from the filing date of the application. If 6 months has lapsed from the filing date of this application and the licensee has not received any indication of a secrecy order under 35 U.S.C. 181, the licensee may foreign file the application pursuant to 37 CFR 5.15(b).

SelectUSA

The United States represents the largest, most dynamic marketplace in the world and is an unparalleled location for business investment, innovation, and commercialization of new technologies. The U.S. offers tremendous resources and advantages for those who invest and manufacture goods here. Through SelectUSA, our nation works to promote and facilitate business investment. SelectUSA provides information assistance to the international investor community; serves as an ombudsman for existing and potential investors; advocates on behalf of U.S. cities, states, and regions competing for global investment; and counsels U.S. economic development organizations on investment attraction best practices. To learn more about why the United States is the best country in the world to develop technology, manufacture products, deliver services, and grow your business, visit <http://www.SelectUSA.gov> or call +1-202-482-6800.

PATENT APPLICATION FEE DETERMINATION RECORD Substitute for Form PTO-875						Application or Docket Number 16/031,201	
APPLICATION AS FILED - PART I							
(Column 1)		(Column 2)		SMALL ENTITY		OTHER THAN SMALL ENTITY	
FOR	NUMBER FILED	NUMBER EXTRA	RATE(\$)	FEE(\$)		RATE(\$)	FEE(\$)
BASIC FEE (37 CFR 1.16(a), (b), or (c))	N/A	N/A	N/A			N/A	300
SEARCH FEE (37 CFR 1.16(k), (l), or (m))	N/A	N/A	N/A			N/A	660
EXAMINATION FEE (37 CFR 1.16(o), (p), or (q))	N/A	N/A	N/A			N/A	760
TOTAL CLAIMS (37 CFR 1.16(j))	13	minus 20 = *			OR	x 100 =	0.00
INDEPENDENT CLAIMS (37 CFR 1.16(h))	1	minus 3 = *				x 460 =	0.00
APPLICATION SIZE FEE (37 CFR 1.16(s)) If the specification and drawings exceed 100 sheets of paper, the application size fee due is \$310 (\$155 for small entity) for each additional 50 sheets or fraction thereof. See 35 U.S.C. 41(a)(1)(G) and 37 CFR 1.16(s).							0.00
							0.00
MULTIPLE DEPENDENT CLAIM PRESENT (37 CFR 1.16(j))							0.00
			TOTAL			TOTAL	1720
* If the difference in column 1 is less than zero, enter "0" in column 2.							
APPLICATION AS AMENDED - PART II							
(Column 1)		(Column 2)		(Column 3)		SMALL ENTITY	
AMENDMENT A	CLAIMS REMAINING AFTER AMENDMENT	HIGHEST NUMBER PREVIOUSLY PAID FOR	PRESENT EXTRA	RATE(\$)	ADDITIONAL FEE(\$)		RATE(\$)
	Total (37 CFR 1.16(i))	*	Minus **	=	x =	OR	x =
	Independent (37 CFR 1.16(h))	*	Minus ***	=	x =	OR	x =
	Application Size Fee (37 CFR 1.16(s))					OR	
	FIRST PRESENTATION OF MULTIPLE DEPENDENT CLAIM (37 CFR 1.16(j))					OR	
			TOTAL ADD'L FEE		OR	TOTAL ADD'L FEE	
(Column 1)		(Column 2)		(Column 3)		SMALL ENTITY	
AMENDMENT B	CLAIMS REMAINING AFTER AMENDMENT	HIGHEST NUMBER PREVIOUSLY PAID FOR	PRESENT EXTRA	RATE(\$)	ADDITIONAL FEE(\$)		RATE(\$)
	Total (37 CFR 1.16(i))	*	Minus **	=	x =	OR	x =
	Independent (37 CFR 1.16(h))	*	Minus ***	=	x =	OR	x =
	Application Size Fee (37 CFR 1.16(s))					OR	
	FIRST PRESENTATION OF MULTIPLE DEPENDENT CLAIM (37 CFR 1.16(j))					OR	
			TOTAL ADD'L FEE		OR	TOTAL ADD'L FEE	
* If the entry in column 1 is less than the entry in column 2, write "0" in column 3. ** If the "Highest Number Previously Paid For" IN THIS SPACE is less than 20, enter "20". *** If the "Highest Number Previously Paid For" IN THIS SPACE is less than 3, enter "3". The "Highest Number Previously Paid For" (Total or Independent) is the highest found in the appropriate box in column 1.							



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
www.uspto.gov

APPLICATION NUMBER	FILING OR 371(C) DATE	FIRST NAMED APPLICANT	ATTY. DOCKET NO./TITLE
16/031,201	07/10/2018	Philippe SALAH	N&P-51425

CONFIRMATION NO. 8853

INFORMAL NOTICE



108676
Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131

Date Mailed: 09/24/2018

INFORMATIONAL NOTICE TO APPLICANT

Applicant is notified that the above-identified application contains the deficiencies noted below. No period for reply is set forth in this notice for correction of these deficiencies. However, if a deficiency relates to the inventor's oath or declaration, the applicant must file an oath or declaration in compliance with 37 CFR 1.63, or a substitute statement in compliance with 37 CFR 1.64, executed by or with respect to each actual inventor no later than the expiration of the time period set in the "Notice of Allowability" to avoid abandonment. See 37 CFR 1.53(f).

The item(s) indicated below are also required and should be submitted with any reply to this notice to avoid further processing delays.

- A properly executed inventor's oath or declaration has not been received for the following inventor(s):
Philippe SALAH
Thomas Pellissard
Guillaume Ghyselinck
Laurent Debraux

Questions about the contents of this notice and the requirements it sets forth should be directed to the Office of Data Management, Application Assistance Unit, at (571) 272-4000 or (571) 272-4200 or 1-888-786-0101.

/mbeyene/

Preliminary Amendment
Amendment dated: September 19, 2018

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Philippe SALAH et al.
Filing Date : July 10, 2018
Title : METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
Conf. No. : 8853
Customer No. : 108676
Docket No : N&P-51425

Mail Stop Missing Parts
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria VA 22313-1450

Preliminary Amendment "B"

Sir:

In response to the Notice to File Corrected Application Papers and prior to examination please amend the above identified application as follows:

Amendments to the Specification begin on page 2 of this paper.

Amendments to the Drawings begin on page 3 of this paper.

Remarks begin on page 4 of this paper.

Preliminary Amendment
Amendment dated: September 19, 2018

IN THE SPECIFICATION

Replace the Specification with the attached Substitute Specification.

IN THE DRAWINGS

Replace the drawing sheets containing: figures 10 and 11 (11a-11d), figures 12 (12a-12d) and 13, and figures 17 (17a-17c) with the attached Replacement sheets containing: figures 10 and 11 (11A-11D), figures 12 (12A-12D) and 13, and figures 17 (17A-17C).

REMARKS

The Substitute Specification is provided with markings and is also accompanied by a clean version (without markings).

The Substitute Specification contains no new matter.

The drawing sheets containing: figures 10 and 11 (11a-11d), figures 12 (12a-12d) and 13, and figures 17 (17a-17c) are replaced with the attached Replacement sheets containing: figures 10 and 11 (11A-11D), figures 12 (12A-12D) and 13, and figures 17 (17A-17C).

If there are any fees resulting from this communication, please charge same to our Deposit Account No. 505088, our Order No. N&P-51425.

Respectfully submitted,
Cooper Legal Group

By: /Ronald M. Kachmarik/
Ronald M. Kachmarik, Reg. No. 34512

6505 Rockside Road
Suite 330
Cleveland Ohio 44131
(216) 654-0090
September 19, 2018

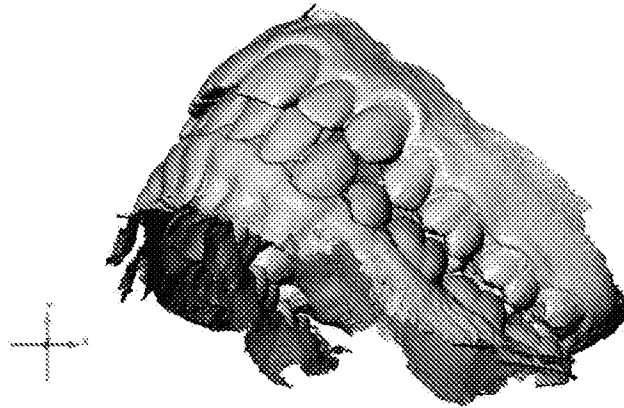


Fig. 10

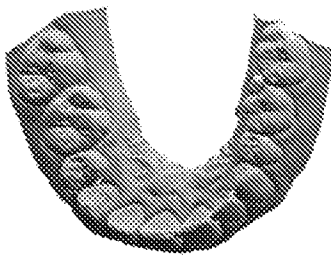


Fig. 11A

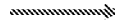
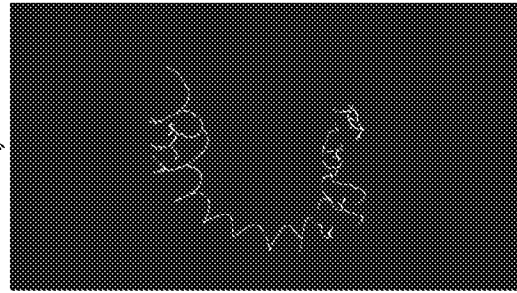


Fig. 11B



Fig. 11C

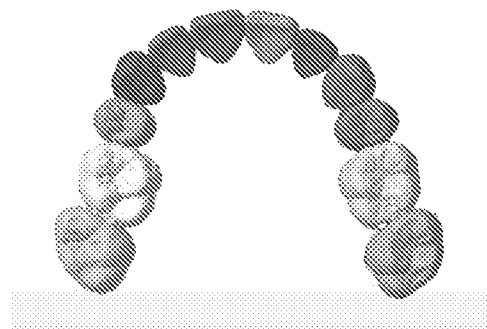


Fig. 11D

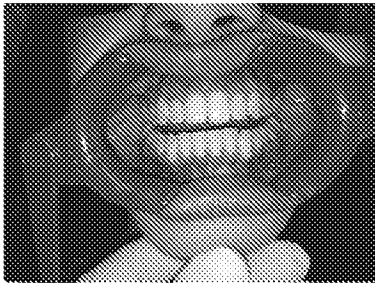


Fig. 12A

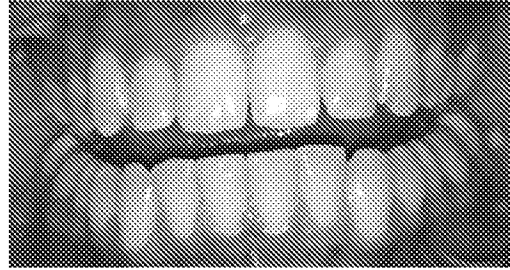


Fig. 12B

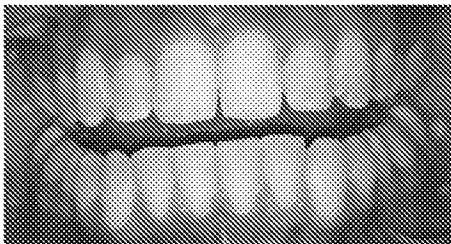


Fig. 12C

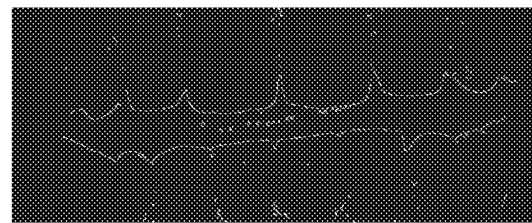


Fig. 12D

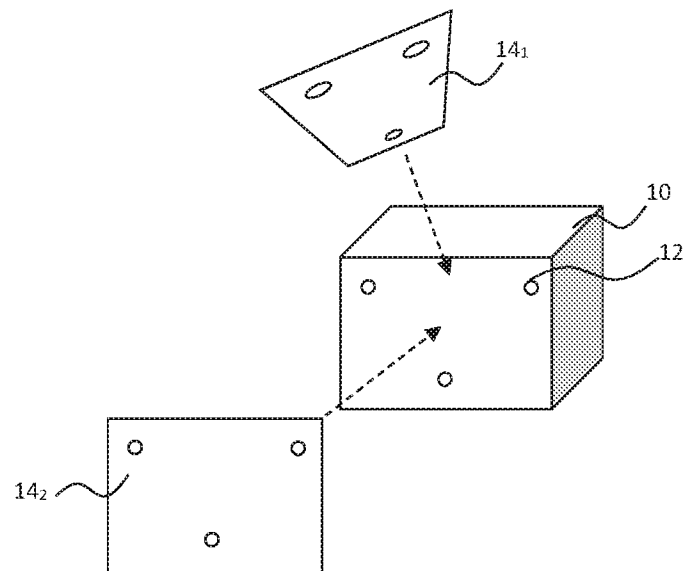


Fig. 13

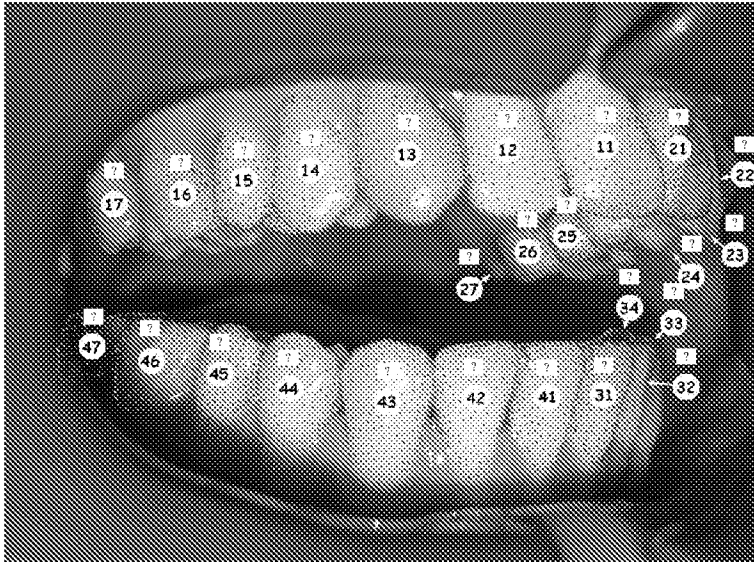


Fig. 17A

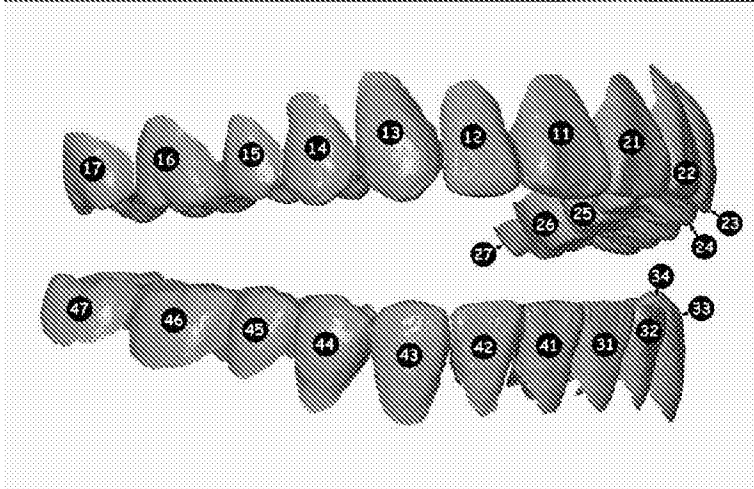


Fig. 17B

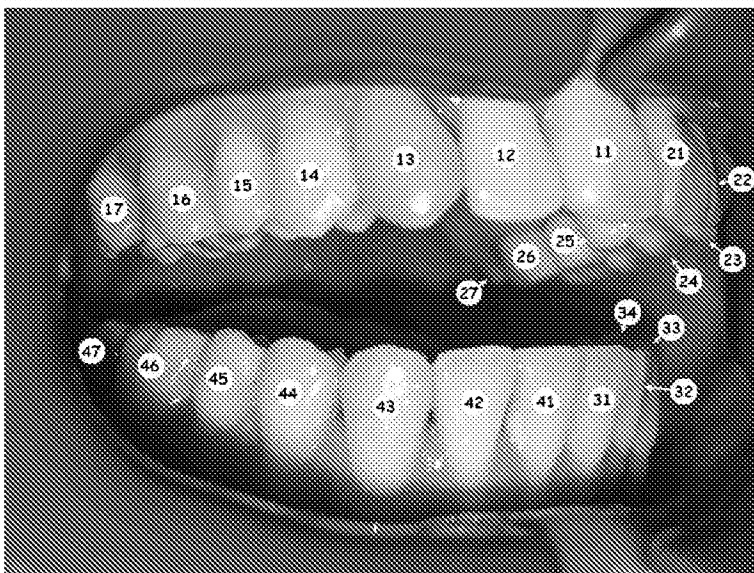


Fig. 17C

TRANSMITTAL FOR POWER OF ATTORNEY TO ONE OR MORE REGISTERED PRACTITIONERS

NOTE: This form is to be submitted with the Power of Attorney by Applicant form (PTO/AIA/82B) to identify the application to which the Power of Attorney is directed, in accordance with 37 CFR 1.5, unless the application number and filing date are identified in the Power of Attorney by Applicant form. If neither form PTO/AIA/82A nor form PTO/AIA/82B identifies the application to which the Power of Attorney is directed, the Power of Attorney will not be recognized in the application.

Application Number	16/031,201
Filing Date	July 10, 2018
First Named Inventor	Philippe SALAH
Title	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
Art Unit	2668
Examiner Name	
Attorney Docket Number	N&P-51425

SIGNATURE of Applicant or Patent Practitioner

Signature	/Ronald M. Kachmarik/	Date (Optional)	September 24, 2018
Name	Ronald M. Kachmarik	Registration Number	34512
Title (if Applicant is a juristic entity)			
Applicant Name (if Applicant is a juristic entity)			

NOTE: This form must be signed in accordance with 37 CFR 1.33. See 37 CFR 1.4(d) for signature requirements and certifications. If more than one applicant, use multiple forms.

☐

*Total of _____ forms are submitted.

This collection of information is required by 37 CFR 1.131, 1.32, and 1.33. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.11 and 1.14. This collection is estimated to take 3 minutes to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. **SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.**

POWER OF ATTORNEY BY APPLICANT

I hereby revoke all previous powers of attorney given in the application identified in either the attached transmittal letter or the boxes below.

Application Number

Filing Date

(Note: The boxes above may be left blank if information is provided on form PTO/AIA/82A.)

☐

I hereby appoint the Patent Practitioner(s) associated with the following Customer Number as my/our attorney(s) or agent(s), and to transact all business in the United States Patent and Trademark Office connected therewith for the application referenced in the attached transmittal letter (form PTO/AIA/82A) or identified above:

108676

OR

☐

I hereby appoint Practitioner(s) named in the attached list (form PTO/AIA/82C) as my/our attorney(s) or agent(s), and to transact all business in the United States Patent and Trademark Office connected therewith for the patent application referenced in the attached transmittal letter (form PTO/AIA/82A) or identified above. (Note: Complete form PTO/AIA/82C.)

Please recognize or change the correspondence address for the application identified in the attached transmittal letter or the boxes above to:

☒

The address associated with the above-mentioned Customer Number

OR

☐

The address associated with Customer Number:

OR

Firm or
Individual Name

Cooper Legal Group, LLC

Address

6505 Rockside Road, Suite 330

City

Independence

State

Ohio

Zip

44131

Country

US

Telephone

216-654-0090

Email

I am the Applicant (if the Applicant is a juristic entity, list the Applicant name in the box):

DENTAL MONITORING

☐

Inventor or Joint Inventor (title not required below)

☐

Legal Representative of a Deceased or Legally Incapacitated Inventor (title not required below)

☒

Assignee or Person to Whom the Inventor is Under an Obligation to Assign (provide signer's title if applicant is a juristic entity)

☐

Person Who Otherwise Shows Sufficient Proprietary Interest (e.g., a petition under 37 CFR 1.46(b)(2) was granted in the application or is concurrently being filed with this document) (provide signer's title if applicant is a juristic entity)

SIGNATURE of Applicant for Patent

The undersigned (whose title is supplied below) is authorized to act on behalf of the applicant (e.g., where the applicant is a juristic entity)

Signature

Date (Optional)

Name

PHILIPPE SALAH

Title

DENTAL MONITORING

Chief Executive Officer

NOTE: Signature - This form must be signed by the applicant in accordance with 37 CFR 1.33. See 37 CFR 1.4 for signature requirements and certifications. If more than one applicant, use multiple forms.

☐ Total of

forms are submitted.

This collection of information is required by 37 CFR 1.131, 1.32, and 1.33. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.11 and 1.14. This collection is estimated to take 3 minutes to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 and select option 2.

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	33801765
Application Number:	16031201
International Application Number:	
Confirmation Number:	8853
Title of Invention:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
First Named Inventor/Applicant Name:	Philippe SALAH
Customer Number:	108676
Filer:	Ronald M. Kachmarik/Jackie Carpenter
Filer Authorized By:	Ronald M. Kachmarik
Attorney Docket Number:	N&P-51425
Receipt Date:	24-SEP-2018
Filing Date:	10-JUL-2018
Time Stamp:	11:06:39
Application Type:	Utility under 35 USC 111(a)

Payment information:

Submitted with Payment	no
------------------------	----

File Listing:

Document Number	Document Description	File Name	File Size(Bytes)/ Message Digest	Multi Part /.zip	Pages (if appl.)
1	Power of Attorney	POA.pdf	1003775	no	2
			c6b5d1b0d2d0dbfba317d8eda3e93885b8807e76		

Warnings:

0770

Information:	
Total Files Size (in bytes):	1003775
<p>This Acknowledgement Receipt evidences receipt on the noted date by the USPTO of the indicated documents, characterized by the applicant, and including page counts, where applicable. It serves as evidence of receipt similar to a Post Card, as described in MPEP 503.</p> <p><u>New Applications Under 35 U.S.C. 111</u> If a new application is being filed and the application includes the necessary components for a filing date (see 37 CFR 1.53(b)-(d) and MPEP 506), a Filing Receipt (37 CFR 1.54) will be issued in due course and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the filing date of the application.</p> <p><u>National Stage of an International Application under 35 U.S.C. 371</u> If a timely submission to enter the national stage of an international application is compliant with the conditions of 35 U.S.C. 371 and other applicable requirements a Form PCT/DO/EO/903 indicating acceptance of the application as a national stage submission under 35 U.S.C. 371 will be issued in addition to the Filing Receipt, in due course.</p> <p><u>New International Application Filed with the USPTO as a Receiving Office</u> If a new international application is being filed and the international application includes the necessary components for an international filing date (see PCT Article 11 and MPEP 1810), a Notification of the International Application Number and of the International Filing Date (Form PCT/RO/105) will be issued in due course, subject to prescriptions concerning national security, and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the international filing date of the application.</p>	

Letter dated: September 21, 2018

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No. : 16/031,201
Applicant : Philippe SALAH
Filing Date : July 10, 2018
Title : METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
Conf. No. : 8853
Customer No. : 108676
Docket No : N&P-51425

Mail Stop Amendment
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria VA 22313-1450

Letter for Disclosure of Information concerning other pending applications

Sir:

Several patent applications, as listed below, are currently pending. As the applications progress through prosecution, each respective Examiner for each respective application is invited to monitor such progress/activity of the other applications.

Letter dated: September 21, 2018

LISTING OF APPLICATIONS:

N&P-51398 APPL. NO.: 15/952,635

N&P-51399 APPL. NO.: 15/953,561

N&P-51400 APPL. NO.: 15/953,744

N&P-51410 APPL. NO.: 15/990,950

N&P-51411 APPL. NO.: 16/001,049

N&P-51421 APPL. NO.: 16/030,032

N&P-51422 APPL. NO.: 16/030,137

N&P-51423 APPL. NO.: 16/031,125

N&P-51424 APPL. NO.: 16/031,172

N&P-51425 APPL. NO.: 16/031,201

Letter dated: September 21, 2018

REMARKS/ARGUMENTS

If there are any fees resulting from this communication, please charge same to our Deposit Account No. 505088, our Order No. N&P-51425.

Respectfully submitted,
Cooper Legal Group

By: /Ronald M. Kachmarik/
Ronald M. Kachmarik, Reg. No. 34512

6505 Rockside Road
Suite 330
Cleveland Ohio 44131
(216) 654-0090
September 21, 2018

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	33814853
Application Number:	16031201
International Application Number:	
Confirmation Number:	8853
Title of Invention:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
First Named Inventor/Applicant Name:	Philippe SALAH
Customer Number:	108676
Filer:	Ronald M. Kachmarik/Jackie Carpenter
Filer Authorized By:	Ronald M. Kachmarik
Attorney Docket Number:	N&P-51425
Receipt Date:	25-SEP-2018
Filing Date:	10-JUL-2018
Time Stamp:	09:27:37
Application Type:	Utility under 35 USC 111(a)

Payment information:

Submitted with Payment	no
------------------------	----

File Listing:

Document Number	Document Description	File Name	File Size(Bytes)/ Message Digest	Multi Part /.zip	Pages (if appl.)
1	Miscellaneous Incoming Letter	N-P-51425-LetterreDisclosure.pdf	61057	no	3
			4405511cf475b6bc9e3c1524ecb38b56a0026a82		

Warnings:

0775

Information:	
Total Files Size (in bytes):	61057
<p>This Acknowledgement Receipt evidences receipt on the noted date by the USPTO of the indicated documents, characterized by the applicant, and including page counts, where applicable. It serves as evidence of receipt similar to a Post Card, as described in MPEP 503.</p> <p><u>New Applications Under 35 U.S.C. 111</u> If a new application is being filed and the application includes the necessary components for a filing date (see 37 CFR 1.53(b)-(d) and MPEP 506), a Filing Receipt (37 CFR 1.54) will be issued in due course and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the filing date of the application.</p> <p><u>National Stage of an International Application under 35 U.S.C. 371</u> If a timely submission to enter the national stage of an international application is compliant with the conditions of 35 U.S.C. 371 and other applicable requirements a Form PCT/DO/EO/903 indicating acceptance of the application as a national stage submission under 35 U.S.C. 371 will be issued in addition to the Filing Receipt, in due course.</p> <p><u>New International Application Filed with the USPTO as a Receiving Office</u> If a new international application is being filed and the international application includes the necessary components for an international filing date (see PCT Article 11 and MPEP 1810), a Notification of the International Application Number and of the International Filing Date (Form PCT/RO/105) will be issued in due course, subject to prescriptions concerning national security, and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the international filing date of the application.</p>	



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
www.uspto.gov

APPLICATION NUMBER	FILING OR 371(C) DATE	FIRST NAMED APPLICANT	ATTY. DOCKET NO./TITLE
16/031,201	07/10/2018	Philippe SALAH	N&P-51425

CONFIRMATION NO. 8853

POA ACCEPTANCE LETTER



OC000000102601693

108676
Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131

Date Mailed: 09/27/2018

NOTICE OF ACCEPTANCE OF POWER OF ATTORNEY

This is in response to the Power of Attorney filed 09/24/2018.

The Power of Attorney in this application is accepted. Correspondence in this application will be mailed to the above address as provided by 37 CFR 1.33.

Questions about the contents of this notice and the requirements it sets forth should be directed to the Office of Data Management, Application Assistance Unit, at (571) 272-4000 or (571) 272-4200 or 1-888-786-0101.

/yterferra/

**DECLARATION (37 CFR 1.63) FOR UTILITY OR DESIGN APPLICATION USING AN
APPLICATION DATA SHEET (37 CFR 1.76)**

Title of
Invention

METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

As the below named inventor, I hereby declare that:

This declaration
is directed to:

☐

The attached application, or

☒

United States application or PCT international application number 16/031,201

filed on July 10, 2018

The above-identified application was made or authorized to be made by me.

I believe that I am the original inventor or an original joint inventor of a claimed invention in the application.

I hereby acknowledge that any willful false statement made in this declaration is punishable under 18 U.S.C. 1001
by fine or imprisonment of not more than five (5) years, or both.

WARNING:

Petitioner/applicant is cautioned to avoid submitting personal information in documents filed in a patent application that may contribute to identity theft. Personal information such as social security numbers, bank account numbers, or credit card numbers (other than a check or credit card authorization form PTO-2038 submitted for payment purposes) is never required by the USPTO to support a petition or an application. If this type of personal information is included in documents submitted to the USPTO, petitioners/applicants should consider redacting such personal information from the documents before submitting them to the USPTO. Petitioner/applicant is advised that the record of a patent application is available to the public after publication of the application (unless a non-publication request in compliance with 37 CFR 1.213(a) is made in the application) or issuance of a patent. Furthermore, the record from an abandoned application may also be available to the public if the application is referenced in a published application or an issued patent (see 37 CFR 1.14). Checks and credit card authorization forms PTO-2038 submitted for payment purposes are not retained in the application file and therefore are not publicly available.

LEGAL NAME OF INVENTOR

Inventor: Philippe SALAH

Date (Optional) : _____

Signature: _____

Note: An application data sheet (PTO/SB/14 or equivalent), including naming the entire inventive entity, must accompany this form or must have been previously filed. Use an additional PTO/AIA/01 form for each additional inventor.

This collection of information is required by 35 U.S.C. 115 and 37 CFR 1.63. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.11 and 1.14. This collection is estimated to take 1 minute to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. **SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.**

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 and select option 2.

Privacy Act Statement

The **Privacy Act of 1974 (P.L. 93-579)** requires that you be given certain information in connection with your submission of the attached form related to a patent application or patent. Accordingly, pursuant to the requirements of the Act, please be advised that: (1) the general authority for the collection of this information is 35 U.S.C. 2(b)(2); (2) furnishing of the information solicited is voluntary; and (3) the principal purpose for which the information is used by the U.S. Patent and Trademark Office is to process and/or examine your submission related to a patent application or patent. If you do not furnish the requested information, the U.S. Patent and Trademark Office may not be able to process and/or examine your submission, which may result in termination of proceedings or abandonment of the application or expiration of the patent.

The information provided by you in this form will be subject to the following routine uses:

1. The information on this form will be treated confidentially to the extent allowed under the Freedom of Information Act (5 U.S.C. 552) and the Privacy Act (5 U.S.C. 552a). Records from this system of records may be disclosed to the Department of Justice to determine whether disclosure of these records is required by the Freedom of Information Act.
2. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, in the course of presenting evidence to a court, magistrate, or administrative tribunal, including disclosures to opposing counsel in the course of settlement negotiations.
3. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Member of Congress submitting a request involving an individual, to whom the record pertains, when the individual has requested assistance from the Member with respect to the subject matter of the record.
4. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a contractor of the Agency having need for the information in order to perform a contract. Recipients of information shall be required to comply with the requirements of the Privacy Act of 1974, as amended, pursuant to 5 U.S.C. 552a(m).
5. A record related to an International Application filed under the Patent Cooperation Treaty in this system of records may be disclosed, as a routine use, to the International Bureau of the World Intellectual Property Organization, pursuant to the Patent Cooperation Treaty.
6. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to another federal agency for purposes of National Security review (35 U.S.C. 181) and for review pursuant to the Atomic Energy Act (42 U.S.C. 218(c)).
7. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the Administrator, General Services, or his/her designee, during an inspection of records conducted by GSA as part of that agency's responsibility to recommend improvements in records management practices and programs, under authority of 44 U.S.C. 2904 and 2906. Such disclosure shall be made in accordance with the GSA regulations governing inspection of records for this purpose, and any other relevant (i.e., GSA or Commerce) directive. Such disclosure shall not be used to make determinations about individuals.
8. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the public after either publication of the application pursuant to 35 U.S.C. 122(b) or issuance of a patent pursuant to 35 U.S.C. 151. Further, a record may be disclosed, subject to the limitations of 37 CFR 1.14, as a routine use, to the public if the record was filed in an application which became abandoned or in which the proceedings were terminated and which application is referenced by either a published application, an application open to public inspection or an issued patent.
9. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Federal, State, or local law enforcement agency, if the USPTO becomes aware of a violation or potential violation of law or regulation.

PS

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

**DECLARATION (37 CFR 1.63) FOR UTILITY OR DESIGN APPLICATION USING AN
APPLICATION DATA SHEET (37 CFR 1.76)**

Title of Invention	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
<p>As the below named inventor, I hereby declare that:</p> <p>This declaration is directed to: ☐ The attached application, or ☒ United States application or PCT international application number <u>16/031,201</u> filed on <u>July 10, 2018</u></p> <p>The above-identified application was made or authorized to be made by me.</p> <p>I believe that I am the original inventor or an original joint inventor of a claimed invention in the application.</p> <p>I hereby acknowledge that any willful false statement made in this declaration is punishable under 18 U.S.C. 1001 by fine or imprisonment of not more than five (5) years, or both.</p> <p style="text-align: center;">WARNING:</p> <p>Petitioner/applicant is cautioned to avoid submitting personal information in documents filed in a patent application that may contribute to identity theft. Personal information such as social security numbers, bank account numbers, or credit card numbers (other than a check or credit card authorization form PTO-2038 submitted for payment purposes) is never required by the USPTO to support a petition or an application. If this type of personal information is included in documents submitted to the USPTO, petitioners/applicants should consider redacting such personal information from the documents before submitting them to the USPTO. Petitioner/applicant is advised that the record of a patent application is available to the public after publication of the application (unless a non-publication request in compliance with 37 CFR 1.213(a) is made in the application) or issuance of a patent. Furthermore, the record from an abandoned application may also be available to the public if the application is referenced in a published application or an issued patent (see 37 CFR 1.14). Checks and credit card authorization forms PTO-2038 submitted for payment purposes are not retained in the application file and therefore are not publicly available.</p>	
<p>LEGAL NAME OF INVENTOR</p> <p>Inventor: <u>Thomas PELLISSARD</u> Date (Optional): <u>08/24/18</u></p> <p>Signature: <u></u></p>	
<p>Note: An application data sheet (PTO/SB/14 or equivalent), including naming the entire inventive entity, must accompany this form or must have been previously filed. Use an additional PTO/AIA/01 form for each additional inventor.</p>	

This collection of information is required by 35 U.S.C. 115 and 37 CFR 1.63. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.11 and 1.14. This collection is estimated to take 1 minute to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. **SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.**

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 and select option 2.

Privacy Act Statement

The **Privacy Act of 1974 (P.L. 93-579)** requires that you be given certain information in connection with your submission of the attached form related to a patent application or patent. Accordingly, pursuant to the requirements of the Act, please be advised that: (1) the general authority for the collection of this information is 35 U.S.C. 2(b)(2); (2) furnishing of the information solicited is voluntary; and (3) the principal purpose for which the information is used by the U.S. Patent and Trademark Office is to process and/or examine your submission related to a patent application or patent. If you do not furnish the requested information, the U.S. Patent and Trademark Office may not be able to process and/or examine your submission, which may result in termination of proceedings or abandonment of the application or expiration of the patent.

The information provided by you in this form will be subject to the following routine uses:

1. The information on this form will be treated confidentially to the extent allowed under the Freedom of Information Act (5 U.S.C. 552) and the Privacy Act (5 U.S.C. 552a). Records from this system of records may be disclosed to the Department of Justice to determine whether disclosure of these records is required by the Freedom of Information Act.
2. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, in the course of presenting evidence to a court, magistrate, or administrative tribunal, including disclosures to opposing counsel in the course of settlement negotiations.
3. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Member of Congress submitting a request involving an individual, to whom the record pertains, when the individual has requested assistance from the Member with respect to the subject matter of the record.
4. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a contractor of the Agency having need for the information in order to perform a contract. Recipients of information shall be required to comply with the requirements of the Privacy Act of 1974, as amended, pursuant to 5 U.S.C. 552a(m).
5. A record related to an International Application filed under the Patent Cooperation Treaty in this system of records may be disclosed, as a routine use, to the International Bureau of the World Intellectual Property Organization, pursuant to the Patent Cooperation Treaty.
6. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to another federal agency for purposes of National Security review (35 U.S.C. 181) and for review pursuant to the Atomic Energy Act (42 U.S.C. 218(c)).
7. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the Administrator, General Services, or his/her designee, during an inspection of records conducted by GSA as part of that agency's responsibility to recommend improvements in records management practices and programs, under authority of 44 U.S.C. 2904 and 2906. Such disclosure shall be made in accordance with the GSA regulations governing inspection of records for this purpose, and any other relevant (i.e., GSA or Commerce) directive. Such disclosure shall not be used to make determinations about individuals.
8. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the public after either publication of the application pursuant to 35 U.S.C. 122(b) or issuance of a patent pursuant to 35 U.S.C. 151. Further, a record may be disclosed, subject to the limitations of 37 CFR 1.14, as a routine use, to the public if the record was filed in an application which became abandoned or in which the proceedings were terminated and which application is referenced by either a published application, an application open to public inspection or an issued patent.
9. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Federal, State, or local law enforcement agency, if the USPTO becomes aware of a violation or potential violation of law or regulation.

TP

**DECLARATION (37 CFR 1.63) FOR UTILITY OR DESIGN APPLICATION USING AN
APPLICATION DATA SHEET (37 CFR 1.76)**

**Title of
Invention**

METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

As the below named inventor, I hereby declare that:

This declaration
is directed to:

☐

The attached application, or

☒

United States application or PCT international application number 16/031,201

filed on July 10, 2018

The above-identified application was made or authorized to be made by me.

I believe that I am the original inventor or an original joint inventor of a claimed invention in the application.

I hereby acknowledge that any willful false statement made in this declaration is punishable under 18 U.S.C. 1001 by fine or imprisonment of not more than five (5) years, or both.

WARNING:

Petitioner/applicant is cautioned to avoid submitting personal information in documents filed in a patent application that may contribute to identity theft. Personal information such as social security numbers, bank account numbers, or credit card numbers (other than a check or credit card authorization form PTO-2038 submitted for payment purposes) is never required by the USPTO to support a petition or an application. If this type of personal information is included in documents submitted to the USPTO, petitioners/applicants should consider redacting such personal information from the documents before submitting them to the USPTO. Petitioner/applicant is advised that the record of a patent application is available to the public after publication of the application (unless a non-publication request in compliance with 37 CFR 1.213(a) is made in the application) or issuance of a patent. Furthermore, the record from an abandoned application may also be available to the public if the application is referenced in a published application or an issued patent (see 37 CFR 1.14). Checks and credit card authorization forms PTO-2038 submitted for payment purposes are not retained in the application file and therefore are not publicly available.

LEGAL NAME OF INVENTOR

Inventor: Guillaume GHYSELINCK

Date (Optional): 08/24/2018

Signature: 

Note: An application data sheet (PTO/SB/14 or equivalent), including naming the entire inventive entity, must accompany this form or must have been previously filed. Use an additional PTO/AIA/01 form for each additional inventor.

This collection of information is required by 35 U.S.C. 115 and 37 CFR 1.63. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.11 and 1.14. This collection is estimated to take 1 minute to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. **SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.**

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 and select option 2.

Privacy Act Statement

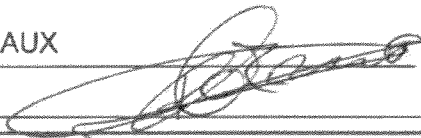
The **Privacy Act of 1974 (P.L. 93-579)** requires that you be given certain information in connection with your submission of the attached form related to a patent application or patent. Accordingly, pursuant to the requirements of the Act, please be advised that: (1) the general authority for the collection of this information is 35 U.S.C. 2(b)(2); (2) furnishing of the information solicited is voluntary; and (3) the principal purpose for which the information is used by the U.S. Patent and Trademark Office is to process and/or examine your submission related to a patent application or patent. If you do not furnish the requested information, the U.S. Patent and Trademark Office may not be able to process and/or examine your submission, which may result in termination of proceedings or abandonment of the application or expiration of the patent.

The information provided by you in this form will be subject to the following routine uses:

1. The information on this form will be treated confidentially to the extent allowed under the Freedom of Information Act (5 U.S.C. 552) and the Privacy Act (5 U.S.C. 552a). Records from this system of records may be disclosed to the Department of Justice to determine whether disclosure of these records is required by the Freedom of Information Act.
2. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, in the course of presenting evidence to a court, magistrate, or administrative tribunal, including disclosures to opposing counsel in the course of settlement negotiations.
3. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Member of Congress submitting a request involving an individual, to whom the record pertains, when the individual has requested assistance from the Member with respect to the subject matter of the record.
4. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a contractor of the Agency having need for the information in order to perform a contract. Recipients of information shall be required to comply with the requirements of the Privacy Act of 1974, as amended, pursuant to 5 U.S.C. 552a(m).
5. A record related to an International Application filed under the Patent Cooperation Treaty in this system of records may be disclosed, as a routine use, to the International Bureau of the World Intellectual Property Organization, pursuant to the Patent Cooperation Treaty.
6. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to another federal agency for purposes of National Security review (35 U.S.C. 181) and for review pursuant to the Atomic Energy Act (42 U.S.C. 218(c)).
7. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the Administrator, General Services, or his/her designee, during an inspection of records conducted by GSA as part of that agency's responsibility to recommend improvements in records management practices and programs, under authority of 44 U.S.C. 2904 and 2906. Such disclosure shall be made in accordance with the GSA regulations governing inspection of records for this purpose, and any other relevant (i.e., GSA or Commerce) directive. Such disclosure shall not be used to make determinations about individuals.
8. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the public after either publication of the application pursuant to 35 U.S.C. 122(b) or issuance of a patent pursuant to 35 U.S.C. 151. Further, a record may be disclosed, subject to the limitations of 37 CFR 1.14, as a routine use, to the public if the record was filed in an application which became abandoned or in which the proceedings were terminated and which application is referenced by either a published application, an application open to public inspection or an issued patent.
9. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Federal, State, or local law enforcement agency, if the USPTO becomes aware of a violation or potential violation of law or regulation.

CC

**DECLARATION (37 CFR 1.63) FOR UTILITY OR DESIGN APPLICATION USING AN
APPLICATION DATA SHEET (37 CFR 1.76)**

Title of Invention	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
<p>As the below named inventor, I hereby declare that:</p> <p>This declaration is directed to: ☐ The attached application, or ☒ United States application or PCT international application number <u>16/031,201</u> filed on <u>July 10, 2018</u></p> <p>The above-identified application was made or authorized to be made by me.</p> <p>I believe that I am the original inventor or an original joint inventor of a claimed invention in the application.</p> <p>I hereby acknowledge that any willful false statement made in this declaration is punishable under 18 U.S.C. 1001 by fine or imprisonment of not more than five (5) years, or both.</p> <p style="text-align: center;">WARNING:</p> <p>Petitioner/applicant is cautioned to avoid submitting personal information in documents filed in a patent application that may contribute to identity theft. Personal information such as social security numbers, bank account numbers, or credit card numbers (other than a check or credit card authorization form PTO-2038 submitted for payment purposes) is never required by the USPTO to support a petition or an application. If this type of personal information is included in documents submitted to the USPTO, petitioners/applicants should consider redacting such personal information from the documents before submitting them to the USPTO. Petitioner/applicant is advised that the record of a patent application is available to the public after publication of the application (unless a non-publication request in compliance with 37 CFR 1.213(a) is made in the application) or issuance of a patent. Furthermore, the record from an abandoned application may also be available to the public if the application is referenced in a published application or an issued patent (see 37 CFR 1.14). Checks and credit card authorization forms PTO-2038 submitted for payment purposes are not retained in the application file and therefore are not publicly available.</p>	
<p>LEGAL NAME OF INVENTOR</p> <p>Inventor: <u>Laurent DEBRAUX</u> Date (Optional): <u>8/24/18</u></p> <p>Signature: </p>	
<p>Note: An application data sheet (PTO/SB/14 or equivalent), including naming the entire inventive entity, must accompany this form or must have been previously filed. Use an additional PTO/AIA/01 form for each additional inventor.</p>	

This collection of information is required by 35 U.S.C. 115 and 37 CFR 1.63. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.11 and 1.14. This collection is estimated to take 1 minute to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 and select option 2.

Privacy Act Statement

The **Privacy Act of 1974 (P.L. 93-579)** requires that you be given certain information in connection with your submission of the attached form related to a patent application or patent. Accordingly, pursuant to the requirements of the Act, please be advised that: (1) the general authority for the collection of this information is 35 U.S.C. 2(b)(2); (2) furnishing of the information solicited is voluntary; and (3) the principal purpose for which the information is used by the U.S. Patent and Trademark Office is to process and/or examine your submission related to a patent application or patent. If you do not furnish the requested information, the U.S. Patent and Trademark Office may not be able to process and/or examine your submission, which may result in termination of proceedings or abandonment of the application or expiration of the patent.

The information provided by you in this form will be subject to the following routine uses:

1. The information on this form will be treated confidentially to the extent allowed under the Freedom of Information Act (5 U.S.C. 552) and the Privacy Act (5 U.S.C. 552a). Records from this system of records may be disclosed to the Department of Justice to determine whether disclosure of these records is required by the Freedom of Information Act.
2. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, in the course of presenting evidence to a court, magistrate, or administrative tribunal, including disclosures to opposing counsel in the course of settlement negotiations.
3. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Member of Congress submitting a request involving an individual, to whom the record pertains, when the individual has requested assistance from the Member with respect to the subject matter of the record.
4. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a contractor of the Agency having need for the information in order to perform a contract. Recipients of information shall be required to comply with the requirements of the Privacy Act of 1974, as amended, pursuant to 5 U.S.C. 552a(m).
5. A record related to an International Application filed under the Patent Cooperation Treaty in this system of records may be disclosed, as a routine use, to the International Bureau of the World Intellectual Property Organization, pursuant to the Patent Cooperation Treaty.
6. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to another federal agency for purposes of National Security review (35 U.S.C. 181) and for review pursuant to the Atomic Energy Act (42 U.S.C. 218(c)).
7. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the Administrator, General Services, or his/her designee, during an inspection of records conducted by GSA as part of that agency's responsibility to recommend improvements in records management practices and programs, under authority of 44 U.S.C. 2904 and 2906. Such disclosure shall be made in accordance with the GSA regulations governing inspection of records for this purpose, and any other relevant (i.e., GSA or Commerce) directive. Such disclosure shall not be used to make determinations about individuals.
8. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the public after either publication of the application pursuant to 35 U.S.C. 122(b) or issuance of a patent pursuant to 35 U.S.C. 151. Further, a record may be disclosed, subject to the limitations of 37 CFR 1.14, as a routine use, to the public if the record was filed in an application which became abandoned or in which the proceedings were terminated and which application is referenced by either a published application, an application open to public inspection or an issued patent.
9. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Federal, State, or local law enforcement agency, if the USPTO becomes aware of a violation or potential violation of law or regulation.

L.D.

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	34021764
Application Number:	16031201
International Application Number:	
Confirmation Number:	8853
Title of Invention:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
First Named Inventor/Applicant Name:	Philippe SALAH
Customer Number:	108676
Filer:	Ronald M. Kachmarik/Jackie Carpenter
Filer Authorized By:	Ronald M. Kachmarik
Attorney Docket Number:	N&P-51425
Receipt Date:	16-OCT-2018
Filing Date:	10-JUL-2018
Time Stamp:	12:47:31
Application Type:	Utility under 35 USC 111(a)

Payment information:

Submitted with Payment	no
------------------------	----

File Listing:

Document Number	Document Description	File Name	File Size(Bytes)/ Message Digest	Multi Part /.zip	Pages (if appl.)
1	Oath or Declaration filed	Declaration.PDF	830922	no	8
			2891468436edebee3038cc648d42fd8fee83461d		

Warnings:

0786

Information:

Total Files Size (in bytes):

830922

This Acknowledgement Receipt evidences receipt on the noted date by the USPTO of the indicated documents, characterized by the applicant, and including page counts, where applicable. It serves as evidence of receipt similar to a Post Card, as described in MPEP 503.

New Applications Under 35 U.S.C. 111

If a new application is being filed and the application includes the necessary components for a filing date (see 37 CFR 1.53(b)-(d) and MPEP 506), a Filing Receipt (37 CFR 1.54) will be issued in due course and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the filing date of the application.

National Stage of an International Application under 35 U.S.C. 371

If a timely submission to enter the national stage of an international application is compliant with the conditions of 35 U.S.C. 371 and other applicable requirements a Form PCT/DO/EO/903 indicating acceptance of the application as a national stage submission under 35 U.S.C. 371 will be issued in addition to the Filing Receipt, in due course.

New International Application Filed with the USPTO as a Receiving Office

If a new international application is being filed and the international application includes the necessary components for an international filing date (see PCT Article 11 and MPEP 1810), a Notification of the International Application Number and of the International Filing Date (Form PCT/RO/105) will be issued in due course, subject to prescriptions concerning national security, and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the international filing date of the application.

CD Submission Review Results

Internal Worksheet Only - Do Not Scan

Application Number

16031201

Receipt Date

Sep 19, 2018

☒New
Application☐Response To
Notice

Date Of Response

☐

Jumbo – Large tables are included on the CD

☒**There are no problems with the CDs in the submission.****Items checked below are to be selected in the PALM Pre-Exam CD problem list.**

Omitted Items

☐	Files on compact disc are unreadable:
☐	Disc(s) of either set not readable:
☐	Disc(s) do not contain file names listed:
☐	Amended CD missing unamended files
☐	Missing compact discs

Missing Parts

☐	Disc(s) do not contain file names listed
☐	Discs contains files that are non-ASCII files:
☐	Only one copy of the CD, no duplicate:
☐	Wrong media type, e.g., CD-RW:
☐	The transmittal letter and specification do not list information:
☐	Both disc(s) contain unreadable files:
☐	One disc(s) contain unreadable files:
☐	Compact disc(s) contain viruses, but are still readable:
☐	EFS/Paper Submission:
☐	Table does not maintain data in proper alignment:
☐	Not proper subject matter for CD's:

Informality

☐	No statement in transmittal letter that CD's are the same:
☐	No incorporation by reference statement for the CD's:
☐	CD's not labeled "Copy 1" and "Copy 2":
☐	Deficient CD packaging:
☐	Deficient Labeling on CD's:
☐	The transmittal letter does not list information:
☐	The specification does not list information:
☐	Table less than 51 pages submitted on CD:

File Directory Attachment

☐	Copy of file directory listing is attached and should be mailed to applicant
☐	Copy of file directory listing is not attached
☐	Copy of file directory listing is not attached because it is over one page long

Additional Comments

Internal Worksheet Only - Do Not Scan

0788

SCORE Placeholder Sheet for IFW Content

Application Number: 16031201

Document Date: 09/19/2018

The presence of this form in the IFW record indicates that the following document type was received in electronic format on the date identified above. This content is stored in the SCORE database.

Since this was an electronic submission, there is no physical artifact folder, no artifact folder is recorded in PALM, and no paper documents or physical media exist. The TIFF images in the IFW record were created from the original documents that are stored in SCORE.

- Drawing

At the time of document entry (noted above):

- USPTO employees may access SCORE content via eDAN using the Supplemental Content tab, or via the SCORE web page.
- External customers may access SCORE content via PAIR using the Supplemental Content tab.

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

PATENT APPLICATION FEE DETERMINATION RECORD Substitute for Form PTO-875				Application or Docket Number 16/031,201		Filing Date 07/10/2018		☐ To be Mailed	
ENTITY: ☒ LARGE ☐ SMALL ☐ MICRO									
APPLICATION AS FILED - PART I									
		(Column 1)	(Column 2)						
FOR		NUMBER FILED	NUMBER EXTRA		RATE (\$)		FEE (\$)		
☐ BASIC FEE (37 CFR 1.16(a), (b), or (c))		N/A	N/A		N/A				
☐ SEARCH FEE (37 CFR 1.16(k), (i), or (m))		N/A	N/A		N/A				
☐ EXAMINATION FEE (37 CFR 1.16(o), (p), or (q))		N/A	N/A		N/A				
TOTAL CLAIMS (37 CFR 1.16(i))		minus 20 = *		x \$100 =					
INDEPENDENT CLAIMS (37 CFR 1.16(h))		minus 3 = *		x \$460 =					
☐ APPLICATION SIZE FEE (37 CFR 1.16(s))		If the specification and drawings exceed 100 sheets of paper, the application size fee due is \$310 (\$155 for small entity) for each additional 50 sheets or fraction thereof. See 35 U.S.C. 41(a)(1)(G) and 37 CFR 1.16(s).							
☐ MULTIPLE DEPENDENT CLAIM PRESENT (37 CFR 1.16(j))									
* If the difference in column 1 is less than zero, enter "0" in column 2.					TOTAL				
APPLICATION AS AMENDED - PART II									
		(Column 1)		(Column 2)	(Column 3)				
AMENDMENT	07/10/2018	CLAIMS REMAINING AFTER AMENDMENT		HIGHEST NUMBER PREVIOUSLY PAID FOR	PRESENT EXTRA	RATE (\$)		ADDITIONAL FEE (\$)	
	Total (37 CFR 1.16(i))	* 13	Minus	** 20	= 0	x \$100 =		0	
	Independent (37 CFR 1.16(h))	* 1	Minus	*** 3	= 0	x \$460 =		0	
	☐ Application Size Fee (37 CFR 1.16(s))								
	☐ FIRST PRESENTATION OF MULTIPLE DEPENDENT CLAIM (37 CFR 1.16(j))								
						TOTAL ADD'L FEE		0	
		(Column 1)		(Column 2)	(Column 3)				
AMENDMENT		CLAIMS REMAINING AFTER AMENDMENT		HIGHEST NUMBER PREVIOUSLY PAID FOR	PRESENT EXTRA	RATE (\$)		ADDITIONAL FEE (\$)	
	Total (37 CFR 1.16(i))	*	Minus	**	=	x \$0 =			
	Independent (37 CFR 1.16(h))	*	Minus	***	=	x \$0 =			
	☐ Application Size Fee (37 CFR 1.16(s))								
	☐ FIRST PRESENTATION OF MULTIPLE DEPENDENT CLAIM (37 CFR 1.16(j))								
						TOTAL ADD'L FEE			
* If the entry in column 1 is less than the entry in column 2, write "0" in column 3.						LDRC			
** If the "Highest Number Previously Paid For" IN THIS SPACE is less than 20, enter "20".						/EVA V GILLIS/			
*** If the "Highest Number Previously Paid For" IN THIS SPACE is less than 3, enter "3".									
The "Highest Number Previously Paid For" (Total or Independent) is the highest number found in the appropriate box in column 1.									

This collection of information is required by 37 CFR 1.16. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 12 minutes to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. **SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.**

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 and select option 2.



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
www.uspto.gov

APPLICATION NUMBER	FILING OR 371(C) DATE	FIRST NAMED APPLICANT	ATTY. DOCKET NO./TITLE
16/031,201	07/10/2018	Philippe SALAH	N&P-51425

CONFIRMATION NO. 8853

PUBLICATION NOTICE



OC000000105307811

108676
Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131

Title:METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Publication No.US-2019-0026889-A1

Publication Date:01/24/2019

NOTICE OF PUBLICATION OF APPLICATION

The above-identified application will be electronically published as a patent application publication pursuant to 37 CFR 1.211, et seq. The patent application publication number and publication date are set forth above.

The publication may be accessed through the USPTO's publically available Searchable Databases via the Internet at www.uspto.gov. The direct link to access the publication is currently <http://www.uspto.gov/patft/>.

The publication process established by the Office does not provide for mailing a copy of the publication to applicant. A copy of the publication may be obtained from the Office upon payment of the appropriate fee set forth in 37 CFR 1.19(a)(1). Orders for copies of patent application publications are handled by the USPTO's Public Records Division. The Public Records Division can be reached by telephone at (571) 272-3150 or (800) 972-6382, by facsimile at (571) 273-3250, by mail addressed to the United States Patent and Trademark Office, Public Records Division, Alexandria, VA 22313-1450 or via the Internet.

In addition, information on the status of the application, including the mailing date of Office actions and the dates of receipt of correspondence filed in the Office, may also be accessed via the Internet through the Patent Electronic Business Center at www.uspto.gov using the public side of the Patent Application Information and Retrieval (PAIR) system. The direct link to access this status information is currently <https://portal.uspto.gov/pair/PublicPair>. Prior to publication, such status information is confidential and may only be obtained by applicant using the private side of PAIR.

Further assistance in electronically accessing the publication, or about PAIR, is available by calling the Patent Electronic Business Center at 1-866-217-9197.

Office of Data Management, Application Assistance Unit (571) 272-4000, or (571) 272-4200, or 1-888-786-0101

Letter dated: June 19, 2019

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No. : 16/031,201
Applicant : Philippe SALAH
Filing Date : July 10, 2018
Title : METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Examiner Name : Matthew C. Bella
Group Art Unit : 2667
Conf. No. : 8853

Customer No. : 108676
Docket No : N&P-51425

Mail Stop Amendment
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria VA 22313-1450

Letter for Disclosure of Information concerning other pending applications

Sir:

Several patent applications, as listed below, are currently pending. As the applications progress through prosecution, each respective Examiner for each respective application is invited to monitor such progress/activity of the other applications.

Letter dated: June 19, 2019

LISTING OF APPLICATIONS:

APPLICATION NO.: 15/522,554

N&P-51398 APPL. NO.: 15/952,635

N&P-51399 APPL NO.: 15/953,561

N&P-51400 APPL. NO.: 15/953,744

N&P-51410 APPL. NO.: 15/990,950

N&P-51411 APPL. NO.: 16/001,049

N&P-51421 APPL. NO.: 16/030,032

N&P-51422 APPL. NO.: 16/030,137

N&P-51423 APPL. NO.: 16/031,125

N&P-51424 APPL. NO.: 16/031,172

N&P-51425 APPL. NO.: 16/031,201

Letter dated: June 19, 2019

REMARKS/ARGUMENTS

If there are any fees resulting from this communication, please charge same to our Deposit Account No. 505088, our Order No. N&P-51425.

Respectfully submitted,
Cooper Legal Group

By: /Ronald M. Kachmarik/
Ronald M. Kachmarik, Reg. No. 34512

6505 Rockside Road
Suite 330
Cleveland Ohio 44131
(216) 654-0090
June 19, 2019

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	36347900
Application Number:	16031201
International Application Number:	
Confirmation Number:	8853
Title of Invention:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
First Named Inventor/Applicant Name:	Philippe SALAH
Customer Number:	108676
Filer:	Ronald M. Kachmarik/Amy Ansbro
Filer Authorized By:	Ronald M. Kachmarik
Attorney Docket Number:	N&P-51425
Receipt Date:	19-JUN-2019
Filing Date:	10-JUL-2018
Time Stamp:	15:23:18
Application Type:	Utility under 35 USC 111(a)

Payment information:

Submitted with Payment	no
------------------------	----

File Listing:

Document Number	Document Description	File Name	File Size(Bytes)/ Message Digest	Multi Part /.zip	Pages (if appl.)
1	Miscellaneous Incoming Letter	N-P-51425-Ltr-Disclosure.pdf	61482	no	3
			d8ed1e24a02a54419306191e2b5d8e2c022627d2		

Warnings:

0796

Information:	
Total Files Size (in bytes):	61482
<p>This Acknowledgement Receipt evidences receipt on the noted date by the USPTO of the indicated documents, characterized by the applicant, and including page counts, where applicable. It serves as evidence of receipt similar to a Post Card, as described in MPEP 503.</p> <p><u>New Applications Under 35 U.S.C. 111</u> If a new application is being filed and the application includes the necessary components for a filing date (see 37 CFR 1.53(b)-(d) and MPEP 506), a Filing Receipt (37 CFR 1.54) will be issued in due course and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the filing date of the application.</p> <p><u>National Stage of an International Application under 35 U.S.C. 371</u> If a timely submission to enter the national stage of an international application is compliant with the conditions of 35 U.S.C. 371 and other applicable requirements a Form PCT/DO/EO/903 indicating acceptance of the application as a national stage submission under 35 U.S.C. 371 will be issued in addition to the Filing Receipt, in due course.</p> <p><u>New International Application Filed with the USPTO as a Receiving Office</u> If a new international application is being filed and the international application includes the necessary components for an international filing date (see PCT Article 11 and MPEP 1810), a Notification of the International Application Number and of the International Filing Date (Form PCT/RO/105) will be issued in due course, subject to prescriptions concerning national security, and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the international filing date of the application.</p>	

Letter dated: September 23, 2019

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No. : 16/031,201
Applicant : Philippe SALAH
Filing Date : July 10, 2018
Title : METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Examiner Name : Matthew C. Bella
Group Art Unit : 2667
Conf. No. : 8853

Customer No. : 108676
Docket No : N&P-51425

Mail Stop Amendment
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria VA 22313-1450

Letter for Disclosure of Information concerning other pending applications

Sir:

Several patent applications, as listed below, are currently pending. As the applications progress through prosecution, each respective Examiner for each respective application is invited to monitor such progress/activity of the other applications.

Letter dated: September 23, 2019

LISTING OF APPLICATIONS:

APPLICATION NO.: 15/522,554

N&P-51398 APPL. NO.: 15/952,635

N&P-51399 APPL NO.: 15/953,561

N&P-51400 APPL. NO.: 15/953,744

N&P-51410 APPL. NO.: 15/990,950

N&P-51411 APPL. NO.: 16/001,049

N&P-51421 APPL. NO.: 16/030,032

N&P-51422 APPL. NO.: 16/030,137

N&P-51423 APPL. NO.: 16/031,125

N&P-51424 APPL. NO.: 16/031,172

N&P-51425 APPL. NO.: 16/031,201

Letter dated: September 23, 2019

REMARKS/ARGUMENTS

If there are any fees resulting from this communication, please charge same to our Deposit Account No. 505088, our Order No. N&P-51425.

Respectfully submitted,
Cooper Legal Group

By: /Ronald M. Kachmarik/
Ronald M. Kachmarik, Reg. No. 34512

6505 Rockside Road
Suite 330
Cleveland Ohio 44131
(216) 654-0090
September 23, 2019

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	37244970
Application Number:	16031201
International Application Number:	
Confirmation Number:	8853
Title of Invention:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
First Named Inventor/Applicant Name:	Philippe SALAH
Customer Number:	108676
Filer:	Ronald M. Kachmarik/Amy Ansbro
Filer Authorized By:	Ronald M. Kachmarik
Attorney Docket Number:	N&P-51425
Receipt Date:	23-SEP-2019
Filing Date:	10-JUL-2018
Time Stamp:	16:00:22
Application Type:	Utility under 35 USC 111(a)

Payment information:

Submitted with Payment	no
------------------------	----

File Listing:

Document Number	Document Description	File Name	File Size(Bytes)/ Message Digest	Multi Part /.zip	Pages (if appl.)
1	Miscellaneous Incoming Letter	N-P-51425-Ltr-Disclosure_9-23-19.pdf	61400	no	3
			f851bc94ae17c716b76ba23bfe13ae4747a112ac		

Warnings:

0801

Information:	
Total Files Size (in bytes):	61400
<p>This Acknowledgement Receipt evidences receipt on the noted date by the USPTO of the indicated documents, characterized by the applicant, and including page counts, where applicable. It serves as evidence of receipt similar to a Post Card, as described in MPEP 503.</p> <p><u>New Applications Under 35 U.S.C. 111</u> If a new application is being filed and the application includes the necessary components for a filing date (see 37 CFR 1.53(b)-(d) and MPEP 506), a Filing Receipt (37 CFR 1.54) will be issued in due course and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the filing date of the application.</p> <p><u>National Stage of an International Application under 35 U.S.C. 371</u> If a timely submission to enter the national stage of an international application is compliant with the conditions of 35 U.S.C. 371 and other applicable requirements a Form PCT/DO/EO/903 indicating acceptance of the application as a national stage submission under 35 U.S.C. 371 will be issued in addition to the Filing Receipt, in due course.</p> <p><u>New International Application Filed with the USPTO as a Receiving Office</u> If a new international application is being filed and the international application includes the necessary components for an international filing date (see PCT Article 11 and MPEP 1810), a Notification of the International Application Number and of the International Filing Date (Form PCT/RO/105) will be issued in due course, subject to prescriptions concerning national security, and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the international filing date of the application.</p>	



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
www.uspto.gov

APPLICATION NO.	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR	ATTORNEY DOCKET NO.	CONFIRMATION NO.
16/031,201	07/10/2018	Philippe SALAH	N&P-51425	8853
108676	7590	12/20/2019	EXAMINER	
Ronald M. Kachmarik			AZARIAN, SEYED H	
Cooper Legal Group LLC			ART UNIT	
6505 Rockside Rd.			PAPER NUMBER	
Suite 330			2667	
Independence, OH 44131			NOTIFICATION DATE	
			DELIVERY MODE	
			12/20/2019	
			ELECTRONIC	

Please find below and/or attached an Office communication concerning this application or proceeding.

The time period for reply, if any, is set in the attached communication.

Notice of the Office communication was sent electronically on above-indicated "Notification Date" to the following e-mail address(es):

patdoc@cooperlegalgroup.com

Office Action Summary	Application No. 16/031,201	Applicant(s) SALAH et al.	
	Examiner SEYED H AZARIAN	Art Unit 2667	AIA (FITF) Status Yes

-- The MAILING DATE of this communication appears on the cover sheet with the correspondence address --

Period for Reply

A SHORTENED STATUTORY PERIOD FOR REPLY IS SET TO EXPIRE 3 MONTHS FROM THE MAILING DATE OF THIS COMMUNICATION.

- Extensions of time may be available under the provisions of 37 CFR 1.136(a). In no event, however, may a reply be timely filed after SIX (6) MONTHS from the mailing date of this communication.
- If NO period for reply is specified above, the maximum statutory period will apply and will expire SIX (6) MONTHS from the mailing date of this communication.
- Failure to reply within the set or extended period for reply will, by statute, cause the application to become ABANDONED (35 U.S.C. § 133). Any reply received by the Office later than three months after the mailing date of this communication, even if timely filed, may reduce any earned patent term adjustment. See 37 CFR 1.704(b).

Status

- 1) ☒ Responsive to communication(s) filed on 7/10/2018.
☐ A declaration(s)/affidavit(s) under **37 CFR 1.130(b)** was/were filed on ____.
- 2a) ☐ This action is **FINAL**. 2b) ☒ This action is non-final.
- 3) ☐ An election was made by the applicant in response to a restriction requirement set forth during the interview on ____; the restriction requirement and election have been incorporated into this action.
- 4) ☐ Since this application is in condition for allowance except for formal matters, prosecution as to the merits is closed in accordance with the practice under *Ex parte Quayle*, 1935 C.D. 11, 453 O.G. 213.

Disposition of Claims*

- 5) ☒ Claim(s) 1-13 is/are pending in the application.
5a) Of the above claim(s) ____ is/are withdrawn from consideration.
- 6) ☐ Claim(s) ____ is/are allowed.
- 7) ☒ Claim(s) 1-13 is/are rejected.
- 8) ☐ Claim(s) ____ is/are objected to.
- 9) ☐ Claim(s) ____ are subject to restriction and/or election requirement

* If any claims have been determined allowable, you may be eligible to benefit from the **Patent Prosecution Highway** program at a participating intellectual property office for the corresponding application. For more information, please see http://www.uspto.gov/patents/init_events/pph/index.jsp or send an inquiry to PPHfeedback@uspto.gov.

Application Papers

- 10) ☐ The specification is objected to by the Examiner.
- 11) ☒ The drawing(s) filed on 7/10/2018 is/are: a) ☒ accepted or b) ☐ objected to by the Examiner.
Applicant may not request that any objection to the drawing(s) be held in abeyance. See 37 CFR 1.85(a).
Replacement drawing sheet(s) including the correction is required if the drawing(s) is objected to. See 37 CFR 1.121(d).

Priority under 35 U.S.C. § 119

- 12) ☒ Acknowledgment is made of a claim for foreign priority under 35 U.S.C. § 119(a)-(d) or (f).

Certified copies:

- a) ☒ All b) ☐ Some** c) ☐ None of the:
1. ☒ Certified copies of the priority documents have been received.
2. ☐ Certified copies of the priority documents have been received in Application No. ____.
3. ☐ Copies of the certified copies of the priority documents have been received in this National Stage application from the International Bureau (PCT Rule 17.2(a)).

** See the attached detailed Office action for a list of the certified copies not received.

Attachment(s)

- 1) ☒ Notice of References Cited (PTO-892)
- 2) ☒ Information Disclosure Statement(s) (PTO/SB/08a and/or PTO/SB/08b)
Paper No(s)/Mail Date ____.
- 3) ☒ Interview Summary (PTO-413)
Paper No(s)/Mail Date ____.
- 4) ☐ Other: ____.

Notice of Pre-AIA or AIA Status

The present application, filed on or after March 16, 2013, is being examined under the first inventor to file provisions of the AIA.

Claim Rejections - 35 USC § 112

The following is a quotation of 35 U.S.C. 112(b):

(b) CONCLUSION.- The specification shall conclude with one or more claims particularly pointing out and distinctly claiming the subject matter which the inventor or a joint inventor regards as the invention.

The following is a quotation of 35 U.S.C. 112 (pre-AIA), second paragraph:

The specification shall conclude with one or more claims particularly pointing out and distinctly claiming the subject matter which the applicant regards as his invention.

1. Claims 1, 4, 6 and 10 are rejected under 35 U.S.C. 112(b) or 35 U.S.C. 112 (pre-AIA), second paragraph, as being indefinite for failing to particularly point out and distinctly claim the subject matter which the inventor or a joint inventor, or for pre-AIA the applicant regards as the invention.

Examiner respectfully wants to point out, there are some minor informalities throughout the claims. For example regarding claim 1, the phrase “preferably”, renders the claim(s) indefinite because the claim(s) include(s) elements not actually disclosed (those encompassed by “preferably”), thereby rendering the scope of the claim(s) unascertainable. See MPEP § 2173.05(d). Appropriate correction is required.

Claim Rejections - 35 USC § 112

The following is a quotation of the first paragraph of 35 U.S.C. 112(a):

(a) IN GENERAL.—The specification shall contain a written description of the invention, and of the manner and process of making and using it, in such full, clear, concise, and exact terms as to enable any person skilled in the art to which it pertains, or with which it is most nearly connected, to make and use the same, and shall set forth the best mode contemplated by the inventor or joint inventor of carrying out the invention.

2. Claims 1 and 13 are rejected under 35 U.S.C. 112, first paragraph, as failing to comply with the “enablement requirement”. While the claims recite a series of steps or acts to be performed.

Regarding limitations of claim 1, “image acquired and/or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch and/or to the setting of the acquisition apparatus and/or to the opening of the mouth and/or to the wearing of a dental”.

Regarding limitations of claim 13, “image attribute relates to a position and/or an orientation and/or a calibration of an acquisition”.

Examiner indicated, as an example regarding claim 13, limitation of “and/or” the specification should disclose three independent embodiments.

[I] One embodiment should disclose “image attribute relates to a position an orientation of an acquisition”.

[II], Second embodiment should disclose “image attribute relates to a calibration of an acquisition”.

determining of the mineralogical composition metric use an electromagnetic probing tool.

[III], Third embodiment teaches “image attribute relates to a position and calibration of an acquisition”.

Stating and/or in the specification is not enough without three independent embodiments as explained above.

DETAILED ACTION

Claim Rejections - 35 USC § 102

3. The following is a quotation of the appropriate paragraphs of 35 U.S.C. 102 that form the basis for the rejections under this section made in this Office action:

A person shall be entitled to a patent unless –

(a)(1) the claimed invention was patented, described in a printed publication, or in public use, on sale or otherwise available to the public before the effective filing date of the claimed invention.

4. Claims 1-10 are rejected under 35 U.S.C. 102(a) (1) as being anticipated by Kuo (U.S. Pub No: 2015/0132708 A1).

Regarding claim 1, Kuo discloses a method for acquiring an image of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps: a') activation of an image acquisition apparatus so as to acquire an image, called "analysis image", of said arch (see page 3, paragraphs, [0063-0064] in one embodiment, a teeth superimposition tool is used to match treatment files of each arch scan. The refinement scan is superimposed over the initial one to arrive at a match based upon tooth anatomy and tooth coordinate system. After teeth in the two arches are matched, the superimposition tool asks for a reference in order to relate the upper arch to the lower arch. When the option "statistical filtering" is selected, the superimposition tool measures the amount of movement for each tooth by first eliminating as reference the ones that move (determined by the difference in position between the current stage and the previous one) more than one standard deviation either above or below the mean of movement of all teeth. The

remaining teeth are then selected as reference to measure movement of each tooth. FIG. 1B shows an analysis of the performance of one or more dental appliances. "Achieved" movement is plotted against "Goal" movement in scatter graphs, and trend lines are generated. Scatter graphs are shown to demonstrate where all "scattered" data points are, and trend lines are generated to show the performance of the dental appliances. In one embodiment, trend lines are selected to be linear (they can be curvilinear); thus trend lines present as the "best fit" straight lines for all "scattered" data. The performance of the Aligners is represented as the slope of a trend line. The Y axis intercept models the incidental movement that occurs when wearing the Aligners. Predictability is measured by R^2 that is obtained from a regression computation of "Achieved" and "Goal" data. Also page 7, paragraph, [0102] as an initial step, a mold or a scan of patient's teeth or mouth tissue is acquired (110). This step generally involves taking casts of the patient's teeth and gums, and may in addition or alternately involve taking wax bites, direct contact scanning, x-ray imaging, tomographic imaging, sonographic imaging, and other techniques for obtaining information about the position and structure of the teeth, jaws, gums and other orthodontically relevant tissue. From the data so obtained, a digital data set is derived that represents the initial (that is, pretreatment) arrangement of the patient's teeth and other tissues);

b') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably a neural network, trained by means of a learning base (see page 4, paragraphs, [0074-0075] in one embodiment, data driven analyzers may be applied. These data driven analyzers may incorporate a number of models such as parametric statistical models, non-parametric statistical models, clustering models, nearest neighbor models, regression methods, and engineered (artificial) neural networks. Prior to operation, data driven analyzers or models are built using one or more training sessions. The data used to build the analyzer or model in these sessions are typically

referred to as training data. As data driven analyzers are developed by examining only training examples, the selection of the training data can significantly affect the accuracy and the learning speed of the data driven analyzer. One approach used heretofore generates a separate data set referred to as a test set for training purposes. The test set is used to avoid overfitting the model or analyzer to the training data. Overfitting refers to the situation where the analyzer has memorized the training data so well that it fails to fit or categorize unseen data. Typically, during the construction of the analyzer or model, the analyzer's performance is tested against the test set. The selection of the analyzer or model parameters is performed iteratively until the performance of the analyzer in classifying the test set reaches an optimal point. At this point, the training process is completed. An alternative to using an independent training and test set is to use a methodology called cross-validation. Cross-validation can be used to determine parameter values for a parametric analyzer or model for a non-parametric analyzer. In cross-validation, a single training data set is selected. Next, a number of different analyzers or models are built by presenting different parts of the training data as test sets to the analyzers in an iterative process. The parameter or model structure is then determined on the basis of the combined performance of all models or analyzers. Under the cross-validation approach, the analyzer or model is typically retrained with data using the determined optimal model structure. In one embodiment, the data mining software 3 (FIG. 1A) can be a "spider" or "crawler" to grab data on the database 2 (FIG. 1A) for indexing. In one embodiment, clustering operations are performed to detect patterns in the data. In another embodiment, a neural network is used to recognize each pattern as the neural network is quite robust at recognizing dental treatment patterns. Once the treatment features have been characterized, the neural network then compares the input dental information with stored templates of treatment vocabulary known by the neural network recognizer, among

others. The recognition models can include a Hidden Markov Model (HMM), a dynamic programming model, a neural network, a fuzzy logic, or a template matcher, among others.

These models may be used singly or in combination);

c') determination, for the analysis image, as a function of the results of the analysis in the preceding step, of a value for an image attribute (see page 3, paragraphs, [0068-73] in one embodiment, clinical parameters in steps such as 170 (FIG. 2A) and 232 (FIG. 2B) are made more precise by allowing for the statistical deviation of targeted from actual tooth position. For example, a subsequent movement target might be reduced because of a large calculated probability of currently targeted tooth movement not having been achieved adequately, with the result that there is a high probability the subsequent movement stage will need to complete work intended for an earlier stage. Similarly, targeted movement might overshoot desired positions especially in earlier stages so that expected actual movement is better controlled. This embodiment sacrifices the goal of minimizing round trip time in favor of achieving a higher probability of targeted end-stage outcome. This methodology is accomplished within treatment plans specific to clusters of similar patient cases. Table 1 shows grouping of teeth in one embodiment. The sign convention of tooth movements is indicated in Table 2. Different tooth movements of the selected 60 arches were demonstrated in Table 3 with performance sorted by descending order. The appliance performance can be broken into 4 separate groups: high (79-85%), average (60-68%), below average (52-55%), and inadequate (24-47%). Table 4 shows ranking of movement predictability. Predictability is broken into 3 groups: highly predictable (0.76-0.82), predictable (0.43-0.63) and unpredictable (0.10-0.30). For the particular set of data, for example, the findings are as follows: 1. Incisor intrusion, and anterior intrusion performance are high. The range for incisor intrusion is about 1.7 mm, and for anterior intrusion is about 1.7

mm. These movements are highly predictable. Canine intrusion, incisor torque, incisor rotation and anterior torque performance are average. The range for canine intrusion is about 1.3 mm, for incisor torque is about 34 degrees, for incisor rotation is about 69 degrees, and for anterior torque is about 34 degrees. These movements are either predictable or highly predictable. 3. Bicuspid tipping, bicuspid mesialization, molar rotation, and posterior expansion performance are below average. The range for bicuspid mesialization is about 1 millimeter, for bicuspid tipping is about 19 degrees, for molar rotation is about 27 degrees and for posterior expansion is about 2.8 millimeters. Bicuspid tipping and mesialization are unpredictable, whereas the rest are predictable movements. 4. Anterior and incisor extrusion, round teeth and bicuspid rotation, canine tipping, molar distalization, and posterior torque performance are inadequate. The range of anterior extrusion is about 1.7 millimeters, for incisor extrusion is about 1.5 mm, for round teeth rotation is about 67 degrees, for bicuspid rotation is about 63 degrees, for canine tipping is about 26 degrees, for molar distalization is about 2 millimeters, and for posterior torque is about 43 degrees. All are unpredictable movements except bicuspid rotation which is predictable);

d') comparison of said image attribute value with a setpoint (see page 3, paragraphs, [0063-0064] in one embodiment, a teeth superimposition tool is used to match treatment files of each arch scan. The refinement scan is superimposed over the initial one to arrive at a match based upon tooth anatomy and tooth coordinate system. After teeth in the two arches are matched, the superimposition tool asks for a reference in order to relate the upper arch to the lower arch. When the option "statistical filtering" is selected, the superimposition tool measures the amount of movement for each tooth by first eliminating as reference the ones that move (determined by the difference in position between the current stage and the previous one) more than one standard deviation either above or below the mean of movement of all teeth. The

remaining teeth are then selected as reference to measure movement of each tooth. FIG. 1B shows an analysis of the performance of one or more dental appliances. "Achieved" movement is plotted against "Goal" movement in scatter graphs, and trend lines are generated. Scatter graphs are shown to demonstrate where all "scattered" data points are, and trend lines are generated to show the performance of the dental appliances. In one embodiment, trend lines are selected to be linear (they can be curvilinear); thus trend lines present as the "best fit" straight lines for all "scattered" data. The performance of the Aligners is represented as the slope of a trend line. The Y axis intercept models the incidental movement that occurs when wearing the Aligners. Predictability is measured by R^2 that is obtained from a regression computation of "Achieved" and "Goal" data);

e') sending of an information message as a function of said comparison, the information message being related to the quality of the image acquired and/or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch and/or to the setting of the acquisition apparatus and/or to the opening of the mouth and/or to the wearing of a dental, preferably orthodontic, appliance (page 7, paragraph, [0103-0104] the initial digital data set, which may include both raw data from scanning operations and data representing surface models derived from the raw data, is processed to segment the tissue constituents from each other (step 120). In particular, in this step, data structures that digitally represent individual tooth crowns are produced. Advantageously, digital models of entire teeth are produced, including measured or extrapolated hidden surfaces and root structures. The desired final position of the teeth--that is, the desired and intended end result of orthodontic treatment--can be received from a clinician in the form of a prescription, can be calculated from basic orthodontic principles, or can be extrapolated computationally from a clinical prescription (step 130). With a specification of the desired final

positions of the teeth and a digital representation of the teeth themselves, the final position and surface geometry of each tooth can be specified (step 140) to form a complete model of the teeth at the desired end of treatment. Generally, in this step, the position of every tooth is specified. The result of this step is a set of digital data structures that represents an orthodontically correct repositioning of the modeled teeth relative to presumed-stable tissue. The teeth and tissue are both represented as digital data. Also page 7, paragraph, [0109] having calculated appliance definitions, the process 100 can proceed to the manufacturing step (step 180) in which appliances defined by the process are manufactured, or electronic or printed information is produced that can be used by a manual or automated process to define appliance configurations or changes to appliance configurations, and page 16, paragraph, [0204] for each of these paired combinations, a combined address can be created, with database assets in a "digital mailbox" associated with each address. Assets for each digital mailbox can include, but is not limited to: treatment plan information related to the case-treatment goal pairing, such as a text description of the treatment condition and goals, treatment precautions, treatment length estimates, doctor skill set requirements, prescription data, sample case data, and case difficulty. This data may be generated using expert opinion, computational algorithms, and/or historical case content. Finally page 25, paragraph, [0307] in this manner, in one embodiment, the process of generating a prescription for orthodontic treatments may be simplified such that, using existing template information or generating an appropriate template associated with a specific treatment goal, certain information may be retrieved and pre-filled into the prescription form template, for example, the information that is associated with the patient's initial orthodontic condition, while other relevant information may be prompted for input from the user. In one embodiment, the user may store the prescription information in the predefined template display format such that the

user may retrieve the predefined template display for future treatment of similar types of cases. In a further aspect, the predefined template display may be associated with a particular one or more of an indexed or categorized value or score of the patient's initial dental conditions, with the treatment goal, or with any other customizable characteristics, such that the user may retrieve the predefined template display for subsequent similar cases for treatment).

Regarding claim 2, Kuo discloses the method as claimed in claim 1, in which, in the step b'), at least one analysis tooth zone is identified that represents, at least partially, a tooth on said analysis image, and at least one value of a tooth attribute is determined for said at least one analysis tooth zone, and, in the step c'), the value for the image attribute is determined as a function of said tooth attribute value (see page 4, paragraphs, [0074-0075] in one embodiment, data driven analyzers may be applied. These data driven analyzers may incorporate a number of models such as parametric statistical models, non-parametric statistical models, clustering models, nearest neighbor models, regression methods, and engineered (artificial) neural networks. Prior to operation, data driven analyzers or models are built using one or more training sessions. The data used to build the analyzer or model in these sessions are typically referred to as training data. As data driven analyzers are developed by examining only training examples, the selection of the training data can significantly affect the accuracy and the learning speed of the data driven analyzer. One approach used heretofore generates a separate data set referred to as a test set for training purposes. The test set is used to avoid overfitting the model or analyzer to the training data. Overfitting refers to the situation where the analyzer has memorized the training data so well that it fails to fit or categorize unseen data. Typically, during the construction of the analyzer or model, the analyzer's performance is tested against the test set. The selection of the analyzer or model parameters is performed iteratively until the performance

of the analyzer in classifying the test set reaches an optimal point. At this point, the training process is completed. An alternative to using an independent training and test set is to use a methodology called cross-validation. Cross-validation can be used to determine parameter values for a parametric analyzer or model for a non-parametric analyzer. In cross-validation, a single training data set is selected. Next, a number of different analyzers or models are built by presenting different parts of the training data as test sets to the analyzers in an iterative process. The parameter or model structure is then determined on the basis of the combined performance of all models or analyzers. Under the cross-validation approach, the analyzer or model is typically retrained with data using the determined optimal model structure. In one embodiment, the data mining software 3 (FIG. 1A) can be a "spider" or "crawler" to grab data on the database 2 (FIG. 1A) for indexing. In one embodiment, clustering operations are performed to detect patterns in the data. In another embodiment, a neural network is used to recognize each pattern as the neural network is quite robust at recognizing dental treatment patterns. Once the treatment features have been characterized, the neural network then compares the input dental information with stored templates of treatment vocabulary known by the neural network recognizer, among others. The recognition models can include a Hidden Markov Model (HMM), a dynamic programming model, a neural network, a fuzzy logic, or a template matcher, among others. These models may be used singly or in combination. Also page 5, paragraph, [0085] the ability to study tooth-specific efficacy and product performance for large clusters of treatment outcomes enables statistically significant comparisons to be made between two or more populations of cases. In the event that the two clusters studied contain differences in treatment approach, appliance design, or manufacturing protocol, the differences seen in the performance of the product as exhibited by the data output, can be attributed to the approach, design, or

manufacturing protocol. The end result is a feedback mechanism that enables either the clinician or the manufacturer the ability to optimize the product design and usage based on performance data from a significantly large sample size using objective measurable data. Also page 6, paragraph, [0092] FIG. 1F shows another embodiment of a data mining system to generate proposed treatments. First, the system identifies/clusterizes (zone), patient histories having detailed follow-up (such as multiple high-resolution scans), based on detailed follow-up data, diagnosis, treatment parameters and outcomes, and demographic variables (40). Within each cluster, the system models discrepancies between intended position and actual positions obtained from follow-up data (42). Further, within each cluster, the system models risk for special undesirable outcomes (44). At a second tier of clustering, patient histories with less detailed follow-up data are clusterized based on available variables. The second-tier clustering is partial enough that each of the larger number of second tier clusters can either be assigned to clusters calculated in 40 or else considered a new cluster (46). The system refines step 42 models with additional records from step 46 clusters (48). It can also refine step 44 models with additional records from step 48 clusters (50). At a third tier of clustering, the system then assigns new patients to step 46 clusters based on diagnosis, demographic, and initial physical (52). Within each step 52 cluster, the system models expected discrepancies between intended position and actual positions (54). From step 54, the system uses revised expected position information where relevant (including 232 and 250, FIG. 2B) (67). Additionally, within each step 52 cluster, the system models risk for undesirable outcomes (56). From step 56, the system also flags cases that require special attention and clinical constraints (as in 204 and 160, FIGS. 2B and 2A) (69). The process then customizes treatment plan to each step 52 cluster (58). Next, the system iteratively collects data (61) and loops back to identify/clusterize patient histories (40). Additionally,

clusters can be revised and reassigned (63). The system also continually identifies clusters without good representation for additional follow-up analysis (65)).

Regarding claim 3, Kuo discloses the method as claimed in claim 1, in which, in the step b'), all said analysis tooth zones are identified, and at least one tooth attribute value is determined for each analysis tooth zone, and, in the step c'), the value for the image attribute is determined as a function of said tooth attribute values (see claim 1, also page 3, paragraphs, [0068-0075] In one embodiment, clinical parameters in steps such as 170 (FIG. 2A) and 232 (FIG. 2B) are made more precise by allowing for the statistical deviation of targeted from actual tooth position. For example, a subsequent movement target might be reduced because of a large calculated probability of currently targeted tooth movement not having been achieved adequately, with the result that there is a high probability the subsequent movement stage will need to complete work intended for an earlier stage. Similarly, targeted movement might overshoot desired positions especially in earlier stages so that expected actual movement is better controlled. This embodiment sacrifices the goal of minimizing round trip time in favor of achieving a higher probability of targeted end-stage outcome. This methodology is accomplished within treatment plans specific to clusters of similar patient cases. Table 1 shows grouping of teeth in one embodiment. The sign convention of tooth movements is indicated in Table 2. Different tooth movements of the selected 60 arches were demonstrated in Table 3 with performance sorted by descending order. The appliance performance can be broken into 4 separate groups: high (79-85%), average (60-68%), below average (52-55%), and inadequate (24-47%). Table 4 shows ranking of movement predictability. Predictability is broken into 3 groups: highly predictable (0.76-0.82), predictable (0.43-0.63) and unpredictable (0.10-0.30). For the particular set of data, for example, the findings are as follows: 1. Incisor intrusion, and anterior intrusion performance

are high. The range for incisor intrusion is about 1.7 mm, and for anterior intrusion is about 1.7 mm. These movements are highly predictable. Canine intrusion, incisor torque, incisor rotation and anterior torque performance are average. The range for canine intrusion is about 1.3 mm, for incisor torque is about 34 degrees, for incisor rotation is about 69 degrees, and for anterior torque is about 34 degrees. These movements are either predictable or highly predictable. 3. Bicuspid tipping, bicuspid mesialization, molar rotation, and posterior expansion performance are below average. The range for bicuspid mesialization is about 1 millimeter, for bicuspid tipping is about 19 degrees, for molar rotation is about 27 degrees and for posterior expansion is about 2.8 millimeters. Bicuspid tipping and mesialization are unpredictable, whereas the rest are predictable movements. 4. Anterior and incisor extrusion, round teeth and bicuspid rotation, canine tipping, molar distalization, and posterior torque performance are inadequate. The range of anterior extrusion is about 1.7 millimeters, for incisor extrusion is about 1.5 mm, for round teeth rotation is about 67 degrees, for bicuspid rotation is about 63 degrees, for canine tipping is about 26 degrees, for molar distalization is about 2 millimeters, and for posterior torque is about 43 degrees. All are unpredictable movements except bicuspid rotation which is predictable. In one embodiment, data driven analyzers may be applied. These data driven analyzers may incorporate a number of models such as parametric statistical models, non-parametric statistical models, clustering models, nearest neighbor models, regression methods, and engineered (artificial) neural networks. Prior to operation, data driven analyzers or models are built using one or more training sessions. The data used to build the analyzer or model in these sessions are typically referred to as training data. As data driven analyzers are developed by examining only training examples, the selection of the training data can significantly affect the accuracy and the learning speed of the data driven analyzer. One approach used heretofore generates a separate

data set referred to as a test set for training purposes. The test set is used to avoid overfitting the model or analyzer to the training data. Overfitting refers to the situation where the analyzer has memorized the training data so well that it fails to fit or categorize unseen data. Typically, during the construction of the analyzer or model, the analyzer's performance is tested against the test set. The selection of the analyzer or model parameters is performed iteratively until the performance of the analyzer in classifying the test set reaches an optimal point. At this point, the training process is completed. An alternative to using an independent training and test set is to use a methodology called cross-validation. Cross-validation can be used to determine parameter values for a parametric analyzer or model for a non-parametric analyzer. In cross-validation, a single training data set is selected. Next, a number of different analyzers or models are built by presenting different parts of the training data as test sets to the analyzers in an iterative process. The parameter or model structure is then determined on the basis of the combined performance of all models or analyzers. Under the cross-validation approach, the analyzer or model is typically retrained with data using the determined optimal model structure and paragraph [0075].

Regarding claim 4, Kuo discloses the method as claimed in claim 2, in which the step b') comprises the following steps: 1) preferably before the step a'), creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or "historical images", each historical image comprising one or more zones each representing a tooth, or "historical tooth zones", to each of which, for said tooth attribute, a tooth attribute value is assigned (see page 6, paragraph, [0092] FIG. 1F shows another embodiment of a data mining system to generate proposed treatments. First, the system identifies/clusterizes patient histories having detailed follow-up (such as multiple high-resolution scans), based on detailed follow-up data, diagnosis, treatment parameters and outcomes, and demographic variables (40). Within each cluster, the system

models discrepancies between intended position and actual positions obtained from follow-up data (42). Further, within each cluster, the system models risk for special undesirable outcomes (44). At a second tier of clustering, patient histories with less detailed follow-up data are clusterized based on available variables. The second-tier clustering is partial enough that each of the larger number of second tier clusters can either be assigned to clusters calculated in 40 or else considered a new cluster (46). The system refines step 42 models with additional records from step 46 clusters (48). It can also refine step 44 models with additional records from step 48 clusters (50). At a third tier of clustering, the system then assigns new patients to step 46 clusters based on diagnosis, demographic, and initial physical (52). Within each step 52 cluster, the system models expected discrepancies between intended position and actual positions (54). From step 54, the system uses revised expected position information where relevant (including 232 and 250, FIG. 2B) (67). Additionally, within each step 52 cluster, the system models risk for undesirable outcomes (56). From step 56, the system also flags cases that require special attention and clinical constraints (as in 204 and 160, FIGS. 2B and 2A) (69). The process then customizes treatment plan to each step 52 cluster (58). Next, the system iteratively collects data (61) and loops back to identify/clusterize patient histories (40). Additionally, clusters can be revised and reassigned (63). The system also continually identifies clusters without good representation for additional follow-up analysis (65). Also page 12, paragraph, [0150] referring to FIG. 12, the number of options field 1204 in one embodiment includes the number of possible reference conditions in each category, and also a total number of possible combinations of reference conditions. For example, the sagittal category has seven (7) possible reference conditions for the canine relationship component and the vertical category has seven (7) reference conditions for the anterior overbite component. The example shown yields

7.times.7.times.7.times.7=2401 possible combinations of reference conditions for the four components, as shown in table 1200 of FIG. 12. In one embodiment, each of these 2,401 patient case combinations is stored in a database in storage unit 1107 (FIG. 11), for example, by the central server 1109. Since there can be numerous components used to describe each of the four main orthodontic dimensions and not just one component per dimension as illustrated, in practice, the total number of combinations that can be used to describe a patient may be substantially higher, but at the same time, will be a finite number such that it may be indexed, catalogued, and queried as described in FIG. 11);

2) training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base (see pages 4-5, paragraphs, [00740075] in one embodiment, data driven analyzers may be applied. These data driven analyzers may incorporate a number of models such as parametric statistical models, non-parametric statistical models, clustering models, nearest neighbor models, regression methods, and engineered (artificial) neural networks. Prior to operation, data driven analyzers or models are built using one or more training sessions. The data used to build the analyzer or model in these sessions are typically referred to as training data. As data driven analyzers are developed by examining only training examples, the selection of the training data can significantly affect the accuracy and the learning speed of the data driven analyzer. One approach used heretofore generates a separate data set referred to as a test set for training purposes. The test set is used to avoid overfitting the model or analyzer to the training data. Overfitting refers to the situation where the analyzer has memorized the training data so well that it fails to fit or categorize unseen data. Typically, during the construction of the analyzer or model, the analyzer's performance is tested against the test set. The selection of the analyzer or model parameters is performed iteratively until the performance of the analyzer in

classifying the test set reaches an optimal point. At this point, the training process is completed.

An alternative to using an independent training and test set is to use a methodology called cross-validation. Cross-validation can be used to determine parameter values for a parametric analyzer or model for a non-parametric analyzer. In cross-validation, a single training data set is selected. Next, a number of different analyzers or models are built by presenting different parts of the training data as test sets to the analyzers in an iterative process. The parameter or model structure is then determined on the basis of the combined performance of all models or analyzers. Under the cross-validation approach, the analyzer or model is typically retrained with data using the determined optimal model structure. In one embodiment, the data mining software 3 (FIG. 1A) can be a "spider" or "crawler" to grab data on the database 2 (FIG. 1A) for indexing. In one embodiment, clustering operations are performed to detect patterns in the data. In another embodiment, a neural network is used to recognize each pattern as the neural network is quite robust at recognizing dental treatment patterns. Once the treatment features have been characterized, the neural network then compares the input dental information with stored templates of treatment vocabulary known by the neural network recognizer, among others. The recognition models can include a Hidden Markov Model (HMM), a dynamic programming model, a neural network, a fuzzy logic, or a template matcher, among others. These models may be used singly or in combination);

3) submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine at least one probability relating to: the presence, at a location in said analysis image, of a zone representing, at least partially, a tooth, or "analysis tooth zone", the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone, 4) determination, as a function of said probability, of the presence of a tooth at a position represented by said analysis tooth zone, and of the attribute

value of said tooth (see above claims, also page 5, paragraphs, [0079-0080] in the preferred embodiment, the Markov model is used to model probabilities for sequences of treatment observations. The transitions between states are represented by a transition matrix $A=[a(i,j)]$. Each $a(i,j)$ term of the transition matrix is the probability of making a transition to state j given that the model is in state i . The output symbol probability of the model is represented by a set of functions $B=[b(j)]$, where the $b(j)$ term of the output symbol matrix is the function that when evaluated on a specified value $O(t)$ returns the probability of outputting observation $O(t)$, given that the model is in state j . The first state is always constrained to be the initial state for the first time frame of the Markov chain, only a prescribed set of left to right state transitions are possible. A predetermined final state is defined from which transitions to other states cannot occur. In one embodiment, transitions are restricted to reentry of a state or entry to one of the next two states. Such transitions are defined in the model as transition probabilities. For example, a treatment pattern currently having a frame of feature signals in state 2 has a probability of reentering state 2 of $a(2,2)$, a probability $a(2,3)$ of entering state 3 and a probability of $a(2,4)=1-a(2,2)-a(2,3)$ of entering state 4. The probability $a(2,1)$ of entering state 1 or the probability $a(2,5)$ of entering state 5 is zero and the sum of the probabilities $a(2,1)$ through $a(2,5)$ is one. Although the preferred embodiment restricts the flow graphs to the present state or to the next two states, one skilled in the art can build an HMM model with more flexible transition restrictions, although the sum of all the probabilities of transitioning from any state must still add up to one).

Regarding claim 5, Kuo discloses the method as claimed in claim 4, in which said tooth attribute is chosen from a tooth number, a tooth type, a tooth shape parameter, a tooth appearance parameter, a parameter relating to the state of the tooth, an age for the patient, or a

combination of these attributes (see page 12, paragraph, [0157] For example, consider the following patient identifier 1:NNABN. The identifier 1:NNABN would represent: tooth number 1 of a 32-bit address which has a natural mesial surface (subaddress position 1), an occlusal amalgam (subaddress position 2), a natural distal surface (subaddress position 3), a buccal/facial composite (subaddress position 4), and a natural lingual surface (subaddress position 5). Also page 13, paragraph, [0167] treatment Goal 4: Optimal set-up--the objective of this goal is to make the entire bite close to "textbook" ideal, including both the "canine and molar function". Also page 19-20, paragraphs [0246] and [0267], more specifically, referring back to step 2930 at (3A), in one embodiment, one or more predefined treatment goals may be provided to the user (doctor, clinician or the patient) based on the patient's initial dental parameters. In such embodiment, the predefined treatment goals may include common treatment goals associated with the patient's initial dental parameters. For example, some predefined treatment goals are "pre-restorative setup", which involves aligning the teeth in anticipation of future dental work on the teeth following one or more orthodontic treatments; "esthetic alignment", which involves aligning the teeth for cosmetic improvement without altering the posterior bite relationship; "anterior function improvement", which involves aligning the teeth for improvement of the function and guiding relationship from the anterior teeth; and "optimal set-up", which involves aligning the teeth to provide as optimal of a bite relationship as possible given the patient's current initial dental characteristics).

Regarding claim 6, Kuo discloses the method as claimed in claim 1, in which the step b') comprises the following steps: 1') creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or "historical images", each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or "image attribute value"; 2') training of at least one deep learning

device, preferably a neural network, by means of the learning base; 3') submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value (see claims 1 and 4, also (see page 6, paragraph, [0092] FIG. 1F shows another embodiment of a data mining system to generate proposed treatments. First, the system identifies/clusterizes patient histories having detailed follow-up (such as multiple high-resolution scans), based on detailed follow-up data, diagnosis, treatment parameters and outcomes, and demographic variables (40). Within each cluster, the system models discrepancies between intended position and actual positions obtained from follow-up data (42). Further, within each cluster, the system models risk for special undesirable outcomes (44). At a second tier of clustering, patient histories with less detailed follow-up data are clusterized based on available variables. The second-tier clustering is partial enough that each of the larger number of second tier clusters can either be assigned to clusters calculated in 40 or else considered a new cluster (46). The system refines step 42 models with additional records from step 46 clusters (48). It can also refine step 44 models with additional records from step 48 clusters (50). At a third tier of clustering, the system then assigns new patients to step 46 clusters based on diagnosis, demographic, and initial physical (52). Within each step 52 cluster, the system models expected discrepancies between intended position and actual positions (54). From step 54, the system uses revised expected position information where relevant (including 232 and 250, FIG. 2B) (67). Additionally, within each step 52 cluster, the system models risk for undesirable outcomes (56). From step 56, the system also flags cases that require special attention and clinical constraints (as in 204 and 160, FIGS. 2B and 2A) (69). The process then customizes treatment plan to each step 52 cluster (58). Next, the system iteratively collects data (61) and loops back to identify/clusterize patient histories (40). Additionally, clusters can be

revised and reassigned (63). The system also continually identifies clusters without good representation for additional follow-up analysis (65). Also page 12, paragraph, [0150] referring to FIG. 12, the number of options field 1204 in one embodiment includes the number of possible reference conditions in each category, and also a total number of possible combinations of reference conditions. For example, the sagittal category has seven (7) possible reference conditions for the canine relationship component and the vertical category has seven (7) reference conditions for the anterior overbite component. The example shown yields 7.times.7.times.7.times.7=2401 possible combinations of reference conditions for the four components, as shown in table 1200 of FIG. 12. In one embodiment, each of these 2,401 patient case combinations is stored in a database in storage unit 1107 (FIG. 11), for example, by the central server 1109. Since there can be numerous components used to describe each of the four main orthodontic dimensions and not just one component per dimension as illustrated, in practice, the total number of combinations that can be used to describe a patient may be substantially higher, but at the same time, will be a finite number such that it may be indexed, catalogued, and queried as described in FIG. 11).

Regarding claim 7, Kuo discloses the method as claimed in claim 4, in which, in the step 1) or 1'), a learning base is created comprising more than 10 000 historical images (see claim 4, also page 16, paragraph, [0202] in this arrangement, the first four positions "A" to "D" of the matrix represent the patient's initial dentition (as previously described), positions "A*" to "D*" of the matrix represent the patient's target dentition or treatment goal, and positions "A**" to "D**" of the matrix represent the patient's actual final dentition or treatment outcome. Because the number of positions in the matrix may be variable, and since each position can include symbols, alphanumeric characters or other representations, the depth of individual patient cases

that is stored is may be detailed and specific to the patient and/or the associated profile or condition. Using the 4 possible treatment outcomes illustrated in FIG. 14 and the 2,701 possible combinations in FIG. 12, this equates to $2,701 \times 4 = 10,804$ possible paired combinations between initial and goal).

With regard to claims 8-10 the arguments analogous to those presented above for claims 12, 3, 4, 5, 6 and 7 are respectively applicable to claims 8-10.

Claim Rejections - 35 USC § 103

5. The following is a quotation of 35 U.S.C. 103(a) which forms the basis for all obviousness rejections set forth in this Office action:

A patent for a claimed invention may not be obtained, notwithstanding that the claimed invention is not identically disclosed as set forth in section 102, if the differences between the claimed invention and the prior art are such that the claimed invention as a whole would have been obvious before the effective filing date of the claimed invention to a person having ordinary skill in the art to which the claimed invention pertains. Patentability shall not be negated by the manner in which the invention was made.

6. Claims 11-13 are rejected under 35 U.S.C. 103(a) as being unpatentable over Kuo (U.S. Pub No: 2015/0132708 A1) in view of Borovinskih et al (Pub. No: U.S. 2017/0049311 A1).

Regarding claim 11, Kuo discloses (see page 16, paragraph, [0206] FIG. 28 illustrates a process 2800 for identifying a dentition problem or condition of a patient. The process 2800 is discussed more fully in conjunction with FIGS. 16-27. At step 2801, the user starts by entering identification information such as doctor and patient name, in addition to patient chief concern(s) (FIG. 16). In one embodiment, this comparison may be performed by the central server 1109 (FIG. 11) based on information received, for example, from the terminal 1101, and/or based on stored information retrieved from the data storage unit 1107. This and other related transactions in the process may be performed over a data network such as the internet via a secure

connection. The user then selects one of two user interfaces to input the patient's dental condition. The preferred method for the novice user is the visual-user interface (FIG. 17-22) shown as step 2802. The advanced user will likely prefer the alternative user interface (FIG. 25) illustrated as step 2803).

But does not explicitly state, limitation of claim “the acquisition apparatus is a cellphone”.

On the other hand “Borovinskih”, in the same field of “photograph-based assessment of dental treatments and procedures”, teaches (page 4, paragraph, [0036] FIGS. 5A-D graphically illustrate the treatment-monitoring method to which the current document is, in part, directed. As shown in FIG. 5A, at a particular current point in time, $t_{sub.82}$, during a dental patient's treatment or procedure, represented in FIG. 5A by vertical arrow 502, a dental practitioner examines the patient and takes a number n of two-dimensional pictures of the patient's teeth 504. Alternatively, in certain implementations, the two-dimensional pictures may be taken by a patient's friend or relative, or even the patient, using a camera timer or smart-phone features that facilitate acquisition of images of a user. In the current example, n is equal to 3. In general, each photograph or subset of the photographs represents a certain, standard view or image type. A dental practitioner or other person is provided with instructions for capturing an image of a particular standard view or type. As shown in FIG. 5B, once the practitioner has submitted these two-dimensional images, along with patient information, an indication of the time that the two-dimensional images were captured, and other such information, the treatment-monitoring system, to which the current document is, in part, directed, determines camera parameters for virtual cameras 506-508, the orientations and positions of which most likely correspond to the camera parameters of the dental practitioner's camera at the points in time at which each of the corresponding n two-dimensional pictures, 510-512, respectively, were captured by the dental

practitioner or other person).

Therefore, it would have been obvious to one having ordinary skill in the art at the time the invention was made to modify the Kuo invention according to the teaching of Borovinskih because to combine "the central server to be configured to communicate with the terminal and data storage unit to access software stored in the data storage unit that may be performed over the internet that is taught by the Kuo invention according to the teaching taught by Borovinskih, using a smart phone and camera to capture dental images would provide for an improved method and system of acquiring and transmitting dental images, information, and messages captured with a camera in a smart (cell) phone and sent via the internet.

Regarding claim 12, Kuo discloses the method as claimed in claim 1, in which the information message is sent by the acquisition apparatus (see claim 11, also page 16, paragraph, [0199] FIG. 25 illustrates an alternate embodiment of the present invention for capturing an address in the selection process for use in the indexing system. FIG. 25 illustrates the table 1200 of FIG. 12 used directly as a graphical interface. In such embodiment, each reference condition as shown and illustrated in tabular format as rectangles may be represented as user input buttons with text which may be clicked to highlight and select the appropriate reference condition. The assumption for this type of interface is that the user understands the definitions of the text in order to select the appropriate button. When the buttons are pressed to select a particular reference condition, the selections are highlighted (shown in bold in FIG. 25). Clicking any button twice will deselect the initial selection so that another selection can be made. In this manner, users who are more familiar with the various types of reference conditions may be able to input the information more quickly than through a visual-image based interface. In this example, the generated address would be "3256." The "Selected Value" column on the right side

of FIG. 25 is in one embodiment, transparent to the user/patient, and not displayed to the user since the address has no relevance to the end user, and is important only for the database query. Also paragraph, [0204] for each of these paired combinations, a combined address can be created, with database assets in a "digital mailbox" associated with each address. Assets for each digital mailbox can include, but is not limited to: treatment plan information related to the case-treatment goal pairing, such as a text description of the treatment condition and goals, treatment precautions, treatment length estimates, doctor skill set requirements, prescription data, sample case data, and case difficulty. This data may be generated using expert opinion, computational algorithms, and/or historical case content).

Regarding claim 13, Kuo discloses the method as claimed in claims 1, in which said image attribute relates to a position and/or an orientation and/or a calibration of an acquisition apparatus used to acquire said analysis image, and/or a quality of the analysis image, and in particular relating to the brightness, to the contrast or to the sharpness of the analysis image, and/or the content of the analysis image, in particular to the representation of the arches, of the tongue, of the mouth, of the lips, of the jaws, of the gums, of one or more teeth or of an orthodontic appliance (see claims 1 and 11, also page 7, paragraphs, [0101-0102] FIG. 2A illustrates the general flow of an exemplary process 100 for defining and generating repositioning appliances for orthodontic treatment of a patient. The process 100 includes the methods, and is suitable for the apparatus, of the present invention, as will be described. The computational steps of the process are advantageously implemented as computer program modules for execution on one or more conventional digital computers. As an initial step, a mold or a scan of patient's teeth or mouth tissue is acquired (110). This step generally involves taking casts of the patient's teeth and gums, and may in addition or alternately involve taking wax bites,

Art Unit: 2667

direct contact scanning, x-ray imaging, tomographic imaging, sonographic imaging, and other techniques for obtaining information about the position and structure of the teeth, jaws, gums and other orthodontically relevant tissue. From the data so obtained, a digital data set is derived that represents the initial (that is, pretreatment) arrangement of the patient's teeth and other tissues).

Contact Information

7. Any inquiry concerning this communication or earlier communications from the examiner should be directed to Seyed Azarian whose telephone number is (571) 272-7443. The examiner can normally be reached on Monday through Thursday from 6:00 a.m. to 7:30 p.m.

If attempts to reach the examiner by telephone are unsuccessful, the examiner's supervisor, Matthew Bella, can be reached at (571) 272-7778. The fax phone number for the organization where this application or proceeding is assigned is 571-273-8300.

Information regarding the status of an application may be obtained from the Patent Application information Retrieval (PAIR) system. Status information for published application may be obtained from either Private PAIR or Public PAIR.

Status information about the PAIR system, see [http:// pair-direct.uspto.gov](http://pair-direct.uspto.gov). Should you have questions on access to the Private PAIR system, contact the Electronic Business Center (EBC) at

866-217-9197 (toll-free).

/SEYED H AZARIAN/

Primary Examiner, Art Unit 2667

December 5, 2019

<i>Examiner-Initiated Interview Summary</i>	Application No. 16/031,201	Applicant(s) SALAH et al.	
	Examiner SEYED H AZARIAN	Art Unit 2667	AIA (FITF) Status Yes

All participants (applicant, applicant's representative, PTO personnel):

(1) SEYED H. AZARIAN. (3) ____.

(2) Ronald Kachmarik. (4) ____.

Date of Interview: 13 December 2019.

Type: ☒ Telephonic ☐ Video Conference
☐ Personal [copy given to: ☐ applicant ☒ applicant's representative]

Exhibit shown or demonstration conducted: ☐ Yes ☐ No.
If Yes, brief description: ____.

Issues Discussed ☐ 101 ☒ 112 ☐ 102 ☐ 103 ☒ Others
(For each of the checked box(es) above, please describe below the issue and detailed description of the discussion)

Claim(s) discussed: 1.

Identification of prior art discussed: ____.

Substance of Interview
(For each issue discussed, provide a detailed description and indicate if agreement was reached. Some topics may include: identification or clarification of a reference or a portion thereof, claim interpretation, proposed amendments, arguments of any applied references etc...)

In a telephone interview, which was initiated by the examiner with applicant's representative, examiner suggested ways to clarify the independent claim or amend the claim that may overcome the prior art of record, but no agreement was reached at this time..

Applicant recordation instructions: It is not necessary for applicant to provide a separate record of the substance of interview.

Examiner recordation instructions: Examiners must summarize the substance of any interview of record. A complete and proper recordation of the substance of an interview should include the items listed in MPEP 713.04 for complete and proper recordation including the identification of the general thrust of each argument or issue discussed, a general indication of any other pertinent matters discussed regarding patentability and the general results or outcome of the interview, to include an indication as to whether or not agreement was reached on the issues raised.

☐ Attachment

/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	
--	--

<i>Notice of References Cited</i>	Application/Control No. 16/031,201		Applicant(s)/Patent Under Reexamination SALAH et al.	
	Examiner SEYED H AZARIAN		Art Unit 2667	Page 1 of 1

U.S. PATENT DOCUMENTS

*		Document Number Country Code-Number-Kind Code	Date MM-YYYY	Name	CPC Classification	US Classification
*	A	US-20150132708-A1	05-2015	Kuo; Eric E.	A61C7/002	433/24
*	B	US-20050192835-A1	09-2005	Kuo, Eric E.	G06Q50/22	705/2
*	C	US-20180168780-A1	06-2018	Kopelman; Avi	A61C1/0015	1/1
*	D	US-8879813-B1	11-2014	Solanki; Kaushal Mohanlal	G16H30/20	382/128
*	E	US-20090291417-A1	11-2009	Rubbert; Rudger	G06F19/3481	433/215
*	F	US-20170049311-A1	02-2017	Borovinskih; Artem	H04N7/183	1/1
	G					
	H					
	I					
	J					
	K					
	L					
	M					

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

*		Document Number Country Code-Number-Kind Code	Date MM-YYYY	Country	Name	CPC Classification
	N					
	O					
	P					
	Q					
	R					
	S					
	T					

NON-PATENT DOCUMENTS

*		Include as applicable: Author, Title Date, Publisher, Edition or Volume, Pertinent Pages)
	U	
	V	
	W	
	X	

*A copy of this reference is not being furnished with this Office action. (See MPEP § 707.05(a).)
Dates in MM-YYYY format are publication dates. Classifications may be US or foreign.

Search Notes 	Application/Control No. 16/031,201	Applicant(s)/Patent Under Reexamination SALAH et al.
	Examiner SEYED H AZARIAN	Art Unit 2667

CPC - Searched*		
Symbol	Date	Examiner

CPC Combination Sets - Searched*		
Symbol	Date	Examiner
A61C 7/00	12/6/2019	
G06K 9/00	12/6/2019	S.A

US Classification - Searched*			
Class	Subclass	Date	Examiner
382	100,103,106,128,131-132,154-155,162,168,173,181,199,219,224,232,254,285-291,305,318.	12/5/2019	S.A
433	24,215	12/5/2019	S.A
1	1	12/6/2019	S.A
705	2	12/6/2019	S.A

* See search history printout included with this form or the SEARCH NOTES box below to determine the scope of the search.

Search Notes		
Search Notes	Date	Examiner
INVENTOR SEARCH; EAST SEARCH	12/5/2019	S.A

Interference Search			
US Class/CPC Symbol	US Subclass/CPC Group	Date	Examiner

/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	
--	--

<i>Search Notes</i> 	Application/Control No. 16/031,201	Applicant(s)/Patent Under Reexamination SALAH et al.
	Examiner SEYED H AZARIAN	Art Unit 2667

/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	
--	--



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
 Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
 P.O. Box 1450
 Alexandria, Virginia 22313-1450
 www.uspto.gov

BIB DATA SHEET

CONFIRMATION NO. 8853

SERIAL NUMBER	FILING or 371(c) DATE	CLASS	GROUP ART UNIT	ATTORNEY DOCKET NO.	
16/031,201	07/10/2018	382	2667	N&P-51425	
APPLICANTS DENTAL MONITORING, Paris, FRANCE INVENTORS Philippe SALAH, Bagnolet, FRANCE; Thomas Pellissard, Clichy, FRANCE; Guillaume Ghyselinck, Cantin, FRANCE; Laurent Debraux, Paris, FRANCE; ** CONTINUING DATA ***** ** FOREIGN APPLICATIONS ***** FRANCE 1756947 07/21/2017 ** IF REQUIRED, FOREIGN FILING LICENSE GRANTED ** 07/25/2018					
Foreign Priority claimed ☒ Yes ☐ No 35 USC 119(a-d) conditions met ☒ Yes ☐ No Verified and Acknowledged <u>/SEYED H AZARIAN/</u> Examiner's Signature	☐ Met after Allowance S.A Initials	STATE OR COUNTRY FRANCE	SHEETS DRAWINGS 11	TOTAL CLAIMS 13	INDEPENDENT CLAIMS 1
ADDRESS Ronald M. Kachmarik Cooper Legal Group LLC 6505 Rockside Rd. Suite 330 Independence, OH 44131 UNITED STATES					
TITLE METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH					
FILING FEE RECEIVED 1880	FEES: Authority has been given in Paper No. _____ to charge/credit DEPOSIT ACCOUNT No. _____ for following:		☐ All Fees ☐ 1.16 Fees (Filing) ☐ 1.17 Fees (Processing Ext. of time) ☐ 1.18 Fees (Issue) ☐ Other _____ ☐ Credit		

EAST Search History

EAST Search History (Prior Art)

Ref #	Hits	Search Query	DBs	Default Operator	Plurals	Time Stamp
L1	151	(philipp\$3 with salah\$2)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2019/12/04 12:47
L2	20	1 and ((neural\$2 near4 network\$2) or (deep near4 learnin\$3))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2019/12/04 12:49

12/ 4/ 2019 12:49:56 PM

Doc code: IDS

PTO/SB/08a (01-10)

Doc description: Information Disclosure Statement (IDS) Filed

Approved for use through 07/31/2012. OMB 0651-0031

U.S. Patent and Trademark Office; U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it contains a valid OMB control number.

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)	Application Number		
	Filing Date		
	First Named Inventor	Philippe SALAH	
	Art Unit		
	Examiner Name		
	Attorney Docket Number	N&P-51425	

U.S.PATENTS						
Examiner Initial*	Cite No	Patent Number	Kind Code ¹	Issue Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear
	1	8879813	B1	2014-11-04	Solanki et al.	Col.7, Ln.65-Col.8, Ln.16; Col.33, Ln.65-Col.34, Ln.25; Col.35, Ln.16-Col.37, Ln.15;

If you wish to add additional U.S. Patent citation information please click the Add button.

U.S.PATENT APPLICATION PUBLICATIONS						
Examiner Initial*	Cite No	Publication Number	Kind Code ¹	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear
	1	20080172386	A1	2008-07-17	Ammar et al.	
	2	20170086943	A1	2017-03-30	Mah	
	3	20090191503	A1	2009-07-30	Matov et al.	Corresponds to JP2017-094181
	4	20090291417	A1	2009-11-26	Rubbert et al.	

If you wish to add additional U.S. Published Application citation information please click the Add button.

FOREIGN PATENT DOCUMENTS								
Examiner Initial*	Cite No	Foreign Document Number ³	Country Code ²	Kind Code ⁴	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear	T ⁵

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number		
Filing Date		
First Named Inventor	Philippe SALAH	
Art Unit		
Examiner Name		
Attorney Docket Number	N&P-51425	

1	2016066651	WO	A1	2016-05-06	Salah et al.		☐
2	2017182654	WO	A1	2017-10-26	Salah et al.		☐
3	3027505	FR	A1	2016-04-29	Salah et al.		☐
4	3010629	FR	A1	2015-03-20	Salah et al.	Entire Document	☐
5	2017094181	JP	A	2017-06-01	Matov et al.	See corresponding US 2009/191503;	☐

If you wish to add additional Foreign Patent Document citation information please click the Add button

NON-PATENT LITERATURE DOCUMENTS

Examiner Initials*	Cite No	Include name of the author (in CAPITAL LETTERS), title of the article (when appropriate), title of the item (book, magazine, journal, serial, symposium, catalog, etc), date, pages(s), volume-issue number(s), publisher, city and/or country where published.	T ^s
	1	Corresponding French Application, Application no.: 1756947, French Search Report, dated January 18, 2018, 2 pages	☐
	2	MIKI YUMA ET AL: "classification of teeth in cone-beam CT using deep convolutional neural network" COMPUTERS IN BIOLOGY AND MEDICINE, NEW YORK, NY, US, vol. 80, 12 November 2016 (2016-11-12), pages 24-29, XP02991G769, ISSN: 0010-4825, DOI:10.1016/J.COMPBIOMED.2016. 11.003,	☐
	3	Young-Jun Yu: "Machine Learning for Dental Image Analysis", Arxiv 29 November 2016 (2016-11-29), XP055430578, Extracted from the Internet: URL:https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.09958.pdf [extracted 2018-03-20];	☐
	4	KELWIN FERNANDEZ ET AL: "Teeth/Palate and Interdental Segmentation Using Artificial Neural Networks", 17 September 2012 (2012-09-17), ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN PATTERN RECOGNITION, SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, BERLIN, HEIDELBERG, PAGE(S) 175 - 185, XP047017215, ISBN: 978-3-642-33211-1;	☐

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT

(Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number		
Filing Date		
First Named Inventor	Philippe SALAH	
Art Unit		
Examiner Name		
Attorney Docket Number	N&P-51425	

5	LIN P L ET AL: "An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using teeth region and contour information", PATTERN RECOGNITION, ELSEVIER, GB, vol. 43, no. 4, 1 April 2010 (2010-04-01), pages 1380-1392, XP026870003, ISSN: 0031-3203 [extracted 2009-11-11];	☐
6	Vinicius Tragante ET AL: "Knowledge discovery in panoramic X-rays for postmortem identification", Researchgate, 1 January 2010 (2010-01-01), pages 1-9, XP055462269, Extracted from the Internet; URL:https://www.researchgate.net/profile/Vinicius_Tragante/publication/267821630_Knowledge_discovery_in_panoramic_X-rays_for_postmortem_identification/links/54f479df0cf299c8d9e77caf/Knowledge-discovery-in-panoramic-X-rays-for-postmortem-identification.pdf; [extracted 2018-03-23];	☐
7	Anonymous: "Towards a Smart Healthcare System for Orthodontic and Dental Treatment Smart Healthcare System", 1 January 2016 (2016-01-01), XP055442068, Extracted from the internet URL:http://sc.cmc.osaka-u.ac.jp/wp1/wp-content/uploads/2016/11/sc16_poster_part6.pdf [extracted 2018-01-18]; Entire Document	☐
8	Ben Ali Ramzi ET AL: "Detection and Classification of Dental Caries in X-ray Images Using Deep Neural Networks", Proceedings of ICSEA 2016 : The Eleventh International Conference on Software Engineering Advances, 21 August 2016 (2016-08-21), pages 223-227, XP055442275, New York, Extracted from the Internet, URL:https://pdfs.semanticscholar.org/4536/de69054143f85bb5089a8957f16be1eb0c3a.pdf?ga=2.60511401.567907993.1516282794-945231696.1516282794, [extracted 2018-01-18]; Abstract; Figs.1-3;	☐
9	MIKI YUMA ET AL: "Tooth labeling in cone-beam CT using deep convolutional neural network for forensic identification", PROGRESS IN BIOMEDICAL OPTICS AND IMAGING, SPIE - INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, BELLINGHAM, WA, US, vol. 10134, 3 March 2017 (2017-03-03), pages 101343E-101343E, XP060086665, ISSN: 1605-7422, DOI: 10.1117/12.2254332, ISBN: 978-1-5106-0027-0; Entire Document	☐
10	Young-Jun Yu: "Machine Learning for Dental Image Analysis", 29 November 2016 (2016-11-29), XP055430578, Extracted from the Internet: URL:https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.09958.pdf [extracted 2018-03-22]	☐

If you wish to add additional non-patent literature document citation information please click the Add button

EXAMINER SIGNATURE

Examiner Signature	/SEYED H AZARIAN/	Date Considered	12/16/2019
--------------------	-------------------	-----------------	------------

*EXAMINER: Initial if reference considered, whether or not citation is in conformance with MPEP 609. Draw line through a citation if not in conformance and not considered. Include copy of this form with next communication to applicant.

¹ See Kind Codes of USPTO Patent Documents at www.USPTO.GOV or MPEP 901.04. ² Enter office that issued the document, by the two-letter code (WIPO Standard ST.3). ³ For Japanese patent documents, the indication of the year of the reign of the Emperor must precede the serial number of the patent document. ⁴ Kind of document by the appropriate symbols as indicated on the document under WIPO Standard ST.16 if possible. ⁵ Applicant is to place a check mark here if English language translation is attached.

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number		
Filing Date		
First Named Inventor	Philippe SALAH	
Art Unit		
Examiner Name		
Attorney Docket Number	N&P-51425	

CERTIFICATION STATEMENT

Please see 37 CFR 1.97 and 1.98 to make the appropriate selection(s):

☐ That each item of information contained in the information disclosure statement was first cited in any communication from a foreign patent office in a counterpart foreign application not more than three months prior to the filing of the information disclosure statement. See 37 CFR 1.97(e)(1).

OR

☐ That no item of information contained in the information disclosure statement was cited in a communication from a foreign patent office in a counterpart foreign application, and, to the knowledge of the person signing the certification after making reasonable inquiry, no item of information contained in the information disclosure statement was known to any individual designated in 37 CFR 1.56(c) more than three months prior to the filing of the information disclosure statement. See 37 CFR 1.97(e)(2).

☐ See attached certification statement.

☐ The fee set forth in 37 CFR 1.17 (p) has been submitted herewith.

☒ A certification statement is not submitted herewith.

SIGNATURE

A signature of the applicant or representative is required in accordance with CFR 1.33, 10.18. Please see CFR 1.4(d) for the form of the signature.

Signature	/Ronald M. Kachmarik/	Date (YYYY-MM-DD)	2018-07-10
Name/Print	Ronald M. Kachmarik	Registration Number	34512

This collection of information is required by 37 CFR 1.97 and 1.98. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 1 hour to complete, including gathering, preparing and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. **DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.**

Privacy Act Statement

The Privacy Act of 1974 (P.L. 93-579) requires that you be given certain information in connection with your submission of the attached form related to a patent application or patent. Accordingly, pursuant to the requirements of the Act, please be advised that: (1) the general authority for the collection of this information is 35 U.S.C. 2(b)(2); (2) furnishing of the information solicited is voluntary; and (3) the principal purpose for which the information is used by the U.S. Patent and Trademark Office is to process and/or examine your submission related to a patent application or patent. If you do not furnish the requested information, the U.S. Patent and Trademark Office may not be able to process and/or examine your submission, which may result in termination of proceedings or abandonment of the application or expiration of the patent.

The information provided by you in this form will be subject to the following routine uses:

1. The information on this form will be treated confidentially to the extent allowed under the Freedom of Information Act (5 U.S.C. 552) and the Privacy Act (5 U.S.C. 552a). Records from this system of records may be disclosed to the Department of Justice to determine whether the Freedom of Information Act requires disclosure of these records.
2. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, in the course of presenting evidence to a court, magistrate, or administrative tribunal, including disclosures to opposing counsel in the course of settlement negotiations.
3. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Member of Congress submitting a request involving an individual, to whom the record pertains, when the individual has requested assistance from the Member with respect to the subject matter of the record.
4. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a contractor of the Agency having need for the information in order to perform a contract. Recipients of information shall be required to comply with the requirements of the Privacy Act of 1974, as amended, pursuant to 5 U.S.C. 552a(m).
5. A record related to an International Application filed under the Patent Cooperation Treaty in this system of records may be disclosed, as a routine use, to the International Bureau of the World Intellectual Property Organization, pursuant to the Patent Cooperation Treaty.
6. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to another federal agency for purposes of National Security review (35 U.S.C. 181) and for review pursuant to the Atomic Energy Act (42 U.S.C. 218(c)).
7. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the Administrator, General Services, or his/her designee, during an inspection of records conducted by GSA as part of that agency's responsibility to recommend improvements in records management practices and programs, under authority of 44 U.S.C. 2904 and 2906. Such disclosure shall be made in accordance with the GSA regulations governing inspection of records for this purpose, and any other relevant (i.e., GSA or Commerce) directive. Such disclosure shall not be used to make determinations about individuals.
8. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the public after either publication of the application pursuant to 35 U.S.C. 122(b) or issuance of a patent pursuant to 35 U.S.C. 151. Further, a record may be disclosed, subject to the limitations of 37 CFR 1.14, as a routine use, to the public if the record was filed in an application which became abandoned or in which the proceedings were terminated and which application is referenced by either a published application, an application open to public inspections or an issued patent.
9. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Federal, State, or local law enforcement agency, if the USPTO becomes aware of a violation or potential violation of law or regulation.

Letter dated: June 19, 2019

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No. : 16/031,201
 Applicant : Philippe SALAH
 Filing Date : July 10, 2018
 Title : METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
 Examiner Name : Matthew C. Bella
 Group Art Unit : 2667
 Conf. No. : 8853
 Customer No. : 108676
 Docket No : N&P-51425

Mail Stop Amendment
 Commissioner for Patents
 P.O. Box 1450
 Alexandria VA 22313-1450

Letter for Disclosure of Information concerning other pending applications

Sir:

Several patent applications, as listed below, are currently pending. As the applications progress through prosecution, each respective Examiner for each respective application is invited to monitor such progress/activity of the other applications.

Letter dated: June 19, 2019

LISTING OF APPLICATIONS:

APPLICATION NO.: 15/522,554

N&P-51398 APPL. NO.: 15/952,635

N&P-51399 APPL NO.: 15/953,561

N&P-51400 APPL. NO.: 15/953,744

N&P-51410 APPL. NO.: 15/990,950

N&P-51411 APPL. NO.: 16/001,049

N&P-51421 APPL. NO.: 16/030,032

N&P-51422 APPL. NO.: 16/030,137

N&P-51423 APPL. NO.: 16/031,125

N&P-51424 APPL. NO.: 16/031,172

N&P-51425 APPL. NO.: 16/031,201

/SEYED H AZARIAN/

12/16/2019

Letter dated: June 19, 2019

REMARKS/ARGUMENTS

If there are any fees resulting from this communication, please charge same to our Deposit Account No. 505088, our Order No. N&P-51425.

Respectfully submitted,
Cooper Legal Group

By: /Ronald M. Kachmarik/
Ronald M. Kachmarik, Reg. No. 34512

6505 Rockside Road
Suite 330
Cleveland Ohio 44131
(216) 654-0090
June 19, 2019

Letter dated: September 21, 2018

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No. : 16/031,201
Applicant : Philippe SALAH
Filing Date : July 10, 2018
Title : METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
Conf. No. : 8853
Customer No. : 108676
Docket No : N&P-51425

Mail Stop Amendment
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria VA 22313-1450

Letter for Disclosure of Information concerning other pending applications

Sir:

Several patent applications, as listed below, are currently pending. As the applications progress through prosecution, each respective Examiner for each respective application is invited to monitor such progress/activity of the other applications.

Letter dated: September 21, 2018

LISTING OF APPLICATIONS:

N&P-51398 APPL. NO.: 15/952,635

N&P-51399 APPL. NO.: 15/953,561

N&P-51400 APPL. NO.: 15/953,744

N&P-51410 APPL. NO.: 15/990,950

N&P-51411 APPL. NO.: 16/001,049

N&P-51421 APPL. NO.: 16/030,032

N&P-51422 APPL. NO.: 16/030,137

N&P-51423 APPL. NO.: 16/031,125

N&P-51424 APPL. NO.: 16/031,172

N&P-51425 APPL. NO.: 16/031,201

/SEYED H AZARIAN/

12/16/2019

Letter dated: September 21, 2018

REMARKS/ARGUMENTS

If there are any fees resulting from this communication, please charge same to our Deposit Account No. 505088, our Order No. N&P-51425.

Respectfully submitted,
Cooper Legal Group

By: /Ronald M. Kachmarik/
Ronald M. Kachmarik, Reg. No. 34512

6505 Rockside Road
Suite 330
Cleveland Ohio 44131
(216) 654-0090
September 21, 2018

EAST Search History

EAST Search History (Prior Art)

Ref #	Hits	Search Query	DBs	Default Operator	Plurals	Time Stamp
L1	46441	((tooth\$3 or teeth\$3) near5 (model\$3))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2019/12/05 07:19
L2	3780	1 and ((tooth\$3 or teeth\$3 or model\$3) near5 (imag\$3))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2019/12/05 07:20
L3	119	2 and ((neural\$3 near4 network\$3) or (deep\$3 near4 learn\$4))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2019/12/05 07:21
L4	82	3 and match\$5	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2019/12/05 07:22
L5	60	4 and ((tooth\$3 or teeth\$3) near5 (typ\$3 or shap\$3 or number\$4 or parameter\$3 or age\$3))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2019/12/05 07:23

12/ 5/ 2019 7:24:13 AM

EAST Search History

EAST Search History (Prior Art)

Ref #	Hits	Search Query	DBs	Default Operator	Plurals	Time Stamp
L6	249457	((neural\$2 near4 network\$2) or (deep near4 learnin\$3))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2019/12/04 12:55
L8	520	6 and ((imag\$3) with (dental\$3 or tooth\$2))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2019/12/04 12:57
L9	91	8 and ((arch\$2) with (dental\$3 or tooth\$2))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2019/12/04 12:58
L10	75	9 and ((model\$3) with (dental\$3 or tooth\$2))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2019/12/04 12:59
L11	69	10 and ((referenc\$3))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2019/12/04 13:00
L12	54	11 and updat\$4	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2019/12/04 13:00
L13	54	12 and (compar\$5 or match\$4)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2019/12/04 13:00

12/ 4/ 2019 1:01:59 PM

Appl. No. 16/031,201
Amendment dated: March 19, 2020
Reply to Office action dated: December 20, 2019

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No. : 16/031,201
Applicant : Philippe SALAH
Filing Date : July 10, 2018
Title : METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
Conf. No.; : 8853
Art Unit : 2667
Examiner : Seyed H. Azarian
Customer No. : 108676
Docket No : N&P-51425

Mail Stop Amendment
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria VA 22313-1450

Amendment "C"

Sir:

This amendment is filed in response to the Office Action dated December 20, 2019, Paper No./Mail Date: 20191206. The three-month period for responding to the Office Action expired on March 20, 2020.

Amendments to the Claims are reflected in the listing of claims that begins on page 2 of this paper.

Remarks / Arguments begin on page 7 of this paper.

Listing of Claims:

The listing of claims will replace all prior versions, and listings, of claims in this application:

1. (Currently Amended) A method for acquiring an image of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:
 - a') activation of an image acquisition apparatus so as to acquire an image, called "analysis image", of said arch;
 - b') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, ~~preferable a neural network~~, trained by means of a learning base;
 - c') determination, for the analysis image, as a function of the results of the analysis in the preceding step, of a value for an image attribute;
 - d') comparison of said image attribute value with a setpoint;
 - e') sending of an information message as a function of said comparison, the information message being related to the quality of the image acquired ~~and/or~~ or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch ~~and/or~~ or to the setting of the acquisition apparatus ~~and/or~~ or to the opening of the mouth ~~and/or~~ or to the wearing of a dental, ~~preferable orthodontic~~, appliance, or to a combination thereof,
to check whether the analysis image respects the setpoint and, if it does not respect the setpoint, to guide the operator in order for him or her to acquire a new analysis image.
2. (Original) The method as claimed in claim 1, in which, in the step b'), at least one analysis tooth zone is identified that represents, at least partially, a tooth on said analysis image, and at least one value of a tooth attribute is determined for said at least one analysis tooth zone, and, in the step c'), the value for the image attribute is determined as a function of said tooth attribute value.
3. (Original) The method as claimed in claim 1, in which, in the step b'), all said analysis tooth zones are identified, and at least one tooth attribute value is determined for each

analysis tooth zone, and, in the step c'), the value for the image attribute is determined as a function of said tooth attribute values.

4. (Currently Amended) The method as claimed in claim 2, in which the step b') comprises the following steps:
 - 1) ~~preferable before the step a')~~ creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or "historical images", each historical image comprising one or more zones each representing a tooth, or "historical tooth zones", to each of which, for said tooth attribute, a tooth attribute value is assigned;
 - 2) training of at least one deep learning device, ~~preferable a neural network~~, by means of the learning base;
 - 3) submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine at least one probability relating to:
 - the presence, at a location in said analysis image, of a zone representing, at least partially, a tooth, or "analysis tooth zone",
 - the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone,
 - 4) determination, as a function of said probability, of the presence of a tooth at a position represented by said analysis tooth zone, and of the attribute value of said tooth.
5. (Original) The method as claimed in claim 4, in which said tooth attribute is chosen from a tooth number, a tooth type, a tooth shape parameter, a tooth appearance parameter, a parameter relating to the state of the tooth, an age for the patient, or a combination of these attributes.
6. (Currently Amended) The method as claimed in claim 1, in which the step b') comprises the following steps:
 - 1') creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or "historical images", each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or "image attribute value";

- 2') training of at least one deep learning device, ~~preferably a neural network~~, by means of the learning base;
 - 3') submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value.
7. (Original) The method as claimed in claim 4, in which, in the step 1) or 1'), a learning base is created comprising more than 10 000 historical images.
8. (Original) The method as claimed in claim 1, in which the learning base is composed according to the following steps:
- A) at an "updated" instant, production of a model of a dental arch of a patient, or "updated reference model", and segmentation of the updated reference model so as to produce, for each tooth, a "tooth model", and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
 - B) acquisition of at least one image of said arch, or "updated image", in real acquisition conditions;
 - C) for each updated image, search for virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called "reference image", exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions, and acquisition of said reference image;
 - D) identification, in the reference image, of at least one zone representing a tooth model, or "reference tooth zone" and, by comparison of the updated image and the reference image, determination, in the updated image, of a zone representing said tooth model, or "updated tooth zone";
 - E) assignment, to said updated tooth zone, of the tooth attribute value of said tooth model;
 - F) addition of the updated image enriched with a description of said updated tooth zone and its tooth attribute value, or "historical image", in the learning base.

9. (Original) The method as claimed in claim 1, in which the learning base is composed according to the following steps:
- A') at an initial instant, production of a model of a dental arch of a patient, or "initial reference model", and segmentation of the initial reference model so as to produce, for each tooth, a "tooth model", and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
 - B') at an updated instant, acquisition of at least one image of said arch, or "updated image", in real acquisition conditions;
 - C') search, by deformation of the initial reference model, for an updated reference model and virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called "reference image", exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions;
 - D) identification, in the reference image, of at least one zone representing a tooth model, or "reference tooth zone" and, by comparison of the updated image and the reference image, determination, in the updated image, of a zone representing said tooth model, or "updated tooth zone";
 - E) assignment, to said updated tooth zone, of the tooth attribute value of said tooth model;
 - F) addition of the updated image enriched with a description of said updated tooth zone and its tooth attribute value, or "historical image", in the learning base.
10. (Currently Amended) The method as claimed in claim 1, in which, to create a historical image of the learning base, an operator, ~~preferably an orthodontist~~,
- identifies one or more "historical" tooth zones on an image, called then assigns, to each identified historical tooth zone, a value for at least one tooth attribute, and/or
 - assigns to an image a value for at least one tooth attribute.
11. (Original) The method as claimed in claim 1, in which the acquisition apparatus is a cellphone.

12. (Original) The method as claimed in claim 1, in which the information message is sent by the acquisition apparatus.
13. (Currently Amended) The method as claimed in claim 1, in which said image attribute relates to
- a position ~~and/or~~ or an orientation ~~and/or~~ or a calibration of an acquisition apparatus used to acquire said analysis image, or a combination thereof, and/or
 - a quality of the analysis image, and in particular relating to the brightness, to the contrast or to the sharpness of the analysis image, and/or
 - the content of the analysis image, in particular to the representation of the arches, of the tongue, of the mouth, of the lips, of the jaws, of the gums, of one or more teeth or of an orthodontic appliance.
14. (New) The method as claimed in claim 1, in which said analysis image is analyzed and checked in real time.
15. (New) The method as claimed in claim 1, in which the deep learning device is a neural network.

REMARKS/ARGUMENTS

Reconsideration of the subject application in view of the present Amendment is respectfully requested.

By the present Amendment, claims 1, 4, 6, 10 and 13 are amended, and claims 14 and 15 are added.

It is to be noted that claim 1 is amended in view of Specification page 37, lines 2-4, claim 14 is added in view of Specification page 37, lines 26-27, and claim 15 is added in view of original claim 1.

With regard to the rejections of claims 1, 4, 6, 10 and 13 under 35 USC §112 (a) and/or (b), these claims are amended to address the issues presented within the Office action. Accordingly, it is respectfully requested that the rejections under 35 USC §112 be withdrawn.

With regard to the rejections of claims under 35 USC §102 and §103 in view of Kuo (U.S. 2015/0132708), either alone or in asserted combination, please note the following:

a) Claim 1 recites, in pertinent part, "A method for acquiring an image of a dental arch of a patient" comprising a "determination, for the analysis image ... of a value for an image attribute."

Kuo discloses a method for determining a treatment plan from the analysis of initial orthodontic conditions of a patient.

An image attribute, according to the present application as set forth in claim 1, relates to a whole image and not a part of the image (see Specification page 4, lines 16-17). The image attribute may in particular relate to:

- a position and/or an orientation and/or a calibration of an acquisition apparatus used to acquire said analysis image, and/or
- a quality of the analysis image, and in particular relating to the brightness, to the contrast or to the sharpness of the analysis image, and/or
- the content of the analysis image, for example to the representation of the arches, of the tongue, of the mouth, of the lips, of the jaws, of the

gums, of one or more teeth or of a dental, preferably orthodontic, appliance (see the Specification, page 4, lines 23-30).

Kuo does not describe any image attribute, but only describes tooth movement, dental conditions or appliance performance. Indeed, in Kuo characters can be attributed to a tooth defining the current condition of this tooth (see Kuo, paragraph [0154]), and a value can determine the performance of an appliance or the predictability of a movement of a tooth (see paragraph [0069]). However, the characters and the values do not correspond to image attributes as they are not related to a whole image but to a tooth, an appliance or a movement of a tooth respectively.

Therefore, Kuo does not disclose a method for acquiring an image of a dental arch comprising a determination, for an analysis image of a value for an image attribute.

b) Claim 1 also recites, in pertinent part, “sending of an information message as a function of said comparison, the information message being related to the quality of the image acquired or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch or to the setting of the acquisition apparatus or to the opening of the mouth or to the wearing of a dental appliance or to a combination thereof.”

However, Kuo only suggests produced electronic or printed information defining appliance configuration (see Kuo, paragraph [0109]), generating information related to a treatment plan, for example a prescription or, which may comprise an treatment plan, initial dental conditions, treatment goals, or prescription data (see paragraphs [0203-0204] and [0307]). In other words, Kuo only suggests generating a report of the determination of a treatment plan defined from initial dental conditions and depending on treatment goals. Such information does not relate to an acquisition of an image and even less to the quality of the image acquired or to the position of the acquisition apparatus in relation to an arch or to the setting of the acquisition apparatus or to the opening of the mouth or to the wearing of a dental appliance or to a combination thereof.

Appl. No. 16/031,201
Amendment dated: March 19, 2020
Reply to Office action dated: December 20, 2019

c) Furthermore claim 1 recites, in pertinent part, checking “whether the analysis image respects the setpoint and, if it does not respect the setpoint, to guide the operator in order for him or her to acquire a new analysis image.”

An advantage of the present invention is to make it possible to check that the acquired image does conform to a need (see Specification, page 40, lines 5-6). It also allows an embedded monitoring (see page 37, lines 4-5).

Kuo never suggests guiding the operator in order to acquire an image.

Therefore, Kuo does not teach or suggest the claimed limitations as set forth in claim 1. Accordingly, is it respectfully requested that the rejections under 35 USC §102 and §103 in view of Kuo, alone or in asserted combination, be withdrawn.

In light of the foregoing, it is respectfully submitted that the present application is in condition for allowance and notice to that effect is hereby requested. If it is determined that the application is not in condition for allowance, the Examiner is invited to initiate a telephone interview with the undersigned attorney to expedite prosecution of the present application.

If there are any fees resulting from this communication, please charge same to our Deposit Account No. 505088, our Ref. No. N&P-51425.

Respectfully submitted,
Cooper Legal Group

By: /Ronald M. Kachmarik/
Ronald M. Kachmarik, Reg. No. 34512

6505 Rockside Road
Suite 330
Cleveland Ohio 44131
(216) 654-0090

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	38910331
Application Number:	16031201
International Application Number:	
Confirmation Number:	8853
Title of Invention:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
First Named Inventor/Applicant Name:	Philippe SALAH
Customer Number:	108676
Filer:	Ronald M. Kachmarik/Amy Ansbro
Filer Authorized By:	Ronald M. Kachmarik
Attorney Docket Number:	N&P-51425
Receipt Date:	19-MAR-2020
Filing Date:	10-JUL-2018
Time Stamp:	11:30:13
Application Type:	Utility under 35 USC 111(a)

Payment information:

Submitted with Payment	no
------------------------	----

File Listing:

Document Number	Document Description	File Name	File Size(Bytes)/ Message Digest	Multi Part /.zip	Pages (if appl.)
1		N-P-51425_UPAM-C.pdf	155498	yes	9
			04ce05fdaac1d5c950f2f4f377eeb84e6bba5185		

Multipart Description/PDF files in .zip description			
Document Description	Start	End	
Amendment/Req. Reconsideration-After Non-Final Reject	1	1	
Claims	2	6	
Applicant Arguments/Remarks Made in an Amendment	7	9	

Warnings:

Information:

Total Files Size (in bytes):	155498
-------------------------------------	--------

This Acknowledgement Receipt evidences receipt on the noted date by the USPTO of the indicated documents, characterized by the applicant, and including page counts, where applicable. It serves as evidence of receipt similar to a Post Card, as described in MPEP 503.

New Applications Under 35 U.S.C. 111
If a new application is being filed and the application includes the necessary components for a filing date (see 37 CFR 1.53(b)-(d) and MPEP 506), a Filing Receipt (37 CFR 1.54) will be issued in due course and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the filing date of the application.

National Stage of an International Application under 35 U.S.C. 371
If a timely submission to enter the national stage of an international application is compliant with the conditions of 35 U.S.C. 371 and other applicable requirements a Form PCT/DO/EO/903 indicating acceptance of the application as a national stage submission under 35 U.S.C. 371 will be issued in addition to the Filing Receipt, in due course.

New International Application Filed with the USPTO as a Receiving Office
If a new international application is being filed and the international application includes the necessary components for an international filing date (see PCT Article 11 and MPEP 1810), a Notification of the International Application Number and of the International Filing Date (Form PCT/RO/105) will be issued in due course, subject to prescriptions concerning national security, and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the international filing date of the application.



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
www.uspto.gov

NOTICE OF ALLOWANCE AND FEE(S) DUE

108676 7590 04/22/2020
Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131

EXAMINER

AZARIAN, SEYED H

ART UNIT

PAPER NUMBER

2667

DATE MAILED: 04/22/2020

APPLICATION NO.	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR	ATTORNEY DOCKET NO.	CONFIRMATION NO.
16/031,201	07/10/2018	Philippe SALAH	N&P-51425	8853

TITLE OF INVENTION: METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

APPLN. TYPE	ENTITY STATUS	ISSUE FEE DUE	PUBLICATION FEE DUE	PREV. PAID ISSUE FEE	TOTAL FEE(S) DUE	DATE DUE
nonprovisional	UNDISCOUNTED	\$1000	\$0.00	\$0.00	\$1000	07/22/2020

THE APPLICATION IDENTIFIED ABOVE HAS BEEN EXAMINED AND IS ALLOWED FOR ISSUANCE AS A PATENT. PROSECUTION ON THE MERITS IS CLOSED. THIS NOTICE OF ALLOWANCE IS NOT A GRANT OF PATENT RIGHTS. THIS APPLICATION IS SUBJECT TO WITHDRAWAL FROM ISSUE AT THE INITIATIVE OF THE OFFICE OR UPON PETITION BY THE APPLICANT. SEE 37 CFR 1.313 AND MPEP 1308.

THE ISSUE FEE AND PUBLICATION FEE (IF REQUIRED) MUST BE PAID WITHIN THREE MONTHS FROM THE MAILING DATE OF THIS NOTICE OR THIS APPLICATION SHALL BE REGARDED AS ABANDONED. THIS STATUTORY PERIOD CANNOT BE EXTENDED. SEE 35 U.S.C. 151. THE ISSUE FEE DUE INDICATED ABOVE DOES NOT REFLECT A CREDIT FOR ANY PREVIOUSLY PAID ISSUE FEE IN THIS APPLICATION. IF AN ISSUE FEE HAS PREVIOUSLY BEEN PAID IN THIS APPLICATION (AS SHOWN ABOVE), THE RETURN OF PART B OF THIS FORM WILL BE CONSIDERED A REQUEST TO REAPPLY THE PREVIOUSLY PAID ISSUE FEE TOWARD THE ISSUE FEE NOW DUE.

HOW TO REPLY TO THIS NOTICE:

I. Review the ENTITY STATUS shown above. If the ENTITY STATUS is shown as SMALL or MICRO, verify whether entitlement to that entity status still applies.

If the ENTITY STATUS is the same as shown above, pay the TOTAL FEE(S) DUE shown above.

If the ENTITY STATUS is changed from that shown above, on PART B - FEE(S) TRANSMITTAL, complete section number 5 titled "Change in Entity Status (from status indicated above)".

For purposes of this notice, small entity fees are 1/2 the amount of undiscounted fees, and micro entity fees are 1/2 the amount of small entity fees.

II. PART B - FEE(S) TRANSMITTAL, or its equivalent, must be completed and returned to the United States Patent and Trademark Office (USPTO) with your ISSUE FEE and PUBLICATION FEE (if required). If you are charging the fee(s) to your deposit account, section "4b" of Part B - Fee(s) Transmittal should be completed and an extra copy of the form should be submitted. If an equivalent of Part B is filed, a request to reapply a previously paid issue fee must be clearly made, and delays in processing may occur due to the difficulty in recognizing the paper as an equivalent of Part B.

III. All communications regarding this application must give the application number. Please direct all communications prior to issuance to Mail Stop ISSUE FEE unless advised to the contrary.

IMPORTANT REMINDER: Maintenance fees are due in utility patents issuing on applications filed on or after Dec. 12, 1980. It is patentee's responsibility to ensure timely payment of maintenance fees when due. More information is available at www.uspto.gov/PatentMaintenanceFees.

PART B - FEE(S) TRANSMITTAL

Complete and send this form, together with applicable fee(s), by mail or fax, or via EFS-Web.

By mail, send to: Mail Stop ISSUE FEE
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450

By fax, send to: (571)-273-2885

INSTRUCTIONS: This form should be used for transmitting the ISSUE FEE and PUBLICATION FEE (if required). Blocks 1 through 5 should be completed where appropriate. All further correspondence including the Patent, advance orders and notification of maintenance fees will be mailed to the current correspondence address as indicated unless corrected below or directed otherwise in Block 1, by (a) specifying a new correspondence address; and/or (b) indicating a separate "FEE ADDRESS" for maintenance fee notifications.

CURRENT CORRESPONDENCE ADDRESS (Note: Use Block 1 for any change of address)

Note: A certificate of mailing can only be used for domestic mailings of the Fee(s) Transmittal. This certificate cannot be used for any other accompanying papers. Each additional paper, such as an assignment or formal drawing, must have its own certificate of mailing or transmission.

108676 7590 04/22/2020
Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131

Certificate of Mailing or Transmission

I hereby certify that this Fee(s) Transmittal is being deposited with the United States Postal Service with sufficient postage for first class mail in an envelope addressed to the Mail Stop ISSUE FEE address above, or being transmitted to the USPTO via EFS-Web or by facsimile to (571) 273-2885, on the date below.

(Typed or printed name)
(Signature)
(Date)

APPLICATION NO.	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR	ATTORNEY DOCKET NO.	CONFIRMATION NO.
16/031,201	07/10/2018	Philippe SALAH	N&P-51425	8853

TITLE OF INVENTION: METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

APPLN. TYPE	ENTITY STATUS	ISSUE FEE DUE	PUBLICATION FEE DUE	PREV. PAID ISSUE FEE	TOTAL FEE(S) DUE	DATE DUE
nonprovisional	UNDISCOUNTED	\$1000	\$0.00	\$0.00	\$1000	07/22/2020

EXAMINER	ART UNIT	CLASS-SUBCLASS
AZARIAN, SEYED H	2667	382-128000

1. Change of correspondence address or indication of "Fee Address" (37 CFR 1.363).

☐ Change of correspondence address (or Change of Correspondence Address form PTO/SB/122) attached.

☐ "Fee Address" indication (or "Fee Address" Indication form PTO/SB/47; Rev 03-09 or more recent) attached. **Use of a Customer Number is required.**

2. For printing on the patent front page, list

(1) The names of up to 3 registered patent attorneys or agents OR, alternatively,

1 _____

(2) The name of a single firm (having as a member a registered attorney or agent) and the names of up to 2 registered patent attorneys or agents. If no name is listed, no name will be printed.

2 _____

3 _____

3. ASSIGNEE NAME AND RESIDENCE DATA TO BE PRINTED ON THE PATENT (print or type)

PLEASE NOTE: Unless an assignee is identified below, no assignee data will appear on the patent. If an assignee is identified below, the document must have been previously recorded, or filed for recordation, as set forth in 37 CFR 3.11 and 37 CFR 3.81(a). Completion of this form is NOT a substitute for filing an assignment.

(A) NAME OF ASSIGNEE

(B) RESIDENCE: (CITY and STATE OR COUNTRY)

Please check the appropriate assignee category or categories (will not be printed on the patent) : ☐ Individual ☐ Corporation or other private group entity ☐ Government

4a. Fees submitted: ☐ Issue Fee ☐ Publication Fee (if required) ☐ Advance Order - # of Copies _____

4b. Method of Payment: (Please first reapply any previously paid fee shown above)

☐ Electronic Payment via EFS-Web ☐ Enclosed check ☐ Non-electronic payment by credit card (Attach form PTO-2038)

☐ The Director is hereby authorized to charge the required fee(s), any deficiency, or credit any overpayment to Deposit Account No. _____

5. Change in Entity Status (from status indicated above)

☐ Applicant certifying micro entity status. See 37 CFR 1.29

☐ Applicant asserting small entity status. See 37 CFR 1.27

☐ Applicant changing to regular undiscounted fee status.

NOTE: Absent a valid certification of Micro Entity Status (see forms PTO/SB/15A and 15B), issue fee payment in the micro entity amount will not be accepted at the risk of application abandonment.

NOTE: If the application was previously under micro entity status, checking this box will be taken to be a notification of loss of entitlement to micro entity status.

NOTE: Checking this box will be taken to be a notification of loss of entitlement to small or micro entity status, as applicable.

NOTE: This form must be signed in accordance with 37 CFR 1.31 and 1.33. See 37 CFR 1.4 for signature requirements and certifications.

Authorized Signature _____

Date _____

Typed or printed name _____

Registration No. _____



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
www.uspto.gov

APPLICATION NO.	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR	ATTORNEY DOCKET NO.	CONFIRMATION NO.
16/031,201	07/10/2018	Philippe SALAH	N&P-51425	8853
108676	7590	04/22/2020	EXAMINER	
Ronald M. Kachmarik Cooper Legal Group LLC 6505 Rockside Rd. Suite 330 Independence, OH 44131			AZARIAN, SEYED H	
			ART UNIT	PAPER NUMBER
			2667	
DATE MAILED: 04/22/2020				

Determination of Patent Term Adjustment under 35 U.S.C. 154 (b) (Applications filed on or after May 29, 2000)

The Office has discontinued providing a Patent Term Adjustment (PTA) calculation with the Notice of Allowance.

Section 1(h)(2) of the AIA Technical Corrections Act amended 35 U.S.C. 154(b)(3)(B)(i) to eliminate the requirement that the Office provide a patent term adjustment determination with the notice of allowance. See Revisions to Patent Term Adjustment, 78 Fed. Reg. 19416, 19417 (Apr. 1, 2013). Therefore, the Office is no longer providing an initial patent term adjustment determination with the notice of allowance. The Office will continue to provide a patent term adjustment determination with the Issue Notification Letter that is mailed to applicant approximately three weeks prior to the issue date of the patent, and will include the patent term adjustment on the patent. Any request for reconsideration of the patent term adjustment determination (or reinstatement of patent term adjustment) should follow the process outlined in 37 CFR 1.705.

Any questions regarding the Patent Term Extension or Adjustment determination should be directed to the Office of Patent Legal Administration at (571)-272-7702. Questions relating to issue and publication fee payments should be directed to the Customer Service Center of the Office of Patent Publication at 1-(888)-786-0101 or (571)-272-4200.

OMB Clearance and PRA Burden Statement for PTOL-85 Part B

The Paperwork Reduction Act (PRA) of 1995 requires Federal agencies to obtain Office of Management and Budget approval before requesting most types of information from the public. When OMB approves an agency request to collect information from the public, OMB (i) provides a valid OMB Control Number and expiration date for the agency to display on the instrument that will be used to collect the information and (ii) requires the agency to inform the public about the OMB Control Number's legal significance in accordance with 5 CFR 1320.5(b).

The information collected by PTOL-85 Part B is required by 37 CFR 1.311. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 30 minutes to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450. Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

Privacy Act Statement

The Privacy Act of 1974 (P.L. 93-579) requires that you be given certain information in connection with your submission of the attached form related to a patent application or patent. Accordingly, pursuant to the requirements of the Act, please be advised that: (1) the general authority for the collection of this information is 35 U.S.C. 2(b)(2); (2) furnishing of the information solicited is voluntary; and (3) the principal purpose for which the information is used by the U.S. Patent and Trademark Office is to process and/or examine your submission related to a patent application or patent. If you do not furnish the requested information, the U.S. Patent and Trademark Office may not be able to process and/or examine your submission, which may result in termination of proceedings or abandonment of the application or expiration of the patent.

The information provided by you in this form will be subject to the following routine uses:

1. The information on this form will be treated confidentially to the extent allowed under the Freedom of Information Act (5 U.S.C. 552) and the Privacy Act (5 U.S.C. 552a). Records from this system of records may be disclosed to the Department of Justice to determine whether disclosure of these records is required by the Freedom of Information Act.
2. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, in the course of presenting evidence to a court, magistrate, or administrative tribunal, including disclosures to opposing counsel in the course of settlement negotiations.
3. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Member of Congress submitting a request involving an individual, to whom the record pertains, when the individual has requested assistance from the Member with respect to the subject matter of the record.
4. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a contractor of the Agency having need for the information in order to perform a contract. Recipients of information shall be required to comply with the requirements of the Privacy Act of 1974, as amended, pursuant to 5 U.S.C. 552a(m).
5. A record related to an International Application filed under the Patent Cooperation Treaty in this system of records may be disclosed, as a routine use, to the International Bureau of the World Intellectual Property Organization, pursuant to the Patent Cooperation Treaty.
6. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to another federal agency for purposes of National Security review (35 U.S.C. 181) and for review pursuant to the Atomic Energy Act (42 U.S.C. 218(c)).
7. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the Administrator, General Services, or his/her designee, during an inspection of records conducted by GSA as part of that agency's responsibility to recommend improvements in records management practices and programs, under authority of 44 U.S.C. 2904 and 2906. Such disclosure shall be made in accordance with the GSA regulations governing inspection of records for this purpose, and any other relevant (i.e., GSA or Commerce) directive. Such disclosure shall not be used to make determinations about individuals.
8. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the public after either publication of the application pursuant to 35 U.S.C. 122(b) or issuance of a patent pursuant to 35 U.S.C. 151. Further, a record may be disclosed, subject to the limitations of 37 CFR 1.14, as a routine use, to the public if the record was filed in an application which became abandoned or in which the proceedings were terminated and which application is referenced by either a published application, an application open to public inspection or an issued patent.
9. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Federal, State, or local law enforcement agency, if the USPTO becomes aware of a violation or potential violation of law or regulation.

Notice of Allowability	Application No. 16/031,201	Applicant(s) SALAH et al.	
	Examiner SEYED H AZARIAN	Art Unit 2667	AIA (FITF) Status Yes

-- The MAILING DATE of this communication appears on the cover sheet with the correspondence address--

All claims being allowable, PROSECUTION ON THE MERITS IS (OR REMAINS) CLOSED in this application. If not included herewith (or previously mailed), a Notice of Allowance (PTOL-85) or other appropriate communication will be mailed in due course. **THIS NOTICE OF ALLOWABILITY IS NOT A GRANT OF PATENT RIGHTS.** This application is subject to withdrawal from issue at the initiative of the Office or upon petition by the applicant. See 37 CFR 1.313 and MPEP 1308.

1. ☒ This communication is responsive to 3/19/2020.
☐ A declaration(s)/affidavit(s) under **37 CFR 1.130(b)** was/were filed on _____.

2. ☐ An election was made by the applicant in response to a restriction requirement set forth during the interview on _____; the restriction requirement and election have been incorporated into this action.

3. ☒ The allowed claim(s) is/are 1-15. As a result of the allowed claim(s), you may be eligible to benefit from the **Patent Prosecution Highway** program at a participating intellectual property office for the corresponding application. For more information, please see http://www.uspto.gov/patents/init_events/pph/index.jsp or send an inquiry to PPHfeedback@uspto.gov.

4. ☒ Acknowledgment is made of a claim for foreign priority under 35 U.S.C. § 119(a)-(d) or (f).

Certified copies:

a) ☒ All b) ☐ Some *c) ☐ None of the:

1. ☒ Certified copies of the priority documents have been received.

2. ☐ Certified copies of the priority documents have been received in Application No. _____.

3. ☐ Copies of the certified copies of the priority documents have been received in this national stage application from the International Bureau (PCT Rule 17.2(a)).

* Certified copies not received: _____.

Applicant has THREE MONTHS FROM THE "MAILING DATE" of this communication to file a reply complying with the requirements noted below. Failure to timely comply will result in ABANDONMENT of this application.
THIS THREE-MONTH PERIOD IS NOT EXTENDABLE.

5. ☐ CORRECTED DRAWINGS (as "replacement sheets") must be submitted.
☐ including changes required by the attached Examiner's Amendment / Comment or in the Office action of Paper No./Mail Date _____.

Identifying indicia such as the application number (see 37 CFR 1.84(c)) should be written on the drawings in the front (not the back) of each sheet. Replacement sheet(s) should be labeled as such in the header according to 37 CFR 1.121(d).

6. ☐ DEPOSIT OF and/or INFORMATION about the deposit of BIOLOGICAL MATERIAL must be submitted. Note the attached Examiner's comment regarding REQUIREMENT FOR THE DEPOSIT OF BIOLOGICAL MATERIAL.

Attachment(s)

1. ☒ Notice of References Cited (PTO-892)	5. ☐ Examiner's Amendment/Comment
2. ☒ Information Disclosure Statements (PTO/SB/08), Paper No./Mail Date _____.	6. ☒ Examiner's Statement of Reasons for Allowance
3. ☐ Examiner's Comment Regarding Requirement for Deposit of Biological Material _____.	7. ☐ Other _____.
4. ☐ Interview Summary (PTO-413), Paper No./Mail Date. _____.	

/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	
--	--

Notice of Pre-AIA or AIA Status

The present application, filed on or after March 16, 2013, is being examined under the first inventor to file provisions of the AIA.

Response to Amendment

1. Based on applicant's amendment, filed on 3/19/2020, see page 7 through 9, of the remark, with respect to amended claims 1, 4, 6, 10, 13 and newly claims 14-15, have been fully considered and are persuasive, upon further consideration the 35 U.S.C. 112 (b), 35 U.S.C. 112 (a) rejections and rejection of 102(a) (1) for claims 1-15, are hereby withdrawn.

The claims 1-15 are allowed.

REASONS FOR ALLOWANCE

2. The following is an examiner's statement of reasons for allowance.

This invention relates generally, to method for analyzing an image, of a dental arch of a patient, a method in which the analysis image is submitted to a deep learning device, to determine at least one value of a tooth attribute relating to a tooth represented on the analysis image.

Based on applicant's amendment, with respect to claim 1, the closest prior art of record (Kuo), reference is directed to the field of orthodontics. More specifically, the present invention is related to methods and system for providing dynamic orthodontic assessment and treatment profiles, but does not teach or suggest, among other things, "comparison of said image attribute value with a setpoint; sending of an information message as a function of said comparison, the information message being related to the quality of the image acquired, to check whether the analysis image respects the setpoint and, if it does not respect the setpoint, to guide the operator in order for him or her to acquire a new analysis image".

These key features in combination with the other features of the claimed invention are neither taught nor suggested by (Kuo) prior art of record.

Any comments considered necessary by applicant must be submitted no later than the payment of the issue fee and, to avoid processing delays, should preferably accompany the issue fee. Such submissions should be clearly labeled "Comments on Statement of Reasons for Allowance."

Contact Information

3. Any inquiry concerning this communication or earlier communications from the examiner should be directed to Seyed Azarian whose telephone number is (571) 272-7443. The examiner can normally be reached on Monday through Thursday from 6:00 a.m. to 7:30 p.m.

If attempts to reach the examiner by telephone are unsuccessful, the examiner's supervisor, Matthew Bella, can be reached at (571) 272-7778. The fax phone number for the organization where this application or proceeding is assigned is 571-273-8300.

Information regarding the status of an application may be obtained from the Patent Application information Retrieval (PAIR) system. Status information for published application may be obtained from either Private PAIR or Public PAIR.

Status information about the PAIR system, see [http:// pair-direct.uspto.gov](http://pair-direct.uspto.gov). Should you have questions on access to the Private PAIR system, contact the Electronic Business Center (EBC) at 866-217-9197 (toll-free).
/SEYED H AZARIAN/
Primary Examiner, Art Unit 2667
April 18, 2020

<i>Notice of References Cited</i>	Application/Control No. 16/031,201	Applicant(s)/Patent Under Reexamination SALAH et al.	
	Examiner SEYED H AZARIAN	Art Unit 2667	Page 1 of 1

U.S. PATENT DOCUMENTS

*		Document Number Country Code-Number-Kind Code	Date MM-YYYY	Name	CPC Classification	US Classification
*	A	US-20150132708-A1	05-2015	Kuo; Eric E.	A61C7/08	433/24
*	B	US-20050192835-A1	09-2005	Kuo, Eric E.	G16H50/20	705/2
*	C	US-20180168780-A1	06-2018	Kopelman; Avi	A61C19/04	1/1
*	D	US-8879813-B1	11-2014	Solanki; Kaushal Mohanlal	G16H30/20	382/128
*	E	US-20090291417-A1	11-2009	Rubbert; Rudger	A61C7/146	433/215
*	F	US-20170049311-A1	02-2017	Borovinskih; Artem	G06T5/20	1/1
	G					
	H					
	I					
	J					
	K					
	L					
	M					

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

*		Document Number Country Code-Number-Kind Code	Date MM-YYYY	Country	Name	CPC Classification
	N					
	O					
	P					
	Q					
	R					
	S					
	T					

NON-PATENT DOCUMENTS

*		Include as applicable: Author, Title Date, Publisher, Edition or Volume, Pertinent Pages)
	U	
	V	
	W	
	X	

*A copy of this reference is not being furnished with this Office action. (See MPEP § 707.05(a).)

Dates in MM-YYYY format are publication dates. Classifications may be US or foreign.

Search Notes 	Application/Control No. 16/031,201	Applicant(s)/Patent Under Reexamination SALAH et al.
	Examiner SEYED H AZARIAN	Art Unit 2667

CPC - Searched*		
Symbol	Date	Examiner

CPC Combination Sets - Searched*		
Symbol	Date	Examiner
A61C 7/00	12/6/2019	
G06K 9/00	12/6/2019	S.A

US Classification - Searched*			
Class	Subclass	Date	Examiner
382	100,103,106,128,131-132,154-155,162,168,173,181,199,219,224,232,254,285-291,305,318.	12/5/2019	S.A
433	24,215	12/5/2019	S.A
1	1	12/6/2019	S.A
705	2	12/6/2019	S.A

* See search history printout included with this form or the SEARCH NOTES box below to determine the scope of the search.

Search Notes		
Search Notes	Date	Examiner
INVENTOR SEARCH; EAST SEARCH	12/5/2019	S.A
UPDATED SEARCH	04/10/2020	S.A

/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	
--	--

<i>Search Notes</i> 	Application/Control No. 16/031,201	Applicant(s)/Patent Under Reexamination SALAH et al.
	Examiner SEYED H AZARIAN	Art Unit 2667

Interference Search			
US Class/CPC Symbol	US Subclass/CPC Group	Date	Examiner
US-PGPUB	See Interference Search History Print Out.	04/16/2020	S.A
382	219	04/17/2020	S.A
433	24	04/17/2020	S.A

/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	
--	--

Issue Classification 	Application/Control No. 16/031,201	Applicant(s)/Patent Under Reexamination SALAH et al.
	Examiner SEYED H AZARIAN	Art Unit 2667

CPC						
Symbol					Type	Version
G06T	/	7	/	0012	F	2013-01-01
G06T	/	7	/	75	I	2017-01-01
G06T	/	7	/	55	I	2017-01-01
A61C	/	7	/	002	I	2013-01-01
G06T	/	7	/	143	I	2017-01-01
G06T	/	2207	/	30168	A	2013-01-01
G06T	/	2207	/	30036	A	2013-01-01
G06T	/	2207	/	10024	A	2013-01-01

CPC Combination Sets				
Symbol	Type	Set	Ranking	Version
/				

NONE (Assistant Examiner) (Date)		Total Claims Allowed: 15	
/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667 (Primary Examiner) (Date)		18 April 2020	O.G. Print Claim(s) 1
			O.G. Print Figure 10

Issue Classification 	Application/Control No. 16/031,201	Applicant(s)/Patent Under Reexamination SALAH et al.
	Examiner SEYED H AZARIAN	Art Unit 2667

INTERNATIONAL CLASSIFICATION			
CLAIMED			
A61C	/	3	/ 00
G06K	/	9	/ 00

NON-CLAIMED			
/		/	

US ORIGINAL CLASSIFICATION	
CLASS	SUBCLASS
382	128

CROSS REFERENCES(S)						
CLASS	SUBCLASS (ONE SUBCLASS PER BLOCK)					
382	219					
433	24					

NONE		Total Claims Allowed:	
(Assistant Examiner)	(Date)	15	
/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	18 April 2020	O.G. Print Claim(s)	O.G. Print Figure
(Primary Examiner)	(Date)	1	10

Issue Classification 	Application/Control No. 16/031,201	Applicant(s)/Patent Under Reexamination SALAH et al.
	Examiner SEYED H AZARIAN	Art Unit 2667

☐ Claims renumbered in the same order as presented by applicant ☐ CPA ☐ T.D. ☐ R.1.47															
CLAIMS															
Final	Original	Final	Original	Final	Original	Final	Original	Final	Original	Final	Original	Final	Original	Final	Original
1	1	10	10												
2	2	11	11												
6	3	12	12												
3	4	13	13												
4	5	14	14												
7	6	15	15												
5	7														
8	8														
9	9														

NONE (Assistant Examiner) _____ (Date) _____		Total Claims Allowed: 15	
/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667 (Primary Examiner) _____ (Date) 18 April 2020		O.G. Print Claim(s) 1	O.G. Print Figure 10

Letter dated: September 21, 2018

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No. : 16/031,201
Applicant : Philippe SALAH
Filing Date : July 10, 2018
Title : METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
Conf. No. : 8853
Customer No. : 108676
Docket No : N&P-51425

Mail Stop Amendment
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria VA 22313-1450

Letter for Disclosure of Information concerning other pending applications

Sir:

Several patent applications, as listed below, are currently pending. As the applications progress through prosecution, each respective Examiner for each respective application is invited to monitor such progress/activity of the other applications.

Letter dated: September 21, 2018

LISTING OF APPLICATIONS:

N&P-51398 APPL. NO.: 15/952,635

N&P-51399 APPL. NO.: 15/953,561

N&P-51400 APPL. NO.: 15/953,744

N&P-51410 APPL. NO.: 15/990,950

N&P-51411 APPL. NO.: 16/001,049

N&P-51421 APPL. NO.: 16/030,032

N&P-51422 APPL. NO.: 16/030,137

N&P-51423 APPL. NO.: 16/031,125

N&P-51424 APPL. NO.: 16/031,172

N&P-51425 APPL. NO.: 16/031,201

/SEYED H AZARIAN/ 04/18/2020

Letter dated: September 21, 2018

REMARKS/ARGUMENTS

If there are any fees resulting from this communication, please charge same to our Deposit Account No. 505088, our Order No. N&P-51425.

Respectfully submitted,
Cooper Legal Group

By: /Ronald M. Kachmarik/
Ronald M. Kachmarik, Reg. No. 34512

6505 Rockside Road
Suite 330
Cleveland Ohio 44131
(216) 654-0090
September 21, 2018

Letter dated: June 19, 2019

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No. : 16/031,201
 Applicant : Philippe SALAH
 Filing Date : July 10, 2018
 Title : METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
 Examiner Name : Matthew C. Bella
 Group Art Unit : 2667
 Conf. No. : 8853
 Customer No. : 108676
 Docket No : N&P-51425

Mail Stop Amendment
 Commissioner for Patents
 P.O. Box 1450
 Alexandria VA 22313-1450

Letter for Disclosure of Information concerning other pending applications

Sir:

Several patent applications, as listed below, are currently pending. As the applications progress through prosecution, each respective Examiner for each respective application is invited to monitor such progress/activity of the other applications.

Letter dated: June 19, 2019

LISTING OF APPLICATIONS:

APPLICATION NO.: 15/522,554

N&P-51398 APPL. NO.: 15/952,635

N&P-51399 APPL NO.: 15/953,561

N&P-51400 APPL. NO.: 15/953,744

N&P-51410 APPL. NO.: 15/990,950

N&P-51411 APPL. NO.: 16/001,049

N&P-51421 APPL. NO.: 16/030,032

N&P-51422 APPL. NO.: 16/030,137

N&P-51423 APPL. NO.: 16/031,125

N&P-51424 APPL. NO.: 16/031,172

N&P-51425 APPL. NO.: 16/031,201

/SEYED H AZARIAN/

04/18/2020

Letter dated: June 19, 2019

REMARKS/ARGUMENTS

If there are any fees resulting from this communication, please charge same to our Deposit Account No. 505088, our Order No. N&P-51425.

Respectfully submitted,
Cooper Legal Group

By: /Ronald M. Kachmarik/
Ronald M. Kachmarik, Reg. No. 34512

6505 Rockside Road
Suite 330
Cleveland Ohio 44131
(216) 654-0090
June 19, 2019

Doc code: IDS

PTO/SB/08a (01-10)

Doc description: Information Disclosure Statement (IDS) Filed

Approved for use through 07/31/2012. OMB 0651-0031

U.S. Patent and Trademark Office; U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it contains a valid OMB control number.

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)	Application Number		
	Filing Date		
	First Named Inventor	Philippe SALAH	
	Art Unit		
	Examiner Name		
	Attorney Docket Number	N&P-51425	

U.S.PATENTS						
Examiner Initial*	Cite No	Patent Number	Kind Code ¹	Issue Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear
	1	8879813	B1	2014-11-04	Solanki et al.	Col.7, Ln.65-Col.8, Ln.16; Col.33, Ln.65-Col.34, Ln.25; Col.35, Ln.16-Col.37, Ln.15;

If you wish to add additional U.S. Patent citation information please click the Add button.

U.S.PATENT APPLICATION PUBLICATIONS						
Examiner Initial*	Cite No	Publication Number	Kind Code ¹	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear
	1	20080172386	A1	2008-07-17	Ammar et al.	
	2	20170086943	A1	2017-03-30	Mah	
	3	20090191503	A1	2009-07-30	Matov et al.	Corresponds to JP2017-094181
	4	20090291417	A1	2009-11-26	Rubbert et al.	

If you wish to add additional U.S. Published Application citation information please click the Add button.

FOREIGN PATENT DOCUMENTS								
Examiner Initial*	Cite No	Foreign Document Number ³	Country Code ²	Kind Code ⁴	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear	T ⁵

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number		
Filing Date		
First Named Inventor	Philippe SALAH	
Art Unit		
Examiner Name		
Attorney Docket Number	N&P-51425	

1	2016066651	WO	A1	2016-05-06	Salah et al.		☐
2	2017182654	WO	A1	2017-10-26	Salah et al.		☐
3	3027505	FR	A1	2016-04-29	Salah et al.		☐
4	3010629	FR	A1	2015-03-20	Salah et al.	Entire Document	☐
5	2017094181	JP	A	2017-06-01	Matov et al.	See corresponding US 2009/191503;	☐

If you wish to add additional Foreign Patent Document citation information please click the Add button

NON-PATENT LITERATURE DOCUMENTS

Examiner Initials*	Cite No	Include name of the author (in CAPITAL LETTERS), title of the article (when appropriate), title of the item (book, magazine, journal, serial, symposium, catalog, etc), date, pages(s), volume-issue number(s), publisher, city and/or country where published.	T ^s
	1	Corresponding French Application, Application no.: 1756947, French Search Report, dated January 18, 2018, 2 pages	☐
	2	MIKI YUMA ET AL: "classification of teeth in cone-beam CT using deep convolutional neural network" COMPUTERS IN BIOLOGY AND MEDICINE, NEW YORK, NY, US, vol. 80, 12 November 2016 (2016-11-12), pages 24-29, XP02991G769, ISSN: 0010-4825, DOI:10.1016/J.COMPBIOMED.2016. 11.003,	☐
	3	Young-Jun Yu: "Machine Learning for Dental Image Analysis", Arxiv 29 November 2016 (2016-11-29), XP055430578, Extracted from the Internet: URL:https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.09958.pdf [extracted 2018-03-20];	☐
	4	KELWIN FERNANDEZ ET AL: "Teeth/Palate and Interdental Segmentation Using Artificial Neural Networks", 17 September 2012 (2012-09-17), ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN PATTERN RECOGNITION, SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, BERLIN, HEIDELBERG, PAGE(S) 175 - 185, XP047017215, ISBN: 978-3-642-33211-1;	☐

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT

(Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number		
Filing Date		
First Named Inventor	Philippe SALAH	
Art Unit		
Examiner Name		
Attorney Docket Number	N&P-51425	

5	LIN P L ET AL: "An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using teeth region and contour information", PATTERN RECOGNITION, ELSEVIER, GB, vol. 43, no. 4, 1 April 2010 (2010-04-01), pages 1380-1392, XP026870003, ISSN: 0031-3203 [extracted 2009-11-11];	☐
6	Vinicius Tragante ET AL: "Knowledge discovery in panoramic X-rays for postmortem identification", Researchgate, 1 January 2010 (2010-01-01), pages 1-9, XP055462269, Extracted from the Internet; URL:https://www.researchgate.net/profile/Vinicius_Tragante/publication/267821630_Knowledge_discovery_in_panoramic_X-rays_for_postmortem_identification/links/54f479df0cf299c8d9e77caf/Knowledge-discovery-in-panoramic-X-rays-for-postmortem-identification.pdf; [extracted 2018-03-23];	☐
7	Anonymous: "Towards a Smart Healthcare System for Orthodontic and Dental Treatment Smart Healthcare System", 1 January 2016 (2016-01-01), XP055442068, Extracted from the internet URL:http://sc.cmc.osaka-u.ac.jp/wp1/wp-content/uploads/2016/11/sc16_poster_part6.pdf [extracted 2018-01-18]; Entire Document	☐
8	Ben Ali Ramzi ET AL: "Detection and Classification of Dental Caries in X-ray Images Using Deep Neural Networks", Proceedings of ICSEA 2016 : The Eleventh International Conference on Software Engineering Advances, 21 August 2016 (2016-08-21), pages 223-227, XP055442275, New York, Extracted from the Internet, URL:https://pdfs.semanticscholar.org/4536/de69054143f85bb5089a8957f16be1eb0c3a.pdf?ga=2.60511401.567907993.1516282794-945231696.1516282794, [extracted 2018-01-18]; Abstract; Figs.1-3;	☐
9	MIKI YUMA ET AL: "Tooth labeling in cone-beam CT using deep convolutional neural network for forensic identification", PROGRESS IN BIOMEDICAL OPTICS AND IMAGING, SPIE - INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, BELLINGHAM, WA, US, vol. 10134, 3 March 2017 (2017-03-03), pages 101343E-101343E, XP060086665, ISSN: 1605-7422, DOI: 10.1117/12.2254332, ISBN: 978-1-5106-0027-0; Entire Document	☐
10	Young-Jun Yu: "Machine Learning for Dental Image Analysis", 29 November 2016 (2016-11-29), XP055430578, Extracted from the Internet: URL:https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.09958.pdf [extracted 2018-03-22]	☐

If you wish to add additional non-patent literature document citation information please click the Add button

EXAMINER SIGNATURE

Examiner Signature	/SEYED H AZARIAN/	Date Considered	04/18/2020
--------------------	-------------------	-----------------	------------

*EXAMINER: Initial if reference considered, whether or not citation is in conformance with MPEP 609. Draw line through a citation if not in conformance and not considered. Include copy of this form with next communication to applicant.

¹ See Kind Codes of USPTO Patent Documents at www.USPTO.GOV or MPEP 901.04. ² Enter office that issued the document, by the two-letter code (WIPO Standard ST.3). ³ For Japanese patent documents, the indication of the year of the reign of the Emperor must precede the serial number of the patent document. ⁴ Kind of document by the appropriate symbols as indicated on the document under WIPO Standard ST.16 if possible. ⁵ Applicant is to place a check mark here if English language translation is attached.

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number		
Filing Date		
First Named Inventor	Philippe SALAH	
Art Unit		
Examiner Name		
Attorney Docket Number	N&P-51425	

CERTIFICATION STATEMENT

Please see 37 CFR 1.97 and 1.98 to make the appropriate selection(s):

☐ That each item of information contained in the information disclosure statement was first cited in any communication from a foreign patent office in a counterpart foreign application not more than three months prior to the filing of the information disclosure statement. See 37 CFR 1.97(e)(1).

OR

☐ That no item of information contained in the information disclosure statement was cited in a communication from a foreign patent office in a counterpart foreign application, and, to the knowledge of the person signing the certification after making reasonable inquiry, no item of information contained in the information disclosure statement was known to any individual designated in 37 CFR 1.56(c) more than three months prior to the filing of the information disclosure statement. See 37 CFR 1.97(e)(2).

☐ See attached certification statement.

☐ The fee set forth in 37 CFR 1.17 (p) has been submitted herewith.

☒ A certification statement is not submitted herewith.

SIGNATURE

A signature of the applicant or representative is required in accordance with CFR 1.33, 10.18. Please see CFR 1.4(d) for the form of the signature.

Signature	/Ronald M. Kachmarik/	Date (YYYY-MM-DD)	2018-07-10
Name/Print	Ronald M. Kachmarik	Registration Number	34512

This collection of information is required by 37 CFR 1.97 and 1.98. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 1 hour to complete, including gathering, preparing and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. **DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.**

Privacy Act Statement

The Privacy Act of 1974 (P.L. 93-579) requires that you be given certain information in connection with your submission of the attached form related to a patent application or patent. Accordingly, pursuant to the requirements of the Act, please be advised that: (1) the general authority for the collection of this information is 35 U.S.C. 2(b)(2); (2) furnishing of the information solicited is voluntary; and (3) the principal purpose for which the information is used by the U.S. Patent and Trademark Office is to process and/or examine your submission related to a patent application or patent. If you do not furnish the requested information, the U.S. Patent and Trademark Office may not be able to process and/or examine your submission, which may result in termination of proceedings or abandonment of the application or expiration of the patent.

The information provided by you in this form will be subject to the following routine uses:

1. The information on this form will be treated confidentially to the extent allowed under the Freedom of Information Act (5 U.S.C. 552) and the Privacy Act (5 U.S.C. 552a). Records from this system of records may be disclosed to the Department of Justice to determine whether the Freedom of Information Act requires disclosure of these records.
2. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, in the course of presenting evidence to a court, magistrate, or administrative tribunal, including disclosures to opposing counsel in the course of settlement negotiations.
3. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Member of Congress submitting a request involving an individual, to whom the record pertains, when the individual has requested assistance from the Member with respect to the subject matter of the record.
4. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a contractor of the Agency having need for the information in order to perform a contract. Recipients of information shall be required to comply with the requirements of the Privacy Act of 1974, as amended, pursuant to 5 U.S.C. 552a(m).
5. A record related to an International Application filed under the Patent Cooperation Treaty in this system of records may be disclosed, as a routine use, to the International Bureau of the World Intellectual Property Organization, pursuant to the Patent Cooperation Treaty.
6. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to another federal agency for purposes of National Security review (35 U.S.C. 181) and for review pursuant to the Atomic Energy Act (42 U.S.C. 218(c)).
7. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the Administrator, General Services, or his/her designee, during an inspection of records conducted by GSA as part of that agency's responsibility to recommend improvements in records management practices and programs, under authority of 44 U.S.C. 2904 and 2906. Such disclosure shall be made in accordance with the GSA regulations governing inspection of records for this purpose, and any other relevant (i.e., GSA or Commerce) directive. Such disclosure shall not be used to make determinations about individuals.
8. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the public after either publication of the application pursuant to 35 U.S.C. 122(b) or issuance of a patent pursuant to 35 U.S.C. 151. Further, a record may be disclosed, subject to the limitations of 37 CFR 1.14, as a routine use, to the public if the record was filed in an application which became abandoned or in which the proceedings were terminated and which application is referenced by either a published application, an application open to public inspections or an issued patent.
9. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Federal, State, or local law enforcement agency, if the USPTO becomes aware of a violation or potential violation of law or regulation.

EAST Search History

EAST Search History (Prior Art)

Ref #	Hits	Search Query	DBs	Default Operator	Plurals	Time Stamp
L1	1	(IMAG\$3 AND DENTAL\$3 AND ARCH\$3 AND PATIEN\$3 AND DEEP\$3 AND LEARN\$4 AND COMPAR\$5 AND OPERAT\$4 AND SETPOIN\$3 AND MESSAG\$3).CLM.	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/04/18 11:42

4/18/2020 11:44:15 AM



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
 Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
 P.O. Box 1450
 Alexandria, Virginia 22313-1450
 www.uspto.gov

BIB DATA SHEET

CONFIRMATION NO. 8853

SERIAL NUMBER	FILING or 371(c) DATE RULE	CLASS	GROUP ART UNIT	ATTORNEY DOCKET NO.		
16/031,201	07/10/2018	382	2667	N&P-51425		
APPLICANTS DENTAL MONITORING, Paris, FRANCE INVENTORS Philippe SALAH, Bagnolet, FRANCE; Thomas Pellissard, Clichy, FRANCE; Guillaume Ghyselinck, Cantin, FRANCE; Laurent Debraux, Paris, FRANCE; ** CONTINUING DATA ***** ** FOREIGN APPLICATIONS ***** FRANCE 1756947 07/21/2017 ** IF REQUIRED, FOREIGN FILING LICENSE GRANTED ** 07/25/2018						
Foreign Priority claimed ☒ Yes ☐ No 35 USC 119(a-d) conditions met ☒ Yes ☐ No Verified and Acknowledged <u>/SEYED H AZARIAN/</u> Examiner's Signature		☐ Met after Allowance S.A Initials	STATE OR COUNTRY FRANCE	SHEETS DRAWINGS 11	TOTAL CLAIMS 13	INDEPENDENT CLAIMS 1
ADDRESS Ronald M. Kachmarik Cooper Legal Group LLC 6505 Rockside Rd. Suite 330 Independence, OH 44131 UNITED STATES						
TITLE METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH						
FILING FEE RECEIVED 1880	FEES: Authority has been given in Paper No. _____ to charge/credit DEPOSIT ACCOUNT No. _____ for following:			☐ All Fees ☐ 1.16 Fees (Filing) ☐ 1.17 Fees (Processing Ext. of time) ☐ 1.18 Fees (Issue) ☐ Other _____ ☐ Credit		



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
www.uspto.gov

APPLICATION NO.	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR	ATTORNEY DOCKET NO.	CONFIRMATION NO.
16/031,201	07/10/2018	Philippe SALAH	N&P-51425	8853
108676	7590	06/18/2020		
Ronald M. Kachmarik Cooper Legal Group LLC 6505 Rockside Rd. Suite 330 Independence, OH 44131			EXAMINER AZARIAN, SEYED H	
			ART UNIT 2667	PAPER NUMBER
			NOTIFICATION DATE 06/18/2020	DELIVERY MODE ELECTRONIC

Please find below and/or attached an Office communication concerning this application or proceeding.

The time period for reply, if any, is set in the attached communication.

Notice of the Office communication was sent electronically on above-indicated "Notification Date" to the following e-mail address(es):

patdoc@cooperlegalgroup.com



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Commissioner for Patents
United States Patent and Trademark Office
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450
www.uspto.gov

Application No. : 16031201
Applicant : Salah
Filing Date : 07/10/2018
Date Mailed : 06/18/2020

NOTICE TO FILE CORRECTED APPLICATION PAPERS

Notice of Allowance Mailed

This application has been accorded an Allowance Date and is being prepared for issuance. The application, however, is incomplete for the reasons below.

Applicant is given two (2) months from the mail date of this Notice within which to respond. This time period for reply is extendable under 37 CFR 1.136(a) for only TWO additional MONTHS.

The informalities requiring correction are indicated in the attachment(s). If the informality pertains to the abstract, specification (including claims) or drawings, the informality must be corrected with an amendment in compliance with 37 CFR 1.121 (or, if the application is a reissue application, 37 CFR 1.173). Such an amendment may be filed after payment of the issue fee if limited to correction of informalities noted herein. See Waiver of 37 CFR 1.312 for Documents Required by the Office of Patent Publication, 1280 Off. Gaz. Patent Office 918 (March 23, 2004). In addition, if the informality is not corrected until after payment of the issue fee, for purposes of 35 U.S.C. 154(b)(1)(iv), “all outstanding requirements” will be considered to have been satisfied when the informality has been corrected. A failure to respond within the above-identified time period will result in the application being ABANDONED.

See attachment(s).

*A copy of this notice **MUST** be returned with the reply. Please address response to
“Mail Stop Issue Fee, Commissioner for Patents,
P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450”.*

/Daxa Patel/
Publication Branch
Office of Data Management
(571) 272-4200

Application No. 16031201

SPECIFICATION NOT IN COMPLIANCE WITH 37 CFR 1.52(b)(5)

The pages of the specification document coded SPEC dated 09/19/2018 have not been numbered. Per 37 CFR 1.52(b)(5), “the pages of the specification including claims and abstract must be numbered consecutively, beginning with 1, the numbers being centrally located above or preferably below, the text.” In response to this notice, the applicant must submit a substitute specification in which the pages are so numbered.

NOTE: Although 37 CFR 1.52(b)(5) refers to page numbering for “the specification including claims and abstract,” any abstract or claims submitted in response to this notice will not be entered. Only the substitute specification, and any amendment thereto entered during prosecution, will be entered.

Appln. No. 16/031,201
Amendment dated June 18, 2020
Reply to Notice mailed: June 18, 2020

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No. : 16/031,201
Filed : July 10, 2018
Applicant : Philippe Salah
Title : "METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH"

TC/A.U. : 2667
Examiner : Seyed H. Azarian
Conf. No. : 8553

Customer No.: 108676
Docket No.: : N&P-51425

Mail Stop Applications
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

AMENDMENT "D" UNDER 37 CFR 1.312
AMENDMENT AFTER NOTICE OF ALLOWANCE
TO COMPLY WITH NOTICE

Sir:

This is in response to the Notice to File Corrected Application Papers dated June 18, 2020. The two-month period for responding expires on August 18, 2020. Please amend the above-identified application as follows:

Amendments to the Specification begin on page 2 of this paper.

Remarks begin on page 3 of this paper.

METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Technical field

The present invention relates to the field of dental arch image analysis.

5 **State of the art**

The most recent orthodontic treatments use images to assess the therapeutic situations. This assessment is conventionally performed by an orthodontist, which requires the patient to transmit these images to the orthodontist, even to make an appointment.

10 There is an ongoing need for a method simplifying the analysis of the images of dental arches of patients.

One aim of the invention is to address this need.

Summary of the invention

15 The invention proposes a method for analyzing an image, called “analysis image”, of a dental arch of a patient, a method in which the analysis image is submitted to a deep learning device, preferably a neural network, in order to determine at least one value of a tooth attribute relating to a tooth represented on the analysis image, and/or at least one value of an image attribute relating to the analysis image.

Analysis by tooth

20 The invention proposes in particular a method for detailed analysis of an image called “analysis image” of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- 1) creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or “historical images”, each historical image comprising one or more zones each representing a tooth, or “historical tooth zones”, to each of which, for at least one tooth attribute, a tooth attribute value is assigned;
- 25 2) training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;

- 3) submission of the analysis image to said at least one deep learning device for it to determine at least one probability relating to an attribute value of at least one tooth represented on a zone representing, at least partially, said tooth in the analysis image, or “analysis tooth zone”;
- 5 4) determination, as a function of said probability, of the presence of a tooth of said arch at a position represented by said analysis tooth zone, and of the attribute value of said tooth.

A first deep learning device, preferably a neural network, may in particular be implemented to assess a probability relating to the presence, at a location of said analysis image, of an analysis tooth zone.

10

A second deep learning device, preferably a neural network, may in particular be implemented to assess a probability relating to the type of tooth represented in an analysis tooth zone.

As will be seen in more detail hereinafter in the description, a detailed analysis method according to the invention advantageously makes it possible to immediately recognize the content of the analysis image.

15

The analysis image may advantageously be classified automatically. It may also be used immediately by a computer program.

The invention relies on the use of a deep learning device, preferably a neural network, the performance of which is directly linked to the richness of the learning base. There is therefore also a need for a method that makes it possible to rapidly enrich the learning base.

20

The invention therefore relates also to a method for enriching a learning base, notably intended for the implementation of a detailed analysis method according to the invention, said enrichment method comprising the following steps:

- 25 A) at an “updated” instant, production of a model of a dental arch of a patient, or “updated reference model”, and segmentation of the updated reference model so as to produce, for each tooth, a “tooth model”, and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
- 30 B) preferably less than 6 months, preferably less than 2 months, preferably less than 1 month, preferably less than a fortnight, preferably less than 1 week, preferably less than 1 day before or after the updated instant, preferably substantially at the updated

instant, acquisition of at least one, preferably at least three, preferably at least ten, preferably at least one hundred images of said arch, or “updated images” in respective real acquisition conditions;

- 5 C) for each updated image, search for virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions, and acquisition of said reference image;
- 10 D) identification, in the reference image, of at least one zone representing a tooth model, or “reference tooth zone”, and, by comparison of the updated image and of the reference image, determination, in the updated image, of a zone representing said tooth model, or “updated tooth zone”;
- E) assignment, to said updated tooth zone, of the tooth attribute value or values of said tooth model;
- 15 F) addition of the updated image enriched with a description of said updated tooth zone and its tooth attribute value or values, or “historical image”, in the learning base.

In particular, each execution of the method described in WO 2016/066651 preferably generates more than three, more than ten, preferably more than one hundred updated images which, by an automated processing by means of the updated reference model, may produce as many historical images.

- 20 In a particular embodiment, the method for enriching a learning base comprises, in place of the steps A) to C), the following steps:

- 25 A') at an initial instant, production of a model of a dental arch of a patient, or “initial reference model”, and segmentation of the initial reference model so as to produce, for each tooth, a “tooth model”, and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
- B') at an updated instant, for example spaced apart by more than a fortnight, preferably more than a month, even more than two months from the initial instant, acquisition of at least one, preferably at least three, preferably at least ten, preferably at least one hundred images of said arch, or “updated images”, in respective real acquisition conditions;
- 30 C') for each updated image, search, by deformation of the initial reference model, for an updated reference model and virtual acquisition conditions suitable for an acquisition

of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions.

This method advantageously makes it possible, after generation of the initial reference model, preferably by means of a scanner, to enrich the learning base at different updated
5 instants, without it being necessary to perform a new scan, and therefore without the patient having to go to the orthodontist. He or she may in fact acquire the updated images him or herself, as described in WO 2016/066651.

A single orthodontic treatment may thus lead to the production of hundreds of historical images.

10 The invention relates also to a method for training a deep learning device, preferably a neural network, comprising an enrichment of a learning base according to the invention, then the use of said learning base to train the deep learning device.

Global analysis

The detailed analysis method described above advantageously allows for a fine analysis of
15 the analysis image, the situation of each being preferably assessed.

Alternatively, the deep learning device may be used globally, the learning base containing historical images whose description provides a global attribute value for the image. In other words, the value of the image attribute relates to the whole image and not to part of the image. The attribute is not then a “tooth” attribute, but is an “image” attribute. For example,
20 this image attribute may define whether, in light of the image as a whole or of a part of the image, the dental situation “is pathological” or “is not pathological”, without each tooth being examined. The image attribute also makes it possible to detect, for example, whether the mouth is open or closed, or, more generally, whether the image is suitable for a subsequent treatment, for example whether it makes it possible to monitor the occlusion.

25 The image attribute may in particular relate to

- a position and/or an orientation and/or a calibration of an acquisition apparatus used to acquire said analysis image, and/or
- a quality of the analysis image, and in particular relating to the brightness, to the contrast or to the sharpness of the analysis image, and/or

- the content of the analysis image, for example to the representation of the arches, of the tongue, of the mouth, of the lips, of the jaws, of the gums, of one or more teeth or of a dental, preferably orthodontic, appliance.

When the image attribute refers to the content of the image, the description of the historical
5 images of the learning base specifies a characteristic of this content. For example, it may specify the position of the tongue (for example “retracted”) or the opening of the mouth of the patient (for example mouth open or closed) or the presence of a representation of a dental, preferably orthodontic, appliance and/or of its condition (for example appliance intact, broken or damaged).

10 A tooth attribute value may be used to define a value for an image attribute. For example, if a value of a tooth attribute is “tooth decayed”, the value of an image attribute may be “unsatisfactory dental situation”.

The image attribute may in particular relate to a therapeutic situation.

The invention proposes a method for global analysis of an analysis image of a dental arch of
15 a patient, said method comprising the following steps:

- 1') creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or “historical images”, each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or “image attribute value”;
- 2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means
20 of the learning base;
- 3') submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value, and determination, as a function of said probability, of a value for said image attribute for the analysis image.

25 The image attribute may in particular relate to the orientation of the acquisition apparatus upon the acquisition of the analysis image. It may for example take the values “front photo”, “left photo” and “right photo”.

The image attribute may also relate to the quality of the image. It may for example take the values “insufficient contrast” and “acceptable contrast”.

30 The image attribute may also relate to the dental situation of the patient, for example relate to the presence of decay or to the condition of a dental, preferably orthodontic, appliance

worn by the patient (“degraded” or “in good condition” for example) or to the suitability of the dental, preferably orthodontic, appliance to the treatment of the patient (for example “unsuitable” or “suitable”).

5 The image attribute may also relate to the “presence” or “absence” of a dental, preferably orthodontic, appliance, or to the state of opening of the mouth (“mouth open”, “mouth closed” for example).

As will be seen in more detail hereinafter in the description, a global image analysis method according to the invention advantageously makes it possible to immediately and globally assess the content of the analysis image. In particular, it is possible to globally assess a dental
10 situation and, for example, deduce therefrom the need to consult an orthodontist.

Definitions

A “patient” is a person for whom a method according to the invention is implemented, independently of whether or not this person is following an orthodontic treatment.

“Orthodontist” should be understood to mean any person qualified to provide dental care
15 services, which also includes a dentist.

A “dental part”, in particular “orthodontic part”, should be understood to mean all or part of a dental, in particular orthodontic, appliance.

An orthodontic part may in particular be an orthodontic aligner. Such an aligner extends in such a way as to follow the successive teeth of the arch on which it is fixed. It defines a
20 generally “U” shaped channel, the shape of which is determined to ensure the fixing of the aligner onto the teeth, but also as a function of a desired target positioning for the teeth. More specifically, the shape is determined in such a way that, when the aligner is in its service position, it exerts stresses tending to move the teeth being treated to their target positioning, or to hold the teeth in this target positioning.

25 The “service position” is the position in which the dental or orthodontic part is worn by the patient.

“Model” should be understood to be a digital three-dimensional model. An arrangement of tooth models is therefore a model.

“Image” should be understood to be an image in two dimensions, like a photograph or an
30 image taken from a film. An image is formed by pixels.

A “reference image” is a view of a “reference” model.

“Image of an arch” or “model of an arch” should be understood to be a representation of all or part of said arch. Such a representation is preferably in colors.

5 The “acquisition conditions” of an image specify position and the orientation in space of an acquisition apparatus acquiring this image in relation to the teeth of the patient (real acquisition conditions) or to a model of teeth of the patient (virtual acquisition conditions), and preferably the calibration of this acquisition apparatus. Acquisition conditions are said to be “virtual” when they correspond to a simulation in which the acquisition apparatus would be in said acquisition conditions (theoretical positioning and preferably calibration of
10 the acquisition apparatus) relative to a model.

In virtual conditions of acquisition of a reference image, the acquisition apparatus may be also qualified as “virtual”. The reference image is in fact acquired by a hypothetical acquisition apparatus, having the characteristics of the “real” acquisition apparatus used for the acquisition of the real images, and in particular of the updated images.

15 The “calibration” of an acquisition apparatus is made up of all the values of the calibration parameters. A “calibration parameter” is a parameter intrinsic to the acquisition apparatus (unlike its position and orientation) whose value influences the image acquired. Preferably, the calibration parameters are chosen from the group formed by the diaphragm aperture, the exposure time, the focal distance and the sensitivity.

20 A “discriminating information item” is a characteristic feature which may be extracted from an image (“*image feature*”), conventionally by computer processing of this image.

A discriminating information item may exhibit a variable number of values. For example, a contour feature may be equal to 1 or 0 depending on whether a pixel belongs or does not belong to a contour. A brightness feature may take a large number of values. The processing
25 of the image makes it possible to extract and quantify the discriminating information item.

The discriminating information item may be represented in the form of a “map”. A map is thus the result of a processing of an image in order to reveal the discriminating information item, for example the contour of the teeth and of the gums.

“Match” or “fit” between two objects designates a measurement of the difference between these two objects. A match is maximal (“*best fit*”) when it results from an optimization making it possible to minimize said difference.

An object modified to obtain a maximum match may be qualified as “optimal” object.

- 5 Two images or “views” which exhibit a maximal match represent substantially at least one same tooth, in the same way. In other words, the representations of the tooth on these two images may be substantially superimposed.

The search for a reference image exhibiting a maximal match with an updated image is performed by searching for the virtual acquisition conditions of the reference image
10 exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions of the updated image.

By extension, a model exhibits a maximal match with an image when this model has been chosen from several models because it allows a view exhibiting a maximal match with said image and/or when this image has been chosen from several images because it exhibits a maximal match with a view of said model.

- 15 In particular, an updated image is in maximal match with a reference model when a view of this reference model provides a reference image showing a maximal match with the updated image.

The comparison between two images results preferably from the comparison of two corresponding maps. “Distance” is used conventionally to denote a measurement of the
20 difference between two maps or between two images.

The “metaheuristic” methods are known optimization methods. They are preferably chosen from the group formed by

- evolutionary algorithms, preferably chosen from: evolution strategies, genetic algorithms, differential evolution algorithms, distribution estimation algorithms,
25 artificial immunity systems, shuffled complex evolution path recomposition, simulated annealing, ant colony algorithms, particular swarm optimization algorithms, search with taboos, and the GRASP method;
- the kangaroo algorithm,
- the Fletcher and Powell method,
- 30 – the sound effects method,
- stochastic tunneling,

- random-restart hill climbing,
- the cross-entropy method, and
- the hybrid methods between the abovementioned metaheuristic methods.

5 “Description” of an image denotes information particularly relating to the definition of the tooth zones of this image and to the tooth attribute values which are associated with them, and/or relating to an image attribute value of said image. The number of possible values for a tooth attribute or an image attribute is unlimited.

A “historical” image is an image of a dental arch enriched with a description. The tooth zones of a historical image are qualified as “historical tooth zones”.

10 “Comprising” or “including” or “exhibiting” should be interpreted without restriction, unless indicated otherwise.

Brief description of the figures

Other features and advantages of the invention will become more apparent on reading the following detailed description and studying the attached drawing in which:

- 15 - figure 1 represents, schematically, the different steps of a method for detailed analysis of an image, according to the invention;
- figure 2 represents, schematically, the different steps of a method for enriching a learning base, according to the invention;
- figure 3 represents, schematically, the different steps of a variant of a method for enriching a learning base, according to the invention;
- 20 - figure 4 represents, schematically, the different steps of a method for global analysis of an image, according to the invention;
- figure 5 represents, schematically, the different steps of a step C) of a method for enriching a learning base, according to the invention;
- 25 - figures 6 and 18 represent, schematically, the different steps of a method for modeling the dental arch of a patient, according to the invention;
- figure 7 represents, schematically, the different steps of a method for assessing a dental situation of a patient, according to the invention;
- figure 8 represents, schematically, the different steps of a method for acquiring an image of a dental arch of a patient, according to the invention;
- 30

- figure 9 represents, schematically, the different steps of a method for assessing the shape of an orthodontic aligner of a patient, according to the invention;
- figure 10 represents an example of a reference image of an initial reference model;
- figure 11 (11A-11D) illustrates a way of processing to determine the tooth models in an initial reference model, as described in WO 2016 066651, with figure 11A representing a reference image, figure 11B representing a corresponding reference map, figure 11C representing a map relating to the contour of the teeth, and figure 11D representing a segmented reference model;
- figure 12 (12A-12D) illustrates the acquisition of an image by means of a retractor, an operation of cropping of this image, and the processing of an updated image making it possible to determine the contour of the teeth, as described in WO 2016 066651, with figure 12A illustrating the use of a dental retractor, figures 12B and 12C representing an updated image, and figure 12D representing an updated map relating to the contour of the teeth obtained from the updated image of figure 12C;
- figure 13 schematically illustrates the relative position of registration marks 12 of a retractor 10 on updated images 14₁ and 14₂, according to the directions of observation represented by broken lines;
- figures 14 and 15 represent an orthodontic aligner, in perspective and plan views, respectively;
- figure 16 illustrates the step e) described in WO 2016 066651;
- figure 17 (17A-17C) illustrates an enrichment method according to the invention, with figure 17A showing an example of updated image, figure 17B showing the reference image exhibiting a maximal match with the updated image, and figure 17C illustrating the transfer of the tooth numbers to the updated tooth zones; and
- figure 18 is described above with figure 6.

Detailed description

A detailed analysis method according to the invention requires the creation of a learning base. This creation preferably implements a method comprising the steps A) to F), or, in one embodiment, in place of the steps A) to C), preferably the steps A') to C').

First main embodiment of the enrichment method

The step A) is intended for the production of an updated reference model modeling an arch of the patient. It preferably comprises one or more of the features of the step a) of WO 2016 066651, incorporated by reference, to produce an initial reference model.

The updated reference model is preferably created with a 3D scanner. Such a so-called “3D” model may be observed from any angle. An observation of the model, from a determined angle and distance, is called a “view” or “reference image”.

Figure 11A is an example of reference image.

The updated reference model may be prepared from measurements performed on the teeth of the patient or on a molding of his or her teeth, for example a plaster molding.

- 10 For each tooth, from the updated reference model, a model of said tooth, or “tooth model”, is defined (figure 11D). This operation, known per se, is called “segmentation” of the updated reference model.

- 15 In the updated reference model, a tooth model is preferably delimited by a gingival margin which may be broken down into an interior gingival margin (of the side of the interior of the mouth relative to the tooth), an exterior gingival margin (oriented toward the outside of the mouth relative to the tooth) and two lateral gingival margins.

One or more tooth attributes are associated with the tooth models as a function of the teeth that they model.

- 20 The tooth attribute is preferably chosen from a tooth number, a tooth type, a tooth shape parameter, for example a tooth width, in particular a mesio-palatine width, a thickness, a crown height, an index of mesial and distal deflection of the incisive margin, or a level of abrasion, a tooth appearance parameter, in particular a translucency index or a color parameter, a parameter relating to the condition of the tooth, for example “abraded”, “broken”, “decayed” or “fitted” (that is to say in contact with a dental, preferably
25 orthodontic, appliance), an age for the patient, or a combination of these attributes. A tooth attribute is preferably an attribute which only relates to the tooth modeled by the tooth model.

A tooth attribute value may be assigned to each tooth attribute of a particular tooth model.

- For example, the “tooth type” tooth attribute will have the value “incisor”, “canine” or “molar” depending on whether the tooth model is that of an incisor, of a canine or of a molar,
30 respectively.

The assignment of the tooth attribute values to the tooth models may be manual or, at least partly, automatic. For example, if the value of a tooth attribute is identical whatever the tooth model, such as for the “age of the patient” tooth attribute, it may be sufficient to assign a value to one tooth model to determine the value of this attribute for the other tooth models.

- 5 Similarly, the tooth numbers are conventionally assigned according to a standard rule. It is therefore sufficient to know this rule and the number of a tooth modeled by a tooth model to calculate the numbers of the other tooth models.

In a preferred embodiment, the shape of a particular tooth model is analyzed so as to define its tooth attribute value, for example its number. This shape recognition is preferably
10 performed by means of a deep learning device, preferably a neural network. Preferably, a library of historical tooth models is created, each historical tooth model having a value for the tooth attribute, as described hereinbelow (step a)), the deep learning device is trained with views of the historical tooth models of this library, then one or more views of the particular tooth model are analyzed with the trained deep learning device, so as to determine
15 the tooth attribute value of said particular tooth model.

The allocation of the tooth attribute values may then be performed totally without human intervention.

The step B) is intended for the acquisition of one or preferably several updated images.

The step B) preferably comprises one or more of the features of the step b) of
20 WO 2016 066651.

The acquisition of the updated images is performed by means of an image acquisition apparatus, preferably chosen from a cellphone, a so-called “connected” camera, a so-called “smart” watch, a tablet or a personal computer, fixed or portable, comprising an image acquisition system such as a webcam or a camera. Preferably, the image acquisition
25 apparatus is a cellphone.

Also preferably, the image acquisition apparatus is separated from the dental arch by more than 5 cm, more than 8 cm, even more than 10 cm, which avoids the condensation of steam on the optic of the image acquisition apparatus and facilitates the focusing. Furthermore, preferably, the image acquisition apparatus, in particular the cellphone, has no specific optic
30 for the acquisition of the updated images, which is notably possible because of the separation of the dental arch during the acquisition.

Preferably, an updated image is a photograph or an image extracted from a film. It is preferably in color, preferably in real colors.

Preferably, the acquisition of the updated image or images is performed by the patient, preferably without the use of a support which is bearing on the ground and is immobilizing the image acquisition apparatus, and in particular without tripod.

In one embodiment, the triggering of the acquisition is automatic, that is to say without the action of an operator, as soon as the acquisition conditions are approved by the image acquisition apparatus, in particular when the image acquisition apparatus has determined that it observes a dental arch and/or a retractor and that the conditions of observation are satisfactory (sharpness, brightness, even dimensions of the representation of the dental arch and/or of the retractor).

The time interval between the steps A) and B) is as short as possible in order for the teeth not to be substantially displaced between the production of the updated model and the acquisition of the updated images. Reference images matching with the updated images may then be acquired by observing the updated reference model.

Preferably, a dental retractor 10 is used in the step B), as represented in figure 12A. The retractor conventionally comprises a support provided with a rim extending around an opening and arranged in such a way that the lips of the patient may rest thereon leaving the teeth of the patient apparent through said opening.

In the step C), the updated reference model is explored to find, for each updated image, a reference image exhibiting a maximal match with the updated image.

The step C) may comprise one or more of the features of the steps c), d) and e) of WO 2016 066651, in as much as they concern such an exploration.

For each updated image, a set of virtual acquisition conditions approximating the real acquisition conditions upon the acquisition of said updated image is preferably determined, roughly. In other words, the position of the image acquisition apparatus is estimated in relation to the teeth at the moment when it took the updated image (position of the acquisition apparatus in space and orientation of this apparatus). This rough assessment advantageously makes it possible to limit the number of tests on virtual acquisition conditions in subsequent operations, and therefore makes it possible to considerably speed up these operations.

To perform this rough assessment, one or more heuristic rules are preferably used. For example, preferably, virtual acquisition conditions likely to be tested in subsequent operations, the conditions which correspond to a position of the image acquisition apparatus behind the teeth or at a distance from the teeth greater than 1 m, are excluded.

- 5 In a preferred embodiment, as illustrated in figure 13, registration marks are used that are represented on the updated image, and in particular registration marks 12 of the retractor, to determine a region of the space that is substantially conical delimiting virtual acquisition conditions likely to be tested in subsequent operations, or “test cone”.

More specifically, at least three registration marks 12 are preferably positioned non-aligned
10 on the retractor 10, and their relative positions on the retractor are accurately measured.

The registration marks are then marked on the updated image, as described previously. Simple trigonometric calculations make it possible to determine approximately the direction from which the updated image was taken.

Next, for each updated image, a reference image is sought that exhibits a maximum match
15 with the updated image. This search is preferably performed by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

Preferably, at any instant before the step C4), the updated image is analyzed so as to produce an updated map representing, at least partially, a discriminating information item. The updated map therefore represents the discriminating information item in the reference frame
20 of the updated image.

The discriminating information item is preferably chosen from the group consisting of a contour information item, a color information item, a density information item, a distance information item, a brightness information item, a saturation information item, information on reflections and combinations of these information items.

- 25 A person skilled in the art knows how to process an updated image to reveal the discriminating information item.

For example, figure 12D is an updated map relating to the contour of the teeth obtained from the updated image of figure 12B.

Said search comprises the following steps:

- 30 C1) determination of virtual acquisition conditions “to be tested”;

- 5 C2) production of a reference image of the updated reference model in
said virtual acquisition conditions to be tested;
- C3) processing of the reference image to produce at least one reference
map representing, at least partially, the discriminating information
item;
- 10 C4) comparison of the updated and reference maps so as to determine a
value for an assessment function, said value for the assessment
function depending on the differences between said updated and
reference maps and corresponding to a decision to continue or stop
the search for virtual acquisition conditions approximating said real
acquisition conditions with greater accuracy than said virtual
acquisition conditions to be tested determined in the last occurrence
of the step C1);
- 15 C5) if said value for the assessment function corresponds to a decision to
continue said search, modification of the virtual acquisition
conditions to be tested, then return to the step C2).

The step C1) begins with a determination of the virtual acquisition conditions to be tested,
that is to say a virtual position and orientation likely to correspond to the real position and
orientation of the acquisition apparatus upon the capture of the updated image, but also,
20 preferably, a virtual calibration likely to correspond to the real calibration of the acquisition
apparatus upon the capture of the updated image.

The first virtual acquisition conditions to be tested are preferably virtual acquisition
conditions assessed roughly, as described previously.

In the step C2), the image acquisition apparatus is then virtually configured in the virtual
25 acquisition conditions to be tested in order to acquire a reference image of the updated
reference model in these virtual acquisition conditions to be tested. The reference image
therefore corresponds to the image that the image acquisition apparatus would have taken if
it had been placed, relative to the updated reference model, and optionally calibrated, in the
virtual acquisition conditions to be tested.

30 If the updated image was taken substantially at the same moment as the updated reference
model was created by a scan of the teeth of the patient, the position of the teeth on the updated
image is substantially identical to that in the updated reference model. If the virtual

acquisition conditions to be tested are exactly the real acquisition conditions, the reference image may therefore be exactly superimposed on the updated image. The differences between the updated image and the reference image result from errors in the assessment of the virtual acquisition conditions to be tested, if they do not correspond exactly to the real acquisition conditions.

In the step C3), the reference image is processed as the updated image so as to produce, from the reference image, a reference map representing the discriminating information item (figures 11A and 11B). A person skilled in the art knows how to process a reference image to reveal the discriminating information item.

10

In the step C4), the updated and reference maps, both relating to the same discriminating information item, are compared and the difference or “distance” between these two maps is assessed by means of a score. For example, if the discriminating information item is the contour of the teeth, the mean distance between the points of the contour of the teeth which appears on the reference image and the points of the corresponding contour which appears on the updated image may be compared, the score being all the higher when this distance is small.

The score may for example be a correlation coefficient.

Preferably, the virtual acquisition conditions comprise the calibration parameters of the acquisition apparatus. The score is that much higher when the values of the calibration parameters tested are close to the calibration parameter values of the acquisition apparatus used upon the acquisition of the updated image. For example, if the diaphragm aperture tested is far from that of the acquisition apparatus used upon the acquisition of the updated image, the reference image shows fuzzy regions and sharp regions which do not correspond to the fuzzy regions and to the sharp regions of the updated image. If the discriminating information item is the contour of the teeth, the updated and reference maps will not therefore represent the same contours and the score will be low.

The score is then assessed by means of an assessment function. The assessment function makes it possible to decide whether the cycling on the steps C1) to C5) must be continued or stopped. The assessment function may for example be equal to 0 if the cycling must be stopped or be equal to 1 if the cycling must continue.

30

The value of the assessment function may depend on the score achieved. For example, a decision may be made to continue the cycling if the score does not exceed a threshold. For example, if an exact match between the updated and reference images leads to a score of 100%, the threshold may be, for example, 95%. Obviously, the higher the threshold, the better will be the accuracy of the assessment of the virtual acquisition conditions if the score manages to exceed this threshold.

The value of the assessment function may also depend on scores obtained with virtual acquisition conditions tested previously.

The value of the assessment function may also depend on random parameters and/or on the number of cycles already performed.

In particular, it is possible, despite the repetition of the cycles, not to manage to find virtual acquisition conditions which are sufficiently close to the real acquisition conditions for the score to reach said threshold. The assessment function may then lead to the decision to exit the cycle even though the best score obtained has not reached said threshold. This decision may result, for example, from a number of cycles greater than a predetermined maximum number.

A random parameter in the assessment function may also authorize the continuation of tests of new virtual acquisition conditions, even though the score appears satisfactory.

The assessment functions conventionally used in the metaheuristic optimization, preferably evolutionist, methods, particularly in the simulated annealing methods, may be used for the assessment function.

In the step C5), if the value of the assessment function indicates a decision to continue the cycling, the virtual acquisition conditions to be tested are modified and the cycling recommences on the steps C1) to C5), consisting in producing a reference image and a reference map, in comparing the reference map with the updated map to determine a score, then in taking a decision as a function of this score.

The modification of the virtual acquisition conditions to be tested corresponds to a virtual displacement in space and/or to a modification of the orientation and/or, preferably, to a modification of the calibration of the acquisition apparatus. This modification may be random, preferably such that the new virtual acquisition conditions to be tested still belong to the set determined upon the rough assessment. The modification is preferably guided by

heuristic rules, for example by favoring the modifications which, according to an analysis of the preceding scores obtained, appear most favorable for increasing the score.

The cycling is continued until the value of the assessment function indicates a decision to cease this cycling and to continue to the step D), for example if the score reaches or exceeds
5 said threshold.

The optimization of the virtual acquisition conditions is preferably performed by using a metaheuristic, preferably evolutionist, method, preferably a simulated annealing algorithm. Such an algorithm is well known for nonlinear optimization.

If the cycling has been exited without a satisfactory score having been able to be obtained,
10 for example without the score having been able to reach said threshold, the method may be stopped (failure situation) or a new step C) may be launched, with a new discriminating information item and/or with a new updated image. The method may also be continued with the virtual acquisition conditions corresponding to the best score reached. A warning may be emitted in order to inform the user of the error on the result.

15 If the cycling has been exited when a satisfactory score has been able to be obtained, for example because the score has reached, even exceeded said threshold, the virtual acquisition conditions correspond substantially to the real acquisition conditions of the updated image.

Preferably, the virtual acquisition conditions comprise the calibration parameters of the acquisition apparatus. The method thus makes it possible to assess the values of these
20 parameters without it being necessary to know the nature of the acquisition apparatus or its setting. The acquisition of the updated images may therefore be performed without any particular precautions, for example by the patient him or herself by means of his or her cellphone.

In addition, the search for the real calibration is performed by comparing an updated image
25 with views of a reference model in virtual acquisition conditions to be tested. Advantageously, it does not require the updated image to show a standard calibration gauge, that is to say a gauge whose characteristics are accurately known making it possible to determine the calibration of the acquisition apparatus.

The step C) therefore culminates in the determination of virtual acquisition conditions
30 exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions. The reference image

therefore exhibits a maximal match with the updated image, that is to say that these two images may substantially be superimposed.

In one embodiment, said search of the virtual acquisition conditions in the step C) is performed by using a metaheuristic, preferably evolutionist, method, preferably a simulated
5 annealing algorithm.

In the step D), the reference tooth zones are identified on the reference image and they are transferred to the updated image to define corresponding updated tooth zones.

In particular, the reference image is a view of the updated reference model segmented into tooth models. The limits of the representation of each tooth model on the reference image,
10 or “reference tooth zone”, may therefore be identified.

The superimposition of the updated and reference images then makes it possible to transfer the limits of the reference tooth zones to the updated image, and thus define the updated tooth zones. Since the reference image exhibits a maximal match with the updated image, the updated tooth zones therefore substantially define the limits of the tooth models
15 represented on the reference image.

In the step E), each updated tooth zone is assigned the tooth attribute value or values of the tooth model which corresponds to it.

In particular, the reference image is a view of the updated reference model in which the tooth models have been assigned respective tooth attribute values for at least one tooth attribute,
20 for example a tooth number. Each reference tooth zone may therefore inherit the tooth attribute value of the tooth model that it represents. Each updated tooth zone may then inherit the tooth attribute value of the reference tooth zone which allowed it to be defined.

At the end of the step E), an updated image and a description of the updated image is therefore obtained that defines one or more updated tooth zones and, for each of these zones,
25 a tooth attribute value for at least one tooth attribute, for example a tooth number.

The updated image enriched with its description is called “historical image”.

Figure 17A shows an example of updated image (acquired in the step B)) being analyzed in order to determine the contours of the teeth. Figure 17B shows the reference image exhibiting a maximal match with the updated image (resulting from the step C)). The

numbers of the teeth are displayed on the corresponding teeth. Figure 17C illustrates the transfer of the tooth numbers to the updated tooth zones (step D) and E)).

In the step F), the historical image is added to the learning base.

The steps A) to F) are preferably performed for more than 1000, more than 5000, or more
5 than 10 000 different patients, or “historical patients”.

As now clearly emerges, the invention provides a method that is particularly effective for creating a learning base.

The invention relates also to a method for training a deep learning device, preferably a neural network, said method comprising an enrichment of a learning base according to a method
10 comprising steps A) to F) so as to acquire a plurality of historical images, then the use of said learning base to train said deep learning device.

Second main embodiment of the enrichment method

The invention is not however limited to the embodiments described above.

In particular, the updated reference model is not necessarily the direct result of a scan of the
15 arch of the patient. The updated reference model may in particular be a model obtained by deformation of an initial reference model which is itself resulting directly from such a scan.

The method then comprises, preferably, in place of the steps A) to C), the steps A') to C').

The step A') is identical to the step A). In the step A'), the reference model generated is however intended to be modified. It is therefore qualified as “initial reference model”, and
20 not as “updated reference model”, as according to the step A).

The initial reference model may in particular be generated at an initial instant preceding an active orthodontic treatment, for example less than 6 months, less than 3 months, or less than 1 month before the start of the treatment. The steps B') to C') may then be implemented to track the trend of the treatment between the initial instant and the updated instant of the step
25 B').

The initial instant may alternatively be an instant at the end of active orthodontic treatment, for example less than 6 months, less than 3 months, or less than 1 month after the end of the treatment. The steps B') to C') may then be implemented to monitor the appearance of any recurrence.

The step B') is identical to the step B). In the step B'), the updated images are however also intended to guide the modification of the initial reference model to define the updated reference model, in the step C').

5 The time interval between the steps A') and B') is not limited, since, as explained hereinbelow, the initial reference model will be deformed to obtain an updated reference model with maximal match with the updated images. The time interval between the steps A') and B') may for example be greater than 1 week, than 2 weeks, than 1 month, than 2 months or more than 6 months.

10 **The step C')** is more complex than the step C) since the search for a reference image exhibiting a maximal match with an updated image is not limited to searching for the optimal virtual acquisition conditions. It also includes a search for an updated reference model, that is to say a reference model in which the teeth have substantially the same position as on the updated image.

15 The step C') preferably comprises one or more of the features of the steps c), d) and e) of WO 2016 066651, and in particular of the step e) illustrated in figure 16.

The objective is to modify the initial reference model until an updated reference model is obtained which exhibits a maximal match with the updated image. Ideally, the updated reference model is therefore a model of the arch from which the updated image would have been able to be taken if this model had been the arch itself.

20 A succession of reference models "to be tested" is therefore tested, the choice of a reference model to be tested preferably being dependent on the level of correspondence of the reference models "to be tested" previously tested with the updated image.

Preferably, the search comprises, for an updated image,

- 25 – a first optimization operation making it possible to search, in a reference model to be tested determined from the initial reference model, for virtual acquisition conditions best corresponding to the real acquisition conditions of the updated image, and
- a second optimization operation making it possible to search, by testing a plurality of said reference models to be tested, for the reference model best corresponding to the positioning of the teeth of the patient upon the acquisition of the updated image.

30 Preferably, a first optimization operation is performed for each test of a reference model to be tested during the second optimization operation.

Preferably, the first optimization operation and/or the second optimization operation, preferably the first optimization operation and the second optimization operation, implement a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably a simulated annealing.

The step C') therefore culminates in the determination

- 5 – of an updated reference model exhibiting a maximal match with the updated image, and
- virtual acquisition conditions exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions.

10 A method comprising the steps A') to C') may advantageously be implemented in the context of an active or passive orthodontic treatment, or, more generally, to track any changes to the teeth.

In the different methods according to the invention, the enrichment of the learning base does not necessarily result from an enrichment method according to the invention.

15 In one embodiment, the learning base is created by an operator. The latter thus analyzes thousands of analysis images. For the learning base to be able to be used for the implementation of a detailed analysis method, it determines the tooth zones, then assigns them tooth attribute values. For the learning base to be able to be used for the implementation of a global analysis method, it assigns image attribute values to each image. It may thus form historical images.

20 Detailed image analysis method

The method for detailed analysis of an “analysis image” of a dental arch of a patient according to the invention comprises the steps 1) to 4).

25 Preferably, the analysis image, preferably a photograph or an image extracted from a film, preferably in color, preferably in real color, is acquired with an image acquisition apparatus, preferably a cellphone, separated from the dental arch by more than 5 cm, more than 8 cm, even more than 10 cm, and which, preferably, has no other specific optic.

Preferably, the analysis image represents several teeth, preferably more than 2, more than 3, more than 4 or more than 5 teeth of the patient. Figure 12A or figure 12B could be examples of analysis images. The arrangement of the teeth is realistic, i.e. it corresponds to the

arrangement which is observed by the image acquisition apparatus when it has acquired the analysis image.

Preferably, the acquisition of the analysis image is performed by the patient, preferably without the use of a support which is bearing on the ground and is immobilizing the image acquisition apparatus, and in particular without tripod.

In one embodiment, the triggering of the acquisition of the analysis image is automatic, that is to say without the action of an operator, as soon as the acquisition conditions are approved by the image acquisition apparatus, in particular when the image acquisition apparatus has determined that it observes a dental arch and/or a retractor and that the observation conditions are satisfactory (sharpness, brightness, even dimensions of the representation of the dental arch and/or of the retractor).

In the step 1), a learning base is created comprising more than 1000, preferably more than 5000, preferably more than 10 000, preferably more than 30 000, preferably more than 50 000, preferably more than 100 000 historical images. The greater the number of historical images, the better the analysis performed by the method.

Preferably, a learning base is used that is enriched according to an enrichment method according to the invention.

The learning base may however be constructed according to other methods, for example be created manually. To create a historical image of the learning base, an operator, preferably an orthodontist, identifies one or more “historical” tooth zones on an image, called then assigns, to each identified historical tooth zone, a value for at least one tooth attribute.

In step 2), a deep learning device, preferably a neural network, is trained with the learning base.

A “neural network” or “artificial neural network” is a set of algorithms well known to a person skilled in the art.

The neural network may in particular be chosen from:

- the networks specializing in the classification of images, called “CNN” (“convolutional neural network”), for example
 - AlexNet (2012)

- ZF Net (2013)
- VGG Net (2014)
- GoogleNet (2015)
- Microsoft ResNet (2015)
- 5 – Caffe: BAIR Reference CaffeNet, BAIR AlexNet
- Torch: VGG_CNN_S, VGG_CNN_M, VGG_CNN_M_2048, VGG_CNN_M_1024, VGG_CNN_M_128, VGG_CNN_F, VGG_ILSVRC-2014_16-layer, VGG_ILSVRC-2014_19-layer, Network-in-Network (Imagenet & CIFAR-10)
- Google: Inception (V3, V4).
- 10 – The networks specializing in the location and detection of objects in an image, the object detection network, for example:
 - R-CNN (2013)
 - SSD (Single Shot MultiBox Detector: Object Detection network), Faster R-CNN (Faster Region-based Convolutional Network method: Object Detection
 - 15 network)
 - Faster R-CNN (2015)
 - SSD (2015).

The above list is not limiting

20 In the step 2), the deep learning device is preferably trained by a learning process called “*deep learning*”. By presenting, as input for the deep learning device, historical images (images + descriptions), the deep learning device progressively learns to recognize *patterns* on an image, and to associate them with tooth zones and with tooth attribute values, for example tooth numbers.

25 **In the step 3)**, the image that is to be analyzed, or “analysis image”, is submitted to the deep learning device.

Through its training in the step 2), the deep learning device is capable of analyzing the analysis image and of recognizing said patterns therein. It may in particular determine a probability relating to:

- the presence, at a location in said analysis image, of a zone representing, at least
- 30 partially, a tooth, or “analysis tooth zone”,
- the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone.

For example, it is capable of determining that there is a 95% chance that a form of the analysis image represents an incisor.

Preferably, the deep learning device analyses all the analysis image and determines probabilities for all the analysis tooth zones that it has identified.

- 5 **In the step 4)**, the results of the preceding step are analyzed to determine the teeth represented on the analysis image.

When the learning base comprises more than 10 000 historical images, the step 3) gives particularly satisfactory results. In particular, such a learning base makes it possible to establish a probability threshold such that, if a probability associated with an analysis tooth
10 zone and with a tooth attribute value for this analysis tooth zone exceeds said threshold, the analysis tooth zone effectively represents a tooth having said tooth attribute value.

The step 4) thus leads to the definition of an analysis image enriched with a description defining the analysis tooth zones and, for each analysis tooth zone, the values of the attributes of the tooth represented by the analysis tooth zone.

15

Global image analysis method

The method for global analysis of an updated image of a dental arch of a patient according to the invention comprises the steps 1') to 3').

The method is similar to the detailed analysis method described above, apart from the fact
20 that, according to the global analysis, it is not necessary to analyze the individual situation of each tooth. The analysis is global to all the image. In other words, the deep learning device determines the value of an "image" attribute without having to previously determine tooth attribute values.

For example, the deep learning device may conclude that, "globally", the dental situation is
25 "satisfactory" or "unsatisfactory", without determining the tooth potentially at the origin of the dissatisfaction.

The step 1') is similar to the step 1). The historical images however include a description specifying an image attribute value for each image.

The step 2') is similar to the step 2).

- 30 **In the step 3')**, the analysis image is submitted to the deep learning device.

Through its training in the step 2'), the deep learning device is capable of analyzing the analysis image and of recognizing said patterns therein. Based on these patterns, it may in particular determine a probability relating to the value of the image attribute considered.

5 Application to the modeling of a dental arch

A detailed analysis method according to the invention is in particular useful for modeling a dental arch, notably for establishing a remote diagnostic.

It is desirable for each to regularly check his or her dentition, particularly in order to check that the position of his or her teeth is not changing for the worse. In an orthodontic treatment, this change for the worse may in particular lead to the treatment being modified. After an
10 orthodontic treatment, a change for the worse, called "recurrence", may lead to a repeat of a treatment. Finally, more generally and independently of any treatment, each may want to track any displacements of his or her teeth.

Conventionally, the checks are performed by an orthodontist who has appropriate apparatus.
15 These checks are therefore costly. Furthermore, the appointments are restrictive. Finally, some people are apprehensive of a visit to an orthodontist and will fail to make an appointment for a simple check or to assess the feasibility of an orthodontic treatment.

US 2009/0291417 describes a method making it possible to create, then modify, three-dimensional models, particularly for the manufacture of orthodontic appliances.

20 WO 2016 066651 describes a method for checking the positioning and/or the shape and/or the appearance of teeth of a patient. This method comprises a step of creation of an initial reference model of the teeth, at an initial instant, preferably with a 3D scanner, then, at a subsequent instant, or "updated instant", for example six months after the initial instant, the creation of an updated reference model, by deformation of the initial reference model. This
25 deformation is performed in such a way that the updated reference model allows observation substantially identical to images of the teeth acquired at the updated instant, in particular to photos or images from a video taken by the patient him or herself, with no particular precautions, called "updated images".

The updated images are therefore used to modify the initial, very accurate, reference model.
30 The updated reference model which results from the deformation of the initial reference model, guided by the analysis of the updated images, is therefore also very accurate.

The method described in WO 2016/66651 does however require an appointment with the orthodontist in order to create the initial reference model. This appointment constitutes a brake to prevention. In effect, a patient will not necessarily consult an orthodontist if he or she does not perceive the need therefor. In other words, the method is often implemented
5 only if a malocclusion is found and has to be corrected.

There is therefore a need for a method that addresses this problem, by facilitating prevention.

One aim of the invention is to address this need.

To this end, the invention proposes a method for modeling a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- 10 a) creation of a historical library comprising more than 1000 tooth models, called “historical tooth models”, and assignment to each historical tooth model of a value for at least one tooth attribute, or “tooth attribute value”;
- b) analysis of at least one “analysis image” of the dental arch according to a detailed analysis method according to the invention, so as to determine at least one analysis
15 tooth zone and at least one tooth attribute value associated with said analysis tooth zone;
- c) for each analysis tooth zone determined in the preceding step, search, in the historical library, for a historical tooth model exhibiting a maximum proximity with the analysis image or with the analysis tooth zone, or “optimal tooth model”;
- 20 d) arrangement of all the optimal tooth models so as to create a model which exhibits a maximal match with the updated image, or “assembled model”;
- e) optionally, replacement of at least one optimal tooth model by another historical tooth model and repeat of the step d) so as to maximize the match between the assembled model and the analysis image;
- 25 f) optionally, repeat of the step b) with another analysis image and, in the step d) and/or e), search for a maximal match with all the analysis images used.

The invention thus makes it possible, from a simple analysis image, for example a photograph taken by means of a cellphone, to reconstruct, with a good reliability, a dental arch in the form of an assembled model. In particular, the analysis image may be acquired
30 as described here above at step 1).

Obviously, the analysis of a single analysis image is insufficient to generate an assembled model which accurately corresponds to the arrangement of the teeth of the patient. Such an accuracy is however not generally essential for performing a first diagnosis of the dental situation of the patient.

- 5 Moreover, the accuracy of the assembled model may be increased if several analysis images are processed.

The steps b) to c) are preferably implemented for several analysis images and, in the steps d) and e), the optimal tooth models and an assembled model are searched so as to obtain a maximal match in light of all the analysis images (step f)).

- 10 The invention also relates to a method for assessing a dental situation of a patient, comprising the following steps:

- i) creation of an assembled model according to a modeling method according to the invention;
 - ii) transmission of the assembled model to a recipient, preferably an orthodontist and/or
15 a computer;
 - iii) analysis of the orthodontic situation of the patient, by the recipient, from the assembled model;
 - iv) preferably, informing of the patient of the orthodontic situation, preferably, via his or her cellphone.
- 20 The patient may therefore very easily ask an orthodontist to check his or her dental situation, without even having to travel, by simply transmitting one or preferably several photos of his or her teeth.

A modeling method is now described in detail.

- In the step a),** a historical library 20 (figure 18) is created comprising more than 1000,
25 preferably more than 5000, preferably more than 10 000 historical tooth models 22. The greater the number of historical tooth models, the more accurate the assembled model.

A historical tooth model can in particular be obtained from a model of a dental arch of a “historical” patient obtained with a scanner. This arch model may be segmented in order to

isolate the representations of the teeth, as in figure 11D. Each of these representations, exhibiting a specific gray shade in figure 11D, can constitute a historical tooth model.

Preferably, the library is enriched with the tooth models resulting from the implementation of the method described in WO 2016 066651 or of the step A) or A') described above.

5 One or several tooth attributes, in particular chosen from the list supplied above, are associated with the tooth models. A tooth attribute value is assigned to each tooth attribute of a particular tooth model, as described previously (see the description of the step A)). For example, a tooth model is that of an “incisor”, “greatly worn”, and whose color parameters are, in the color system $L^*a^*b^*$ according to the standard NF ISO 7724, “ $a^*=2$ ”, “ $b^*=1$ ” and
10 “ $L^*=58$ ”.

The historical library therefore contains historical tooth models and associated attribute values which facilitate the search in the step c). In figure 18, only historical tooth models 22 representing molars have been represented in the historical library 20.

In the step b), an analysis image is acquired, as described above for the step B), before
15 analyzing it. In particular, the analysis image is preferably a photo or an image from a film, preferably with a cellphone.

The analysis image can be acquired at any moment after the step a), for example more than one week, more than one month or more than six months after the step a).

The analysis image is analyzed according to a detailed analysis method according to the
20 invention. The optional features of this method are also optional in the step b).

On completion of the step b), an analysis image is obtained that is enriched with a description providing, for each analysis tooth zone, a tooth attribute value for at least one tooth attribute, for example a tooth number.

In the step c), a search is carried out in the historical library, for each analysis tooth zone
25 determined in the preceding step, for a historical tooth model exhibiting a maximal proximity with the analysis tooth zone. This tooth model is qualified as “optimal tooth model”.

The “proximity” is a measurement of one or more differences between the historical tooth model and the analysis tooth zone. These differences may include a difference in shape, but also other differences like a difference in translucency or in color. The maximal proximity

may be searched for by successively minimizing several differences, or by minimizing a combination of these differences, for example a weighted sum of these differences.

The “proximity” is therefore a broader concept than “match”, the match measuring only a shape-related proximity.

- 5 The assessment of the proximity of a historical tooth model with an analysis tooth zone preferably comprises a comparison of at least one value of a tooth attribute of the analysis tooth zone with the value of this attribute for the historical tooth model. Such an assessment is advantageously very rapid.

For example, if the description of the analysis tooth zone provides a value for the type or the
10 number of the tooth, the thickness of the tooth represented and/or the height of its crown and/or its mesio palatine width and/or the mesial and distal deflection index of its incisal edge, this value may be compared to the value of the corresponding attribute of each of the historical tooth models.

Preferably, a historical tooth model is sought that has, for at least one tooth attribute, the
15 same value as said analysis tooth zone. The tooth attribute may in particular relate to the tooth type or to the tooth number. In other words, the historical tooth models are filtered to examine in more detail only those which relate to the same type of tooth as the tooth represented on the analysis tooth zone.

Alternatively or, preferably, in addition to this comparison of the attribute values, the shape
20 of the tooth represented on the analysis tooth zone may be compared to the shape of a historical tooth model to be assessed, preferably by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

To this end, the historical tooth model to be assessed is observed from different angles. Each
view thus obtained is compared with the analysis image, preferably with the analysis tooth
25 zone, so as to establish a “distance” between this view and said analysis image or, preferably, said analysis tooth zone. The distance thus measures the difference between the view and the analysis tooth zone.

The distance may be determined after a processing of the view and of the analysis image or,
preferably, of the analysis tooth zone, so as to reveal, on corresponding maps, one and the
30 same discriminating information item, for example a contour information item, as described above in the step C3) or in WO 2016 066651.

For each historical tooth model tested, a view is thus determined which provides a minimal distance with the analysis image or with the analysis tooth zone. Each historical tooth model examined is thus associated with a particular minimal distance, which measures its proximity of shape with the analysis tooth zone.

- 5 The optimal historical tooth model is the one which, in light of the comparison or comparisons performed, is considered to be closest to the analysis tooth zone.

The minimal distances obtained for the different tooth models tested are then compared and, to define the optimal tooth model, the one which exhibits the smallest minimal distance is retained. The optimal tooth model therefore exhibits a maximal match with the analysis
10 image.

The search for the maximal match is preferably performed by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

In a preferred embodiment, a first assessment of the historical tooth models by comparison of the values of at least one tooth attribute, for example the tooth number, with the
15 corresponding values of the analysis tooth zone, then a second assessment by comparison of shape are performed in succession. The first, rapid assessment, advantageously makes it possible to filter the historical tooth models in order to submit only the historical tooth models retained by the first assessment to the second, slower assessment.

For example, if an analysis tooth zone represents a tooth number 15, the first assessment
20 makes it possible to retain only the tooth models modeling teeth number 15. During the second assessment, a search is conducted, among all the historical tooth models modeling teeth number 15, for the historical tooth model whose shape most approximates that of the tooth represented.

More preferably, several first assessments are performed before performing the second
25 assessment. For example, the first assessments make it possible to filter the historical tooth models so as to retain only the tooth models modeling teeth number 15 and which exhibit a crown height of between 8 and 8.5 mm.

On completion of the step c), an optimal tooth model has thus been associated with each of the analysis tooth zones.

For example, in figure 18, the historical tooth model 22₁ can be observed so as to strongly resemble an analysis zone identified on the analysis image. It is considered as optimal for this analysis zone.

In the step d), an assembled model is created by arranging the optimal tooth models.

- 5 According to one embodiment, at the start of the step d), a first rough arrangement is created, that is to say that a rough model is produced by assembling optimal tooth models.

To establish the first rough arrangement, the optimal tooth models can be oriented so that their optimal directions of observation are all parallel, the optimal direction of observation of a tooth model being the direction in which said tooth model exhibits a maximum match
10 with the analysis image.

The first rough arrangement may be also established by considering the tooth attribute values of the optimal tooth models. For example, if the tooth numbers of optimal tooth models are those of the canines and of the incisors, these tooth models may be arranged according to an arc 24 (figure 18) corresponding conventionally to the region of the arch which bears these
15 types of teeth.

The shape of this arc may be refined as a function of other tooth attribute values.

The order of the optimal tooth models is that of the corresponding analysis tooth zones.

Moreover, the minimal distance associated with an optimal tooth model results from an observation of the tooth model according to an “optimal” observation direction. In other
20 words, it is probably substantially from this direction that the tooth that this model models is also observed in the analysis image. All the optimal tooth models are thus preferably oriented in such a way that their respective optimal observation directions are all parallel.

It is thus possible to define a first arrangement of the optimal tooth models.

Preferably, the first arrangement of the optimal tooth models is then modified iteratively, so
25 as to exhibit a maximal match with the analysis image.

To assess an arrangement, it is observed according to different angles. Each view thus obtained is compared with the analysis image so as to establish a “distance” between this view and said analysis image. The distance thus measures the difference between the view and the analysis image.

The distance may be determined after a processing of the view and of the analysis image so as to reveal, on one of the corresponding maps, a discriminating information item, for example a contour information item, as described above in the step C3) or in WO 2016 066651.

- 5 For each arrangement examined, a view is thus determined that provides a minimal distance with the analysis image. Each arrangement examined is thus associated with a minimal distance.

The minimal distances obtained for the different arrangements tested are then compared and, to define the optimal arrangement, the one which exhibits the smallest minimal distance is
10 retained. The optimal arrangement thus exhibits a maximal match with the analysis image.

The search for the maximal match is performed preferably by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

On completion of the step d), an optimal arrangement of the optimal tooth models, that is to say the assembled model 26, is obtained.

- 15 **In the optional step e)**, one or more optimal tooth models are replaced by other tooth models, then there is a return to the step d) so as to maximize the match between the assembled model and the analysis image.

It is in fact possible for an optimal tooth model, in the “optimal” arrangement, to no longer exhibit a maximal match with the analysis image. In particular, the tooth model might have
20 been observed in an “optimal” direction which provided a view exhibiting a minimal distance with the analysis image (reason why it was considered as optimal), but, in the optimal arrangement, it is no longer oriented according to the optimal direction.

A new search for an assembled model may therefore be performed by modifying the tooth models, for example by replacing the optimal tooth models with close tooth models.

- 25 The search for the tooth models to be tested is preferably performed by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

In the preferred embodiment, the method therefore implements a double optimization, on the tooth models and on the arrangement of the tooth models, the assembled model being the arrangement of a set of tooth models which provides the minimal distance with the

analysis image, by considering all the possible tooth models and all the possible arrangements.

In the optional and preferred step f), the method implements several analysis images of the arch of the patient, preferably more than 3, more than 5, more than 10, more than 50, preferably more than 100 analysis images. The assembled model is thus more complete. More preferably, the method implements an optimization such that the assembled model obtained is optimal in light of all of the analysis images. In other words, the assembled model is preferably the one which maximizes the match with all of the analysis images.

In the preferred embodiment, the method therefore implements a double or, preferably a triple optimization, on the tooth models on the one hand, on the arrangement of the tooth models and/or on a plurality of analysis images on the other hand, the assembled model being the arrangement of a set of tooth models which provides the mean minimal distance, over all of the analysis images, by considering all the possible tooth models and, preferably, all the possible arrangements.

According to one embodiment, in the step d) and/or e) and/or f), a metaheuristic, preferably evolutionist, method, preferably by simulated annealing, is used.

As now clearly appears, the invention thus makes it possible to construct an assembled dental arch model from simple analysis images, for example photographs taken by means of a cellphone. Obviously, the accuracy of the assembled model does not reach that of a scan. In some applications, for example to perform a first diagnosis of the dental situation of the patient, such an accuracy is not however essential.

The assembled model may therefore be used to analyze the orthodontic situation of the patient, according to the steps ii) to iv).

In the step ii), the assembled model is sent to an orthodontist and/or to a computer provided with diagnostic software.

In one embodiment, the assembled model is sent accompanied by a questionnaire filled out by the patient in order to improve the quality of the analysis in the step iv).

In the step iii), the orthodontist and/or the computer examines the assembled model. Unlike an updated image, the assembled model allows an observation from any angle. The analysis is advantageously more accurate.

In the step iv), the orthodontist and/or the computer informs the patient, for example by sending him or her a message on his or her telephone. This message may in particular inform the patient of an unfavorable situation and urge him or her to make an appointment with the orthodontist.

- 5 The orthodontist may also compare the assembled model with assembled models received previously for the same patient. The analysis thereof advantageously makes it possible to assess the trend of the situation. The message may thus inform the patient of an unfavorable change of his or her situation, which improves the prevention.

The assembled model may also be compared with one or more models obtained by scanning
10 of the teeth or from a molding of the teeth of the patient, or with an updated reference model resulting from the implementation of a method described in WO 2016 066651.

Application to embedded monitoring

An image analysis according to the invention is also useful for guiding the acquisition of an
15 image of a dental arch, in particular for establishing a remote diagnosis.

In particular, WO 2016/066651 describes a method in which an initial reference model is deformed so as to obtain an updated reference model allowing the acquisition of reference images exhibiting a maximal match with the “updated” images of the arch acquired at the updated instant.

- 20 The reference images are therefore views of the updated reference model, observed in virtual acquisition conditions which are the closest possible matches with the real acquisition conditions implemented to acquire the updated images of the arch of the patient.

The search for these virtual acquisition conditions is preferably performed by means of metaheuristic methods.

- 25 To speed up this search, WO 2016/066651 recommends performing a first rough assessment of the real acquisition conditions. For example, conditions which would correspond to a position of the acquisition apparatus at a distance from the teeth greater than 1 meter are excluded from the search.

There is however an ongoing need to speed up the execution of the method described in
30 WO 2016/066651, and in particular, to search, more rapidly, for the virtual acquisition

conditions exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions implemented to acquire an updated image of the arch of the patient.

One aim of the invention is to at least partially address this problem.

The invention proposes a method for acquiring an image of a dental arch of a patient, said
5 method comprising the following steps:

- a') activation of an image acquisition apparatus so as to acquire an image, called
"analysis image", of said arch;
- b') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably
a neural network, trained by means of a learning base,
10 preferably according to a detailed analysis method according to the
invention, so as to identify at least one analysis tooth zone representing a
tooth on said analysis image, and to determine at least one tooth attribute
value for said analysis tooth zone, or
according to a global analysis method according to the invention;
- 15 c') determination, for the analysis image, of a value for an image attribute, said
value being a function of said tooth attribute value if a detailed analysis
method according to the invention has been implemented in the preceding
step;
- d') optionally, comparison of said image attribute value with an instruction;
- 20 e') sending of an information message as a function of said comparison.

In one embodiment, in the step b'), all said analysis tooth zones are identified, and at least
one tooth attribute value is determined for each analysis tooth zone, and, in the step c'), the
value for the image attribute is determined as a function of said tooth attribute values.

25

In one embodiment, the step b') comprises the following steps:

- 1) preferably before the step a'), creation of a learning base comprising more
than 1 000 dental arch images, or "historical images", each historical image
comprising one or more zones each representing a tooth, or "historical tooth
30 zones", to each of which, for said tooth attribute, a tooth attribute value is
assigned;

- 2) training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- 3) submission of the analysis image to the deep learning device so that it determines at least one probability relating to:
- 5 - the presence, at a location in said analysis image, of a zone representing, at least partially, a tooth, or “analysis tooth zone”,
- the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone,
- 4) determination, as a function of said probability, of the presence of a tooth at a position represented by said analysis tooth zone, and of the attribute value
- 10 of said tooth.

In one embodiment, the step b') comprises the following steps:

- 1') creation of a learning base comprising more than 1 000 dental arch images, or “historical images”, each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or “image attribute value”;
- 15 2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- 3') submission of the analysis image to the deep learning device so that it determines, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value.

20 In one embodiment, to create a historical image of the learning base, an operator, preferably an orthodontist,

- identifies one more “historical” tooth zones on an image, then assigns each identified historical tooth zone a value for at least one tooth attribute, and/or
- assigns an image a value for at least one tooth attribute.

25 In one embodiment, the information message is sent by the acquisition apparatus.

As will be seen in more detail hereinafter in the description, an acquisition method according to the invention therefore makes it possible to check whether an analysis image respects an instruction and, if it does not respect the instruction, to guide the operator in order for him or her to acquire a new analysis image. The method therefore allows an “embedded

30 monitoring”, preferably in the image acquisition apparatus.

In particular, to implement the method of WO 2016/066651, there may be a desire to acquire updated images from different acquisition directions, for example a front image, a right

image and a left image. These updated images, acquired in succession, may be classified accordingly. The search for the virtual acquisition conditions exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions is speeded up thereby.

5 In effect, the search may begin from virtual acquisition conditions in which the virtual acquisition apparatus is in front, to the left or to the right of the updated reference model, depending on whether the updated image considered is classified as a front, left or right image, respectively.

10 The operator, generally the patient, may however make a mistake in the acquisition of the updated images. In particular, he or she may forget to take an updated image, for example the front view, or invert two updated images. Typically, the operator may take an image on the right whereas a left image is expected from him or her.

15 This inversion of the updated images may considerably slow down their processing. For example, if the updated image is assumed to be an image taken on the left but it was in error taken on the right, said search for the optimal virtual acquisition conditions, that is to say those exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions, will begin from a starting point offering a left view of the reference model, whereas the optimal virtual acquisition conditions correspond to a right view. The search will therefore be considerably slowed down thereby.

20 By virtue of the invention, each updated image is an analysis image which may be analyzed and checked, preferably in real time.

For example, the acquisition method makes it possible to determine that the updated image has been “taken on the right” and compare this image attribute value with the instruction which had been given to the operator to take the updated image on the left. Since the attribute value of the updated image (image taken on the right) does not correspond to the instruction (acquire an updated image on the left), the acquisition apparatus may immediately alert the operator in order for him or her to modify the acquisition direction.

An acquisition method is now described in detail.

In the step a’), the operator activates the image acquisition apparatus so as to acquire an analysis image.

In one embodiment, the operator triggers the acquisition apparatus so as to store the analysis image, preferably takes a photo or video of his or her teeth, preferably by means of a cellphone equipped with a camera.

5 The step a') may be performed like the acquisition of the updated images in the step B) described above.

In another embodiment, the analysis image is not stored. In particular, the analysis image may be the image which, in real time, appears on the screen of the cellphone of the operator, generally the patient.

10 In a first embodiment, **in the step b')**, the analysis image is analyzed according to a detailed analysis method according to the invention. This analysis preferably leads to the assignment of a tooth attribute value to each identified analysis tooth zone, for example to assigning a tooth number to each of the analysis tooth zones.

15 **In the step c')**, an attribute value of the analysis image is determined as a function of the tooth attribute values. The attribute value of the analysis image may relate to its general orientation and may for example take one of the following three values: "right photo", "left photo" and "front photo". The attribute value of the analysis image may also be the list of the tooth numbers represented, for example, "16, 17 and 18". The attribute value of the analysis image may also be, for example, the "presence" or "absence" of a dental, preferably orthodontic, appliance, or the state of opening of the mouth ("mouth open", "mouth closed").

20 In another embodiment, a global analysis method according to the invention is implemented in the step b'). Advantageously, such a method makes it possible to directly obtain a value for an image attribute, without having to determine values for a tooth attribute. It is therefore advantageously more rapid. The information resulting from a global analysis may however be less accurate than that resulting from a detailed analysis.

25 The steps a') to c') thus make it possible to characterize the analysis image.

The characterization of the analysis image makes it possible to guide the operator if the analysis image does not correspond to the expected image, for example because its quality is insufficient or because it does not represent the desired teeth.

30 **In the step d')**, the image attribute value of the analysis image is compared with an instruction.

For example, if the instruction was to acquire a right image and the image attribute value is “take on the left”, the comparison leads to the conclusion that the image acquired is “unsatisfactory”.

In the step e’), a message is sent to the operator, preferably by the acquisition apparatus.

- 5 Preferably, the information message relates to the quality of the image acquired and/or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch and/or to the setting of the acquisition apparatus and/or to the opening of the mouth and/or to the wearing of a dental, preferably orthodontic, appliance.

For example, if the image acquired is “unsatisfactory”, the acquisition apparatus may emit a
10 light, for example red, and/or ring, and/or generate a voice message, and/or vibrate, and/or display a message on its screen.

For example, if the image has to be acquired while the patient wears his or her dental appliance and this is not the case, the acquisition apparatus may send the message “wear your appliance for this image”.

- 15 For example, if the image was acquired with the patient not sufficiently opening the mouth or with the mouth closed, the acquisition apparatus may send the message “open your mouth more for this image”.

In one embodiment, the steps b’) to c’) are implemented only if the operator records the analysis image, that is to say he or she presses on the trigger. The message then prompts the
20 operator to acquire a new analysis image. Optionally, the acquisition apparatus deletes the unsatisfactory analysis image.

In one embodiment, the steps b’) to c’) are implemented permanently when the acquisition apparatus is switched on and the analysis image is an image which appears on a screen of the acquisition apparatus. The acquisition apparatus may thus, for example, emit a red light
25 as long as the analysis image is unsatisfactory, and emit a green light when the analysis image is satisfactory. Advantageously, the acquisition apparatus then stores only analysis images which are satisfactory.

As now clearly emerges, the invention therefore allows an embedded monitoring upon the acquisition of analysis images. When applied to updated images of the method of

WO 2016/066651, the steps a') to e') make it possible to check that these images do indeed conform to the need, and therefore to considerably speed up the execution of this method.

The steps d') and e') are optional. In one embodiment, the analysis image is only associated with its description, which specifies its image attribute value. This description also makes it possible to considerably speed up the execution of the method of WO 2016/066651 since, when the analysis image is used as updated image of this method, it makes it possible to approximately determine the real acquisition conditions of this image, by eliminating the risk of a rough error, for example because of a reversal between two images.

The steps d') and e') are however preferred. They make it possible for example to avoid having the operator forget a left image, or take two redundant right images.

Application to the monitoring of an orthodontic aligner

Conventionally, at the start of an orthodontic treatment, the orthodontist determines the positioning of the teeth that he or she wants to obtain at a so-called "set-up" instant of the treatment. The set-up may be defined by means of an imprint or from a three-dimensional scan of the teeth of the patient. The orthodontist then has manufactured, or manufactures, accordingly, an orthodontic appliance suited to this treatment.

The orthodontic appliance may be an orthodontic aligner. An aligner conventionally takes the form of a removable single-piece appliance, conventionally made of a transparent polymer material, which comprises a channel conformed for several teeth of an arch, generally all the teeth of an arch, to be able to be housed therein.

The form of the channel is adapted to hold the aligner in position on the teeth, while exerting an action of correction of the positioning of certain teeth (figures 14 and 15).

At the start of the treatment, the shapes that the different aligners have to take at different moments of the treatment are conventionally determined, then the set of corresponding aligners is manufactured. At predetermined instants, the patient changes the aligner.

The treatment by means of aligners is advantageously less stressful for the patient. In particular, the number of appointments with the orthodontist is limited. Furthermore, there is less pain than with a metal orthodontic brace attached to the teeth.

The market for orthodontic aligners is therefore on the increase.

At regular intervals, the patient goes to the orthodontist for a visual inspection, notably to check whether the displacement of the teeth conforms to the expectations and whether the aligner worn by the patient is still suited to the treatment.

5 If the orthodontist diagnoses an unsuitability to the treatment, he or she takes a new imprint of the teeth, or, in an equivalent manner, a new three-dimensional scan of the teeth, then orders a new series of aligners configured accordingly. It is considered that, on average, the number of aligners finally manufactured is approximately 45, instead of 20 aligners conventionally provided at the start of the treatment.

10 The need to have to go to the orthodontist is a constraint for the patient. The trust of the patient in his or her orthodontist may also be affected. The inadequacy may be unsightly. Finally, the result thereof is an additional cost.

The number of inspection visits to the orthodontist must therefore be limited.

There is a need for solutions addressing these problems.

One aim of the invention is to at least partially address this need.

15 The invention provides a method for assessing the shape of an orthodontic aligner, said method comprising the following steps:

- a") acquisition of at least one image at least partially representing the aligner in a service position in which it is worn by a patient, called "analysis image";
- 20 b") analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably a neural network, trained by means of a learning base, so as to determine a value for at least one tooth attribute of an "analysis tooth zone" of the analysis image, the tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the analysis tooth zone, and the aligner represented on the analysis image, and/or for an image attribute of the analysis image, the image attribute relating to a separation between at least one tooth represented on the analysis image, and the aligner represented on said analysis image;
- 25 c") preferably, assessment of the suitability of the aligner as a function of the value of said tooth or image attribute;
- d") preferably, sending of an information message as a function of said assessment.

As will be seen in more detail hereinafter in the description, an assessment method according to the invention considerably simplifies the assessment of the good suitability of the aligner to the treatment, while making this assessment particularly reliable. In particular, the method may be implemented from simple photographs or films, taken with no particular precautions,
5 for example by the patient. The number of appointments with the orthodontist may therefore be limited.

Preferably, in the step b''), all said analysis tooth zones are identified, and the value of said tooth attribute is determined for each analysis tooth zone, and, in the step c''), the suitability of the aligner is determined as a function of said tooth attribute values.

10 Preferably, said tooth attribute is chosen from the group formed by a maximal separation along the free edge of the tooth, a mean separation along the free edge of the tooth, and said image attribute is chosen from the group formed by a maximal separation along all of the teeth represented, a mean separation along the free edges of all of the teeth represented, an overall acceptability of the separation of the teeth represented.

15 The tooth attribute relating to a separation may in particular be the existence of a separation, this attribute being able to take the tooth attribute values "yes" or "no"; or a value measuring the scale of the separation, for example an observed maximal separation or an assessment in relation to a scale.

In the step b''), a detailed analysis method according to the invention is preferably
20 implemented, a tooth attribute of each historical tooth zone of each historical image of the learning base relating to a separation between the tooth represented by the historical tooth zone, and an aligner worn by said tooth and represented on said historical image.

Preferably, the step b'') comprises the following steps:

b"1) preferably before the step a''), creation of a learning base comprising more than
25 1000, preferably more than 5000, preferably more than 10 000 images of dental arches, or "historical images", each historical image representing an aligner worn by a "historical" patient and comprising one or more zones each representing a tooth, or "historical tooth zones", to each of which is assigned, for at least one tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the historical
30 tooth zone considered, and the aligner represented, a tooth attribute value;

- b"2) learning of a deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- b"3) submission of the analysis image to the deep learning device for the deep learning device to determine at least one probability relating to
- 5 – the presence, at a location of said analysis image, of an analysis tooth zone, and
- the tooth attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone;
- b"4) determination, as a function of said probability, of the presence of a separation between the aligner and the tooth represented by said analysis tooth zone, and/or of an amplitude of said separation.
- 10 The steps b''1) to b''4) may comprise one or more of the features, possibly optional, of the steps 1) to 4) described above, respectively.

In one embodiment, in the step b''), a global analysis method according to the invention is implemented, an image attribute of each historical image of the learning base relating to a separation between at least one tooth represented on the historical image, and an aligner

15 worn by said tooth and represented on said historical image.

Preferably, the step b'') comprises the following steps:

- b"1') creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or "historical images", each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or "image attribute value", relating to a separation between at
- 20 least one tooth represented on the analysis image, and the aligner represented on said analysis image;
- b"2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- b"3') submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine, for
- 25 said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value, and determination, as a function of said probability, of the presence of a separation between the aligner and the tooth or teeth represented on the analysis image, and/or of an amplitude of said separation.

The steps b''1') to b''3') may comprise one or more of the features, possibly optional, of the

30 steps 1') to 3') described above, respectively.

The method is now described when a detailed analysis is implemented in the step b'').

Prior to the step a''), the learning base must be enriched, preferably according to an enrichment method according to the invention, in order to contain historical images whose description specifies, for each of the historical tooth zones, a value for the tooth attribute relating to the separation.

- 5 This information may be input manually. For example, an image representing one or more so-called "historical" tooth zones may be presented to an operator, preferably an orthodontist, and he or she may be asked to identify these historical tooth zones and indicate, for each historical tooth zone, whether there is a separation or not and/or assess the amplitude of this separation.
- 10 A historical image may be a photo representing an aligner worn by a historical patient. Alternatively, a historical image may be the result of a processing of an image representing a naked dental arch (that is to say without aligner) and of an image representing the same arch bearing the aligner. The image representing the naked arch may in particular be a view of a model of the arch deformed to obtain a maximal match with the image representing the
- 15 arch bearing the aligner. Such a processing may in particular be useful for better revealing the outline of the teeth and of the aligner when the teeth are not very visible through the aligner.

In the step a''), the acquisition of the analysis image may be performed like the acquisition of the updated images in the step B) described above.

- 20 Preferably, at least one reminder informing the patient of the need to create an analysis image is addressed to the patient. This reminder may be in paper form or, preferably, in electronic form, for example in the form of an email, of an automatic alert from a dedicated mobile device or an SMS. Such a reminder may be sent by the orthodontic practice or laboratory or by the dentist or by the dedicated mobile application of the patient, for example.
- 25 The step a'') is performed at the moment when the assessment of the shape of an aligner is desired, for example more than 1 week after the start of the treatment with the aligner.

The analysis image is an image representing the aligner worn by the teeth of the patient.

In the step b''), the analysis image is analyzed according to a detailed analysis method according to the invention.

5 The deep learning device has been trained by means of a learning base containing historical images whose description specifies, for at least one, preferably each historical tooth zone, a value for a tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the historical tooth zone and the aligner worn by said tooth and represented on said historical image.

The value for this tooth attribute therefore provides an information item relating to the shape of the aligner relative to the shape of the teeth of the patient.

10 The value for this tooth attribute can be a measurement of the separation, for example a measurement of the maximum separation, or of the mean separation for the tooth represented by the historical tooth zone.

The deep learning device is therefore capable of analyzing the analysis image to determine, preferably for each of the “analysis tooth zones”, the existence, even the extent, of a separation of the aligner of the tooth represented on the analysis tooth zone.

15 **In the step c’)**, an assessment is made, as a function of the results of the preceding step, as to the compatibility the aligner. For example, a search is conducted to see if the separation of the aligner with at least one tooth exceeds an acceptability threshold and, in this case, a decision is made as to the replacement of the aligner by a better suited aligner.

20 The suitability of the aligner can be assessed in the context of an orthodontic treatment (separation compatible or not with the orthodontic treatment) but also in the context of a non-therapeutic, in particular esthetic, treatment. Aligners can indeed be used to displace teeth for purely esthetic purposes, without this displacement modifying the state of health of the patient. The suitability of the aligner can also be assessed in the context of a research program concerning the effectiveness of the aligner, for example to assess a new material for the aligner, on a human being or on another animal.

25 **In the step d’)**, an information item relating to the assessment in the preceding step is sent, in particular to the patient and/or the orthodontist.

The orthodontist can then use this information, possibly in combination with additional information, for example the age of the patient or the duration for which the aligner has been worn, to establish a diagnosis and, if necessary, decide on a suitable treatment.

In one embodiment, the method comprises, in the step b''), a global analysis according to the invention. The other steps are unchanged.

The analysis of the analysis image and of the historical images is then performed globally, without identification of the individual situation of each of the teeth represented and the
5 image attribute relates to the image as a whole.

For example, the image attribute relating to the separation may relate to the acceptability of a dental situation, the cause of one or more separations, or relate to the global scale of the separation or separations of the teeth. For example, the value of the image attribute may be “globally acceptable” or “globally unacceptable”. The value of the image attribute can also,
10 for example, be a measurement of the separation, for example a measurement of the maximum separation, or of the mean separation between the teeth represented on the analysis image and the aligner.

As now clearly emerges, a method according to the invention makes it possible, from simple photos or a simple film, to determine whether the aligner is abnormally detached, even, if a
15 detailed analysis was performed in the step b''), to determine the regions in which the aligner is separated from the teeth and assess the scale of this separation.

The invention also relates to a method for adapting an orthodontic treatment, a method in which a method for assessing the shape of an orthodontic aligner according to the invention is implemented, then, as a function of the result of said assessment, a new aligner is
20 manufactured and/or the patient is counseled, for example for him or her to improve the conditions of use of his or her orthodontic aligner, in particular the positioning and/or the time bands when it should be worn and/or the maintenance of his or her orthodontic aligner, in order to optimize the treatment.

The use of aligners is not limited to therapeutic treatments. In particular, an assessment
25 method may be implemented to assess an aligner exclusively used for esthetic purposes.

The method may also be used to assess other dental, in particular orthodontic, parts or appliances.

Computer program

The invention relates also:

- to a computer program, and in particular a dedicated application for cellphones, comprising program code instructions for the execution of one or more steps of any method according to the invention, when said program is run by a computer,
- to a computer medium on which such a program is stored, for example a memory or a CD-ROM.

Obviously, the invention is not limited to the embodiments described above and represented.

In particular, the patient is not necessarily a human being. A method according to the invention may be used for another animal.

The patient could be alive or dead. He is preferably alive.

- 10 The methods of the invention may be used for an orthodontic treatment, but also out of any orthodontic treatment, and even out of any therapeutic treatment.

15

20

25

30

CLAIMS

1. A method for acquiring an image of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:
 - a') activation of an image acquisition apparatus so as to acquire an image, called
5 "analysis image", of said arch;
 - b') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably a neural network, trained by means of a learning base;
 - c') determination, for the analysis image, as a function of the results of the analysis in the preceding step, of a value for an image attribute;
 - 10 d') comparison of said image attribute value with a setpoint;
 - e') sending of an information message as a function of said comparison, the information message being related to the quality of the image acquired and/or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch and/or to the setting of the acquisition apparatus and/or to the opening of the
15 mouth and/or to the wearing of a dental, preferably orthodontic, appliance.
2. The method as claimed in claim 1, in which, in the step b'), at least one analysis tooth zone is identified that represents, at least partially, a tooth on said analysis image, and at least one value of a tooth attribute is determined for said at least one analysis tooth zone, and, in the step c'), the value for the image attribute is determined as a function of
20 said tooth attribute value.
3. The method as claimed in claim 1, in which, in the step b'), all said analysis tooth zones are identified, and at least one tooth attribute value is determined for each analysis tooth zone, and, in the step c'), the value for the image attribute is determined as a function of said tooth attribute values.
- 25 4. The method as claimed in claim 2, in which the step b') comprises the following steps:
 - 1) preferably before the step a'), creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or "historical images", each historical image comprising one or more zones each representing a tooth, or "historical tooth zones", to each of which, for said tooth attribute, a tooth attribute value is assigned;

- 2) training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
 - 3) submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine at least one probability relating to:
 - 5 – the presence, at a location in said analysis image, of a zone representing, at least partially, a tooth, or “analysis tooth zone”,
 - the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone,
 - 4) determination, as a function of said probability, of the presence of a tooth at a position represented by said analysis tooth zone, and of the attribute value of said

10 tooth.
5. The method as claimed in claim 4, in which said tooth attribute is chosen from a tooth number, a tooth type, a tooth shape parameter, a tooth appearance parameter, a parameter relating to the state of the tooth, an age for the patient, or a combination of these attributes.
- 15 6. The method as claimed in claim 1, in which the step b') comprises the following steps:
- 1') creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or “historical images”, each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or “image attribute value”;
 - 2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means

20 of the learning base;
 - 3') submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value.
7. The method as claimed in claim 4, in which, in the step 1) or 1'), a learning base is

25 created comprising more than 10 000 historical images.
8. The method as claimed in claim 1, in which the learning base is composed according to the following steps:
- A) at an “updated” instant, production of a model of a dental arch of a patient, or “updated reference model”, and segmentation of the updated reference model so as

- to produce, for each tooth, a “tooth model”, and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
- B) acquisition of at least one image of said arch, or “updated image”, in real acquisition conditions;
- 5 C) for each updated image, search for virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions, and acquisition of said reference image;
- 10 D) identification, in the reference image, of at least one zone representing a tooth model, or “reference tooth zone” and, by comparison of the updated image and the reference image, determination, in the updated image, of a zone representing said tooth model, or “updated tooth zone”;
- E) assignment, to said updated tooth zone, of the tooth attribute value of said tooth model;
- 15 F) addition of the updated image enriched with a description of said updated tooth zone and its tooth attribute value, or “historical image”, in the learning base.
9. The method as claimed in claim 1, in which the learning base is composed according to the following steps:
- 20 A') at an initial instant, production of a model of a dental arch of a patient, or “initial reference model”, and segmentation of the initial reference model so as to produce, for each tooth, a “tooth model”, and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
- B') at an updated instant, acquisition of at least one image of said arch, or “updated image”, in real acquisition conditions;
- 25 C') search, by deformation of the initial reference model, for an updated reference model and virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions;
- 30 D) identification, in the reference image, of at least one zone representing a tooth model, or “reference tooth zone” and, by comparison of the updated image and the reference image, determination, in the updated image, of a zone representing said tooth model, or “updated tooth zone”;

- E) assignment, to said updated tooth zone, of the tooth attribute value of said tooth model;
 - F) addition of the updated image enriched with a description of said updated tooth zone and its tooth attribute value, or “historical image”, in the learning base.
- 5 10. The method as claimed in claim 1, in which, to create a historical image of the learning base, an operator, preferably an orthodontist,
- identifies one or more “historical” tooth zones on an image, called then assigns, to each identified historical tooth zone, a value for at least one tooth attribute, and/or
 - assigns to an image a value for at least one tooth attribute.
- 10 11. The method as claimed in claim 1, in which the acquisition apparatus is a cellphone.
12. The method as claimed in claim 1, in which the information message is sent by the acquisition apparatus.
13. The method as claimed in claim 1, in which said image attribute relates to
- a position and/or an orientation and/or a calibration of an acquisition apparatus used
 - 15 to acquire said analysis image, and/or
 - a quality of the analysis image, and in particular relating to the brightness, to the contrast or to the sharpness of the analysis image, and/or
 - the content of the analysis image, in particular to the representation of the arches, of the tongue, of the mouth, of the lips, of the jaws, of the gums, of one or more
 - 20 teeth or of an orthodontic appliance.

ABSTRACT

DENTAL MONITORING

“Method for analyzing an image of a dental arch”

5

A method for acquiring an image of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- a') activation of an image acquisition apparatus so as to acquire an image, called “analysis image”, of said arch;
- 10 b') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably a neural network, trained by means of a learning base;
- c') determination, for the analysis image, as a function of the results of the analysis in the preceding step, of a value for an image attribute;
- d') comparison of said image attribute value with a setpoint;
- 15 e') sending of an information message as a function of said comparison, the information message being related to the quality of the image acquired and/or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch and/or to the setting of the acquisition apparatus and/or to the opening of the mouth and/or to the wearing of a dental, preferably orthodontic, appliance.

20

No figure for the abstract.

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	39761626
Application Number:	16031201
International Application Number:	
Confirmation Number:	8853
Title of Invention:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
First Named Inventor/Applicant Name:	Philippe SALAH
Customer Number:	108676
Filer:	Ronald M. Kachmarik/Amy Ansbro
Filer Authorized By:	Ronald M. Kachmarik
Attorney Docket Number:	N&P-51425
Receipt Date:	18-JUN-2020
Filing Date:	10-JUL-2018
Time Stamp:	15:09:04
Application Type:	Utility under 35 USC 111(a)

Payment information:

Submitted with Payment	no
------------------------	----

File Listing:

Document Number	Document Description	File Name	File Size(Bytes)/ Message Digest	Multi Part /.zip	Pages (if appl.)
1		N-P-51425-UPAM-D.pdf	104312	yes	3
			4b901843d7492925a3bdfd1c85424d06c608b41f		

Multipart Description/PDF files in .zip description					
Document Description			Start	End	
Applicant Arguments/Remarks Made in an Amendment			3	3	
Specification			2	2	
Amendment after Notice of Allowance (Rule 312)			1	1	
Warnings:					
Information:					
2	Specification	N-P-51425_Sub_Spec_clean.pdf	279596	no	53
			498fad1907abbd52ebe6ef84034d35af2fe5469		
Warnings:					
Information:					
3	Specification	N-P-51425_Sub_Spec_marked.pdf	285898	no	53
			44ff4ca89604e11932627d801128d96a92a1d51f		
Warnings:					
Information:					
Total Files Size (in bytes):			669806		
<p>This Acknowledgement Receipt evidences receipt on the noted date by the USPTO of the indicated documents, characterized by the applicant, and including page counts, where applicable. It serves as evidence of receipt similar to a Post Card, as described in MPEP 503.</p> <p><u>New Applications Under 35 U.S.C. 111</u> If a new application is being filed and the application includes the necessary components for a filing date (see 37 CFR 1.53(b)-(d) and MPEP 506), a Filing Receipt (37 CFR 1.54) will be issued in due course and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the filing date of the application.</p> <p><u>National Stage of an International Application under 35 U.S.C. 371</u> If a timely submission to enter the national stage of an international application is compliant with the conditions of 35 U.S.C. 371 and other applicable requirements a Form PCT/DO/EO/903 indicating acceptance of the application as a national stage submission under 35 U.S.C. 371 will be issued in addition to the Filing Receipt, in due course.</p> <p><u>New International Application Filed with the USPTO as a Receiving Office</u> If a new international application is being filed and the international application includes the necessary components for an international filing date (see PCT Article 11 and MPEP 1810), a Notification of the International Application Number and of the International Filing Date (Form PCT/RO/105) will be issued in due course, subject to prescriptions concerning national security, and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the international filing date of the application.</p>					

REMARKS/ARGUMENTS

This Amendment is after a Notice of Allowance and is provided to comply with the Notice to File Corrected Application Papers dated June 18, 2020 (herein the Notice).

This Amendment contains no new matter.

The Notice to states, in pertinent part, "the pages of the specification including claims and abstract must be numbered consecutively, beginning with 1, the numbers being centrally located above or preferably below, the text."

It is respectfully submitted that this Amendment complies with and satisfies the Notice to File Corrected Application Papers dated June 18, 2020. If something further is now needed, it is respectfully requested that further notice, instruction, explanation be provided, and appropriate response time be accorded.

If there are any fees resulting from this communication, please charge same to our Deposit Account No. 505088, our Order No. N&P-51425.

Respectfully submitted,
COOPER LEGAL GROUP, LLC

By: /Ronald M. Kachmarik/
Ronald M. Kachmarik, Reg. No. 34512

Cooper Legal Group, LLC
6505 Rockside Road
Suite 330
Independence, Oh 44131

Appln. No. 16/031,201
Amendment dated June 18, 2020
Reply to Notice mailed: June 18, 2020

AMENDMENTS TO THE SPECIFICATION

Please replace the original SPECIFICATION with the enclosed SUBSTITUTE SPECIFICATION, which includes no new matter.

METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Technical field

The present invention relates to the field of dental arch image analysis.

5 **State of the art**

The most recent orthodontic treatments use images to assess the therapeutic situations. This assessment is conventionally performed by an orthodontist, which requires the patient to transmit these images to the orthodontist, even to make an appointment.

10 There is an ongoing need for a method simplifying the analysis of the images of dental arches of patients.

One aim of the invention is to address this need.

Summary of the invention

15 The invention proposes a method for analyzing an image, called “analysis image”, of a dental arch of a patient, a method in which the analysis image is submitted to a deep learning device, preferably a neural network, in order to determine at least one value of a tooth attribute relating to a tooth represented on the analysis image, and/or at least one value of an image attribute relating to the analysis image.

Analysis by tooth

20 The invention proposes in particular a method for detailed analysis of an image called “analysis image” of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- 1) creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or “historical images”, each historical image comprising one or more zones each representing a tooth, or “historical tooth zones”, to each of which, for at least one tooth attribute, a tooth attribute value is assigned;
- 25 2) training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;

- 3) submission of the analysis image to said at least one deep learning device for it to determine at least one probability relating to an attribute value of at least one tooth represented on a zone representing, at least partially, said tooth in the analysis image, or “analysis tooth zone”;
- 5 4) determination, as a function of said probability, of the presence of a tooth of said arch at a position represented by said analysis tooth zone, and of the attribute value of said tooth.

A first deep learning device, preferably a neural network, may in particular be implemented to assess a probability relating to the presence, at a location of said analysis image, of an analysis tooth zone.

10

A second deep learning device, preferably a neural network, may in particular be implemented to assess a probability relating to the type of tooth represented in an analysis tooth zone.

As will be seen in more detail hereinafter in the description, a detailed analysis method according to the invention advantageously makes it possible to immediately recognize the content of the analysis image.

15

The analysis image may advantageously be classified automatically. It may also be used immediately by a computer program.

The invention relies on the use of a deep learning device, preferably a neural network, the performance of which is directly linked to the richness of the learning base. There is therefore also a need for a method that makes it possible to rapidly enrich the learning base.

20

The invention therefore relates also to a method for enriching a learning base, notably intended for the implementation of a detailed analysis method according to the invention, said enrichment method comprising the following steps:

- 25 A) at an “updated” instant, production of a model of a dental arch of a patient, or “updated reference model”, and segmentation of the updated reference model so as to produce, for each tooth, a “tooth model”, and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
- 30 B) preferably less than 6 months, preferably less than 2 months, preferably less than 1 month, preferably less than a fortnight, preferably less than 1 week, preferably less than 1 day before or after the updated instant, preferably substantially at the updated

instant, acquisition of at least one, preferably at least three, preferably at least ten, preferably at least one hundred images of said arch, or “updated images” in respective real acquisition conditions;

- 5 C) for each updated image, search for virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions, and acquisition of said reference image;
- 10 D) identification, in the reference image, of at least one zone representing a tooth model, or “reference tooth zone”, and, by comparison of the updated image and of the reference image, determination, in the updated image, of a zone representing said tooth model, or “updated tooth zone”;
- E) assignment, to said updated tooth zone, of the tooth attribute value or values of said tooth model;
- 15 F) addition of the updated image enriched with a description of said updated tooth zone and its tooth attribute value or values, or “historical image”, in the learning base.

In particular, each execution of the method described in WO 2016/066651 preferably generates more than three, more than ten, preferably more than one hundred updated images which, by an automated processing by means of the updated reference model, may produce as many historical images.

- 20 In a particular embodiment, the method for enriching a learning base comprises, in place of the steps A) to C), the following steps:

- 25 A') at an initial instant, production of a model of a dental arch of a patient, or “initial reference model”, and segmentation of the initial reference model so as to produce, for each tooth, a “tooth model”, and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
- B') at an updated instant, for example spaced apart by more than a fortnight, preferably more than a month, even more than two months from the initial instant, acquisition of at least one, preferably at least three, preferably at least ten, preferably at least one hundred images of said arch, or “updated images”, in respective real acquisition conditions;
- 30 C') for each updated image, search, by deformation of the initial reference model, for an updated reference model and virtual acquisition conditions suitable for an acquisition

of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions.

This method advantageously makes it possible, after generation of the initial reference model, preferably by means of a scanner, to enrich the learning base at different updated
5 instants, without it being necessary to perform a new scan, and therefore without the patient having to go to the orthodontist. He or she may in fact acquire the updated images him or herself, as described in WO 2016/066651.

A single orthodontic treatment may thus lead to the production of hundreds of historical images.

10 The invention relates also to a method for training a deep learning device, preferably a neural network, comprising an enrichment of a learning base according to the invention, then the use of said learning base to train the deep learning device.

Global analysis

The detailed analysis method described above advantageously allows for a fine analysis of
15 the analysis image, the situation of each being preferably assessed.

Alternatively, the deep learning device may be used globally, the learning base containing historical images whose description provides a global attribute value for the image. In other words, the value of the image attribute relates to the whole image and not to part of the image. The attribute is not then a “tooth” attribute, but is an “image” attribute. For example,
20 this image attribute may define whether, in light of the image as a whole or of a part of the image, the dental situation “is pathological” or “is not pathological”, without each tooth being examined. The image attribute also makes it possible to detect, for example, whether the mouth is open or closed, or, more generally, whether the image is suitable for a subsequent treatment, for example whether it makes it possible to monitor the occlusion.

25 The image attribute may in particular relate to

- a position and/or an orientation and/or a calibration of an acquisition apparatus used to acquire said analysis image, and/or
- a quality of the analysis image, and in particular relating to the brightness, to the contrast or to the sharpness of the analysis image, and/or

- the content of the analysis image, for example to the representation of the arches, of the tongue, of the mouth, of the lips, of the jaws, of the gums, of one or more teeth or of a dental, preferably orthodontic, appliance.

When the image attribute refers to the content of the image, the description of the historical
5 images of the learning base specifies a characteristic of this content. For example, it may specify the position of the tongue (for example “retracted”) or the opening of the mouth of the patient (for example mouth open or closed) or the presence of a representation of a dental, preferably orthodontic, appliance and/or of its condition (for example appliance intact, broken or damaged).

10 A tooth attribute value may be used to define a value for an image attribute. For example, if a value of a tooth attribute is “tooth decayed”, the value of an image attribute may be “unsatisfactory dental situation”.

The image attribute may in particular relate to a therapeutic situation.

The invention proposes a method for global analysis of an analysis image of a dental arch of
15 a patient, said method comprising the following steps:

- 1') creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or “historical images”, each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or “image attribute value”;
- 2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means
20 of the learning base;
- 3') submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value, and determination, as a function of said probability, of a value for said image attribute for the analysis image.

25 The image attribute may in particular relate to the orientation of the acquisition apparatus upon the acquisition of the analysis image. It may for example take the values “front photo”, “left photo” and “right photo”.

The image attribute may also relate to the quality of the image. It may for example take the values “insufficient contrast” and “acceptable contrast”.

30 The image attribute may also relate to the dental situation of the patient, for example relate to the presence of decay or to the condition of a dental, preferably orthodontic, appliance

worn by the patient (“degraded” or “in good condition” for example) or to the suitability of the dental, preferably orthodontic, appliance to the treatment of the patient (for example “unsuitable” or “suitable”).

The image attribute may also relate to the “presence” or “absence” of a dental, preferably orthodontic, appliance, or to the state of opening of the mouth (“mouth open”, “mouth closed” for example).

As will be seen in more detail hereinafter in the description, a global image analysis method according to the invention advantageously makes it possible to immediately and globally assess the content of the analysis image. In particular, it is possible to globally assess a dental situation and, for example, deduce therefrom the need to consult an orthodontist.

Definitions

A “patient” is a person for whom a method according to the invention is implemented, independently of whether or not this person is following an orthodontic treatment.

“Orthodontist” should be understood to mean any person qualified to provide dental care services, which also includes a dentist.

A “dental part”, in particular “orthodontic part”, should be understood to mean all or part of a dental, in particular orthodontic, appliance.

An orthodontic part may in particular be an orthodontic aligner. Such an aligner extends in such a way as to follow the successive teeth of the arch on which it is fixed. It defines a generally “U” shaped channel, the shape of which is determined to ensure the fixing of the aligner onto the teeth, but also as a function of a desired target positioning for the teeth. More specifically, the shape is determined in such a way that, when the aligner is in its service position, it exerts stresses tending to move the teeth being treated to their target positioning, or to hold the teeth in this target positioning.

The “service position” is the position in which the dental or orthodontic part is worn by the patient.

“Model” should be understood to be a digital three-dimensional model. An arrangement of tooth models is therefore a model.

“Image” should be understood to be an image in two dimensions, like a photograph or an image taken from a film. An image is formed by pixels.

A “reference image” is a view of a “reference” model.

“Image of an arch” or “model of an arch” should be understood to be a representation of all or part of said arch. Such a representation is preferably in colors.

5 The “acquisition conditions” of an image specify position and the orientation in space of an acquisition apparatus acquiring this image in relation to the teeth of the patient (real acquisition conditions) or to a model of teeth of the patient (virtual acquisition conditions), and preferably the calibration of this acquisition apparatus. Acquisition conditions are said to be “virtual” when they correspond to a simulation in which the acquisition apparatus would be in said acquisition conditions (theoretical positioning and preferably calibration of
10 the acquisition apparatus) relative to a model.

In virtual conditions of acquisition of a reference image, the acquisition apparatus may be also qualified as “virtual”. The reference image is in fact acquired by a hypothetical acquisition apparatus, having the characteristics of the “real” acquisition apparatus used for the acquisition of the real images, and in particular of the updated images.

15 The “calibration” of an acquisition apparatus is made up of all the values of the calibration parameters. A “calibration parameter” is a parameter intrinsic to the acquisition apparatus (unlike its position and orientation) whose value influences the image acquired. Preferably, the calibration parameters are chosen from the group formed by the diaphragm aperture, the exposure time, the focal distance and the sensitivity.

20 A “discriminating information item” is a characteristic feature which may be extracted from an image (“*image feature*”), conventionally by computer processing of this image.

A discriminating information item may exhibit a variable number of values. For example, a contour feature may be equal to 1 or 0 depending on whether a pixel belongs or does not belong to a contour. A brightness feature may take a large number of values. The processing
25 of the image makes it possible to extract and quantify the discriminating information item.

The discriminating information item may be represented in the form of a “map”. A map is thus the result of a processing of an image in order to reveal the discriminating information item, for example the contour of the teeth and of the gums.

“Match” or “fit” between two objects designates a measurement of the difference between these two objects. A match is maximal (“*best fit*”) when it results from an optimization making it possible to minimize said difference.

An object modified to obtain a maximum match may be qualified as “optimal” object.

- 5 Two images or “views” which exhibit a maximal match represent substantially at least one same tooth, in the same way. In other words, the representations of the tooth on these two images may be substantially superimposed.

The search for a reference image exhibiting a maximal match with an updated image is performed by searching for the virtual acquisition conditions of the reference image
10 exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions of the updated image.

By extension, a model exhibits a maximal match with an image when this model has been chosen from several models because it allows a view exhibiting a maximal match with said image and/or when this image has been chosen from several images because it exhibits a maximal match with a view of said model.

- 15 In particular, an updated image is in maximal match with a reference model when a view of this reference model provides a reference image showing a maximal match with the updated image.

The comparison between two images results preferably from the comparison of two corresponding maps. “Distance” is used conventionally to denote a measurement of the
20 difference between two maps or between two images.

The “metaheuristic” methods are known optimization methods. They are preferably chosen from the group formed by

- evolutionary algorithms, preferably chosen from: evolution strategies, genetic algorithms, differential evolution algorithms, distribution estimation algorithms,
25 artificial immunity systems, shuffled complex evolution path recomposition, simulated annealing, ant colony algorithms, particular swarm optimization algorithms, search with taboos, and the GRASP method;
- the kangaroo algorithm,
- the Fletcher and Powell method,
- 30 – the sound effects method,
- stochastic tunneling,

- random-restart hill climbing,
- the cross-entropy method, and
- the hybrid methods between the abovementioned metaheuristic methods.

5 “Description” of an image denotes information particularly relating to the definition of the tooth zones of this image and to the tooth attribute values which are associated with them, and/or relating to an image attribute value of said image. The number of possible values for a tooth attribute or an image attribute is unlimited.

A “historical” image is an image of a dental arch enriched with a description. The tooth zones of a historical image are qualified as “historical tooth zones”.

10 “Comprising” or “including” or “exhibiting” should be interpreted without restriction, unless indicated otherwise.

Brief description of the figures

Other features and advantages of the invention will become more apparent on reading the following detailed description and studying the attached drawing in which:

- 15 - figure 1 represents, schematically, the different steps of a method for detailed analysis of an image, according to the invention;
- figure 2 represents, schematically, the different steps of a method for enriching a learning base, according to the invention;
- figure 3 represents, schematically, the different steps of a variant of a method for
- 20 enriching a learning base, according to the invention;
- figure 4 represents, schematically, the different steps of a method for global analysis of an image, according to the invention;
- figure 5 represents, schematically, the different steps of a step C) of a method for enriching a learning base, according to the invention;
- 25 - figures 6 and 18 represent, schematically, the different steps of a method for modeling the dental arch of a patient, according to the invention;
- figure 7 represents, schematically, the different steps of a method for assessing a dental situation of a patient, according to the invention;
- figure 8 represents, schematically, the different steps of a method for acquiring an
- 30 image of a dental arch of a patient, according to the invention;

- figure 9 represents, schematically, the different steps of a method for assessing the shape of an orthodontic aligner of a patient, according to the invention;
- figure 10 represents an example of a reference image of an initial reference model;
- figure 11 (11A-11D) illustrates a way of processing to determine the tooth models in an initial reference model, as described in WO 2016 066651, with figure 11A representing a reference image, figure 11B representing a corresponding reference map, figure 11C representing a map relating to the contour of the teeth, and figure 11D representing a segmented reference model;
- figure 12 (12A-12D) illustrates the acquisition of an image by means of a retractor, an operation of cropping of this image, and the processing of an updated image making it possible to determine the contour of the teeth, as described in WO 2016 066651, with figure 12A illustrating the use of a dental retractor, figures 12B and 12C representing an updated image, and figure 12D representing an updated map relating to the contour of the teeth obtained from the updated image of figure 12C;
- figure 13 schematically illustrates the relative position of registration marks 12 of a retractor 10 on updated images 14₁ and 14₂, according to the directions of observation represented by broken lines;
- figures 14 and 15 represent an orthodontic aligner, in perspective and plan views, respectively;
- figure 16 illustrates the step e) described in WO 2016 066651;
- figure 17 (17A-17C) illustrates an enrichment method according to the invention, with figure 17A showing an example of updated image, figure 17B showing the reference image exhibiting a maximal match with the updated image, and figure 17C illustrating the transfer of the tooth numbers to the updated tooth zones; and
- figure 18 is described above with figure 6.

Detailed description

A detailed analysis method according to the invention requires the creation of a learning base. This creation preferably implements a method comprising the steps A) to F), or, in one embodiment, in place of the steps A) to C), preferably the steps A') to C').

First main embodiment of the enrichment method

The step A) is intended for the production of an updated reference model modeling an arch of the patient. It preferably comprises one or more of the features of the step a) of WO 2016 066651, incorporated by reference, to produce an initial reference model.

The updated reference model is preferably created with a 3D scanner. Such a so-called “3D” model may be observed from any angle. An observation of the model, from a determined angle and distance, is called a “view” or “reference image”.

Figure 11A is an example of reference image.

The updated reference model may be prepared from measurements performed on the teeth of the patient or on a molding of his or her teeth, for example a plaster molding.

- 10 For each tooth, from the updated reference model, a model of said tooth, or “tooth model”, is defined (figure 11D). This operation, known per se, is called “segmentation” of the updated reference model.

- 15 In the updated reference model, a tooth model is preferably delimited by a gingival margin which may be broken down into an interior gingival margin (of the side of the interior of the mouth relative to the tooth), an exterior gingival margin (oriented toward the outside of the mouth relative to the tooth) and two lateral gingival margins.

One or more tooth attributes are associated with the tooth models as a function of the teeth that they model.

- 20 The tooth attribute is preferably chosen from a tooth number, a tooth type, a tooth shape parameter, for example a tooth width, in particular a mesio-palatine width, a thickness, a crown height, an index of mesial and distal deflection of the incisive margin, or a level of abrasion, a tooth appearance parameter, in particular a translucency index or a color parameter, a parameter relating to the condition of the tooth, for example “abraded”, “broken”, “decayed” or “fitted” (that is to say in contact with a dental, preferably
25 orthodontic, appliance), an age for the patient, or a combination of these attributes. A tooth attribute is preferably an attribute which only relates to the tooth modeled by the tooth model.

A tooth attribute value may be assigned to each tooth attribute of a particular tooth model.

- For example, the “tooth type” tooth attribute will have the value “incisor”, “canine” or “molar” depending on whether the tooth model is that of an incisor, of a canine or of a molar,
30 respectively.

The assignment of the tooth attribute values to the tooth models may be manual or, at least partly, automatic. For example, if the value of a tooth attribute is identical whatever the tooth model, such as for the “age of the patient” tooth attribute, it may be sufficient to assign a value to one tooth model to determine the value of this attribute for the other tooth models.

- 5 Similarly, the tooth numbers are conventionally assigned according to a standard rule. It is therefore sufficient to know this rule and the number of a tooth modeled by a tooth model to calculate the numbers of the other tooth models.

In a preferred embodiment, the shape of a particular tooth model is analyzed so as to define its tooth attribute value, for example its number. This shape recognition is preferably
10 performed by means of a deep learning device, preferably a neural network. Preferably, a library of historical tooth models is created, each historical tooth model having a value for the tooth attribute, as described hereinbelow (step a)), the deep learning device is trained with views of the historical tooth models of this library, then one or more views of the particular tooth model are analyzed with the trained deep learning device, so as to determine
15 the tooth attribute value of said particular tooth model.

The allocation of the tooth attribute values may then be performed totally without human intervention.

The step B) is intended for the acquisition of one or preferably several updated images.

The step B) preferably comprises one or more of the features of the step b) of
20 WO 2016 066651.

The acquisition of the updated images is performed by means of an image acquisition apparatus, preferably chosen from a cellphone, a so-called “connected” camera, a so-called “smart” watch, a tablet or a personal computer, fixed or portable, comprising an image acquisition system such as a webcam or a camera. Preferably, the image acquisition
25 apparatus is a cellphone.

Also preferably, the image acquisition apparatus is separated from the dental arch by more than 5 cm, more than 8 cm, even more than 10 cm, which avoids the condensation of steam on the optic of the image acquisition apparatus and facilitates the focusing. Furthermore, preferably, the image acquisition apparatus, in particular the cellphone, has no specific optic
30 for the acquisition of the updated images, which is notably possible because of the separation of the dental arch during the acquisition.

Preferably, an updated image is a photograph or an image extracted from a film. It is preferably in color, preferably in real colors.

Preferably, the acquisition of the updated image or images is performed by the patient, preferably without the use of a support which is bearing on the ground and is immobilizing the image acquisition apparatus, and in particular without tripod.

In one embodiment, the triggering of the acquisition is automatic, that is to say without the action of an operator, as soon as the acquisition conditions are approved by the image acquisition apparatus, in particular when the image acquisition apparatus has determined that it observes a dental arch and/or a retractor and that the conditions of observation are satisfactory (sharpness, brightness, even dimensions of the representation of the dental arch and/or of the retractor).

The time interval between the steps A) and B) is as short as possible in order for the teeth not to be substantially displaced between the production of the updated model and the acquisition of the updated images. Reference images matching with the updated images may then be acquired by observing the updated reference model.

Preferably, a dental retractor 10 is used in the step B), as represented in figure 12A. The retractor conventionally comprises a support provided with a rim extending around an opening and arranged in such a way that the lips of the patient may rest thereon leaving the teeth of the patient apparent through said opening.

In the step C), the updated reference model is explored to find, for each updated image, a reference image exhibiting a maximal match with the updated image.

The step C) may comprise one or more of the features of the steps c), d) and e) of WO 2016 066651, in as much as they concern such an exploration.

For each updated image, a set of virtual acquisition conditions approximating the real acquisition conditions upon the acquisition of said updated image is preferably determined, roughly. In other words, the position of the image acquisition apparatus is estimated in relation to the teeth at the moment when it took the updated image (position of the acquisition apparatus in space and orientation of this apparatus). This rough assessment advantageously makes it possible to limit the number of tests on virtual acquisition conditions in subsequent operations, and therefore makes it possible to considerably speed up these operations.

To perform this rough assessment, one or more heuristic rules are preferably used. For example, preferably, virtual acquisition conditions likely to be tested in subsequent operations, the conditions which correspond to a position of the image acquisition apparatus behind the teeth or at a distance from the teeth greater than 1 m, are excluded.

- 5 In a preferred embodiment, as illustrated in figure 13, registration marks are used that are represented on the updated image, and in particular registration marks 12 of the retractor, to determine a region of the space that is substantially conical delimiting virtual acquisition conditions likely to be tested in subsequent operations, or “test cone”.

More specifically, at least three registration marks 12 are preferably positioned non-aligned
10 on the retractor 10, and their relative positions on the retractor are accurately measured.

The registration marks are then marked on the updated image, as described previously. Simple trigonometric calculations make it possible to determine approximately the direction from which the updated image was taken.

Next, for each updated image, a reference image is sought that exhibits a maximum match
15 with the updated image. This search is preferably performed by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

Preferably, at any instant before the step C4), the updated image is analyzed so as to produce an updated map representing, at least partially, a discriminating information item. The updated map therefore represents the discriminating information item in the reference frame
20 of the updated image.

The discriminating information item is preferably chosen from the group consisting of a contour information item, a color information item, a density information item, a distance information item, a brightness information item, a saturation information item, information on reflections and combinations of these information items.

- 25 A person skilled in the art knows how to process an updated image to reveal the discriminating information item.

For example, figure 12D is an updated map relating to the contour of the teeth obtained from the updated image of figure 12B.

Said search comprises the following steps:

- 30 C1) determination of virtual acquisition conditions “to be tested”;

- 5 C2) production of a reference image of the updated reference model in
said virtual acquisition conditions to be tested;
- C3) processing of the reference image to produce at least one reference
map representing, at least partially, the discriminating information
item;
- 10 C4) comparison of the updated and reference maps so as to determine a
value for an assessment function, said value for the assessment
function depending on the differences between said updated and
reference maps and corresponding to a decision to continue or stop
the search for virtual acquisition conditions approximating said real
acquisition conditions with greater accuracy than said virtual
acquisition conditions to be tested determined in the last occurrence
of the step C1);
- 15 C5) if said value for the assessment function corresponds to a decision to
continue said search, modification of the virtual acquisition
conditions to be tested, then return to the step C2).

The step C1) begins with a determination of the virtual acquisition conditions to be tested,
that is to say a virtual position and orientation likely to correspond to the real position and
orientation of the acquisition apparatus upon the capture of the updated image, but also,
20 preferably, a virtual calibration likely to correspond to the real calibration of the acquisition
apparatus upon the capture of the updated image.

The first virtual acquisition conditions to be tested are preferably virtual acquisition
conditions assessed roughly, as described previously.

In the step C2), the image acquisition apparatus is then virtually configured in the virtual
25 acquisition conditions to be tested in order to acquire a reference image of the updated
reference model in these virtual acquisition conditions to be tested. The reference image
therefore corresponds to the image that the image acquisition apparatus would have taken if
it had been placed, relative to the updated reference model, and optionally calibrated, in the
virtual acquisition conditions to be tested.

30 If the updated image was taken substantially at the same moment as the updated reference
model was created by a scan of the teeth of the patient, the position of the teeth on the updated
image is substantially identical to that in the updated reference model. If the virtual

acquisition conditions to be tested are exactly the real acquisition conditions, the reference image may therefore be exactly superimposed on the updated image. The differences between the updated image and the reference image result from errors in the assessment of the virtual acquisition conditions to be tested, if they do not correspond exactly to the real acquisition conditions.

In the step C3), the reference image is processed as the updated image so as to produce, from the reference image, a reference map representing the discriminating information item (figures 11A and 11B). A person skilled in the art knows how to process a reference image to reveal the discriminating information item.

10

In the step C4), the updated and reference maps, both relating to the same discriminating information item, are compared and the difference or “distance” between these two maps is assessed by means of a score. For example, if the discriminating information item is the contour of the teeth, the mean distance between the points of the contour of the teeth which appears on the reference image and the points of the corresponding contour which appears on the updated image may be compared, the score being all the higher when this distance is small.

The score may for example be a correlation coefficient.

Preferably, the virtual acquisition conditions comprise the calibration parameters of the acquisition apparatus. The score is that much higher when the values of the calibration parameters tested are close to the calibration parameter values of the acquisition apparatus used upon the acquisition of the updated image. For example, if the diaphragm aperture tested is far from that of the acquisition apparatus used upon the acquisition of the updated image, the reference image shows fuzzy regions and sharp regions which do not correspond to the fuzzy regions and to the sharp regions of the updated image. If the discriminating information item is the contour of the teeth, the updated and reference maps will not therefore represent the same contours and the score will be low.

The score is then assessed by means of an assessment function. The assessment function makes it possible to decide whether the cycling on the steps C1) to C5) must be continued or stopped. The assessment function may for example be equal to 0 if the cycling must be stopped or be equal to 1 if the cycling must continue.

30

The value of the assessment function may depend on the score achieved. For example, a decision may be made to continue the cycling if the score does not exceed a threshold. For example, if an exact match between the updated and reference images leads to a score of 100%, the threshold may be, for example, 95%. Obviously, the higher the threshold, the better will be the accuracy of the assessment of the virtual acquisition conditions if the score manages to exceed this threshold.

The value of the assessment function may also depend on scores obtained with virtual acquisition conditions tested previously.

The value of the assessment function may also depend on random parameters and/or on the number of cycles already performed.

In particular, it is possible, despite the repetition of the cycles, not to manage to find virtual acquisition conditions which are sufficiently close to the real acquisition conditions for the score to reach said threshold. The assessment function may then lead to the decision to exit the cycle even though the best score obtained has not reached said threshold. This decision may result, for example, from a number of cycles greater than a predetermined maximum number.

A random parameter in the assessment function may also authorize the continuation of tests of new virtual acquisition conditions, even though the score appears satisfactory.

The assessment functions conventionally used in the metaheuristic optimization, preferably evolutionist, methods, particularly in the simulated annealing methods, may be used for the assessment function.

In the step C5), if the value of the assessment function indicates a decision to continue the cycling, the virtual acquisition conditions to be tested are modified and the cycling recommences on the steps C1) to C5), consisting in producing a reference image and a reference map, in comparing the reference map with the updated map to determine a score, then in taking a decision as a function of this score.

The modification of the virtual acquisition conditions to be tested corresponds to a virtual displacement in space and/or to a modification of the orientation and/or, preferably, to a modification of the calibration of the acquisition apparatus. This modification may be random, preferably such that the new virtual acquisition conditions to be tested still belong to the set determined upon the rough assessment. The modification is preferably guided by

heuristic rules, for example by favoring the modifications which, according to an analysis of the preceding scores obtained, appear most favorable for increasing the score.

The cycling is continued until the value of the assessment function indicates a decision to cease this cycling and to continue to the step D), for example if the score reaches or exceeds
5 said threshold.

The optimization of the virtual acquisition conditions is preferably performed by using a metaheuristic, preferably evolutionist, method, preferably a simulated annealing algorithm. Such an algorithm is well known for nonlinear optimization.

If the cycling has been exited without a satisfactory score having been able to be obtained,
10 for example without the score having been able to reach said threshold, the method may be stopped (failure situation) or a new step C) may be launched, with a new discriminating information item and/or with a new updated image. The method may also be continued with the virtual acquisition conditions corresponding to the best score reached. A warning may be emitted in order to inform the user of the error on the result.

15 If the cycling has been exited when a satisfactory score has been able to be obtained, for example because the score has reached, even exceeded said threshold, the virtual acquisition conditions correspond substantially to the real acquisition conditions of the updated image.

Preferably, the virtual acquisition conditions comprise the calibration parameters of the acquisition apparatus. The method thus makes it possible to assess the values of these
20 parameters without it being necessary to know the nature of the acquisition apparatus or its setting. The acquisition of the updated images may therefore be performed without any particular precautions, for example by the patient him or herself by means of his or her cellphone.

In addition, the search for the real calibration is performed by comparing an updated image
25 with views of a reference model in virtual acquisition conditions to be tested. Advantageously, it does not require the updated image to show a standard calibration gauge, that is to say a gauge whose characteristics are accurately known making it possible to determine the calibration of the acquisition apparatus.

The step C) therefore culminates in the determination of virtual acquisition conditions
30 exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions. The reference image

therefore exhibits a maximal match with the updated image, that is to say that these two images may substantially be superimposed.

In one embodiment, said search of the virtual acquisition conditions in the step C) is performed by using a metaheuristic, preferably evolutionist, method, preferably a simulated
5 annealing algorithm.

In the step D), the reference tooth zones are identified on the reference image and they are transferred to the updated image to define corresponding updated tooth zones.

In particular, the reference image is a view of the updated reference model segmented into tooth models. The limits of the representation of each tooth model on the reference image,
10 or “reference tooth zone”, may therefore be identified.

The superimposition of the updated and reference images then makes it possible to transfer the limits of the reference tooth zones to the updated image, and thus define the updated tooth zones. Since the reference image exhibits a maximal match with the updated image, the updated tooth zones therefore substantially define the limits of the tooth models
15 represented on the reference image.

In the step E), each updated tooth zone is assigned the tooth attribute value or values of the tooth model which corresponds to it.

In particular, the reference image is a view of the updated reference model in which the tooth models have been assigned respective tooth attribute values for at least one tooth attribute,
20 for example a tooth number. Each reference tooth zone may therefore inherit the tooth attribute value of the tooth model that it represents. Each updated tooth zone may then inherit the tooth attribute value of the reference tooth zone which allowed it to be defined.

At the end of the step E), an updated image and a description of the updated image is therefore obtained that defines one or more updated tooth zones and, for each of these zones,
25 a tooth attribute value for at least one tooth attribute, for example a tooth number.

The updated image enriched with its description is called “historical image”.

Figure 17A shows an example of updated image (acquired in the step B)) being analyzed in order to determine the contours of the teeth. Figure 17B shows the reference image exhibiting a maximal match with the updated image (resulting from the step C)). The

numbers of the teeth are displayed on the corresponding teeth. Figure 17C illustrates the transfer of the tooth numbers to the updated tooth zones (step D) and E)).

In the step F), the historical image is added to the learning base.

The steps A) to F) are preferably performed for more than 1000, more than 5000, or more
5 than 10 000 different patients, or “historical patients”.

As now clearly emerges, the invention provides a method that is particularly effective for creating a learning base.

The invention relates also to a method for training a deep learning device, preferably a neural network, said method comprising an enrichment of a learning base according to a method
10 comprising steps A) to F) so as to acquire a plurality of historical images, then the use of said learning base to train said deep learning device.

Second main embodiment of the enrichment method

The invention is not however limited to the embodiments described above.

In particular, the updated reference model is not necessarily the direct result of a scan of the
15 arch of the patient. The updated reference model may in particular be a model obtained by deformation of an initial reference model which is itself resulting directly from such a scan.

The method then comprises, preferably, in place of the steps A) to C), the steps A') to C').

The step A') is identical to the step A). In the step A'), the reference model generated is however intended to be modified. It is therefore qualified as “initial reference model”, and
20 not as “updated reference model”, as according to the step A).

The initial reference model may in particular be generated at an initial instant preceding an active orthodontic treatment, for example less than 6 months, less than 3 months, or less than 1 month before the start of the treatment. The steps B') to C') may then be implemented to track the trend of the treatment between the initial instant and the updated instant of the step
25 B').

The initial instant may alternatively be an instant at the end of active orthodontic treatment, for example less than 6 months, less than 3 months, or less than 1 month after the end of the treatment. The steps B') to C') may then be implemented to monitor the appearance of any recurrence.

The step B') is identical to the step B). In the step B'), the updated images are however also intended to guide the modification of the initial reference model to define the updated reference model, in the step C').

The time interval between the steps A') and B') is not limited, since, as explained hereinbelow, the initial reference model will be deformed to obtain an updated reference model with maximal match with the updated images. The time interval between the steps A') and B') may for example be greater than 1 week, than 2 weeks, than 1 month, than 2 months or more than 6 months.

The step C') is more complex than the step C) since the search for a reference image exhibiting a maximal match with an updated image is not limited to searching for the optimal virtual acquisition conditions. It also includes a search for an updated reference model, that is to say a reference model in which the teeth have substantially the same position as on the updated image.

The step C') preferably comprises one or more of the features of the steps c), d) and e) of WO 2016 066651, and in particular of the step e) illustrated in figure 16.

The objective is to modify the initial reference model until an updated reference model is obtained which exhibits a maximal match with the updated image. Ideally, the updated reference model is therefore a model of the arch from which the updated image would have been able to be taken if this model had been the arch itself.

A succession of reference models "to be tested" is therefore tested, the choice of a reference model to be tested preferably being dependent on the level of correspondence of the reference models "to be tested" previously tested with the updated image.

Preferably, the search comprises, for an updated image,

- a first optimization operation making it possible to search, in a reference model to be tested determined from the initial reference model, for virtual acquisition conditions best corresponding to the real acquisition conditions of the updated image, and
- a second optimization operation making it possible to search, by testing a plurality of said reference models to be tested, for the reference model best corresponding to the positioning of the teeth of the patient upon the acquisition of the updated image.

Preferably, a first optimization operation is performed for each test of a reference model to be tested during the second optimization operation.

Preferably, the first optimization operation and/or the second optimization operation, preferably the first optimization operation and the second optimization operation, implement a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably a simulated annealing.

The step C') therefore culminates in the determination

- 5 – of an updated reference model exhibiting a maximal match with the updated image, and
- virtual acquisition conditions exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions.

10 A method comprising the steps A') to C') may advantageously be implemented in the context of an active or passive orthodontic treatment, or, more generally, to track any changes to the teeth.

In the different methods according to the invention, the enrichment of the learning base does not necessarily result from an enrichment method according to the invention.

15 In one embodiment, the learning base is created by an operator. The latter thus analyzes thousands of analysis images. For the learning base to be able to be used for the implementation of a detailed analysis method, it determines the tooth zones, then assigns them tooth attribute values. For the learning base to be able to be used for the implementation of a global analysis method, it assigns image attribute values to each image. It may thus form historical images.

20 Detailed image analysis method

The method for detailed analysis of an “analysis image” of a dental arch of a patient according to the invention comprises the steps 1) to 4).

25 Preferably, the analysis image, preferably a photograph or an image extracted from a film, preferably in color, preferably in real color, is acquired with an image acquisition apparatus, preferably a cellphone, separated from the dental arch by more than 5 cm, more than 8 cm, even more than 10 cm, and which, preferably, has no other specific optic.

Preferably, the analysis image represents several teeth, preferably more than 2, more than 3, more than 4 or more than 5 teeth of the patient. Figure 12A or figure 12B could be examples of analysis images. The arrangement of the teeth is realistic, i.e. it corresponds to the

arrangement which is observed by the image acquisition apparatus when it has acquired the analysis image.

Preferably, the acquisition of the analysis image is performed by the patient, preferably without the use of a support which is bearing on the ground and is immobilizing the image acquisition apparatus, and in particular without tripod.

In one embodiment, the triggering of the acquisition of the analysis image is automatic, that is to say without the action of an operator, as soon as the acquisition conditions are approved by the image acquisition apparatus, in particular when the image acquisition apparatus has determined that it observes a dental arch and/or a retractor and that the observation conditions are satisfactory (sharpness, brightness, even dimensions of the representation of the dental arch and/or of the retractor).

In the step 1), a learning base is created comprising more than 1000, preferably more than 5000, preferably more than 10 000, preferably more than 30 000, preferably more than 50 000, preferably more than 100 000 historical images. The greater the number of historical images, the better the analysis performed by the method.

Preferably, a learning base is used that is enriched according to an enrichment method according to the invention.

The learning base may however be constructed according to other methods, for example be created manually. To create a historical image of the learning base, an operator, preferably an orthodontist, identifies one or more “historical” tooth zones on an image, called then assigns, to each identified historical tooth zone, a value for at least one tooth attribute.

In step 2), a deep learning device, preferably a neural network, is trained with the learning base.

A “neural network” or “artificial neural network” is a set of algorithms well known to a person skilled in the art.

The neural network may in particular be chosen from:

- the networks specializing in the classification of images, called “CNN” (“convolutional neural network”), for example
 - AlexNet (2012)

- ZF Net (2013)
- VGG Net (2014)
- GoogleNet (2015)
- Microsoft ResNet (2015)
- 5 – Caffe: BAIR Reference CaffeNet, BAIR AlexNet
- Torch: VGG_CNN_S, VGG_CNN_M, VGG_CNN_M_2048, VGG_CNN_M_1024, VGG_CNN_M_128, VGG_CNN_F, VGG_ILSVRC-2014_16-layer, VGG_ILSVRC-2014_19-layer, Network-in-Network (Imagenet & CIFAR-10)
- Google: Inception (V3, V4).
- 10 – The networks specializing in the location and detection of objects in an image, the object detection network, for example:
 - R-CNN (2013)
 - SSD (Single Shot MultiBox Detector: Object Detection network), Faster R-CNN (Faster Region-based Convolutional Network method: Object Detection
 - 15 network)
 - Faster R-CNN (2015)
 - SSD (2015).

The above list is not limiting

In the step 2), the deep learning device is preferably trained by a learning process called
 20 “*deep learning*”. By presenting, as input for the deep learning device, historical images (images + descriptions), the deep learning device progressively learns to recognize *patterns* on an image, and to associate them with tooth zones and with tooth attribute values, for example tooth numbers.

In the step 3), the image that is to be analyzed, or “analysis image”, is submitted to the deep
 25 learning device.

Through its training in the step 2), the deep learning device is capable of analyzing the analysis image and of recognizing said patterns therein. It may in particular determine a probability relating to:

- the presence, at a location in said analysis image, of a zone representing, at least
- 30 partially, a tooth, or “analysis tooth zone”,
- the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone.

For example, it is capable of determining that there is a 95% chance that a form of the analysis image represents an incisor.

Preferably, the deep learning device analyses all the analysis image and determines probabilities for all the analysis tooth zones that it has identified.

- 5 **In the step 4)**, the results of the preceding step are analyzed to determine the teeth represented on the analysis image.

When the learning base comprises more than 10 000 historical images, the step 3) gives particularly satisfactory results. In particular, such a learning base makes it possible to establish a probability threshold such that, if a probability associated with an analysis tooth zone and with a tooth attribute value for this analysis tooth zone exceeds said threshold, the analysis tooth zone effectively represents a tooth having said tooth attribute value.

The step 4) thus leads to the definition of an analysis image enriched with a description defining the analysis tooth zones and, for each analysis tooth zone, the values of the attributes of the tooth represented by the analysis tooth zone.

15

Global image analysis method

The method for global analysis of an updated image of a dental arch of a patient according to the invention comprises the steps 1') to 3').

The method is similar to the detailed analysis method described above, apart from the fact that, according to the global analysis, it is not necessary to analyze the individual situation of each tooth. The analysis is global to all the image. In other words, the deep learning device determines the value of an "image" attribute without having to previously determine tooth attribute values.

For example, the deep learning device may conclude that, "globally", the dental situation is "satisfactory" or "unsatisfactory", without determining the tooth potentially at the origin of the dissatisfaction.

The step 1') is similar to the step 1). The historical images however include a description specifying an image attribute value for each image.

The step 2') is similar to the step 2).

- 30 **In the step 3')**, the analysis image is submitted to the deep learning device.

Through its training in the step 2'), the deep learning device is capable of analyzing the analysis image and of recognizing said patterns therein. Based on these patterns, it may in particular determine a probability relating to the value of the image attribute considered.

5 Application to the modeling of a dental arch

A detailed analysis method according to the invention is in particular useful for modeling a dental arch, notably for establishing a remote diagnostic.

It is desirable for each to regularly check his or her dentition, particularly in order to check that the position of his or her teeth is not changing for the worse. In an orthodontic treatment, this change for the worse may in particular lead to the treatment being modified. After an
10 orthodontic treatment, a change for the worse, called "recurrence", may lead to a repeat of a treatment. Finally, more generally and independently of any treatment, each may want to track any displacements of his or her teeth.

Conventionally, the checks are performed by an orthodontist who has appropriate apparatus.
15 These checks are therefore costly. Furthermore, the appointments are restrictive. Finally, some people are apprehensive of a visit to an orthodontist and will fail to make an appointment for a simple check or to assess the feasibility of an orthodontic treatment.

US 2009/0291417 describes a method making it possible to create, then modify, three-dimensional models, particularly for the manufacture of orthodontic appliances.

20 WO 2016 066651 describes a method for checking the positioning and/or the shape and/or the appearance of teeth of a patient. This method comprises a step of creation of an initial reference model of the teeth, at an initial instant, preferably with a 3D scanner, then, at a subsequent instant, or "updated instant", for example six months after the initial instant, the creation of an updated reference model, by deformation of the initial reference model. This
25 deformation is performed in such a way that the updated reference model allows observation substantially identical to images of the teeth acquired at the updated instant, in particular to photos or images from a video taken by the patient him or herself, with no particular precautions, called "updated images".

The updated images are therefore used to modify the initial, very accurate, reference model.
30 The updated reference model which results from the deformation of the initial reference model, guided by the analysis of the updated images, is therefore also very accurate.

The method described in WO 2016/66651 does however require an appointment with the orthodontist in order to create the initial reference model. This appointment constitutes a brake to prevention. In effect, a patient will not necessarily consult an orthodontist if he or she does not perceive the need therefor. In other words, the method is often implemented
5 only if a malocclusion is found and has to be corrected.

There is therefore a need for a method that addresses this problem, by facilitating prevention.

One aim of the invention is to address this need.

To this end, the invention proposes a method for modeling a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- 10 a) creation of a historical library comprising more than 1000 tooth models, called “historical tooth models”, and assignment to each historical tooth model of a value for at least one tooth attribute, or “tooth attribute value”;
- b) analysis of at least one “analysis image” of the dental arch according to a detailed analysis method according to the invention, so as to determine at least one analysis
15 tooth zone and at least one tooth attribute value associated with said analysis tooth zone;
- c) for each analysis tooth zone determined in the preceding step, search, in the historical library, for a historical tooth model exhibiting a maximum proximity with the analysis image or with the analysis tooth zone, or “optimal tooth model”;
- 20 d) arrangement of all the optimal tooth models so as to create a model which exhibits a maximal match with the updated image, or “assembled model”;
- e) optionally, replacement of at least one optimal tooth model by another historical tooth model and repeat of the step d) so as to maximize the match between the assembled model and the analysis image;
- 25 f) optionally, repeat of the step b) with another analysis image and, in the step d) and/or e), search for a maximal match with all the analysis images used.

The invention thus makes it possible, from a simple analysis image, for example a photograph taken by means of a cellphone, to reconstruct, with a good reliability, a dental arch in the form of an assembled model. In particular, the analysis image may be acquired
30 as described here above at step 1).

Obviously, the analysis of a single analysis image is insufficient to generate an assembled model which accurately corresponds to the arrangement of the teeth of the patient. Such an accuracy is however not generally essential for performing a first diagnosis of the dental situation of the patient.

- 5 Moreover, the accuracy of the assembled model may be increased if several analysis images are processed.

The steps b) to c) are preferably implemented for several analysis images and, in the steps d) and e), the optimal tooth models and an assembled model are searched so as to obtain a maximal match in light of all the analysis images (step f)).

- 10 The invention also relates to a method for assessing a dental situation of a patient, comprising the following steps:

- i) creation of an assembled model according to a modeling method according to the invention;
 - ii) transmission of the assembled model to a recipient, preferably an orthodontist and/or
15 a computer;
 - iii) analysis of the orthodontic situation of the patient, by the recipient, from the assembled model;
 - iv) preferably, informing of the patient of the orthodontic situation, preferably, via his or her cellphone.
- 20 The patient may therefore very easily ask an orthodontist to check his or her dental situation, without even having to travel, by simply transmitting one or preferably several photos of his or her teeth.

A modeling method is now described in detail.

- In the step a),** a historical library 20 (figure 18) is created comprising more than 1000,
25 preferably more than 5000, preferably more than 10 000 historical tooth models 22. The greater the number of historical tooth models, the more accurate the assembled model.

A historical tooth model can in particular be obtained from a model of a dental arch of a “historical” patient obtained with a scanner. This arch model may be segmented in order to

isolate the representations of the teeth, as in figure 11D. Each of these representations, exhibiting a specific gray shade in figure 11D, can constitute a historical tooth model.

Preferably, the library is enriched with the tooth models resulting from the implementation of the method described in WO 2016 066651 or of the step A) or A') described above.

5 One or several tooth attributes, in particular chosen from the list supplied above, are associated with the tooth models. A tooth attribute value is assigned to each tooth attribute of a particular tooth model, as described previously (see the description of the step A)). For example, a tooth model is that of an “incisor”, “greatly worn”, and whose color parameters are, in the color system $L^*a^*b^*$ according to the standard NF ISO 7724, “ $a^*=2$ ”, “ $b^*=1$ ” and
10 “ $L^*=58$ ”.

The historical library therefore contains historical tooth models and associated attribute values which facilitate the search in the step c). In figure 18, only historical tooth models 22 representing molars have been represented in the historical library 20.

In the step b), an analysis image is acquired, as described above for the step B), before
15 analyzing it. In particular, the analysis image is preferably a photo or an image from a film, preferably with a cellphone.

The analysis image can be acquired at any moment after the step a), for example more than one week, more than one month or more than six months after the step a).

The analysis image is analyzed according to a detailed analysis method according to the
20 invention. The optional features of this method are also optional in the step b).

On completion of the step b), an analysis image is obtained that is enriched with a description providing, for each analysis tooth zone, a tooth attribute value for at least one tooth attribute, for example a tooth number.

In the step c), a search is carried out in the historical library, for each analysis tooth zone
25 determined in the preceding step, for a historical tooth model exhibiting a maximal proximity with the analysis tooth zone. This tooth model is qualified as “optimal tooth model”.

The “proximity” is a measurement of one or more differences between the historical tooth model and the analysis tooth zone. These differences may include a difference in shape, but also other differences like a difference in translucency or in color. The maximal proximity

may be searched for by successively minimizing several differences, or by minimizing a combination of these differences, for example a weighted sum of these differences.

The “proximity” is therefore a broader concept than “match”, the match measuring only a shape-related proximity.

- 5 The assessment of the proximity of a historical tooth model with an analysis tooth zone preferably comprises a comparison of at least one value of a tooth attribute of the analysis tooth zone with the value of this attribute for the historical tooth model. Such an assessment is advantageously very rapid.

For example, if the description of the analysis tooth zone provides a value for the type or the
10 number of the tooth, the thickness of the tooth represented and/or the height of its crown and/or its mesio palatine width and/or the mesial and distal deflection index of its incisal edge, this value may be compared to the value of the corresponding attribute of each of the historical tooth models.

Preferably, a historical tooth model is sought that has, for at least one tooth attribute, the
15 same value as said analysis tooth zone. The tooth attribute may in particular relate to the tooth type or to the tooth number. In other words, the historical tooth models are filtered to examine in more detail only those which relate to the same type of tooth as the tooth represented on the analysis tooth zone.

Alternatively or, preferably, in addition to this comparison of the attribute values, the shape
20 of the tooth represented on the analysis tooth zone may be compared to the shape of a historical tooth model to be assessed, preferably by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

To this end, the historical tooth model to be assessed is observed from different angles. Each view thus obtained is compared with the analysis image, preferably with the analysis tooth
25 zone, so as to establish a “distance” between this view and said analysis image or, preferably, said analysis tooth zone. The distance thus measures the difference between the view and the analysis tooth zone.

The distance may be determined after a processing of the view and of the analysis image or, preferably, of the analysis tooth zone, so as to reveal, on corresponding maps, one and the
30 same discriminating information item, for example a contour information item, as described above in the step C3) or in WO 2016 066651.

For each historical tooth model tested, a view is thus determined which provides a minimal distance with the analysis image or with the analysis tooth zone. Each historical tooth model examined is thus associated with a particular minimal distance, which measures its proximity of shape with the analysis tooth zone.

- 5 The optimal historical tooth model is the one which, in light of the comparison or comparisons performed, is considered to be closest to the analysis tooth zone.

The minimal distances obtained for the different tooth models tested are then compared and, to define the optimal tooth model, the one which exhibits the smallest minimal distance is retained. The optimal tooth model therefore exhibits a maximal match with the analysis
10 image.

The search for the maximal match is preferably performed by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

In a preferred embodiment, a first assessment of the historical tooth models by comparison of the values of at least one tooth attribute, for example the tooth number, with the
15 corresponding values of the analysis tooth zone, then a second assessment by comparison of shape are performed in succession. The first, rapid assessment, advantageously makes it possible to filter the historical tooth models in order to submit only the historical tooth models retained by the first assessment to the second, slower assessment.

For example, if an analysis tooth zone represents a tooth number 15, the first assessment
20 makes it possible to retain only the tooth models modeling teeth number 15. During the second assessment, a search is conducted, among all the historical tooth models modeling teeth number 15, for the historical tooth model whose shape most approximates that of the tooth represented.

More preferably, several first assessments are performed before performing the second
25 assessment. For example, the first assessments make it possible to filter the historical tooth models so as to retain only the tooth models modeling teeth number 15 and which exhibit a crown height of between 8 and 8.5 mm.

On completion of the step c), an optimal tooth model has thus been associated with each of the analysis tooth zones.

For example, in figure 18, the historical tooth model 22₁ can be observed so as to strongly resemble an analysis zone identified on the analysis image. It is considered as optimal for this analysis zone.

In the step d), an assembled model is created by arranging the optimal tooth models.

- 5 According to one embodiment, at the start of the step d), a first rough arrangement is created, that is to say that a rough model is produced by assembling optimal tooth models.

To establish the first rough arrangement, the optimal tooth models can be oriented so that their optimal directions of observation are all parallel, the optimal direction of observation of a tooth model being the direction in which said tooth model exhibits a maximum match
10 with the analysis image.

The first rough arrangement may be also established by considering the tooth attribute values of the optimal tooth models. For example, if the tooth numbers of optimal tooth models are those of the canines and of the incisors, these tooth models may be arranged according to an arc 24 (figure 18) corresponding conventionally to the region of the arch which bears these
15 types of teeth.

The shape of this arc may be refined as a function of other tooth attribute values.

The order of the optimal tooth models is that of the corresponding analysis tooth zones.

Moreover, the minimal distance associated with an optimal tooth model results from an observation of the tooth model according to an “optimal” observation direction. In other
20 words, it is probably substantially from this direction that the tooth that this model models is also observed in the analysis image. All the optimal tooth models are thus preferably oriented in such a way that their respective optimal observation directions are all parallel.

It is thus possible to define a first arrangement of the optimal tooth models.

Preferably, the first arrangement of the optimal tooth models is then modified iteratively, so
25 as to exhibit a maximal match with the analysis image.

To assess an arrangement, it is observed according to different angles. Each view thus obtained is compared with the analysis image so as to establish a “distance” between this view and said analysis image. The distance thus measures the difference between the view and the analysis image.

The distance may be determined after a processing of the view and of the analysis image so as to reveal, on one of the corresponding maps, a discriminating information item, for example a contour information item, as described above in the step C3) or in WO 2016 066651.

- 5 For each arrangement examined, a view is thus determined that provides a minimal distance with the analysis image. Each arrangement examined is thus associated with a minimal distance.

The minimal distances obtained for the different arrangements tested are then compared and, to define the optimal arrangement, the one which exhibits the smallest minimal distance is
10 retained. The optimal arrangement thus exhibits a maximal match with the analysis image.

The search for the maximal match is performed preferably by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

On completion of the step d), an optimal arrangement of the optimal tooth models, that is to say the assembled model 26, is obtained.

- 15 **In the optional step e)**, one or more optimal tooth models are replaced by other tooth models, then there is a return to the step d) so as to maximize the match between the assembled model and the analysis image.

It is in fact possible for an optimal tooth model, in the “optimal” arrangement, to no longer exhibit a maximal match with the analysis image. In particular, the tooth model might have
20 been observed in an “optimal” direction which provided a view exhibiting a minimal distance with the analysis image (reason why it was considered as optimal), but, in the optimal arrangement, it is no longer oriented according to the optimal direction.

A new search for an assembled model may therefore be performed by modifying the tooth models, for example by replacing the optimal tooth models with close tooth models.

- 25 The search for the tooth models to be tested is preferably performed by means of a metaheuristic method, preferably evolutionist, preferably by simulated annealing.

In the preferred embodiment, the method therefore implements a double optimization, on the tooth models and on the arrangement of the tooth models, the assembled model being the arrangement of a set of tooth models which provides the minimal distance with the

analysis image, by considering all the possible tooth models and all the possible arrangements.

In the optional and preferred step f), the method implements several analysis images of the arch of the patient, preferably more than 3, more than 5, more than 10, more than 50, preferably more than 100 analysis images. The assembled model is thus more complete. More preferably, the method implements an optimization such that the assembled model obtained is optimal in light of all of the analysis images. In other words, the assembled model is preferably the one which maximizes the match with all of the analysis images.

In the preferred embodiment, the method therefore implements a double or, preferably a triple optimization, on the tooth models on the one hand, on the arrangement of the tooth models and/or on a plurality of analysis images on the other hand, the assembled model being the arrangement of a set of tooth models which provides the mean minimal distance, over all of the analysis images, by considering all the possible tooth models and, preferably, all the possible arrangements.

According to one embodiment, in the step d) and/or e) and/or f), a metaheuristic, preferably evolutionist, method, preferably by simulated annealing, is used.

As now clearly appears, the invention thus makes it possible to construct an assembled dental arch model from simple analysis images, for example photographs taken by means of a cellphone. Obviously, the accuracy of the assembled model does not reach that of a scan. In some applications, for example to perform a first diagnosis of the dental situation of the patient, such an accuracy is not however essential.

The assembled model may therefore be used to analyze the orthodontic situation of the patient, according to the steps ii) to iv).

In the step ii), the assembled model is sent to an orthodontist and/or to a computer provided with diagnostic software.

In one embodiment, the assembled model is sent accompanied by a questionnaire filled out by the patient in order to improve the quality of the analysis in the step iv).

In the step iii), the orthodontist and/or the computer examines the assembled model. Unlike an updated image, the assembled model allows an observation from any angle. The analysis is advantageously more accurate.

In the step iv), the orthodontist and/or the computer informs the patient, for example by sending him or her a message on his or her telephone. This message may in particular inform the patient of an unfavorable situation and urge him or her to make an appointment with the orthodontist.

- 5 The orthodontist may also compare the assembled model with assembled models received previously for the same patient. The analysis thereof advantageously makes it possible to assess the trend of the situation. The message may thus inform the patient of an unfavorable change of his or her situation, which improves the prevention.

The assembled model may also be compared with one or more models obtained by scanning
10 of the teeth or from a molding of the teeth of the patient, or with an updated reference model resulting from the implementation of a method described in WO 2016 066651.

Application to embedded monitoring

An image analysis according to the invention is also useful for guiding the acquisition of an
15 image of a dental arch, in particular for establishing a remote diagnosis.

In particular, WO 2016/066651 describes a method in which an initial reference model is deformed so as to obtain an updated reference model allowing the acquisition of reference images exhibiting a maximal match with the “updated” images of the arch acquired at the updated instant.

- 20 The reference images are therefore views of the updated reference model, observed in virtual acquisition conditions which are the closest possible matches with the real acquisition conditions implemented to acquire the updated images of the arch of the patient.

The search for these virtual acquisition conditions is preferably performed by means of metaheuristic methods.

- 25 To speed up this search, WO 2016/066651 recommends performing a first rough assessment of the real acquisition conditions. For example, conditions which would correspond to a position of the acquisition apparatus at a distance from the teeth greater than 1 meter are excluded from the search.

There is however an ongoing need to speed up the execution of the method described in
30 WO 2016/066651, and in particular, to search, more rapidly, for the virtual acquisition

conditions exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions implemented to acquire an updated image of the arch of the patient.

One aim of the invention is to at least partially address this problem.

The invention proposes a method for acquiring an image of a dental arch of a patient, said
5 method comprising the following steps:

- a') activation of an image acquisition apparatus so as to acquire an image, called
"analysis image", of said arch;
- b') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably
a neural network, trained by means of a learning base,
10 preferably according to a detailed analysis method according to the
invention, so as to identify at least one analysis tooth zone representing a
tooth on said analysis image, and to determine at least one tooth attribute
value for said analysis tooth zone, or
according to a global analysis method according to the invention;
- 15 c') determination, for the analysis image, of a value for an image attribute, said
value being a function of said tooth attribute value if a detailed analysis
method according to the invention has been implemented in the preceding
step;
- d') optionally, comparison of said image attribute value with an instruction;
- 20 e') sending of an information message as a function of said comparison.

In one embodiment, in the step b'), all said analysis tooth zones are identified, and at least
one tooth attribute value is determined for each analysis tooth zone, and, in the step c'), the
value for the image attribute is determined as a function of said tooth attribute values.

25

In one embodiment, the step b') comprises the following steps:

- 1) preferably before the step a'), creation of a learning base comprising more
than 1 000 dental arch images, or "historical images", each historical image
comprising one or more zones each representing a tooth, or "historical tooth
30 zones", to each of which, for said tooth attribute, a tooth attribute value is
assigned;

- 2) training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- 3) submission of the analysis image to the deep learning device so that it determines at least one probability relating to:
- 5 - the presence, at a location in said analysis image, of a zone representing, at least partially, a tooth, or “analysis tooth zone”,
- the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone,
- 4) determination, as a function of said probability, of the presence of a tooth at a position represented by said analysis tooth zone, and of the attribute value
- 10 of said tooth.

In one embodiment, the step b') comprises the following steps:

- 1') creation of a learning base comprising more than 1 000 dental arch images, or “historical images”, each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or “image attribute value”;
- 15 2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- 3') submission of the analysis image to the deep learning device so that it determines, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value.

20 In one embodiment, to create a historical image of the learning base, an operator, preferably an orthodontist,

- identifies one more “historical” tooth zones on an image, then assigns each identified historical tooth zone a value for at least one tooth attribute, and/or
- assigns an image a value for at least one tooth attribute.

25 In one embodiment, the information message is sent by the acquisition apparatus.

As will be seen in more detail hereinafter in the description, an acquisition method according to the invention therefore makes it possible to check whether an analysis image respects an instruction and, if it does not respect the instruction, to guide the operator in order for him or her to acquire a new analysis image. The method therefore allows an “embedded

30 monitoring”, preferably in the image acquisition apparatus.

In particular, to implement the method of WO 2016/066651, there may be a desire to acquire updated images from different acquisition directions, for example a front image, a right

image and a left image. These updated images, acquired in succession, may be classified accordingly. The search for the virtual acquisition conditions exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions is speeded up thereby.

5 In effect, the search may begin from virtual acquisition conditions in which the virtual acquisition apparatus is in front, to the left or to the right of the updated reference model, depending on whether the updated image considered is classified as a front, left or right image, respectively.

10 The operator, generally the patient, may however make a mistake in the acquisition of the updated images. In particular, he or she may forget to take an updated image, for example the front view, or invert two updated images. Typically, the operator may take an image on the right whereas a left image is expected from him or her.

15 This inversion of the updated images may considerably slow down their processing. For example, if the updated image is assumed to be an image taken on the left but it was in error taken on the right, said search for the optimal virtual acquisition conditions, that is to say those exhibiting a maximal match with the real acquisition conditions, will begin from a starting point offering a left view of the reference model, whereas the optimal virtual acquisition conditions correspond to a right view. The search will therefore be considerably slowed down thereby.

20 By virtue of the invention, each updated image is an analysis image which may be analyzed and checked, preferably in real time.

For example, the acquisition method makes it possible to determine that the updated image has been “taken on the right” and compare this image attribute value with the instruction which had been given to the operator to take the updated image on the left. Since the attribute value of the updated image (image taken on the right) does not correspond to the instruction (acquire an updated image on the left), the acquisition apparatus may immediately alert the operator in order for him or her to modify the acquisition direction.

An acquisition method is now described in detail.

In the step a’), the operator activates the image acquisition apparatus so as to acquire an analysis image.

In one embodiment, the operator triggers the acquisition apparatus so as to store the analysis image, preferably takes a photo or video of his or her teeth, preferably by means of a cellphone equipped with a camera.

5 The step a') may be performed like the acquisition of the updated images in the step B) described above.

In another embodiment, the analysis image is not stored. In particular, the analysis image may be the image which, in real time, appears on the screen of the cellphone of the operator, generally the patient.

10 In a first embodiment, **in the step b')**, the analysis image is analyzed according to a detailed analysis method according to the invention. This analysis preferably leads to the assignment of a tooth attribute value to each identified analysis tooth zone, for example to assigning a tooth number to each of the analysis tooth zones.

15 **In the step c')**, an attribute value of the analysis image is determined as a function of the tooth attribute values. The attribute value of the analysis image may relate to its general orientation and may for example take one of the following three values: "right photo", "left photo" and "front photo". The attribute value of the analysis image may also be the list of the tooth numbers represented, for example, "16, 17 and 18". The attribute value of the analysis image may also be, for example, the "presence" or "absence" of a dental, preferably orthodontic, appliance, or the state of opening of the mouth ("mouth open", "mouth closed").

20 In another embodiment, a global analysis method according to the invention is implemented in the step b'). Advantageously, such a method makes it possible to directly obtain a value for an image attribute, without having to determine values for a tooth attribute. It is therefore advantageously more rapid. The information resulting from a global analysis may however be less accurate than that resulting from a detailed analysis.

25 The steps a') to c') thus make it possible to characterize the analysis image.

The characterization of the analysis image makes it possible to guide the operator if the analysis image does not correspond to the expected image, for example because its quality is insufficient or because it does not represent the desired teeth.

30 **In the step d')**, the image attribute value of the analysis image is compared with an instruction.

For example, if the instruction was to acquire a right image and the image attribute value is “take on the left”, the comparison leads to the conclusion that the image acquired is “unsatisfactory”.

In the step e’), a message is sent to the operator, preferably by the acquisition apparatus.

- 5 Preferably, the information message relates to the quality of the image acquired and/or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch and/or to the setting of the acquisition apparatus and/or to the opening of the mouth and/or to the wearing of a dental, preferably orthodontic, appliance.

For example, if the image acquired is “unsatisfactory”, the acquisition apparatus may emit a
10 light, for example red, and/or ring, and/or generate a voice message, and/or vibrate, and/or display a message on its screen.

For example, if the image has to be acquired while the patient wears his or her dental appliance and this is not the case, the acquisition apparatus may send the message “wear your appliance for this image”.

- 15 For example, if the image was acquired with the patient not sufficiently opening the mouth or with the mouth closed, the acquisition apparatus may send the message “open your mouth more for this image”.

In one embodiment, the steps b’) to c’) are implemented only if the operator records the analysis image, that is to say he or she presses on the trigger. The message then prompts the
20 operator to acquire a new analysis image. Optionally, the acquisition apparatus deletes the unsatisfactory analysis image.

In one embodiment, the steps b’) to c’) are implemented permanently when the acquisition apparatus is switched on and the analysis image is an image which appears on a screen of the acquisition apparatus. The acquisition apparatus may thus, for example, emit a red light
25 as long as the analysis image is unsatisfactory, and emit a green light when the analysis image is satisfactory. Advantageously, the acquisition apparatus then stores only analysis images which are satisfactory.

As now clearly emerges, the invention therefore allows an embedded monitoring upon the acquisition of analysis images. When applied to updated images of the method of

WO 2016/066651, the steps a') to e') make it possible to check that these images do indeed conform to the need, and therefore to considerably speed up the execution of this method.

The steps d') and e') are optional. In one embodiment, the analysis image is only associated with its description, which specifies its image attribute value. This description also makes it possible to considerably speed up the execution of the method of WO 2016/066651 since, when the analysis image is used as updated image of this method, it makes it possible to approximately determine the real acquisition conditions of this image, by eliminating the risk of a rough error, for example because of a reversal between two images.

The steps d') and e') are however preferred. They make it possible for example to avoid having the operator forget a left image, or take two redundant right images.

Application to the monitoring of an orthodontic aligner

Conventionally, at the start of an orthodontic treatment, the orthodontist determines the positioning of the teeth that he or she wants to obtain at a so-called "set-up" instant of the treatment. The set-up may be defined by means of an imprint or from a three-dimensional scan of the teeth of the patient. The orthodontist then has manufactured, or manufactures, accordingly, an orthodontic appliance suited to this treatment.

The orthodontic appliance may be an orthodontic aligner. An aligner conventionally takes the form of a removable single-piece appliance, conventionally made of a transparent polymer material, which comprises a channel conformed for several teeth of an arch, generally all the teeth of an arch, to be able to be housed therein.

The form of the channel is adapted to hold the aligner in position on the teeth, while exerting an action of correction of the positioning of certain teeth (figures 14 and 15).

At the start of the treatment, the shapes that the different aligners have to take at different moments of the treatment are conventionally determined, then the set of corresponding aligners is manufactured. At predetermined instants, the patient changes the aligner.

The treatment by means of aligners is advantageously less stressful for the patient. In particular, the number of appointments with the orthodontist is limited. Furthermore, there is less pain than with a metal orthodontic brace attached to the teeth.

The market for orthodontic aligners is therefore on the increase.

At regular intervals, the patient goes to the orthodontist for a visual inspection, notably to check whether the displacement of the teeth conforms to the expectations and whether the aligner worn by the patient is still suited to the treatment.

5 If the orthodontist diagnoses an unsuitability to the treatment, he or she takes a new imprint of the teeth, or, in an equivalent manner, a new three-dimensional scan of the teeth, then orders a new series of aligners configured accordingly. It is considered that, on average, the number of aligners finally manufactured is approximately 45, instead of 20 aligners conventionally provided at the start of the treatment.

10 The need to have to go to the orthodontist is a constraint for the patient. The trust of the patient in his or her orthodontist may also be affected. The inadequacy may be unsightly. Finally, the result thereof is an additional cost.

The number of inspection visits to the orthodontist must therefore be limited.

There is a need for solutions addressing these problems.

One aim of the invention is to at least partially address this need.

15 The invention provides a method for assessing the shape of an orthodontic aligner, said method comprising the following steps:

- a") acquisition of at least one image at least partially representing the aligner in a service position in which it is worn by a patient, called "analysis image";
- 20 b") analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably a neural network, trained by means of a learning base, so as to determine a value for at least one tooth attribute of an "analysis tooth zone" of the analysis image, the tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the analysis tooth zone, and the aligner represented on the analysis image, and/or for an image attribute of the analysis image, the image attribute relating to a separation between at least one tooth represented on the analysis image, and the aligner represented on said analysis image;
- 25 c") preferably, assessment of the suitability of the aligner as a function of the value of said tooth or image attribute;
- d") preferably, sending of an information message as a function of said assessment.

As will be seen in more detail hereinafter in the description, an assessment method according to the invention considerably simplifies the assessment of the good suitability of the aligner to the treatment, while making this assessment particularly reliable. In particular, the method may be implemented from simple photographs or films, taken with no particular precautions,
5 for example by the patient. The number of appointments with the orthodontist may therefore be limited.

Preferably, in the step b''), all said analysis tooth zones are identified, and the value of said tooth attribute is determined for each analysis tooth zone, and, in the step c''), the suitability of the aligner is determined as a function of said tooth attribute values.

10 Preferably, said tooth attribute is chosen from the group formed by a maximal separation along the free edge of the tooth, a mean separation along the free edge of the tooth, and said image attribute is chosen from the group formed by a maximal separation along all of the teeth represented, a mean separation along the free edges of all of the teeth represented, an overall acceptability of the separation of the teeth represented.

15 The tooth attribute relating to a separation may in particular be the existence of a separation, this attribute being able to take the tooth attribute values "yes" or "no"; or a value measuring the scale of the separation, for example an observed maximal separation or an assessment in relation to a scale.

In the step b''), a detailed analysis method according to the invention is preferably
20 implemented, a tooth attribute of each historical tooth zone of each historical image of the learning base relating to a separation between the tooth represented by the historical tooth zone, and an aligner worn by said tooth and represented on said historical image.

Preferably, the step b'') comprises the following steps:

b"1) preferably before the step a''), creation of a learning base comprising more than
25 1000, preferably more than 5000, preferably more than 10 000 images of dental arches, or "historical images", each historical image representing an aligner worn by a "historical" patient and comprising one or more zones each representing a tooth, or "historical tooth zones", to each of which is assigned, for at least one tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the historical
30 tooth zone considered, and the aligner represented, a tooth attribute value;

b"2) learning of a deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;

b"3) submission of the analysis image to the deep learning device for the deep learning device to determine at least one probability relating to

- 5 – the presence, at a location of said analysis image, of an analysis tooth zone, and
- the tooth attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone;

b"4) determination, as a function of said probability, of the presence of a separation between the aligner and the tooth represented by said analysis tooth zone, and/or of an amplitude of said separation.

10 The steps b''1) to b''4) may comprise one or more of the features, possibly optional, of the steps 1) to 4) described above, respectively.

In one embodiment, in the step b''), a global analysis method according to the invention is implemented, an image attribute of each historical image of the learning base relating to a separation between at least one tooth represented on the historical image, and an aligner
15 worn by said tooth and represented on said historical image.

Preferably, the step b'') comprises the following steps:

b"1') creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or "historical images", each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or "image attribute value", relating to a separation between at
20 least one tooth represented on the analysis image, and the aligner represented on said analysis image;

b"2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;

b"3') submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine, for
25 said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value, and determination, as a function of said probability, of the presence of a separation between the aligner and the tooth or teeth represented on the analysis image, and/or of an amplitude of said separation.

The steps b''1') to b''3') may comprise one or more of the features, possibly optional, of the
30 steps 1') to 3') described above, respectively.

The method is now described when a detailed analysis is implemented in the step b'').

Prior to the step a''), the learning base must be enriched, preferably according to an enrichment method according to the invention, in order to contain historical images whose description specifies, for each of the historical tooth zones, a value for the tooth attribute relating to the separation.

- 5 This information may be input manually. For example, an image representing one or more so-called "historical" tooth zones may be presented to an operator, preferably an orthodontist, and he or she may be asked to identify these historical tooth zones and indicate, for each historical tooth zone, whether there is a separation or not and/or assess the amplitude of this separation.
- 10 A historical image may be a photo representing an aligner worn by a historical patient. Alternatively, a historical image may be the result of a processing of an image representing a naked dental arch (that is to say without aligner) and of an image representing the same arch bearing the aligner. The image representing the naked arch may in particular be a view of a model of the arch deformed to obtain a maximal match with the image representing the
- 15 arch bearing the aligner. Such a processing may in particular be useful for better revealing the outline of the teeth and of the aligner when the teeth are not very visible through the aligner.

In the step a''), the acquisition of the analysis image may be performed like the acquisition of the updated images in the step B) described above.

- 20 Preferably, at least one reminder informing the patient of the need to create an analysis image is addressed to the patient. This reminder may be in paper form or, preferably, in electronic form, for example in the form of an email, of an automatic alert from a dedicated mobile device or an SMS. Such a reminder may be sent by the orthodontic practice or laboratory or by the dentist or by the dedicated mobile application of the patient, for example.
- 25 The step a'') is performed at the moment when the assessment of the shape of an aligner is desired, for example more than 1 week after the start of the treatment with the aligner.

The analysis image is an image representing the aligner worn by the teeth of the patient.

In the step b''), the analysis image is analyzed according to a detailed analysis method according to the invention.

5 The deep learning device has been trained by means of a learning base containing historical images whose description specifies, for at least one, preferably each historical tooth zone, a value for a tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the historical tooth zone and the aligner worn by said tooth and represented on said historical image.

The value for this tooth attribute therefore provides an information item relating to the shape of the aligner relative to the shape of the teeth of the patient.

10 The value for this tooth attribute can be a measurement of the separation, for example a measurement of the maximum separation, or of the mean separation for the tooth represented by the historical tooth zone.

The deep learning device is therefore capable of analyzing the analysis image to determine, preferably for each of the “analysis tooth zones”, the existence, even the extent, of a separation of the aligner of the tooth represented on the analysis tooth zone.

15 **In the step c’)**, an assessment is made, as a function of the results of the preceding step, as to the compatibility the aligner. For example, a search is conducted to see if the separation of the aligner with at least one tooth exceeds an acceptability threshold and, in this case, a decision is made as to the replacement of the aligner by a better suited aligner.

20 The suitability of the aligner can be assessed in the context of an orthodontic treatment (separation compatible or not with the orthodontic treatment) but also in the context of a non-therapeutic, in particular esthetic, treatment. Aligners can indeed be used to displace teeth for purely esthetic purposes, without this displacement modifying the state of health of the patient. The suitability of the aligner can also be assessed in the context of a research program concerning the effectiveness of the aligner, for example to assess a new material for the aligner, on a human being or on another animal.

25 **In the step d’)**, an information item relating to the assessment in the preceding step is sent, in particular to the patient and/or the orthodontist.

The orthodontist can then use this information, possibly in combination with additional information, for example the age of the patient or the duration for which the aligner has been worn, to establish a diagnosis and, if necessary, decide on a suitable treatment.

In one embodiment, the method comprises, in the step b''), a global analysis according to the invention. The other steps are unchanged.

The analysis of the analysis image and of the historical images is then performed globally, without identification of the individual situation of each of the teeth represented and the image attribute relates to the image as a whole.

For example, the image attribute relating to the separation may relate to the acceptability of a dental situation, the cause of one or more separations, or relate to the global scale of the separation or separations of the teeth. For example, the value of the image attribute may be “globally acceptable” or “globally unacceptable”. The value of the image attribute can also, for example, be a measurement of the separation, for example a measurement of the maximum separation, or of the mean separation between the teeth represented on the analysis image and the aligner.

As now clearly emerges, a method according to the invention makes it possible, from simple photos or a simple film, to determine whether the aligner is abnormally detached, even, if a detailed analysis was performed in the step b''), to determine the regions in which the aligner is separated from the teeth and assess the scale of this separation.

The invention also relates to a method for adapting an orthodontic treatment, a method in which a method for assessing the shape of an orthodontic aligner according to the invention is implemented, then, as a function of the result of said assessment, a new aligner is manufactured and/or the patient is counseled, for example for him or her to improve the conditions of use of his or her orthodontic aligner, in particular the positioning and/or the time bands when it should be worn and/or the maintenance of his or her orthodontic aligner, in order to optimize the treatment.

The use of aligners is not limited to therapeutic treatments. In particular, an assessment method may be implemented to assess an aligner exclusively used for esthetic purposes.

The method may also be used to assess other dental, in particular orthodontic, parts or appliances.

Computer program

The invention relates also:

- to a computer program, and in particular a dedicated application for cellphones, comprising program code instructions for the execution of one or more steps of any method according to the invention, when said program is run by a computer,
- to a computer medium on which such a program is stored, for example a memory or a CD-ROM.

Obviously, the invention is not limited to the embodiments described above and represented.

In particular, the patient is not necessarily a human being. A method according to the invention may be used for another animal.

The patient could be alive or dead. He is preferably alive.

- 10 The methods of the invention may be used for an orthodontic treatment, but also out of any orthodontic treatment, and even out of any therapeutic treatment.

15

20

25

30

CLAIMS

1. A method for acquiring an image of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:
 - a') activation of an image acquisition apparatus so as to acquire an image, called
5 "analysis image", of said arch;
 - b') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably a neural network, trained by means of a learning base;
 - c') determination, for the analysis image, as a function of the results of the analysis in the preceding step, of a value for an image attribute;
 - 10 d') comparison of said image attribute value with a setpoint;
 - e') sending of an information message as a function of said comparison, the information message being related to the quality of the image acquired and/or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch and/or to the setting of the acquisition apparatus and/or to the opening of the
15 mouth and/or to the wearing of a dental, preferably orthodontic, appliance.
2. The method as claimed in claim 1, in which, in the step b'), at least one analysis tooth zone is identified that represents, at least partially, a tooth on said analysis image, and at least one value of a tooth attribute is determined for said at least one analysis tooth zone, and, in the step c'), the value for the image attribute is determined as a function of
20 said tooth attribute value.
3. The method as claimed in claim 1, in which, in the step b'), all said analysis tooth zones are identified, and at least one tooth attribute value is determined for each analysis tooth zone, and, in the step c'), the value for the image attribute is determined as a function of said tooth attribute values.
- 25 4. The method as claimed in claim 2, in which the step b') comprises the following steps:
 - 1) preferably before the step a'), creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or "historical images", each historical image comprising one or more zones each representing a tooth, or "historical tooth zones", to each of which, for said tooth attribute, a tooth attribute value is assigned;

- 2) training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means of the learning base;
- 3) submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine at least one probability relating to:
- 5 – the presence, at a location in said analysis image, of a zone representing, at least partially, a tooth, or “analysis tooth zone”,
- the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone,
- 4) determination, as a function of said probability, of the presence of a tooth at a position represented by said analysis tooth zone, and of the attribute value of said
- 10 tooth.
5. The method as claimed in claim 4, in which said tooth attribute is chosen from a tooth number, a tooth type, a tooth shape parameter, a tooth appearance parameter, a parameter relating to the state of the tooth, an age for the patient, or a combination of these attributes.
- 15 6. The method as claimed in claim 1, in which the step b') comprises the following steps:
- 1') creation of a learning base comprising more than 1000 images of dental arches, or “historical images”, each historical image comprising an attribute value for at least one image attribute, or “image attribute value”;
- 2') training of at least one deep learning device, preferably a neural network, by means
- 20 of the learning base;
- 3') submission of the analysis image to the deep learning device for it to determine, for said analysis image, at least one probability relating to said image attribute value.
7. The method as claimed in claim 4, in which, in the step 1) or 1'), a learning base is
- 25 created comprising more than 10 000 historical images.
8. The method as claimed in claim 1, in which the learning base is composed according to the following steps:
- A) at an “updated” instant, production of a model of a dental arch of a patient, or “updated reference model”, and segmentation of the updated reference model so as

- to produce, for each tooth, a “tooth model”, and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
- B) acquisition of at least one image of said arch, or “updated image”, in real acquisition conditions;
- 5 C) for each updated image, search for virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions, and acquisition of said reference image;
- 10 D) identification, in the reference image, of at least one zone representing a tooth model, or “reference tooth zone” and, by comparison of the updated image and the reference image, determination, in the updated image, of a zone representing said tooth model, or “updated tooth zone”;
- E) assignment, to said updated tooth zone, of the tooth attribute value of said tooth model;
- 15 F) addition of the updated image enriched with a description of said updated tooth zone and its tooth attribute value, or “historical image”, in the learning base.
9. The method as claimed in claim 1, in which the learning base is composed according to the following steps:
- 20 A') at an initial instant, production of a model of a dental arch of a patient, or “initial reference model”, and segmentation of the initial reference model so as to produce, for each tooth, a “tooth model”, and, for at least one tooth attribute, assignment of a tooth attribute value to each tooth model;
- B') at an updated instant, acquisition of at least one image of said arch, or “updated image”, in real acquisition conditions;
- 25 C') search, by deformation of the initial reference model, for an updated reference model and virtual acquisition conditions suitable for an acquisition of an image of the updated reference model, called “reference image”, exhibiting a maximum match with the updated image in said virtual acquisition conditions;
- 30 D) identification, in the reference image, of at least one zone representing a tooth model, or “reference tooth zone” and, by comparison of the updated image and the reference image, determination, in the updated image, of a zone representing said tooth model, or “updated tooth zone”;

- E) assignment, to said updated tooth zone, of the tooth attribute value of said tooth model;
 - F) addition of the updated image enriched with a description of said updated tooth zone and its tooth attribute value, or “historical image”, in the learning base.
- 5 10. The method as claimed in claim 1, in which, to create a historical image of the learning base, an operator, preferably an orthodontist,
- identifies one or more “historical” tooth zones on an image, called then assigns, to each identified historical tooth zone, a value for at least one tooth attribute, and/or
 - assigns to an image a value for at least one tooth attribute.
- 10 11. The method as claimed in claim 1, in which the acquisition apparatus is a cellphone.
12. The method as claimed in claim 1, in which the information message is sent by the acquisition apparatus.
13. The method as claimed in claim 1, in which said image attribute relates to
- a position and/or an orientation and/or a calibration of an acquisition apparatus used
 - 15 to acquire said analysis image, and/or
 - a quality of the analysis image, and in particular relating to the brightness, to the contrast or to the sharpness of the analysis image, and/or
 - the content of the analysis image, in particular to the representation of the arches, of the tongue, of the mouth, of the lips, of the jaws, of the gums, of one or more
 - 20 teeth or of an orthodontic appliance.

ABSTRACT

DENTAL MONITORING

“Method for analyzing an image of a dental arch”

5

A method for acquiring an image of a dental arch of a patient, said method comprising the following steps:

- a') activation of an image acquisition apparatus so as to acquire an image, called “analysis image”, of said arch;
- 10 b') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, preferably a neural network, trained by means of a learning base;
- c') determination, for the analysis image, as a function of the results of the analysis in the preceding step, of a value for an image attribute;
- d') comparison of said image attribute value with a setpoint;
- 15 e') sending of an information message as a function of said comparison, the information message being related to the quality of the image acquired and/or to the position of the acquisition apparatus in relation to said arch and/or to the setting of the acquisition apparatus and/or to the opening of the mouth and/or to the wearing of a dental, preferably orthodontic, appliance.

20

No figure for the abstract.

PRINTER RUSH
(PTO ASSISTANCE)

Application: 16031201

Examiner: Azarian

GAU: 2667

From:

Location: IDC

Creation Date: 06/22/2020

Week Date: 4/20/2020

<u>DOC CODE</u>	<u>DOC DATE</u>	<u>MISCELLANEOUS</u>
<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☒ 1449</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ IDS</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ CLM</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ IIFW/FWCLM</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ SRFW</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ DRW</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ OATH</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ 312</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ SPEC</div>	<u>04/22/2020</u>	<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Continuing Data</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Foreign Priority</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Document Legibility</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Fees</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Petition (TC)</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Other</div>

[RUSH] Message:

Please supply the information that is missing from the citations 8 and 9 (please see page 3 of 5) and please state that the IDS document was properly considered.

Thank you.

[XRUSH] Response:

Initials: _____



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
www.uspto.gov

APPLICATION NO.	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR	ATTORNEY DOCKET NO.	CONFIRMATION NO.
16/031,201	07/10/2018	Philippe SALAH	N&P-51425	8853
108676	7590	06/29/2020		
Ronald M. Kachmarik Cooper Legal Group LLC 6505 Rockside Rd. Suite 330 Independence, OH 44131			EXAMINER AZARIAN, SEYED H	
			ART UNIT	PAPER NUMBER
			2667	
			NOTIFICATION DATE	DELIVERY MODE
			06/29/2020	ELECTRONIC

Please find below and/or attached an Office communication concerning this application or proceeding.

The time period for reply, if any, is set in the attached communication.

Notice of the Office communication was sent electronically on above-indicated "Notification Date" to the following e-mail address(es):

patdoc@cooperlegalgroup.com

**UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE****U.S. Patent and Trademark Office**

Address: COMMISSIONER FOR PATENTS

P.O. Box 1450

Alexandria, Virginia 22313-1450

APPLICATION NO./ CONTROL NO.	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR/ PATENT IN REEXAMINATION	ATTORNEY DOCKET NO.
16/031,201	07/10/2018	SALAH et al.	N&P-51425

Ronald M. Kachmarik Cooper Legal Group LLC 6505 Rockside Rd. Suite 330 Independence, OH 44131		EXAMINER	
		SEYED H AZARIAN	
		ART UNIT	PAPER
		2667	20200624

DATE MAILED: _____

Please find below and/or attached an Office communication concerning this application or proceeding.

Commissioner for Patents

The Information Discloser Statement filed 7/10/2018, has been fully considered by Examiner. An initialed copy is attached to this office action.

/SEYED H AZARIAN/
Primary Examiner, Art Unit 2667



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
 Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
 P.O. Box 1450
 Alexandria, Virginia 22313-1450
 www.uspto.gov

BIB DATA SHEET

CONFIRMATION NO. 8853

SERIAL NUMBER	FILING or 371(c) DATE	CLASS	GROUP ART UNIT	ATTORNEY DOCKET NO.		
16/031,201	07/10/2018	382	2667	N&P-51425		
APPLICANTS DENTAL MONITORING, Paris, FRANCE INVENTORS Philippe SALAH, Bagnolet, FRANCE; Thomas Pellissard, Clichy, FRANCE; Guillaume Ghyselinck, Cantin, FRANCE; Laurent Debraux, Paris, FRANCE; ** CONTINUING DATA ***** ** FOREIGN APPLICATIONS ***** FRANCE 1756947 07/21/2017 ** IF REQUIRED, FOREIGN FILING LICENSE GRANTED ** 07/25/2018						
Foreign Priority claimed ☒ Yes ☐ No 35 USC 119(a-d) conditions met ☒ Yes ☐ No Verified and Acknowledged <u>/SEYED H AZARIAN/</u> Examiner's Signature		☐ Met after Allowance S.A Initials	STATE OR COUNTRY FRANCE	SHEETS DRAWINGS 11	TOTAL CLAIMS 13	INDEPENDENT CLAIMS 1
ADDRESS Ronald M. Kachmarik Cooper Legal Group LLC 6505 Rockside Rd. Suite 330 Independence, OH 44131 UNITED STATES						
TITLE METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH						
FILING FEE RECEIVED 1880	FEES: Authority has been given in Paper No. _____ to charge/credit DEPOSIT ACCOUNT No. _____ for following:			☐ All Fees ☐ 1.16 Fees (Filing) ☐ 1.17 Fees (Processing Ext. of time) ☐ 1.18 Fees (Issue) ☐ Other _____ ☐ Credit		

Doc code: IDS

PTO/SB/08a (01-10)

Doc description: Information Disclosure Statement (IDS) Filed

Approved for use through 07/31/2012. OMB 0651-0031

U.S. Patent and Trademark Office; U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it contains a valid OMB control number.

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)	Application Number		
	Filing Date		
	First Named Inventor	Philippe SALAH	
	Art Unit		
	Examiner Name		
	Attorney Docket Number	N&P-51425	

U.S.PATENTS						
Examiner Initial*	Cite No	Patent Number	Kind Code ¹	Issue Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear
/S.H.A/	1	8879813	B1	2014-11-04	Solanki et al.	Col.7, Ln.65-Col.8, Ln.16; Col.33, Ln.65-Col.34, Ln.25; Col.35, Ln.16-Col.37, Ln.15;

If you wish to add additional U.S. Patent citation information please click the Add button.

U.S.PATENT APPLICATION PUBLICATIONS						
Examiner Initial*	Cite No	Publication Number	Kind Code ¹	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear
/S.H.A/	1	20080172386	A1	2008-07-17	Ammar et al.	
/S.H.A/	2	20170086943	A1	2017-03-30	Mah	
/S.H.A/	3	20090191503	A1	2009-07-30	Matov et al.	Corresponds to JP2017-094181
/S.H.A/	4	20090291417	A1	2009-11-26	Rubbert et al.	

If you wish to add additional U.S. Published Application citation information please click the Add button.

FOREIGN PATENT DOCUMENTS								
Examiner Initial*	Cite No	Foreign Document Number ³	Country Code ²	Kind Code ⁴	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear	T ⁵

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number		
Filing Date		
First Named Inventor	Philippe SALAH	
Art Unit		
Examiner Name		
Attorney Docket Number	N&P-51425	

/S.H.A/	1	2016066651	WO	A1	2016-05-06	Salah et al.		☐
/S.H.A/	2	2017182654	WO	A1	2017-10-26	Salah et al.		☐
/S.H.A/	3	3027505	FR	A1	2016-04-29	Salah et al.		☐
/S.H.A/	4	3010629	FR	A1	2015-03-20	Salah et al.	Entire Document	☐
/S.H.A/	5	2017094181	JP	A	2017-06-01	Matov et al.	See corresponding US 2009/191503;	☐

If you wish to add additional Foreign Patent Document citation information please click the Add button

NON-PATENT LITERATURE DOCUMENTS

Examiner Initials*	Cite No	Include name of the author (in CAPITAL LETTERS), title of the article (when appropriate), title of the item (book, magazine, journal, serial, symposium, catalog, etc), date, pages(s), volume-issue number(s), publisher, city and/or country where published.	T ^s
/S.H.A/	1	Corresponding French Application, Application no.: 1756947, French Search Report, dated January 18, 2018, 2 pages	☐
/S.H.A/	2	MIKI YUMA ET AL: "classification of teeth in cone-beam CT using deep convolutional neural network" COMPUTERS IN BIOLOGY AND MEDICINE, NEW YORK, NY, US, vol. 80, 12 November 2016 (2016-11-12), pages 24-29, XP02991G769, ISSN: 0010-4825, DOI:10.1016/J.COMPBIOMED.2016. 11.003,	☐
/S.H.A/	3	Young-Jun Yu: "Machine Learning for Dental Image Analysis", Arxiv 29 November 2016 (2016-11-29), XP055430578, Extracted from the Internet: URL:https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.09958.pdf [extracted 2018-03-20];	☐
/S.H.A/	4	KELWIN FERNANDEZ ET AL: "Teeth/Palate and Interdental Segmentation Using Artificial Neural Networks", 17 September 2012 (2012-09-17), ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN PATTERN RECOGNITION, SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, BERLIN, HEIDELBERG, PAGE(S) 175 - 185, XP047017215, ISBN: 978-3-642-33211-1;	☐

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT

(Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number		
Filing Date		
First Named Inventor	Philippe SALAH	
Art Unit		
Examiner Name		
Attorney Docket Number	N&P-51425	

/S.H.A/	5	LIN P L ET AL: "An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using teeth region and contour information", PATTERN RECOGNITION, ELSEVIER, GB, vol. 43, no. 4, 1 April 2010 (2010-04-01), pages 1380-1392, XP026870003, ISSN: 0031-3203 [extracted 2009-11-11];	☐
/S.H.A/	6	Vinicius Tragante ET AL: "Knowledge discovery in panoramic X-rays for postmortem identification", Researchgate, 1 January 2010 (2010-01-01), pages 1-9, XP055462269, Extracted from the Internet; URL:https://www.researchgate.net/profile/Vinicius_Tragante/publication/267821630_Knowledge_discovery_in_panoramic_X-rays_for_postmortem_identification/links/54f479df0cf299c8d9e77caf/Knowledge-discovery-in-panoramic-X-rays-for-postmortem-identification.pdf; [extracted 2018-03-23];	☐
/S.H.A/	7	Anonymous: "Towards a Smart Healthcare System for Orthodontic and Dental Treatment Smart Healthcare System", 1 January 2016 (2016-01-01), XP055442068, Extracted from the internet URL:http://sc.cmc.osaka-u.ac.jp/wp1/wp-content/uploads/2016/11/sc16_poster_part6.pdf [extracted 2018-01-18]; Entire Document	☐
Considered by the Examiner	8	Ben Ali Ramzi ET AL: "Detection and Classification of Dental Caries in X-ray Images Using Deep Neural Networks", Proceedings of ICSEA 2016 : The Eleventh International Conference on Software Engineering Advances, 21 August 2016 (2016-08-21), pages 223-227, XP055442275, New York, Extracted from the Internet, URL:https://pdfs.semanticscholar.org/4536/de69054143f85bb5089a8957f16be1eb0c3a.pdf?ga=2.60511401.567907993.1516282794-945231696.1516282794, [extracted 2018-01-18]; Abstract; Figs.1-3;	☐
Considered by Examiner	9	MIKI YUMA ET AL: "Tooth labeling in cone-beam CT using deep convolutional neural network for forensic identification", PROGRESS IN BIOMEDICAL OPTICS AND IMAGING, SPIE - INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, BELLINGHAM, WA, US, vol. 10134, 3 March 2017 (2017-03-03), pages 101343E-101343E, XP060086665, ISSN: 1605-7422, DOI: 10.1117/12.2254332, ISBN: 978-1-5106-0027-0; Entire Document	☐
/S.H.A/	10	Young-Jun Yu: "Machine Learning for Dental Image Analysis", 29 November 2016 (2016-11-29), XP055430578, Extracted from the Internet: URL:https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.09958.pdf [extracted 2018-03-22]	☐

If you wish to add additional non-patent literature document citation information please click the Add button

EXAMINER SIGNATURE

Examiner Signature	/SEYED H AZARIAN/	Date Considered	06/24/2020
--------------------	-------------------	-----------------	------------

*EXAMINER: Initial if reference considered, whether or not citation is in conformance with MPEP 609. Draw line through a citation if not in conformance and not considered. Include copy of this form with next communication to applicant. 06/24/2020

¹ See Kind Codes of USPTO Patent Documents at www.USPTO.GOV or MPEP 901.04. ² Enter office that issued the document, by the two-letter code (WIPO Standard ST.3). ³ For Japanese patent documents, the indication of the year of the reign of the Emperor must precede the serial number of the patent document. ⁴ Kind of document by the appropriate symbols as indicated on the document under WIPO Standard ST.16 if possible. ⁵ Applicant is to place a check mark here if English language translation is attached.

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number		
Filing Date		
First Named Inventor	Philippe SALAH	
Art Unit		
Examiner Name		
Attorney Docket Number	N&P-51425	

CERTIFICATION STATEMENT

Please see 37 CFR 1.97 and 1.98 to make the appropriate selection(s):

☐ That each item of information contained in the information disclosure statement was first cited in any communication from a foreign patent office in a counterpart foreign application not more than three months prior to the filing of the information disclosure statement. See 37 CFR 1.97(e)(1).

OR

☐ That no item of information contained in the information disclosure statement was cited in a communication from a foreign patent office in a counterpart foreign application, and, to the knowledge of the person signing the certification after making reasonable inquiry, no item of information contained in the information disclosure statement was known to any individual designated in 37 CFR 1.56(c) more than three months prior to the filing of the information disclosure statement. See 37 CFR 1.97(e)(2).

☐ See attached certification statement.

☐ The fee set forth in 37 CFR 1.17 (p) has been submitted herewith.

☒ A certification statement is not submitted herewith.

SIGNATURE

A signature of the applicant or representative is required in accordance with CFR 1.33, 10.18. Please see CFR 1.4(d) for the form of the signature.

Signature	/Ronald M. Kachmarik/	Date (YYYY-MM-DD)	2018-07-10
Name/Print	Ronald M. Kachmarik	Registration Number	34512

This collection of information is required by 37 CFR 1.97 and 1.98. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 1 hour to complete, including gathering, preparing and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. **DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.**

Privacy Act Statement

The Privacy Act of 1974 (P.L. 93-579) requires that you be given certain information in connection with your submission of the attached form related to a patent application or patent. Accordingly, pursuant to the requirements of the Act, please be advised that: (1) the general authority for the collection of this information is 35 U.S.C. 2(b)(2); (2) furnishing of the information solicited is voluntary; and (3) the principal purpose for which the information is used by the U.S. Patent and Trademark Office is to process and/or examine your submission related to a patent application or patent. If you do not furnish the requested information, the U.S. Patent and Trademark Office may not be able to process and/or examine your submission, which may result in termination of proceedings or abandonment of the application or expiration of the patent.

The information provided by you in this form will be subject to the following routine uses:

1. The information on this form will be treated confidentially to the extent allowed under the Freedom of Information Act (5 U.S.C. 552) and the Privacy Act (5 U.S.C. 552a). Records from this system of records may be disclosed to the Department of Justice to determine whether the Freedom of Information Act requires disclosure of these records.
2. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, in the course of presenting evidence to a court, magistrate, or administrative tribunal, including disclosures to opposing counsel in the course of settlement negotiations.
3. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Member of Congress submitting a request involving an individual, to whom the record pertains, when the individual has requested assistance from the Member with respect to the subject matter of the record.
4. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a contractor of the Agency having need for the information in order to perform a contract. Recipients of information shall be required to comply with the requirements of the Privacy Act of 1974, as amended, pursuant to 5 U.S.C. 552a(m).
5. A record related to an International Application filed under the Patent Cooperation Treaty in this system of records may be disclosed, as a routine use, to the International Bureau of the World Intellectual Property Organization, pursuant to the Patent Cooperation Treaty.
6. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to another federal agency for purposes of National Security review (35 U.S.C. 181) and for review pursuant to the Atomic Energy Act (42 U.S.C. 218(c)).
7. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the Administrator, General Services, or his/her designee, during an inspection of records conducted by GSA as part of that agency's responsibility to recommend improvements in records management practices and programs, under authority of 44 U.S.C. 2904 and 2906. Such disclosure shall be made in accordance with the GSA regulations governing inspection of records for this purpose, and any other relevant (i.e., GSA or Commerce) directive. Such disclosure shall not be used to make determinations about individuals.
8. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the public after either publication of the application pursuant to 35 U.S.C. 122(b) or issuance of a patent pursuant to 35 U.S.C. 151. Further, a record may be disclosed, subject to the limitations of 37 CFR 1.14, as a routine use, to the public if the record was filed in an application which became abandoned or in which the proceedings were terminated and which application is referenced by either a published application, an application open to public inspections or an issued patent.
9. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Federal, State, or local law enforcement agency, if the USPTO becomes aware of a violation or potential violation of law or regulation.

PRINTER RUSH
(PTO ASSISTANCE)

Application: 16031201

Examiner: Azarian

GAU: 2667

From:

Location: IDC

Creation Date: 06/22/2020

Week Date: 4/20/2020

<u>DOC CODE</u>	<u>DOC DATE</u>	<u>MISCELLANEOUS</u>
<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☒ 1449</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ IDS</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ CLM</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ IIFW/FWCLM</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ SRFW</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ DRW</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ OATH</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ 312</div> <div style="display: flex; align-items: center;">☐ SPEC</div>	<u>04/22/2020</u>	<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Continuing Data</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Foreign Priority</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Document Legibility</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Fees</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Petition (TC)</div> <div style="display: flex; align-items: center;">☐ Other</div>

[RUSH] Message:

Please supply the information that is missing from the citations 8 and 9 (please see page 3 of 5) and please state that the IDS document was properly considered.

Thank you.

[XRUSH] Response:

Considered by the Examiner.

Initials: S.A



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
www.uspto.gov

APPLICATION NO.	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR	ATTORNEY DOCKET NO.	CONFIRMATION NO.
16/031,201	07/10/2018	Philippe SALAH	N&P-51425	8853
108676	7590	06/30/2020		
Ronald M. Kachmarik Cooper Legal Group LLC 6505 Rockside Rd. Suite 330 Independence, OH 44131			EXAMINER AZARIAN, SEYED H	
			ART UNIT 2667	PAPER NUMBER
			NOTIFICATION DATE 06/30/2020	DELIVERY MODE ELECTRONIC

Please find below and/or attached an Office communication concerning this application or proceeding.

The time period for reply, if any, is set in the attached communication.

Notice of the Office communication was sent electronically on above-indicated "Notification Date" to the following e-mail address(es):

patdoc@cooperlegalgroup.com

Response to Rule 312 Communication	Application No. 16/031,201	Applicant(s)
	Examiner	Art Unit

-- The MAILING DATE of this communication appears on the cover sheet with the correspondence address --

1. ☒ The amendment filed on 18 June 2020 under 37 CFR 1.312 has been considered, and has been:

a) ☒ entered.

b) ☐ entered as directed to matters of form not affecting the scope of the invention.

c) ☐ disapproved because the amendment was filed after the payment of the issue fee.

Any amendment filed after the date the issue fee is paid must be accompanied by a petition under 37 CFR 1.313(c)(1) and the required fee to withdraw the application from issue.

d) ☐ disapproved. See explanation below.

e) ☐ entered in part. See explanation below.

/ N.Horne /

Publishing Division

PRINTER RUSH
(PTO ASSISTANCE)

Application: 16031201

Examiner: Azarian

GAU: 2667

From:

Location: IDC

Creation Date: 06/30/2020

Week Date: 4/20/2020

<u>DOC CODE</u>	<u>DOC DATE</u>	<u>MISCELLANEOUS</u>
<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☒ 1449</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ IDS</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ CLM</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ IIFW/FWCLM</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ SRFW</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ DRW</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ OATH</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ 312</div> <div style="display: flex; align-items: center;">☐ SPEC</div>	<div style="margin-bottom: 10px;"><u>06/29/2020</u></div>	<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Continuing Data</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Foreign Priority</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Document Legibility</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Fees</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Petition (TC)</div> <div style="display: flex; align-items: center;">☐ Other</div>

[RUSH] Message:

1449 dated 06/29/2020 (p. 2-3 of 5) has NPL documents which end incomplete:

Cite No. 2 ends with a comma

Cite Nos. 3-6 end with semicolons

Cite Nos. 8 & 9 have plus signs (+) indicating data is missing

Please provide corrected 1449 forms with missing data provided.

Thank you

[XRUSH] Response:

Initials: _____

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)	Application Number	16031201
	Filing Date	2018-07-10
	First Named Inventor	Philippe SALAH
	Art Unit	2667
	Examiner Name	Seyed H. Azarian
	Attorney Docket Number	N&P-51425

U.S.PATENTS						Remove
Examiner Initial*	Cite No	Patent Number	Kind Code ¹	Issue Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear
	1	8879813	B1	2014-11-04	Solanki et al.	Col.7, Ln.65-Col.8, Ln.16; Col.33, Ln.65-Col.34, Ln.25; Col.35, Ln.16-Col.37, Ln.15;
If you wish to add additional U.S. Patent citation information please click the Add button.						Add

U.S.PATENT APPLICATION PUBLICATIONS						Remove
Examiner Initial*	Cite No	Publication Number	Kind Code ¹	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear
	1	20080172386	A1	2008-07-17	Ammar et al.	
	2	20170086943	A1	2017-03-30	Mah	
	3	20090191503	A1	2009-07-30	Matov et al.	Corresponds to JP2017-094181
	4	20090291417	A1	2009-11-26	Rubbert et al.	
If you wish to add additional U.S. Published Application citation information please click the Add button.						Add

FOREIGN PATENT DOCUMENTS								Remove
Examiner Initial*	Cite No	Foreign Document Number ³	Country Code ²ⁱ	Kind Code ⁴	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear	T ⁵

**INFORMATION DISCLOSURE
STATEMENT BY APPLICANT**
(Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number	16031201
Filing Date	2018-07-10
First Named Inventor	Philippe SALAH
Art Unit	2667
Examiner Name	Seyed H. Azarian
Attorney Docket Number	N&P-51425

1	2016066651	WO	A1	2016-05-06	Salah et al.	
2	2017182654	WO	A1	2017-10-26	Salah et al.	
3	3027505	FR	A1	2016-04-29	Salah et al.	
4	3010629	FR	A1	2015-03-20	Salah et al.	Entire Document
5	2017094181	JP	A	2017-06-01	Matov et al.	See corresponding US 2009/191503;

If you wish to add additional Foreign Patent Document citation information please click the Add button

NON-PATENT LITERATURE DOCUMENTS

Examiner Initials*	Cite No	Include name of the author (in CAPITAL LETTERS), title of the article (when appropriate), title of the item (book, magazine, journal, serial, symposium, catalog, etc), date, pages(s), volume-issue number(s), publisher, city and/or country where published.	T ⁵
	1	Corresponding French Application, Application no.: 1756947, French Search Report, dated January 18, 2018, 2 pages	
	2	MIKI YUMA ET AL: "classification of teeth in cone-beam CT using deep convolutional neural network" COMPUTERS IN BIOLOGY AND MEDICINE, NEW YORK, NY, US, vol. 80, 12 November 2016 (2016-11-12), pages 24-29	
	3	Young-Jun Yu: "Machine Learning for Dental Image Analysis", Arxiv 29 November 2016 (2016-11-29), XP055430578, Extracted from the Internet: URL:https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.09958.pdf [extracted 2018-03-20]	
	4	KELWIN FERNANDEZ ET AL: "Teeth/Palate and Interdental Segmentation Using Artificial Neural Networks", 17 September 2012 (2012-09-17), ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN PATTERN RECOGNITION, SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, BERLIN, HEIDELBERG, PAGE(S) 175 - 185, XP047017215, ISBN: 978-3-642-33211-1	

**INFORMATION DISCLOSURE
STATEMENT BY APPLICANT**
(Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number	16031201
Filing Date	2018-07-10
First Named Inventor	Philippe SALAH
Art Unit	2667
Examiner Name	Seyed H. Azarian
Attorney Docket Number	N&P-51425

5	LIN P L ET AL: "An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using teeth region and contour information", PATTERN RECOGNITION, ELSEVIER, GB, vol. 43, no. 4, 1 April 2010 (2010-04-01), pages 1380-1392, XP026870003, ISSN: 0031-3203 [extracted 2009-11-11]
6	Vinicius Tragante ET AL: "Knowledge discovery in panoramic X-rays for postmortem identification", Researchgate, 1 January 2010 (2010-01-01), pages 1-9, XP055462269, Extracted from the Internet; URL:https://www.researchgate.net/profile/Vinicius_Tragante/publication/267821630_Knowledge_discovery_in_panoramic_X-rays_for_postmortem_identification/links/54f479df0cf299c8d9e77caf/Knowledge-discovery-in-panoramic-X-rays-for-postmortem-identification.pdf; [extracted 2018-03-23]
7	Anonymous: "Towards a Smart Healthcare System for Orthodontic and Dental Treatment Smart Healthcare System", 1 January 2016 (2016-01-01), XP055442068, Extracted from the internet URL:http://sc.cmc.osaka-u.ac.jp/wp1/wp-content/uploads/2016/11/sc16_poster_part6.pdf [extracted 2018-01-18]; Entire Document
8	Ben Ali Ramzi ET AL: "Detection and Classification of Dental Caries in X-ray Images Using Deep Neural Networks", Proceedings of ICSEA 2016 : The Eleventh International Conference on Software Engineering Advances, 21 August 2016 (2016-08-21), pages 223-227, XP055442275, New York, Extracted from the Internet, URL:https://pdfs.semanticscholar.org/4536/de69054143f85bb5089a8957f16be1eb0c3a.pdf?ga=2.60511401.567907993.1516282794-945231696.1516282794, [extracted 2018-01-18]; Abstract; Figs.1-3
9	MIKI YUMA ET AL: "Tooth labeling in cone-beam CT using deep convolutional neural network for forensic identification", PROGRESS IN BIOMEDICAL OPTICS AND IMAGING, SPIE - INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, BELLINGHAM, WA, US, vol. 10134, 3 March 2017 (2017-03-03), pages 101343E-101343E, XP060086665, ISSN: 1605-7422, DOI: 10.1117/12.2254332, ISBN: 978-1-5106-0027-0; Entire Document
10	Young-Jun Yu: "Machine Learning for Dental Image Analysis", 29 November 2016 (2016-11-29), XP055430578, Extracted from the Internet: URL:https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.09958.pdf [extracted 2018-03-22]

If you wish to add additional non-patent literature document citation information please click the Add button

EXAMINER SIGNATURE

Examiner Signature		Date Considered	
--------------------	--	-----------------	--

*EXAMINER: Initial if reference considered, whether or not citation is in conformance with MPEP 609. Draw line through a citation if not in conformance and not considered. Include copy of this form with next communication to applicant.

¹ See Kind Codes of USPTO Patent Documents at www.USPTO.GOV or MPEP 901.04. ² Enter office that issued the document, by the two-letter code (WIPO Standard ST.3). ³ For Japanese patent documents, the indication of the year of the reign of the Emperor must precede the serial number of the patent document. ⁴ Kind of document by the appropriate symbols as indicated on the document under WIPO Standard ST.16 if possible. ⁵ Applicant is to place a check mark here if English language translation is attached.

**INFORMATION DISCLOSURE
STATEMENT BY APPLICANT**
(Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number	16031201
Filing Date	2018-07-10
First Named Inventor	Philippe SALAH
Art Unit	2667
Examiner Name	Seyed H. Azarian
Attorney Docket Number	N&P-51425

CERTIFICATION STATEMENT

Please see 37 CFR 1.97 and 1.98 to make the appropriate selection(s):

That each item of information contained in the information disclosure statement was first cited in any communication from a foreign patent office in a counterpart foreign application not more than three months prior to the filing of the information disclosure statement. See 37 CFR 1.97(e)(1).

OR

☐ That no item of information contained in the information disclosure statement was cited in a communication from a foreign patent office in a counterpart foreign application, and, to the knowledge of the person signing the certification after making reasonable inquiry, no item of information contained in the information disclosure statement was known to any individual designated in 37 CFR 1.56(c) more than three months prior to the filing of the information disclosure statement. See 37 CFR 1.97(e)(2).

See attached certification statement.

The fee set forth in 37 CFR 1.17 (p) has been submitted herewith.

☒ A certification statement is not submitted herewith.

SIGNATURE

A signature of the applicant or representative is required in accordance with CFR 1.33, 10.18. Please see CFR 1.4(d) for the form of the signature.

Signature	/Ronald M. Kachmarik/	Date (YYYY-MM-DD)	2018-07-10
Name/Print	Ronald M. Kachmarik	Registration Number	34512

This collection of information is required by 37 CFR 1.97 and 1.98. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 1 hour to complete, including gathering, preparing and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. **SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.**

Privacy Act Statement

The Privacy Act of 1974 (P.L. 93-579) requires that you be given certain information in connection with your submission of the attached form related to a patent application or patent. Accordingly, pursuant to the requirements of the Act, please be advised that: (1) the general authority for the collection of this information is 35 U.S.C. 2(b)(2); (2) furnishing of the information solicited is voluntary; and (3) the principal purpose for which the information is used by the U.S. Patent and Trademark Office is to process and/or examine your submission related to a patent application or patent. If you do not furnish the requested information, the U.S. Patent and Trademark Office may not be able to process and/or examine your submission, which may result in termination of proceedings or abandonment of the application or expiration of the patent.

The information provided by you in this form will be subject to the following routine uses:

1. The information on this form will be treated confidentially to the extent allowed under the Freedom of Information Act (5 U.S.C. 552) and the Privacy Act (5 U.S.C. 552a). Records from this system of records may be disclosed to the Department of Justice to determine whether the Freedom of Information Act requires disclosure of these records.
2. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, in the course of presenting evidence to a court, magistrate, or administrative tribunal, including disclosures to opposing counsel in the course of settlement negotiations.
3. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Member of Congress submitting a request involving an individual, to whom the record pertains, when the individual has requested assistance from the Member with respect to the subject matter of the record.
4. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a contractor of the Agency having need for the information in order to perform a contract. Recipients of information shall be required to comply with the requirements of the Privacy Act of 1974, as amended, pursuant to 5 U.S.C. 552a(m).
5. A record related to an International Application filed under the Patent Cooperation Treaty in this system of records may be disclosed, as a routine use, to the International Bureau of the World Intellectual Property Organization, pursuant to the Patent Cooperation Treaty.
6. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to another federal agency for purposes of National Security review (35 U.S.C. 181) and for review pursuant to the Atomic Energy Act (42 U.S.C. 218(c)).
7. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the Administrator, General Services, or his/her designee, during an inspection of records conducted by GSA as part of that agency's responsibility to recommend improvements in records management practices and programs, under authority of 44 U.S.C. 2904 and 2906. Such disclosure shall be made in accordance with the GSA regulations governing inspection of records for this purpose, and any other relevant (i.e., GSA or Commerce) directive. Such disclosure shall not be used to make determinations about individuals.
8. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the public after either publication of the application pursuant to 35 U.S.C. 122(b) or issuance of a patent pursuant to 35 U.S.C. 151. Further, a record may be disclosed, subject to the limitations of 37 CFR 1.14, as a routine use, to the public if the record was filed in an application which became abandoned or in which the proceedings were terminated and which application is referenced by either a published application, an application open to public inspections or an issued patent.
9. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Federal, State, or local law enforcement agency, if the USPTO becomes aware of a violation or potential violation of law or regulation.

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	39904976
Application Number:	16031201
International Application Number:	
Confirmation Number:	8853
Title of Invention:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
First Named Inventor/Applicant Name:	Philippe SALAH
Customer Number:	108676
Filer:	Ronald M. Kachmarik/Amy Ansbro
Filer Authorized By:	Ronald M. Kachmarik
Attorney Docket Number:	N&P-51425
Receipt Date:	02-JUL-2020
Filing Date:	10-JUL-2018
Time Stamp:	17:25:46
Application Type:	Utility under 35 USC 111(a)

Payment information:

Submitted with Payment	no
------------------------	----

File Listing:

Document Number	Document Description	File Name	File Size(Bytes)/ Message Digest	Multi Part /.zip	Pages (if appl.)
1	Information Disclosure Statement (IDS) Form (SB08)	IDS2.pdf	1036740	no	5
			1d059fc5584659693e1bdc006f871bdf9f3779a2		

Warnings:

Information:	
Total Files Size (in bytes):	1036740
<p>This Acknowledgement Receipt evidences receipt on the noted date by the USPTO of the indicated documents, characterized by the applicant, and including page counts, where applicable. It serves as evidence of receipt similar to a Post Card, as described in MPEP 503.</p> <p><u>New Applications Under 35 U.S.C. 111</u> If a new application is being filed and the application includes the necessary components for a filing date (see 37 CFR 1.53(b)-(d) and MPEP 506), a Filing Receipt (37 CFR 1.54) will be issued in due course and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the filing date of the application.</p> <p><u>National Stage of an International Application under 35 U.S.C. 371</u> If a timely submission to enter the national stage of an international application is compliant with the conditions of 35 U.S.C. 371 and other applicable requirements a Form PCT/DO/EO/903 indicating acceptance of the application as a national stage submission under 35 U.S.C. 371 will be issued in addition to the Filing Receipt, in due course.</p> <p><u>New International Application Filed with the USPTO as a Receiving Office</u> If a new international application is being filed and the international application includes the necessary components for an international filing date (see PCT Article 11 and MPEP 1810), a Notification of the International Application Number and of the International Filing Date (Form PCT/RO/105) will be issued in due course, subject to prescriptions concerning national security, and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the international filing date of the application.</p>	



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
www.uspto.gov

APPLICATION NO.	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR	ATTORNEY DOCKET NO.	CONFIRMATION NO.
16/031,201	07/10/2018	Philippe SALAH	N&P-51425	8853
108676	7590	07/09/2020	EXAMINER	
Ronald M. Kachmarik			AZARIAN, SEYED H	
Cooper Legal Group LLC			ART UNIT	PAPER NUMBER
6505 Rockside Rd.			2667	
Suite 330			NOTIFICATION DATE	DELIVERY MODE
Independence, OH 44131			07/09/2020	ELECTRONIC

Please find below and/or attached an Office communication concerning this application or proceeding.

The time period for reply, if any, is set in the attached communication.

Notice of the Office communication was sent electronically on above-indicated "Notification Date" to the following e-mail address(es):

patdoc@cooperlegalgroup.com

**UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE****U.S. Patent and Trademark Office**

Address: COMMISSIONER FOR PATENTS

P.O. Box 1450

Alexandria, Virginia 22313-1450

APPLICATION NO./ CONTROL NO.	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR/ PATENT IN REEXAMINATION	ATTORNEY DOCKET NO.
16/031,201	07/10/2018	SALAH et al.	N&P-51425

Ronald M. Kachmarik Cooper Legal Group LLC 6505 Rockside Rd. Suite 330 Independence, OH 44131		EXAMINER	
		SEYED H AZARIAN	
		ART UNIT	PAPER
		2667	20200704

DATE MAILED: _____

Please find below and/or attached an Office communication concerning this application or proceeding.

Commissioner for Patents

Based on telephone interview which was initiated by the Examiner on July 2, 2020, with Applicant's representative (Mr. Ronald Kachmarik), and discussing the issue with the Information Discloser Statement filed on 6/29/2020. Applicant has submitted the new corrected 1449 IDS on 7/2/2020, which has been fully considered by Examiner.

Please disregard or delete the previous 1449 IDS dated on 6/29/2020.

Thank you, respectfully,
Examiner Azarian

/SEYED H AZARIAN/
Primary Examiner, Art Unit 2667

Doc code: IDS

PTO/SB/08a (02-18)

Doc description: Information Disclosure Statement (IDS) Filed

Approved for use through 11/30/2020. OMB 0651-0031

U.S. Patent and Trademark Office; U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it contains a valid OMB control number.

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)	Application Number		16031201
	Filing Date		2018-07-10
	First Named Inventor	Philippe SALAH	
	Art Unit	2667	
	Examiner Name	Seyed H. Azarian	
	Attorney Docket Number	N&P-51425	

U.S.PATENTS						Remove
Examiner Initial*	Cite No	Patent Number	Kind Code ¹	Issue Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear
	1	8879813	B1	2014-11-04	Solanki et al.	Col.7, Ln.65-Col.8, Ln.16; Col.33, Ln.65-Col.34, Ln.25; Col.35, Ln.16-Col.37, Ln.15;
If you wish to add additional U.S. Patent citation information please click the Add button.						Add

U.S.PATENT APPLICATION PUBLICATIONS						Remove
Examiner Initial*	Cite No	Publication Number	Kind Code ¹	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear
	1	20080172386	A1	2008-07-17	Ammar et al.	
	2	20170086943	A1	2017-03-30	Mah	
	3	20090191503	A1	2009-07-30	Matov et al.	Corresponds to JP2017-094181
	4	20090291417	A1	2009-11-26	Rubbert et al.	
If you wish to add additional U.S. Published Application citation information please click the Add button.						Add

FOREIGN PATENT DOCUMENTS								Remove
Examiner Initial*	Cite No	Foreign Document Number ³	Country Code ²ⁱ	Kind Code ⁴	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages,Columns,Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear	T ⁵

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT

(Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number	16031201
Filing Date	2018-07-10
First Named Inventor	Philippe SALAH
Art Unit	2667
Examiner Name	Seyed H. Azarian
Attorney Docket Number	N&P-51425

1	2016066651	WO	A1	2016-05-06	Salah et al.	
2	2017182654	WO	A1	2017-10-26	Salah et al.	
3	3027505	FR	A1	2016-04-29	Salah et al.	
4	3010629	FR	A1	2015-03-20	Salah et al.	Entire Document
5	2017094181	JP	A	2017-06-01	Matov et al.	See corresponding US 2009/191503;

If you wish to add additional Foreign Patent Document citation information please click the Add button

NON-PATENT LITERATURE DOCUMENTS

Examiner Initials*	Cite No	Include name of the author (in CAPITAL LETTERS), title of the article (when appropriate), title of the item (book, magazine, journal, serial, symposium, catalog, etc), date, pages(s), volume-issue number(s), publisher, city and/or country where published.	T ⁵
	1	Corresponding French Application, Application no.: 1756947, French Search Report, dated January 18, 2018, 2 pages	
	2	MIKI YUMA ET AL: "classification of teeth in cone-beam CT using deep convolutional neural network" COMPUTERS IN BIOLOGY AND MEDICINE, NEW YORK, NY, US, vol. 80, 12 November 2016 (2016-11-12), pages 24-29	
	3	Young-Jun Yu: "Machine Learning for Dental Image Analysis", Arxiv 29 November 2016 (2016-11-29), XP055430578, Extracted from the Internet: URL:https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.09958.pdf [extracted 2018-03-20]	
	4	KELWIN FERNANDEZ ET AL: "Teeth/Palate and Interdental Segmentation Using Artificial Neural Networks", 17 September 2012 (2012-09-17), ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN PATTERN RECOGNITION, SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, BERLIN, HEIDELBERG, PAGE(S) 175 - 185, XP047017215, ISBN: 978-3-642-33211-1	

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT

(Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number	16031201
Filing Date	2018-07-10
First Named Inventor	Philippe SALAH
Art Unit	2667
Examiner Name	Seyed H. Azarian
Attorney Docket Number	N&P-51425

5	LIN P L ET AL: "An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using teeth region and contour information", PATTERN RECOGNITION, ELSEVIER, GB, vol. 43, no. 4, 1 April 2010 (2010-04-01), pages 1380-1392, XP026870003, ISSN: 0031-3203 [extracted 2009-11-11]
6	Vinicius Tragante ET AL: "Knowledge discovery in panoramic X-rays for postmortem identification", Researchgate, 1 January 2010 (2010-01-01), pages 1-9, XP055462269, Extracted from the Internet; URL:https://www.researchgate.net/profile/Vinicius_Tragante/publication/267821630_Knowledge_discovery_in_panoramic_X-rays_for_postmortem_identification/links/54f479df0cf299c8d9e77caf/Knowledge-discovery-in-panoramic-X-rays-for-postmortem-identification.pdf, [extracted 2018-03-23]
7	Anonymous: "Towards a Smart Healthcare System for Orthodontic and Dental Treatment Smart Healthcare System", 1 January 2016 (2016-01-01), XP055442068, Extracted from the internet URL: http://sc.cmc.osaka-u.ac.jp/wp1/wp-content/uploads/2016/11/sc16_poster_part6.pdf [extracted 2018-01-18]; Entire Document
8	Ben Ali Ramzi ET AL: "Detection and Classification of Dental Caries in X-ray Images Using Deep Neural Networks", Proceedings of ICSEA 2016 : The Eleventh International Conference on Software Engineering Advances, 21 August 2016 (2016-08-21), pages 223-227, XP055442275, New York, Extracted from the Internet, URL:https://pdfs.semanticscholar.org/4536/de69054143f85bb5089a8957f16be1eb0c3a.pdf?ga=2.60511401.567907993.1516282794-945231696.1516282794, [extracted 2018-01-18]; Abstract; Figs. 1-3
9	MIKI YUMA ET AL: "Tooth labeling in cone-beam CT using deep convolutional neural network for forensic identification", PROGRESS IN BIOMEDICAL OPTICS AND IMAGING, SPIE - INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, BELLINGHAM, WA, US, vol. 10134, 3 March 2017 (2017-03-03), pages 101343E-101343E, XP060086665, ISSN: 1605-7422, DOI: 10.1117/12.2254332, ISBN: 978-1-5106-0027-0; Entire Document
10	Young-Jun Yu: "Machine Learning for Dental Image Analysis", 29 November 2016 (2016-11-29), XP055430578, Extracted from the Internet: URL:https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.09958.pdf [extracted 2018-03-22]

If you wish to add additional non-patent literature document citation information please click the Add button

EXAMINER SIGNATURE

Examiner Signature	/SEYED H AZARIAN/	Date Considered	07/04/2020
--------------------	-------------------	-----------------	------------

*EXAMINER: Initial if reference considered, whether or not citation is in conformance with MPEP 609. Draw line through a citation if not in conformance and not considered. Include copy of this form with next communication to applicant.

¹ See Kind Codes of USPTO Patent Documents at www.USPTO.GOV or MPEP 901.04. ² Enter office that issued the document, by the two-letter code (WIPO Standard ST.3). ³ For Japanese patent documents, the indication of the year of the reign of the Emperor must precede the serial number of the patent document. ⁴ Kind of document by the appropriate symbols as indicated on the document under WIPO Standard ST.16 if possible. ⁵ Applicant is to place a check mark here if English language translation is attached.

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)

Application Number	16031201
Filing Date	2018-07-10
First Named Inventor	Philippe SALAH
Art Unit	2667
Examiner Name	Seyed H. Azarian
Attorney Docket Number	N&P-51425

CERTIFICATION STATEMENT

Please see 37 CFR 1.97 and 1.98 to make the appropriate selection(s):

That each item of information contained in the information disclosure statement was first cited in any communication from a foreign patent office in a counterpart foreign application not more than three months prior to the filing of the information disclosure statement. See 37 CFR 1.97(e)(1).

OR

☐ That no item of information contained in the information disclosure statement was cited in a communication from a foreign patent office in a counterpart foreign application, and, to the knowledge of the person signing the certification after making reasonable inquiry, no item of information contained in the information disclosure statement was known to any individual designated in 37 CFR 1.56(c) more than three months prior to the filing of the information disclosure statement. See 37 CFR 1.97(e)(2).

See attached certification statement.

The fee set forth in 37 CFR 1.17 (p) has been submitted herewith.

☒ A certification statement is not submitted herewith.

SIGNATURE

A signature of the applicant or representative is required in accordance with CFR 1.33, 10.18. Please see CFR 1.4(d) for the form of the signature.

Signature	/Ronald M. Kachmarik/	Date (YYYY-MM-DD)	2018-07-10
Name/Print	Ronald M. Kachmarik	Registration Number	34512

This collection of information is required by 37 CFR 1.97 and 1.98. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 1 hour to complete, including gathering, preparing and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. **DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.**

Privacy Act Statement

The Privacy Act of 1974 (P.L. 93-579) requires that you be given certain information in connection with your submission of the attached form related to a patent application or patent. Accordingly, pursuant to the requirements of the Act, please be advised that: (1) the general authority for the collection of this information is 35 U.S.C. 2(b)(2); (2) furnishing of the information solicited is voluntary; and (3) the principal purpose for which the information is used by the U.S. Patent and Trademark Office is to process and/or examine your submission related to a patent application or patent. If you do not furnish the requested information, the U.S. Patent and Trademark Office may not be able to process and/or examine your submission, which may result in termination of proceedings or abandonment of the application or expiration of the patent.

The information provided by you in this form will be subject to the following routine uses:

1. The information on this form will be treated confidentially to the extent allowed under the Freedom of Information Act (5 U.S.C. 552) and the Privacy Act (5 U.S.C. 552a). Records from this system of records may be disclosed to the Department of Justice to determine whether the Freedom of Information Act requires disclosure of these records.
2. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, in the course of presenting evidence to a court, magistrate, or administrative tribunal, including disclosures to opposing counsel in the course of settlement negotiations.
3. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Member of Congress submitting a request involving an individual, to whom the record pertains, when the individual has requested assistance from the Member with respect to the subject matter of the record.
4. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a contractor of the Agency having need for the information in order to perform a contract. Recipients of information shall be required to comply with the requirements of the Privacy Act of 1974, as amended, pursuant to 5 U.S.C. 552a(m).
5. A record related to an International Application filed under the Patent Cooperation Treaty in this system of records may be disclosed, as a routine use, to the International Bureau of the World Intellectual Property Organization, pursuant to the Patent Cooperation Treaty.
6. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to another federal agency for purposes of National Security review (35 U.S.C. 181) and for review pursuant to the Atomic Energy Act (42 U.S.C. 218(c)).
7. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the Administrator, General Services, or his/her designee, during an inspection of records conducted by GSA as part of that agency's responsibility to recommend improvements in records management practices and programs, under authority of 44 U.S.C. 2904 and 2906. Such disclosure shall be made in accordance with the GSA regulations governing inspection of records for this purpose, and any other relevant (i.e., GSA or Commerce) directive. Such disclosure shall not be used to make determinations about individuals.
8. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the public after either publication of the application pursuant to 35 U.S.C. 122(b) or issuance of a patent pursuant to 35 U.S.C. 151. Further, a record may be disclosed, subject to the limitations of 37 CFR 1.14, as a routine use, to the public if the record was filed in an application which became abandoned or in which the proceedings were terminated and which application is referenced by either a published application, an application open to public inspections or an issued patent.
9. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Federal, State, or local law enforcement agency, if the USPTO becomes aware of a violation or potential violation of law or regulation.

PRINTER RUSH
(PTO ASSISTANCE)

Application: 16031201

Examiner: Azarian

GAU: 2667

From:

Location: IDC

Creation Date: 06/30/2020

Week Date: 4/20/2020

<u>DOC CODE</u>	<u>DOC DATE</u>	<u>MISCELLANEOUS</u>
<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☒ 1449</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ IDS</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ CLM</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ IIFW/FWCLM</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ SRFW</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ DRW</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ OATH</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ 312</div> <div style="display: flex; align-items: center;">☐ SPEC</div>	<div style="margin-bottom: 10px;"><u>06/29/2020</u></div>	<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Continuing Data</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Foreign Priority</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Document Legibility</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Fees</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">☐ Petition (TC)</div> <div style="display: flex; align-items: center;">☐ Other</div>

[RUSH] Message:

1449 dated 06/29/2020 (p. 2-3 of 5) has NPL documents which end incomplete:

Cite No. 2 ends with a comma

Cite Nos. 3-6 end with semicolons

Cite Nos. 8 & 9 have plus signs (+) indicating data is missing

Please provide corrected 1449 forms with missing data provided.

Thank you

[XRUSH] Response:

It is correctet, see the
communication form.

Initials: S.A

PART B – FEE(S) TRANSMITTAL

Complete and send this form, together with the applicable fee(s), by mail or fax, or via EFS-Web.

By mail, send to: Mail Stop ISSUE FEE
 Commissioner for Patents
 P.O. Box 1450
 Alexandria, VA 22313-1450

By fax, send to: (571) 273-2885

INSTRUCTIONS: This form should be used for transmitting the ISSUE FEE and PUBLICATION FEE (if required). Blocks 1 through 5 should be completed where appropriate. All further correspondence including the Patent, advance orders and notification of maintenance fees will be mailed to the current correspondence address as indicated unless corrected below or directed otherwise in Block 1, by (a) specifying a new correspondence address; and/or (b) indicating a separate "FEE ADDRESS" for maintenance fee notifications.

CURRENT CORRESPONDENCE ADDRESS (Note: Use Block 1 for any change of address)

108676 7590 04/22/2020

Ronald M. Kachmarik
 Cooper Legal Group LLC
 6505 Rockside Rd.
 Suite 330
 Independence, OH 44131

Note: A certificate of mailing can only be used for domestic mailings of the Fee(s) Transmittal. This certificate cannot be used for any other accompanying papers. Each additional paper, such as an assignment or formal drawing, must have its own certificate of mailing or transmission.

Certificate of Mailing or Transmission

I hereby certify that this Fee(s) Transmittal is being deposited with the United States Postal Service with sufficient postage for first class mail in an envelope addressed to the Mail Stop ISSUE FEE address above, or being transmitted to the USPTO via EFS-Web or by facsimile to (571) 273-2885, on the date below.

Amy Ansbro	(Typed or printed name)
/Amy Ansbro/	(Signature)
July 20, 2020	(Date)

APPLICATION NO	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR	ATTORNEY DOCKET NO	CONFIRMATION NO
16/031,201	07/10/2018	Philippe SALAH	N&P-51425	8853

TITLE OF INVENTION: METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

APPLN. TYPE	ENTITY STATUS	ISSUE FEE DUE	PUBLICATION FEE DUE	PREV. PAID ISSUE FEE	TOTAL FEE(S) DUE	DATE DUE
nonprovisional	UNDISCOUNTED	\$1000	\$0.00	\$0.00	\$1000	07/22/2020

EXAMINER	ART UNIT	CLASS-SUBCLASS
AZARIAN, SEYED H	2667	382-128000

1. Change of correspondence address or indication of "Fee Address" (37 CFR 1.363)

- ☐ Change of correspondence address (or Change of Correspondence Address form PTO/SB/122) attached.
- ☐ "Fee Address" indication (or "Fee Address" Indication form PTO/SB/47; Rev 03-09 or more recent) attached. **Use of a Customer Number is required.**

2. For printing on the patent front page, list

- (1) The names of up to 3 registered patent attorneys or agents OR, alternatively,
- (2) The name of a single firm (having as a member a registered attorney or agent) and the names of up to 2 registered patent attorneys or agents. If no name is listed, no name will be printed.

1. Cooper Legal Group, LLC

2. Ronald M. Kachmarik

3.

3. ASSIGNEE NAME AND RESIDENCE DATA TO BE PRINTED ON THE PATENT (print or type)

PLEASE NOTE: Unless an assignee is identified below, no assignee data will appear on the patent. If an assignee is identified below, the document must have been previously recorded, or filed for recordation, as set forth in 37 CFR 3.11 and 37 CFR 3.81(a). Completion of this form is NOT a substitute for filing an assignment.

(A) NAME OF ASSIGNEE

(B) RESIDENCE: (CITY and STATE or COUNTRY)

DENTAL MONITORING

PARIS, FRANCE

Please check the appropriate assignee category or categories (will not be printed on the patent): ☐ Individual ☒ Corporation or other private group entity ☐ Government4a. Fees Submitted: ☒ Issue Fee ☐ Publication Fee (if required) ☐ Advance Order - # of Copies _____

4b. Method of Payment (Please first reapply any previously paid fee shown above):

☒ Electronic Payment via EFS-Web ☐ Enclosed check ☐ Non-electronic payment by credit card (Attach form PTO-2038)☒ The Director is hereby authorized to charge the required fee(s), any deficiency, or credit any overpayment to Deposit Account No. 505088

5. Change of Entity Status (from status indicated above)

☐ Applicant certifying micro entity status. See 37 CFR 1.29.

NOTE: Absent a valid Certification of Micro Entity Status (see forms PTO/SB/15A and 15B), issue fee payment in the micro entity amount will not be accepted at the risk of application abandonment.

☐ Applicant asserting small entity status. See 37 CFR 1.27.

NOTE: If the application was previously under micro entity status, checking this box will be taken as a notification of loss of entitlement to micro entity status.

☐ Applicant changing to regular undiscounted fee status.

NOTE: Checking this box will be taken as a notification of loss of entitlement to small or micro entity status, as applicable.

NOTE: This form must be signed in accordance with 37 CFR 1.31 and 1.33. See 37 CFR 1.4 for signature requirements and certifications.

Authorized Signature /Ronald M. Kachmarik/

Date July 20, 2020

Typed or printed name Ronald M. Kachmarik

Registration No. 34512

OMB Clearance and PRA Burden Statement for PTOL-85 Part B

The Paperwork Reduction Act (PRA) of 1995 requires Federal agencies to obtain Office of Management and Budget approval before requesting most types of information from the public. When OMB approves an agency request to collect information from the public, OMB (i) provides a valid OMB Control Number and expiration date for the agency to display on the instrument that will be used to collect the information and (ii) requires the agency to inform the public about the OMB Control Number's legal significance in accordance with 5 CFR 1320.5(b).

The information collected by PTOL-85 Part B is required by 37 CFR 1.311. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 30 minutes to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450. Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

Privacy Act Statement

The **Privacy Act of 1974 (P.L. 93-579)** requires that you be given certain information in connection with your submission of the attached form related to a patent application or patent. Accordingly, pursuant to the requirements of the Act, please be advised that: (1) the general authority for the collection of this information is 35 U.S.C. 2(b)(2); (2) furnishing of the information solicited is voluntary; and (3) the principal purpose for which the information is used by the U.S. Patent and Trademark Office is to process and/or examine your submission related to a patent application or patent. If you do not furnish the requested information, the U.S. Patent and Trademark Office may not be able to process and/or examine your submission, which may result in termination of proceedings or abandonment of the application or expiration of the patent.

The information provided by you in this form will be subject to the following routine uses:

1. The information on this form will be treated confidentially to the extent allowed under the Freedom of Information Act (5 U.S.C. 552) and the Privacy Act (5 U.S.C. 552a). Records from this system of records may be disclosed to the Department of Justice to determine whether disclosure of these records is required by the Freedom of Information Act.
2. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, in the course of presenting evidence to a court, magistrate, or administrative tribunal, including disclosures to opposing counsel in the course of settlement negotiations.
3. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Member of Congress submitting a request involving an individual, to whom the record pertains, when the individual has requested assistance from the Member with respect to the subject matter of the record.
4. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to a contractor of the Agency having need for the information in order to perform a contract. Recipients of information shall be required to comply with the requirements of the Privacy Act of 1974, as amended, pursuant to 5 U.S.C. 552a(m).
5. A record related to an International Application filed under the Patent Cooperation Treaty in this system of records may be disclosed, as a routine use, to the International Bureau of the World Intellectual Property Organization, pursuant to the Patent Cooperation Treaty.
6. A record in this system of records may be disclosed, as a routine use, to another federal agency for purposes of National Security review (35 U.S.C. 181) and for review pursuant to the Atomic Energy Act (42 U.S.C. 218(c)).
7. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the Administrator, General Services, or his/her designee, during an inspection of records conducted by GSA as part of that agency's responsibility to recommend improvements in records management practices and programs, under authority of 44 U.S.C. 2904 and 2906. Such disclosure shall be made in accordance with the GSA regulations governing inspection of records for this purpose, and any other relevant (i.e., GSA or Commerce) directive. Such disclosure shall not be used to make determinations about individuals.
8. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to the public after either publication of the application pursuant to 35 U.S.C. 122(b) or issuance of a patent pursuant to 35 U.S.C. 151. Further, a record may be disclosed, subject to the limitations of 37 CFR 1.14, as a routine use, to the public if the record was filed in an application which became abandoned or in which the proceedings were terminated and which application is referenced by either a published application, an application open to public inspection or an issued patent.
9. A record from this system of records may be disclosed, as a routine use, to a Federal, State, or local law enforcement agency, if the USPTO becomes aware of a violation or potential violation of law or regulation.

Electronic Patent Application Fee Transmittal				
Application Number:		16031201		
Filing Date:		10-Jul-2018		
Title of Invention:		METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH		
First Named Inventor/Applicant Name:		Philippe SALAH		
Filer:		Ronald M. Kachmarik/Amy Ansbro		
Attorney Docket Number:		N&P-51425		
Filed as Large Entity				
Filing Fees for Utility under 35 USC 111(a)				
Description	Fee Code	Quantity	Amount	Sub-Total in USD(\$)
Basic Filing:				
Pages:				
Claims:				
Miscellaneous-Filing:				
Petition:				
Patent-Appeals-and-Interference:				
Post-Allowance-and-Post-Issuance:				
UTILITY APPL ISSUE FEE	1501	1	1000	1000

Description	Fee Code	Quantity	Amount	Sub-Total in USD(\$)
Extension-of-Time:				
Miscellaneous:				
Total in USD (\$)				1000

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	40052938
Application Number:	16031201
International Application Number:	
Confirmation Number:	8853
Title of Invention:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
First Named Inventor/Applicant Name:	Philippe SALAH
Customer Number:	108676
Filer:	Ronald M. Kachmarik/Amy Ansbro
Filer Authorized By:	Ronald M. Kachmarik
Attorney Docket Number:	N&P-51425
Receipt Date:	20-JUL-2020
Filing Date:	10-JUL-2018
Time Stamp:	18:08:30
Application Type:	Utility under 35 USC 111(a)

Payment information:

Submitted with Payment	yes
Payment Type	CARD
Payment was successfully received in RAM	\$ 1000
RAM confirmation Number	E20207JI08445810
Deposit Account	
Authorized User	

The Director of the USPTO is hereby authorized to charge indicated fees and credit any overpayment as follows:

File Listing:					
Document Number	Document Description	File Name	File Size(Bytes)/ Message Digest	Multi Part /.zip	Pages (if appl.)
1	Issue Fee Payment (PTO-85B)	Issue_Fee_Transmittal.pdf	195157	no	2
			da2bac22768838c49b4922a78d40a97bf04bbad7		
Warnings:					
Information:					
2	Fee Worksheet (SB06)	fee-info.pdf	30681	no	2
			4e6b6f8a5a516473ddce10fbc98d9d78484fd9d6		
Warnings:					
Information:					
Total Files Size (in bytes):			225838		
<p>This Acknowledgement Receipt evidences receipt on the noted date by the USPTO of the indicated documents, characterized by the applicant, and including page counts, where applicable. It serves as evidence of receipt similar to a Post Card, as described in MPEP 503.</p> <p><u>New Applications Under 35 U.S.C. 111</u> If a new application is being filed and the application includes the necessary components for a filing date (see 37 CFR 1.53(b)-(d) and MPEP 506), a Filing Receipt (37 CFR 1.54) will be issued in due course and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the filing date of the application.</p> <p><u>National Stage of an International Application under 35 U.S.C. 371</u> If a timely submission to enter the national stage of an international application is compliant with the conditions of 35 U.S.C. 371 and other applicable requirements a Form PCT/DO/EO/903 indicating acceptance of the application as a national stage submission under 35 U.S.C. 371 will be issued in addition to the Filing Receipt, in due course.</p> <p><u>New International Application Filed with the USPTO as a Receiving Office</u> If a new international application is being filed and the international application includes the necessary components for an international filing date (see PCT Article 11 and MPEP 1810), a Notification of the International Application Number and of the International Filing Date (Form PCT/RO/105) will be issued in due course, subject to prescriptions concerning national security, and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the international filing date of the application.</p>					



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
www.uspto.gov

APPLICATION NO.	ISSUE DATE	PATENT NO.	ATTORNEY DOCKET NO.	CONFIRMATION NO.
16/031,201	08/25/2020	10755409	N&P-51425	8853

108676 7590 08/05/2020
Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131

ISSUE NOTIFICATION

The projected patent number and issue date are specified above.

Determination of Patent Term Adjustment under 35 U.S.C. 154 (b) (application filed on or after May 29, 2000)

The Patent Term Adjustment is 81 day(s). Any patent to issue from the above-identified application will include an indication of the adjustment on the front page.

If a Continued Prosecution Application (CPA) was filed in the above-identified application, the filing date that determines Patent Term Adjustment is the filing date of the most recent CPA.

Applicant will be able to obtain more detailed information by accessing the Patent Application Information Retrieval (PAIR) WEB site (<http://pair.uspto.gov>).

Any questions regarding the Patent Term Extension or Adjustment determination should be directed to the Office of Patent Legal Administration at (571)-272-7702. Questions relating to issue and publication fee payments should be directed to the Application Assistance Unit (AAU) of the Office of Data Management (ODM) at (571)-272-4200.

APPLICANT(s) (Please see PAIR WEB site <http://pair.uspto.gov> for additional applicants):

Philippe SALAH, Bagnolet, FRANCE;
DENTAL MONITORING, Paris, FRANCE
Thomas Pellissard, Clichy, FRANCE;
Guillaume Ghyselinck, Cantin, FRANCE;
Laurent Debraux, Paris, FRANCE;

The United States represents the largest, most dynamic marketplace in the world and is an unparalleled location for business investment, innovation, and commercialization of new technologies. The USA offers tremendous resources and advantages for those who invest and manufacture goods here. Through SelectUSA, our nation works to encourage and facilitate business investment. To learn more about why the USA is the best country in the world to develop technology, manufacture products, and grow your business, visit SelectUSA.gov.

AO 120 (Rev. 08/10)

TO: Mail Stop 8 Director of the U.S. Patent and Trademark Office P.O. Box 1450 Alexandria, VA 22313-1450	REPORT ON THE FILING OR DETERMINATION OF AN ACTION REGARDING A PATENT OR TRADEMARK
---	---

In Compliance with 35 U.S.C. § 290 and/or 15 U.S.C. § 1116 you are hereby advised that a court action has been filed in the U.S. District Court _____ for the District of Delaware _____ on the following

☐ Trademarks or ☒ Patents. (☐ the patent action involves 35 U.S.C. § 292.):

DOCKET NO.	DATE FILED 5/16/2022	U.S. DISTRICT COURT for the District of Delaware
PLAINTIFF DENTAL MONITORING		DEFENDANT GET-GRIN INC.
PATENT OR TRADEMARK NO.	DATE OF PATENT OR TRADEMARK	HOLDER OF PATENT OR TRADEMARK
1 11,314,983	4/26/2022	Dental Monitoring
2 10,755,409	8/25/2020	Dental Monitoring
3		
4		
5		

In the above—entitled case, the following patent(s)/ trademark(s) have been included:

DATE INCLUDED	INCLUDED BY ☐ Amendment ☐ Answer ☐ Cross Bill ☐ Other Pleading	
PATENT OR TRADEMARK NO.	DATE OF PATENT OR TRADEMARK	HOLDER OF PATENT OR TRADEMARK
1		
2		
3		
4		
5		

In the above—entitled case, the following decision has been rendered or judgement issued:

DECISION/JUDGEMENT		
CLERK	(BY) DEPUTY CLERK	DATE

Copy 1—Upon initiation of action, mail this copy to Director Copy 3—Upon termination of action, mail this copy to Director
Copy 2—Upon filing document adding patent(s), mail this copy to Director Copy 4—Case file copy