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	

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
26 octobre 2017 (26.10.2017)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2017/182654 A1

(51) Classification internationale des brevets :
A61C 7/00 (2006.01) *A61C 7/08* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2017/059555

(22) Date de dépôt international :
21 avril 2017 (21.04.2017)

(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, avenue 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 d'Arleux, 59169 CANTIN (FR). **DEBRAUX, Laurent** ; 57, rue des cascades, 75020 PARIS (FR).

(74) Mandataire : **NONY** ; 11 rue Saint-Georges, 75009 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, 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.

(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 :** PROCEDE DE CONTROLE DE LA DENTITION

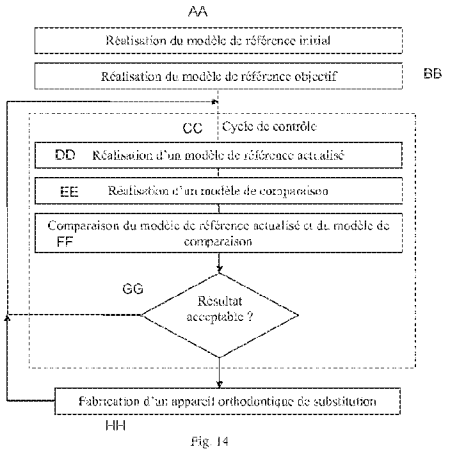


Fig. 14

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.

WO 2017/182654 A1

[Suite sur la page suivante]

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 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 défavorablement.

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.

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.

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 :

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 ;

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 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

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
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 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
- 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 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.

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 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, 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 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) ;

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 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 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).

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 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 ;

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 :

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 ;

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 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 ;
- 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 :
  - 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
  - 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 recomposition 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,
- 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 ;

- 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.

L'invention concerne aussi l'utilisation d'un procédé de contrôle du positionnement de dents selon l'invention pour

- détecter une récidive, 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, 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
- 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 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 »). 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 ».

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.

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.

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

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, 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 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 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 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.

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, 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') ;

c') 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 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 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 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 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 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 intial 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 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 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 :

- 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 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 ;
- 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 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 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') ;
- 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'orthodondiste ;
- 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 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,
  - 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 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 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

- 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 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 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 :

- 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 :
  - 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.

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) ;

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 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 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 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 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 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 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 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, 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 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.

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 :

- 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 ;

- 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 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 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 :

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.

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 ;
- 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 ;
- 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 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 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 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 :

- 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 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.

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 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.

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,
  - 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 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 ;
- 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 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 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 sagital, 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 ;

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.

De préférence, un procédé d'optimisation selon l'invention comporte encore une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :

- 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 :
  - 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 ;
  - 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 ;

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 :

- 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,
- 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 :

- 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

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.

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 » 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 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 « 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 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. Une image est formée de pixels.

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.

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.

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.

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,

- 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,
- la figure 7 illustre schématiquement la position relative de marques de repérage 12 sur des images actualisées 14_1 et 14_2 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 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
- 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,
- 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 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.

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.

Pour le contrôle de la récidive, 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.

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.

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 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.

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 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

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 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 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 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 résultats obtenus suite à une exécution antérieure du procédé. En particulier, pour le contrôle de la récidive, 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 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.

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 récidive, 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 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'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.

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 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 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.

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, 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 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.

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.

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.

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.

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 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 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 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 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 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.

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.

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.

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 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 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.

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 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 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 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.

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 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 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, 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.

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 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, 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 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 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 cm^2, supérieure à 30 cm^2, supérieure à 40 cm^2, supérieure à 50 cm^2, et/ou inférieure à 100 cm^2, inférieure à 80 cm^2, inférieure à 60 cm^2.

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. 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 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.

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 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.

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.

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.

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.

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.

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.

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 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 ;
- 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 ;
- 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 ;
- 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;
- 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 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 ;
- 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 ;
- 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 ;
- 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 ») ;
- 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 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 « Deepleraning ».

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 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 connait 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. 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 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.

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.

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.

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 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 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)).

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 apparait 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 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.

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, 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.

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.

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 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 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 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.

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 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).

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 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 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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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 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 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 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 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 (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 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 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).

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.

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 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 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 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 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.

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 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 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 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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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

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.

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.

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.

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).

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.

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 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 référence objectif, par exemple des représentations graphiques de ces deux modèles. Si 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 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 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 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
- 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 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 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.

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 métaheuristiques décrites précédemment.

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. 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 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.

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 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 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 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 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 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 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 ;

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 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

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).

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 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 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 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.

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.

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 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.

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.

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.

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 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 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).

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 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 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 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.

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 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 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 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 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.

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).

Ce repérage peut être effectué comme décrit ci-dessus pour repérer l'image actualisé 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.

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 :

- 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.

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 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 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 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 :

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 ».

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.

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

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. "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 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 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.

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 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 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 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.

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 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 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 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 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

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.

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 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.

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.

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 « 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 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%. 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.

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.

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.

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.

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.

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 :

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 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 ;

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,

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 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 ;

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 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 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, 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 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) ;

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 e2).

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.

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').

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').

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 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,
    - 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,
    - 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.

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
    - 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 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.

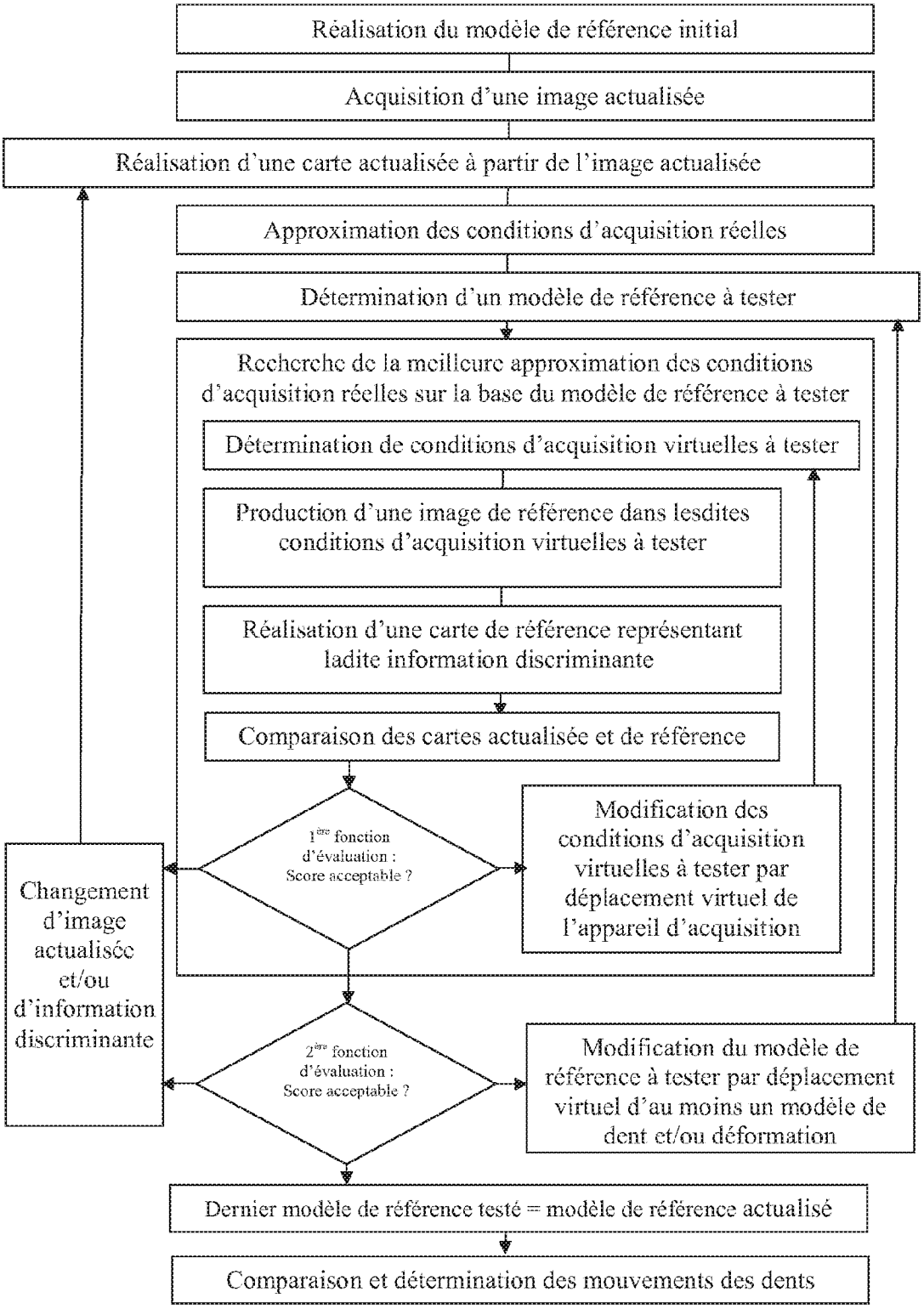

Réalisation du modèle de référence initial
Acquisition d'une image actualisée
Réalisation d'une carte actualisée à partir de l'image actualisée
Approximation des conditions d'acquisition réelles
Détermination d'un modèle de référence à tester
Recherche de la meilleure approximation des conditions d'acquisition réelles sur la base du modèle de référence à tester
Détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester
Production d'une image de référence dans lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester
Réalisation d'une carte de référence représentant ladite information discriminante
Comparaison des cartes actualisée et de référence
1ère fonction d'évaluation : Score acceptable ?
Modification des conditions d'acquisition virtuelles à tester par déplacement virtuel de l'appareil d'acquisition
Changement d'image actualisée et/ou d'information discriminante
2ème fonction d'évaluation : Score acceptable ?
Modification du modèle de référence à tester par déplacement virtuel d'au moins un modèle de dent et/ou déformation
Dernier modèle de référence testé = modèle de référence actualisé
Comparaison et détermination des mouvements des dents

Fig. 1

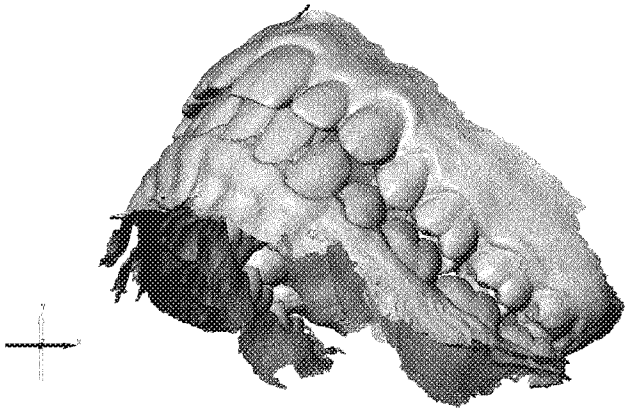


Fig.2

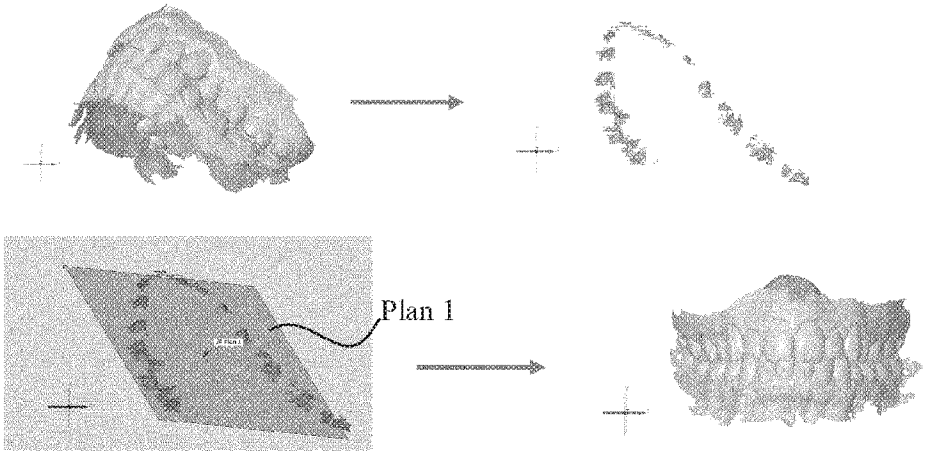


Fig.3

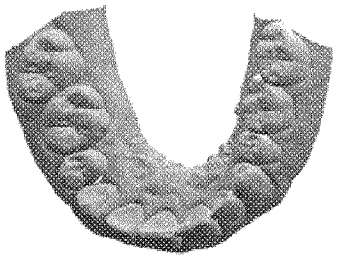


Fig. 4a

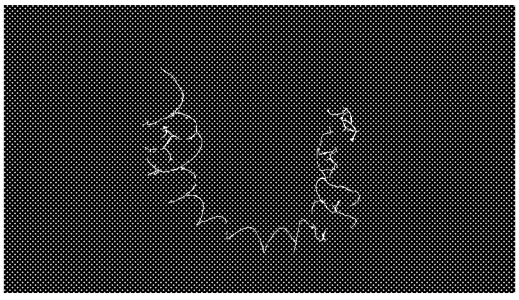


Fig. 4b



Fig. 4c

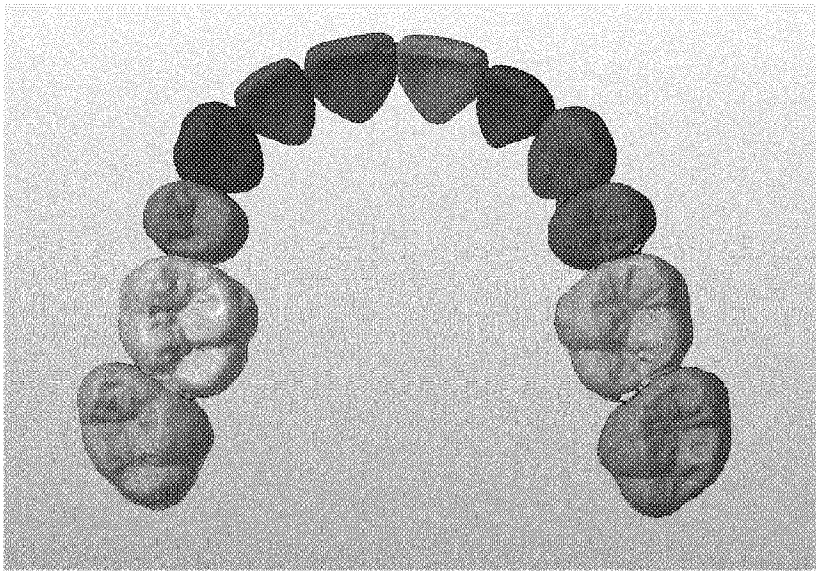


Fig. 4d

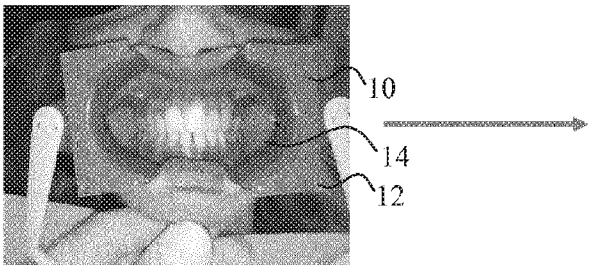


Fig. 5a

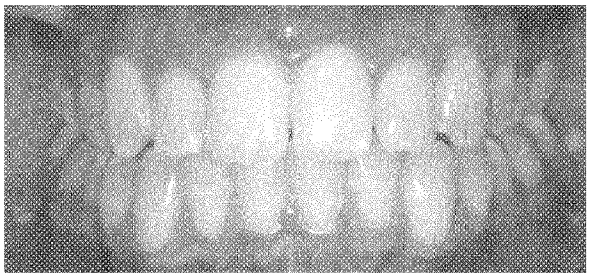


Fig. 5b

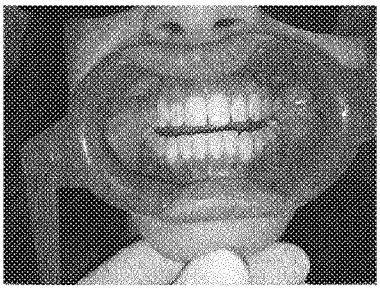


Fig. 5c

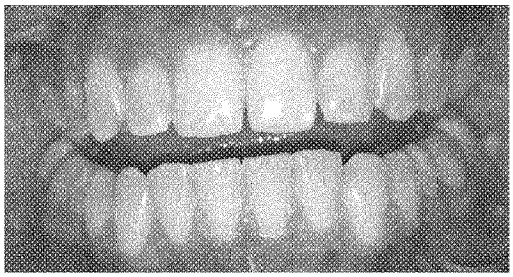


Fig. 5d

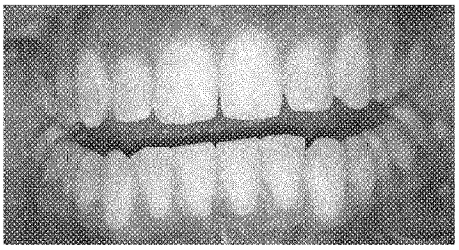


Fig. 6a

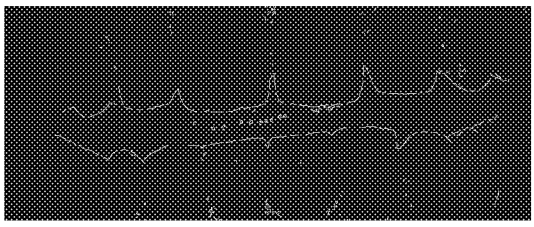


Fig. 6b

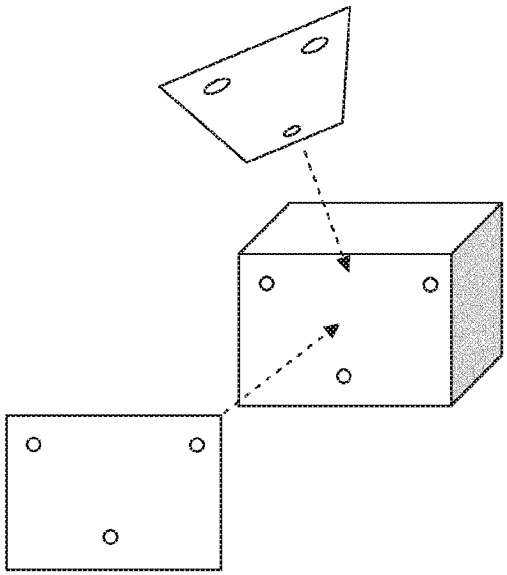


Fig. 7

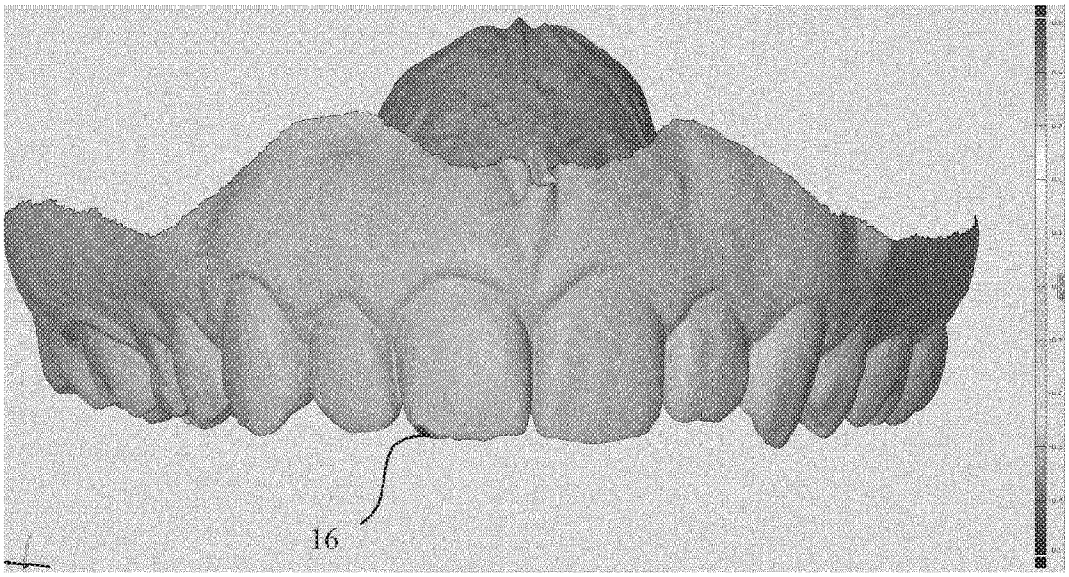


Fig. 8

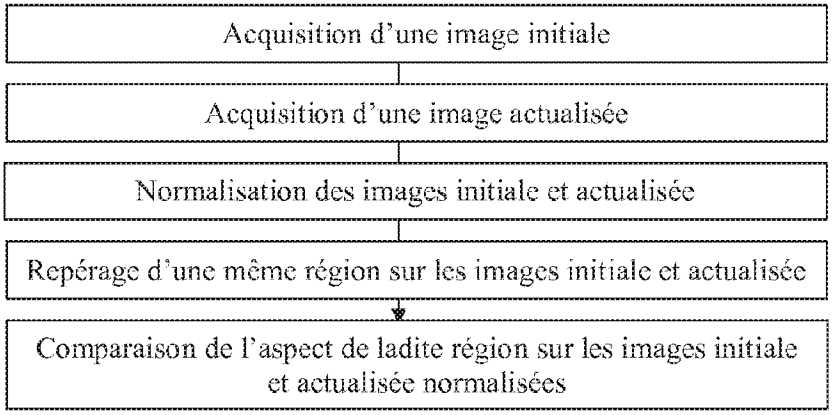


Fig. 9

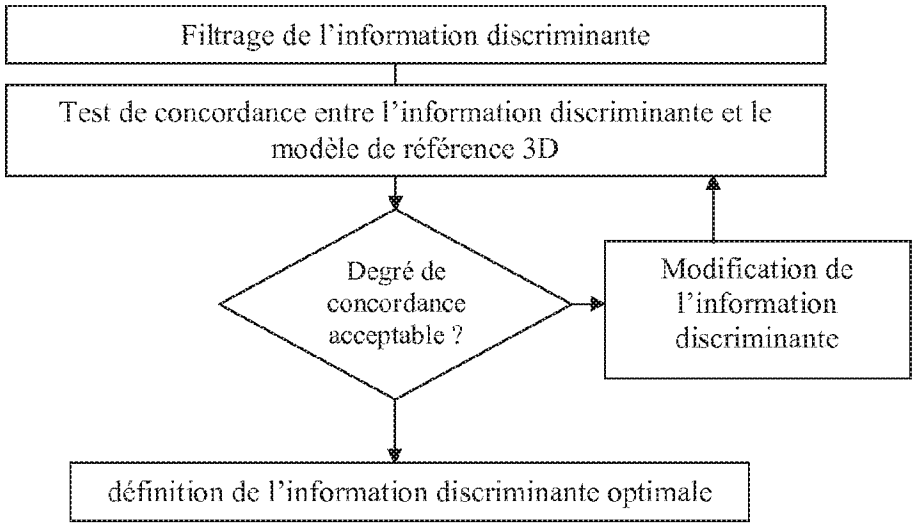


Fig. 10

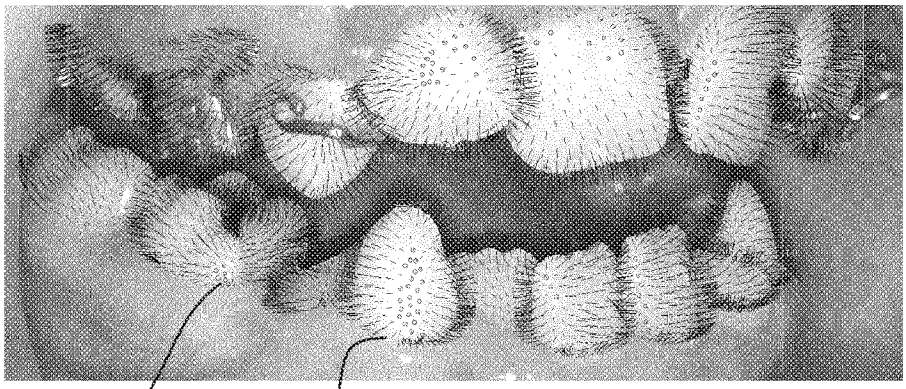


Fig. 11

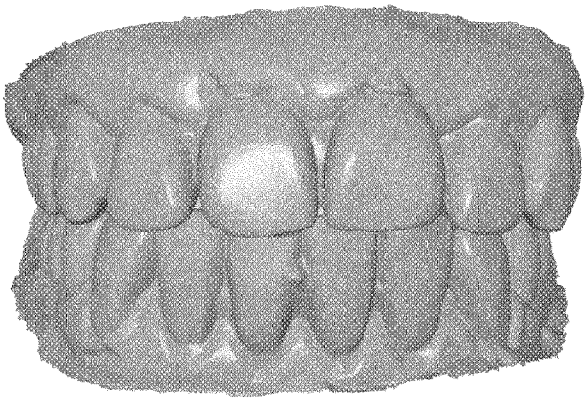


Fig. 12a

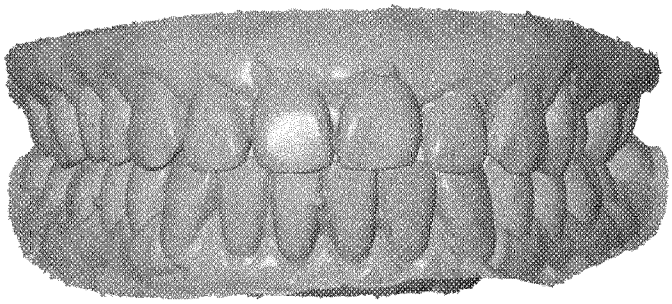


Fig. 12b

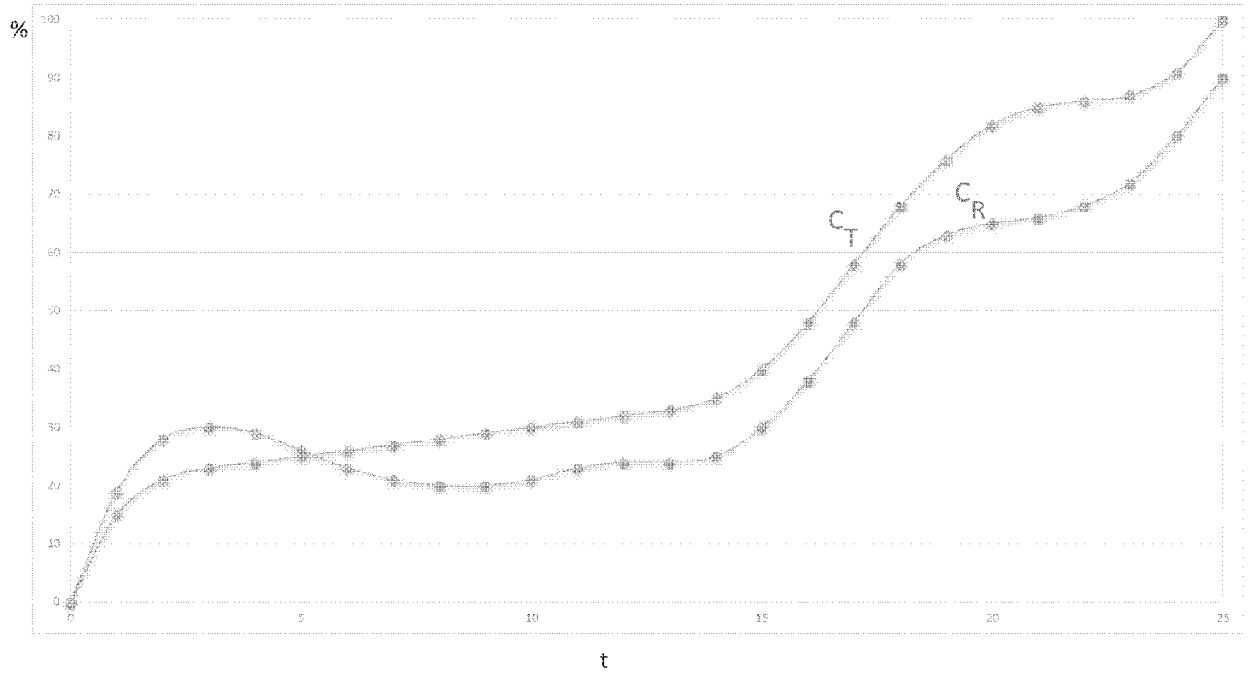

%
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
C_T
C_R
t

Fig. 13

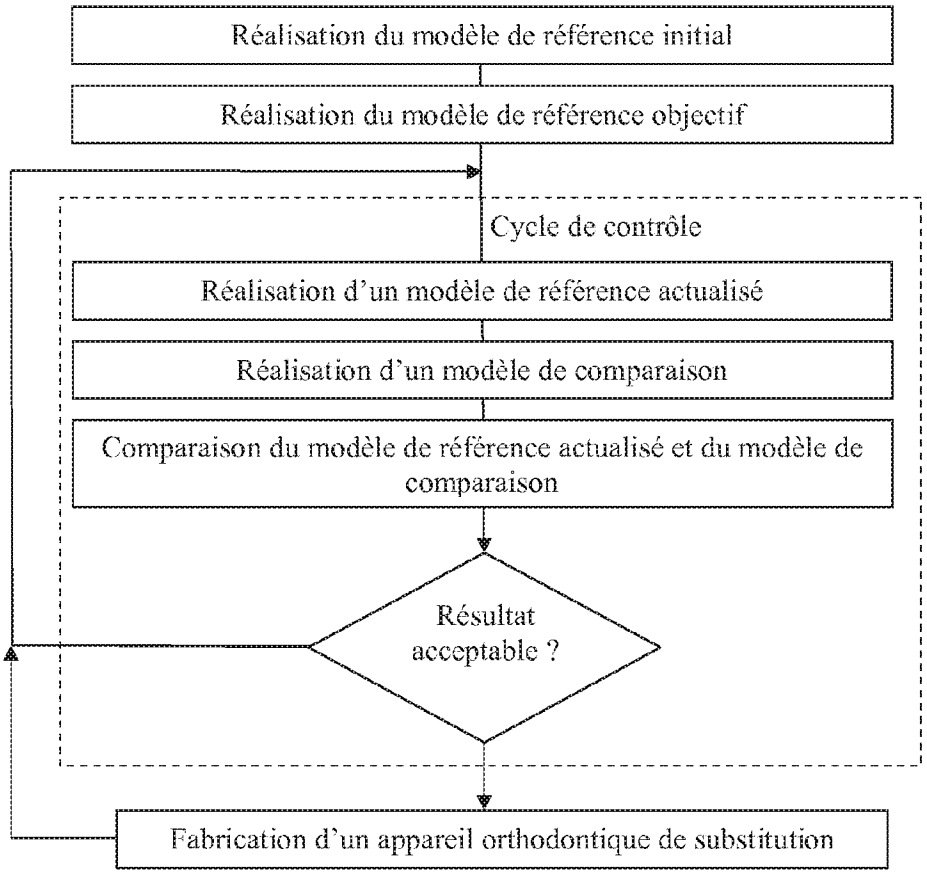

Réalisation du modèle de référence initial
Réalisation du modèle de référence objectif
Cycle de contrôle
Réalisation d'un modèle de référence actualisé
Réalisation d'un modèle de comparaison
Comparaison du modèle de référence actualisé et du modèle de comparaison
Résultat acceptable ?
Fabrication d'un appareil orthodontique de substitution

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) paragraphs [0066] - [0091], [0105], [0106]	1,3-5, 8-17
X,P	WO 2016/066654 A1 (H43 DEV [LU]) 6 May 2016 (2016-05-06) page 47, line 27 - page 49, line 3; claim 1; figure 1	18-20

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] 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	Date of mailing of the international search report
27 June 2017	11/07/2017

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax. (+31-70) 340-3016	Fortune, Bruce

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

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

1

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) alinéas [0066] - [0091], [0105], [0106]	1,3-5, 8-17
X,P	WO 2016/066654 A1 (H43 DEV [LU]) 6 mai 2016 (2016-05-06) page 47, ligne 27 - page 49, ligne 3; revendication 1; figure 1	18-20
X,P	WO 2016/066642 A1 (H43 DEV [LU]) 6 mai 2016 (2016-05-06) page 16, ligne 27 - page 17, ligne 21; revendication 1; figure 1	18-20

-/--

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] 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'appartenenant 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	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
27 juin 2017	11/07/2017

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fortune, Bruce

1

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

Demande internationale n°
PCT/EP2017/059555

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

1

Demande internationale n°
PCT/EP2017/059555

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

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°s
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°s 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 effectueé, en particulier :
voir FEUILLE ANNEXÉE PCT/ISA/210

3. ☐ Les revendications n°s
parce qu'elles sont des revendications dépendantes et ne sont pasrédigées 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°s:

4. ☐ Aucunes 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°s.

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 INDIQUES 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 semple 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

Young-jun Yu
Department of Computer Science
Yonsei University
aaorkr@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

BNSDOCID: <XP_____5543567BA_1>

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

8N8IDOID: <xP_____8648878A_1>

[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.

BNSDOC ID: <KR_____8643857BA_1_>

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 kth input to neuron i. Figure 1 shows a comparison between a human neuron and an ANN neuron [Maltarollo et al., 2013].

BNSDOCID: <XP_____8A3D578A_1_>

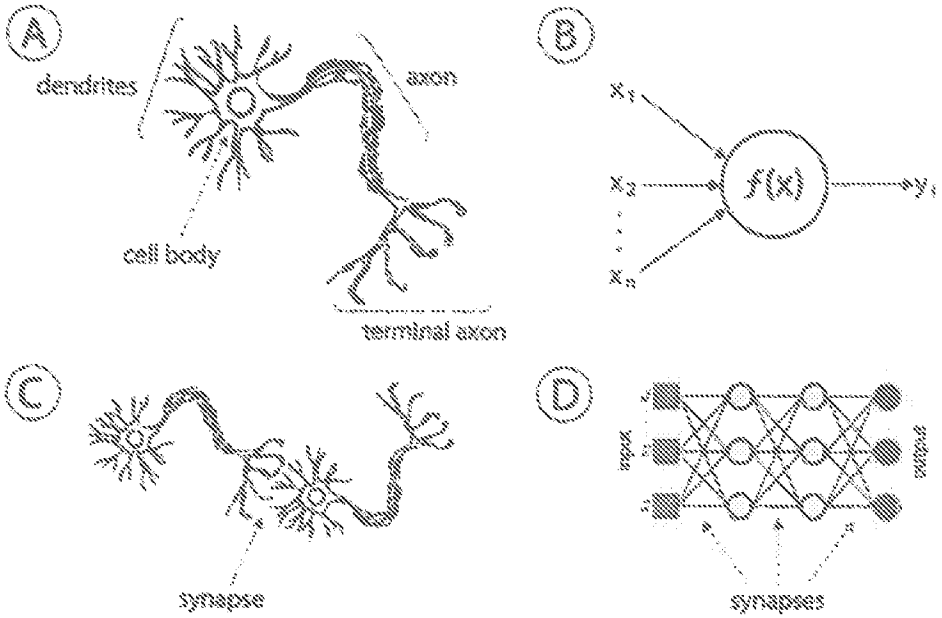


Fig. 1. (A) Human neuron; (B) Artificial neuron or hidden unity; (C) Biological synapse; (D) ANN synapses [Maltarollo et al., 2013].

BNSDOCID: <XP_____8640978A_1_>

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.

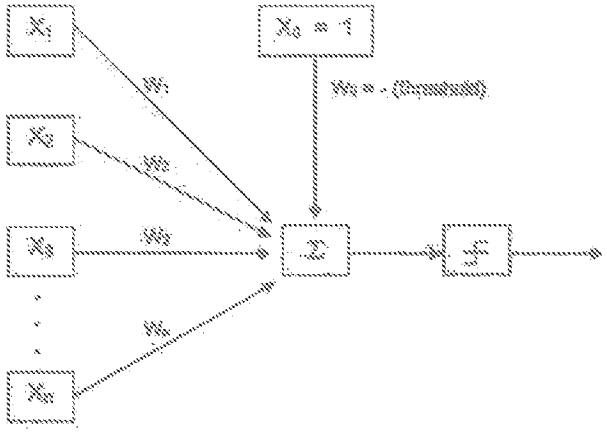


Fig. 2. An N-input perceptron with a fixed threshold that receives many inputs and determines a single output.

1.2.3. Perceptron limitations

While Rosenbaltt'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

BNSDOCID: <XP_____8643878A_1_>

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 $(x1, x2, x3, \ldots)$ and weight vector $(w1, w2, w3, \ldots)$ 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.

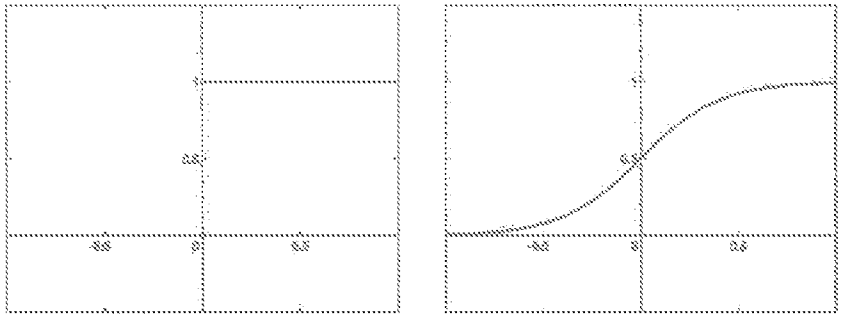


Fig. 3. Step Function (left) and sigmoid Function (right).

BRIEDOCID: <AP_____8546057A1_1>

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 Benhnke [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).

BNEDOCID: <KR_____B4400078A_1_>

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

ENERGOID: «XP_____884301676A__1_>

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].

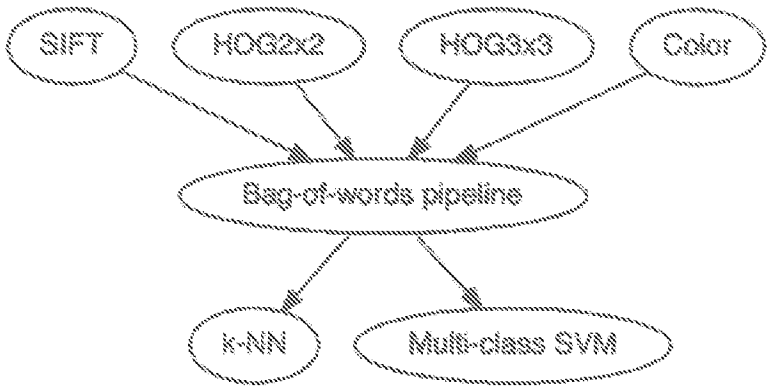


Fig. 4. Overview of our system for Bag-of-Words.

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

8NSOCCD:<KP_____3643957BA_1_>

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]

BNSDOCID: <XP_____8948878A_1_>

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:

$$crossentropy(t,o) = -(t \cdot \log(o) + (1-t) \cdot \log(1-o))$$

The gradient descent optimization functions utilized were adadelta 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].

BNSDOCID: <XF_____8S4035798A_1_>

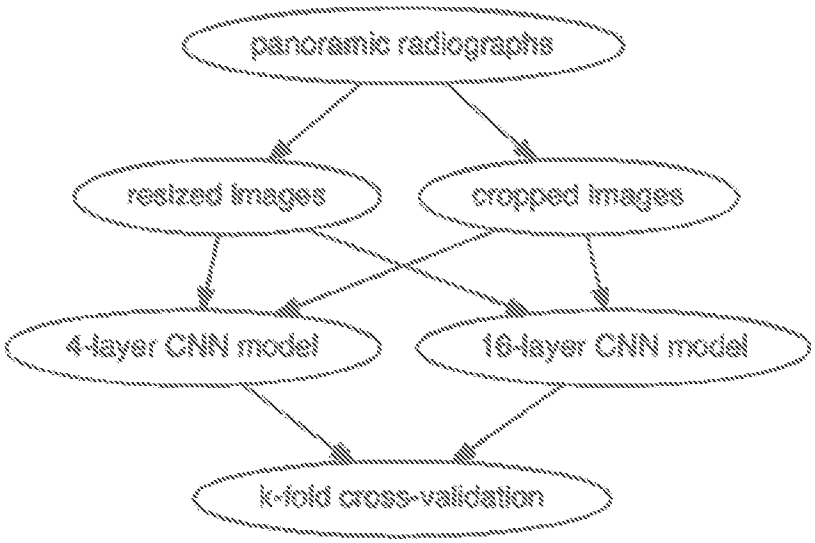


Fig. 5. Overview of our CNN system.

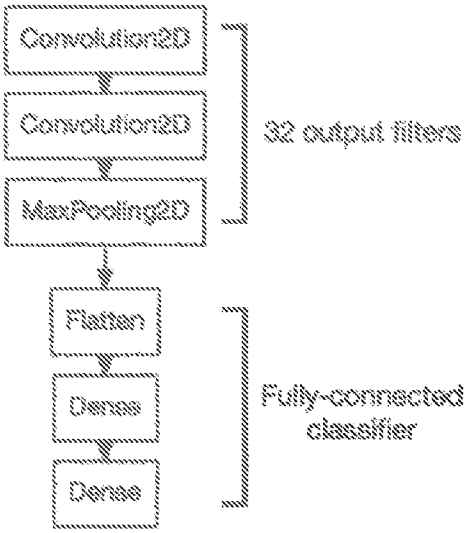


Fig. 6. 4-layer CNN model.

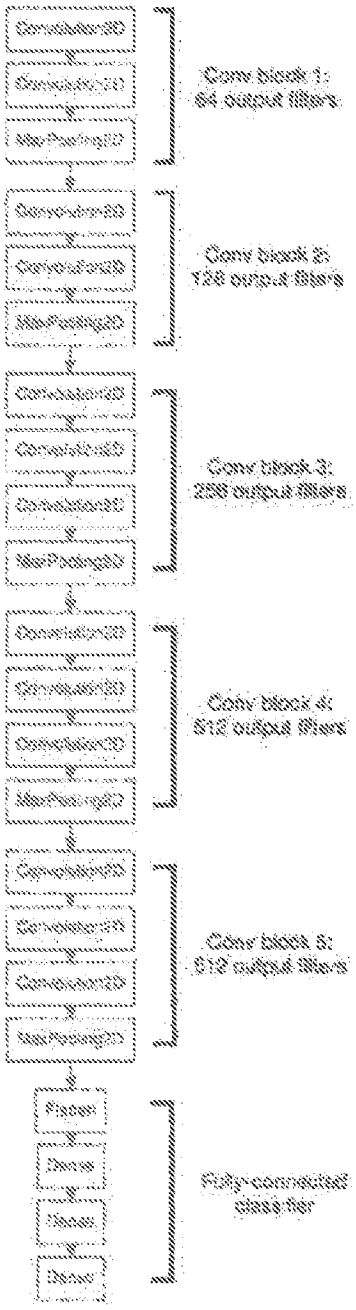


Fig. 7. 16-layer CNN model.

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

8NSOCOID: <XP_____5543056?6A_1>

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.

8NSDOCID: <KP_____5548607BA_1_>

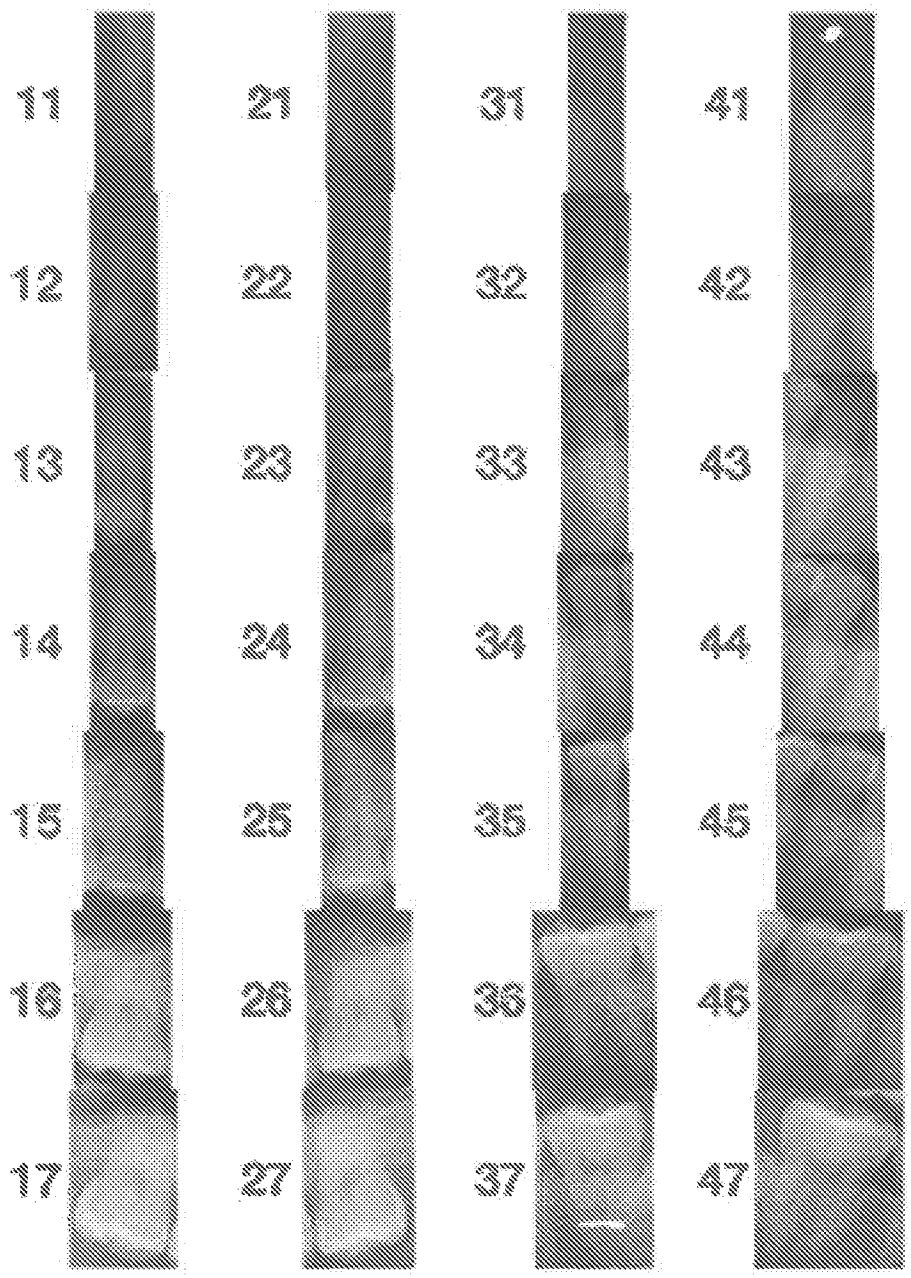


Fig. 8. Cropped images of 28 permanent teeth.

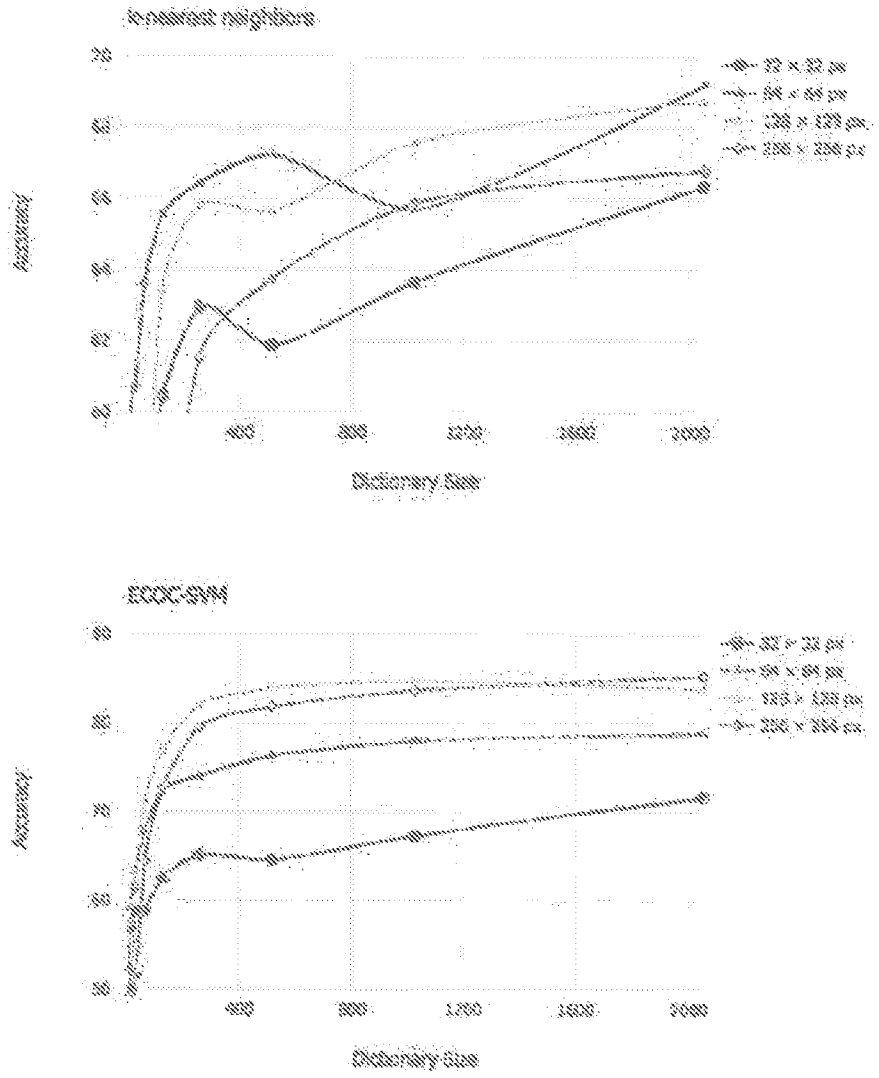


Fig. 9. Changes in accuracy with dictionary size with various input sizes using the SIFT algorithm: classified by k-NN (top) and classified by ECOC-SVM (bottom).

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.

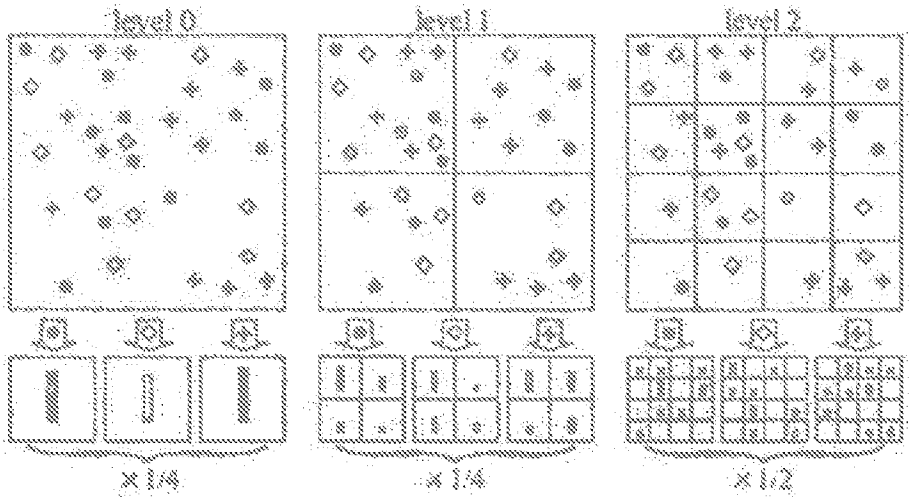


Fig. 10. Sample example of constructing a three-level pyramid. The image has three feature types, indicated by circles, diamonds, and crosses [Lazebnik et al., 2006].

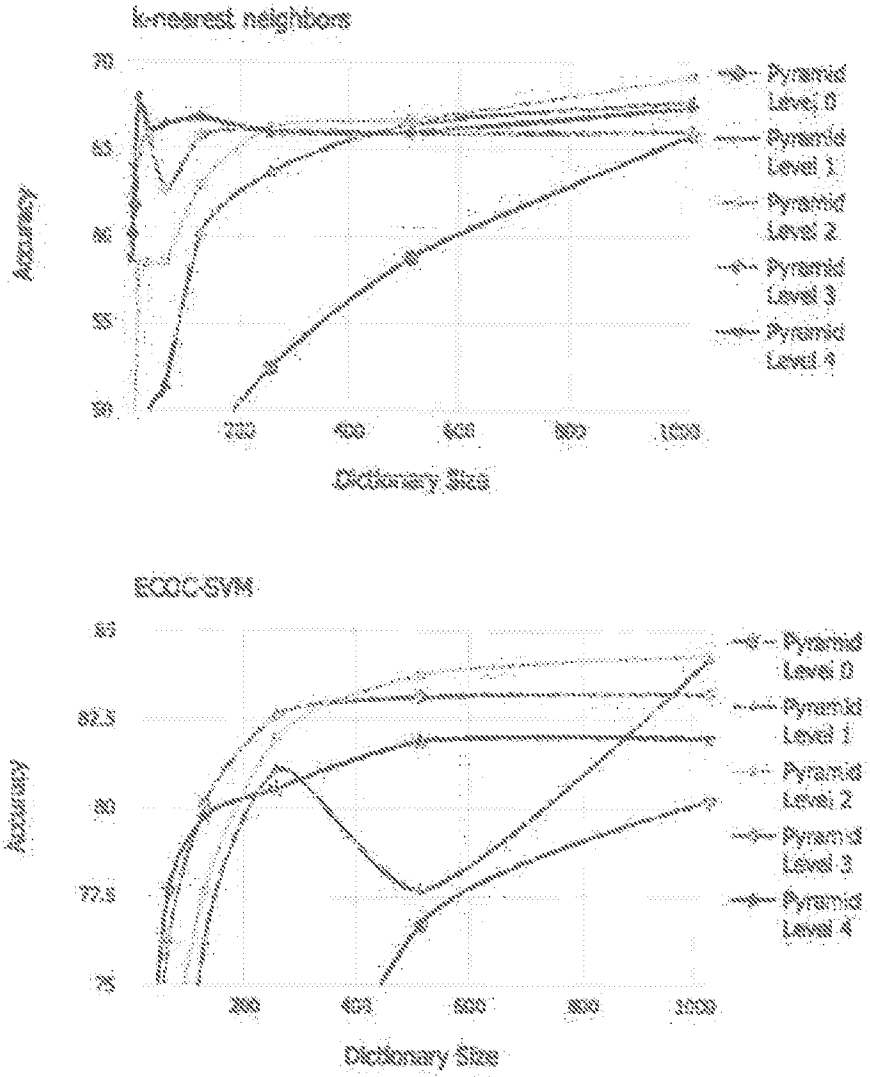


Fig. 11. Changes in accuracy with dictionary size with various pyramid levels using SIFT algorithm: classified by k-NN (top) and classified by ECOC-SVM (bottom).

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, HOG2×2, and HOG3×3 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 HOG2×2, 84.64% in the case of HOG2×2, 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 HOG2×2, 110.30 s with HOG3×3, 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.

ENSDOCID: <WP_____8349167?A_1_>

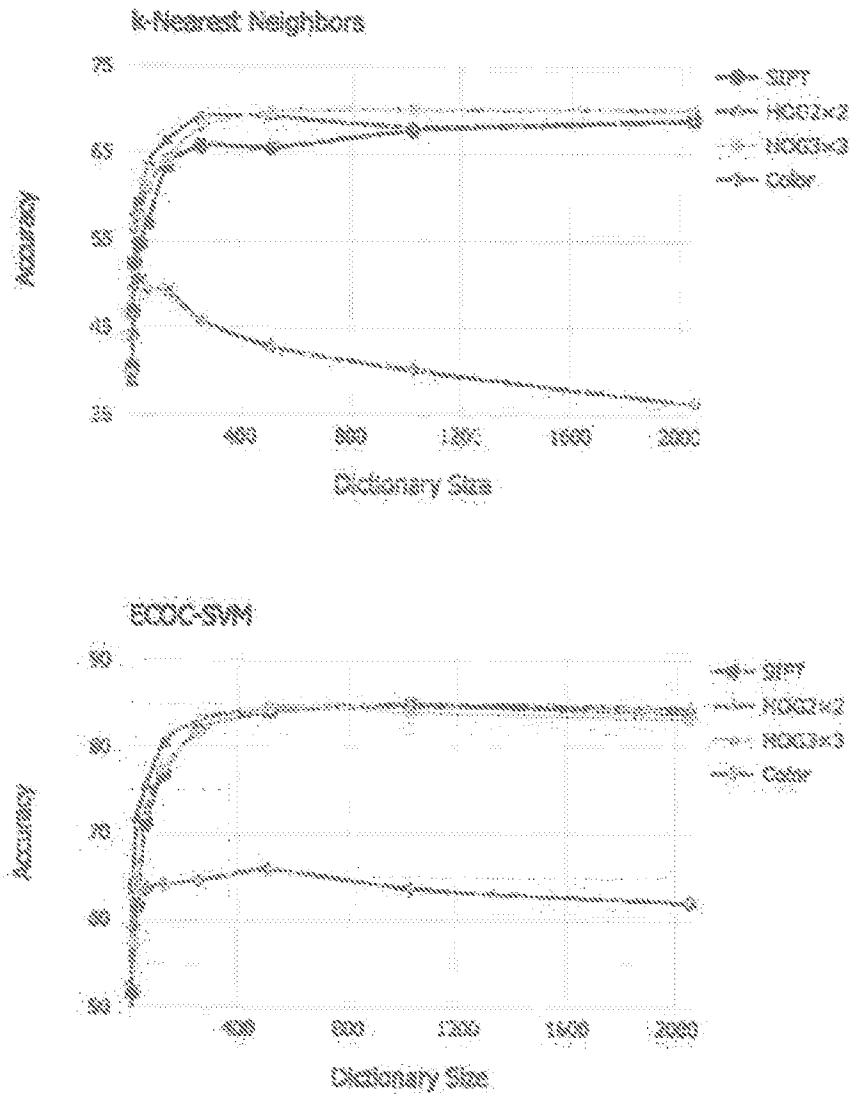


Fig. 12. Changes in accuracy with dictionary size at 128 × 128 pixels input size and level-2 pyramid using SIFT, HOG2×2, HOG3×3, and the Color algorithm: classified by k-NN algorithm (top) and classified by ECOC-SVM algorithm (bottom).

8NE0C0ID: «XP_____EP4030758A__1_»

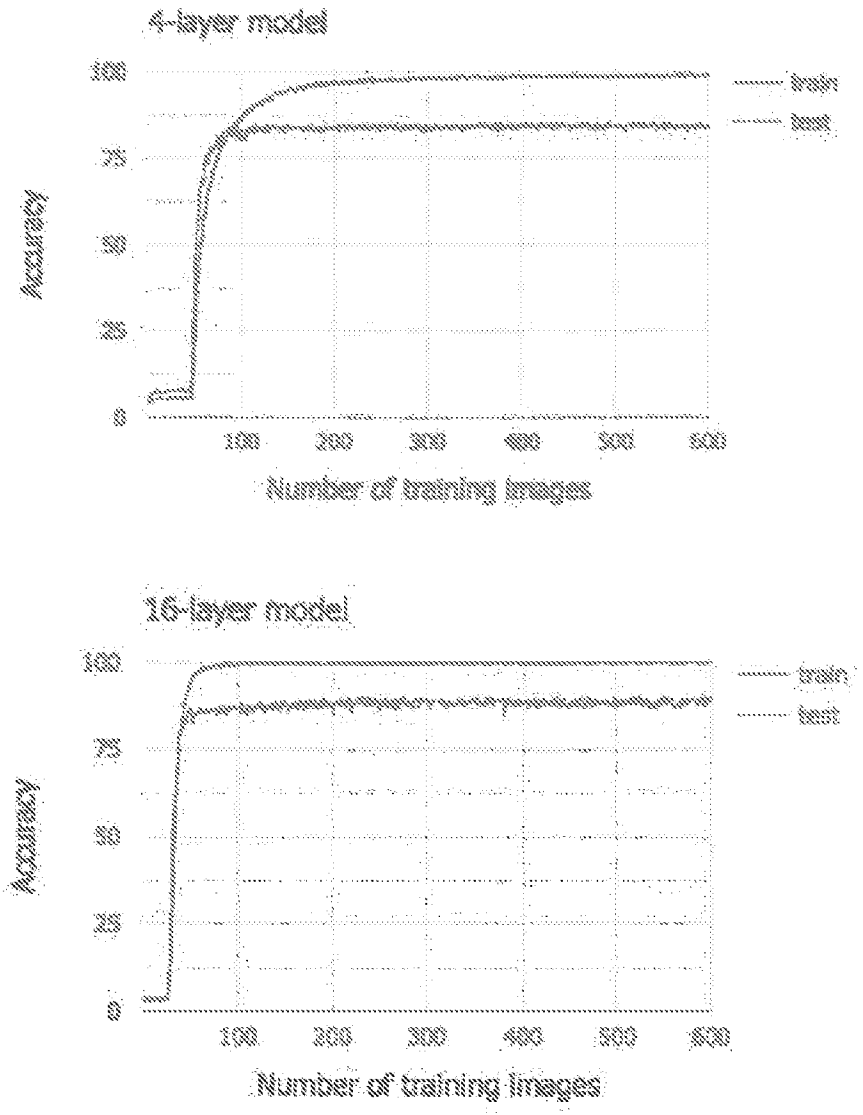


Fig. 13. Changes in accuracy with a number of training images at 128 × 128 pixels input size using the convolutional neural network: classified by a 4-layer CNN model (top) and a 16-layer CNN model (bottom).

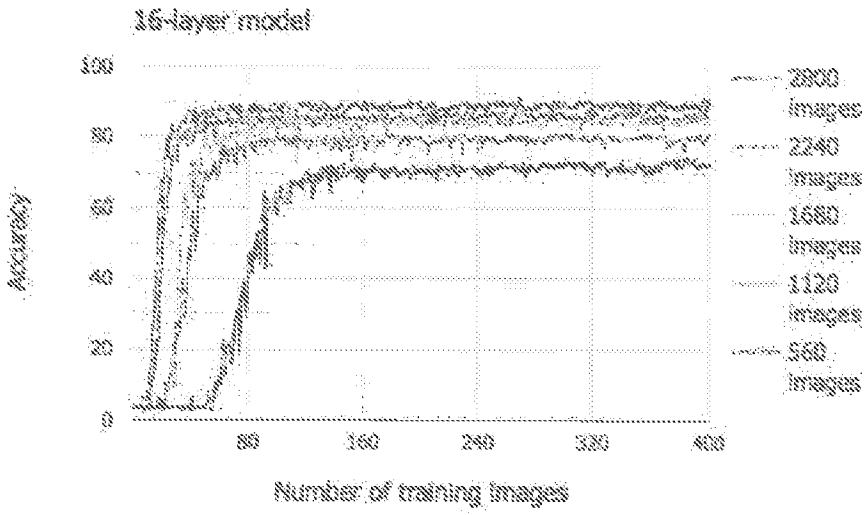


Fig. 14. Changes in accuracy with a number of training images with different training sizes using a 16-layer convolutional neural network model.

BNSDOCID: <KP_____SIA20578A_1_>

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	0.9187
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	0.8686
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

BNSDOCID: <KR_____B5403578A_1_>

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	0
12	4	128	2	1	0	0	0	1	4	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	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	0
14	0	0	1	115	19	0	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	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	0
17	0	0	0	0	1	2	136	0	0	0	1	0	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	1	0	0	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	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	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	0
25	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	12	123	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	0	0	2	133	7	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	0	1	8	132	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	16	7	3	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	108	10	0	0	0	0	8	3	0	0	0	0	0	0
33	0	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	0	0	2	124	14	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	0	0	8	134	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	0	0	0	1	143	5	0	0	0	0	1	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	133	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	99	21	1	1	0	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	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	8	133	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	0	0	1	133	9	0	0	0
45	0	0	0	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
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	0	0	133	7	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	5	134	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 x 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.

BNSDOCID: <KR_____8548067BA_1_>

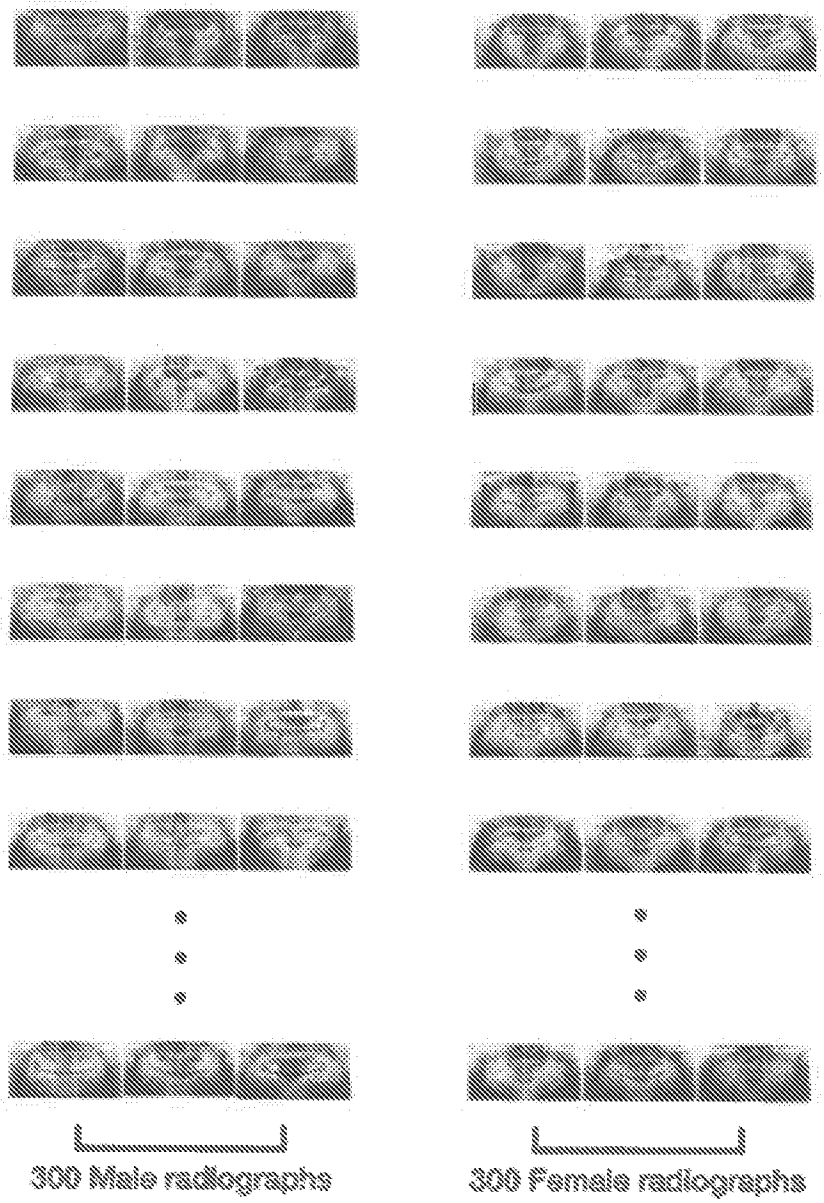


Fig. 15. Resized panoramic radiographs of 300 men and 300 women.

BN:3DOCID: <KR_____8548087BA_1_>

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%.

BNSOOOID <KP_____8540035788_1>

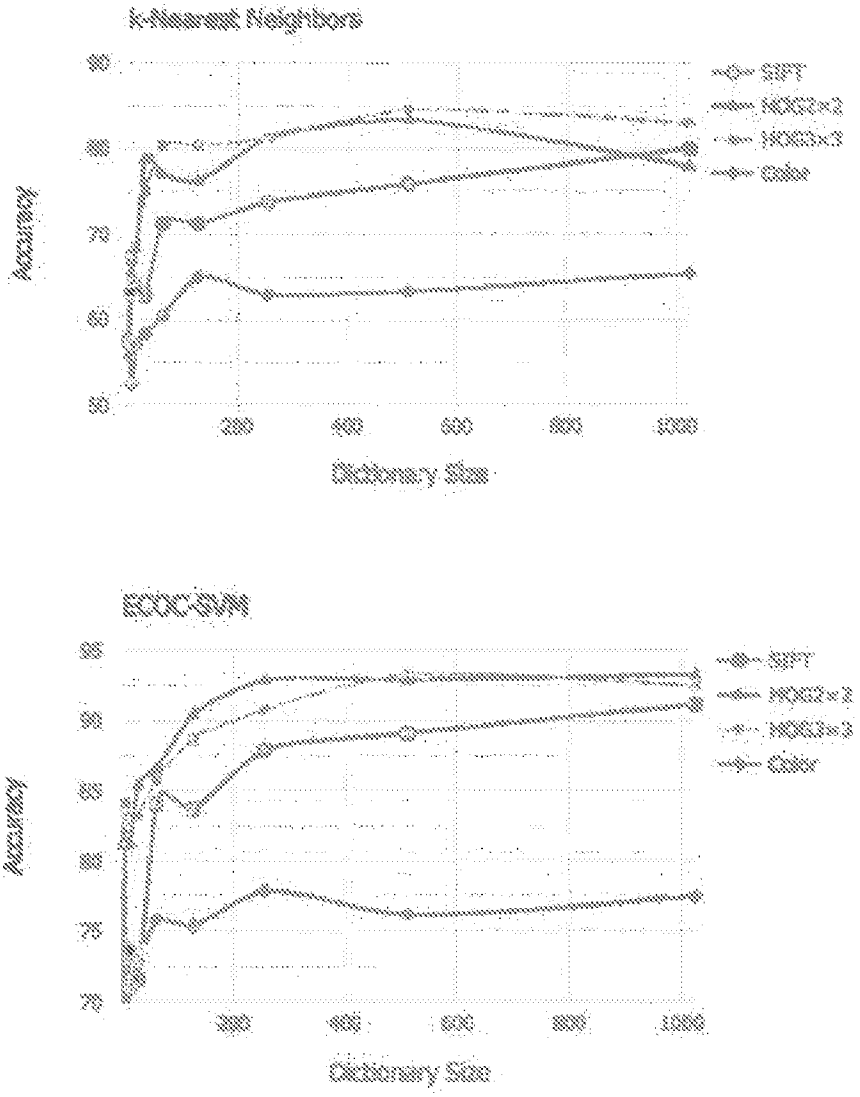


Fig. 16. Changes in accuracy with dictionary size at 640 × 640 pixels input size and level-2 pyramid using SIFT, HOG2×2, HOG3×3, and Color algorithm: (top) classified by k-NN algorithm; (bottom) classified by ECOC-SVM algorithm.

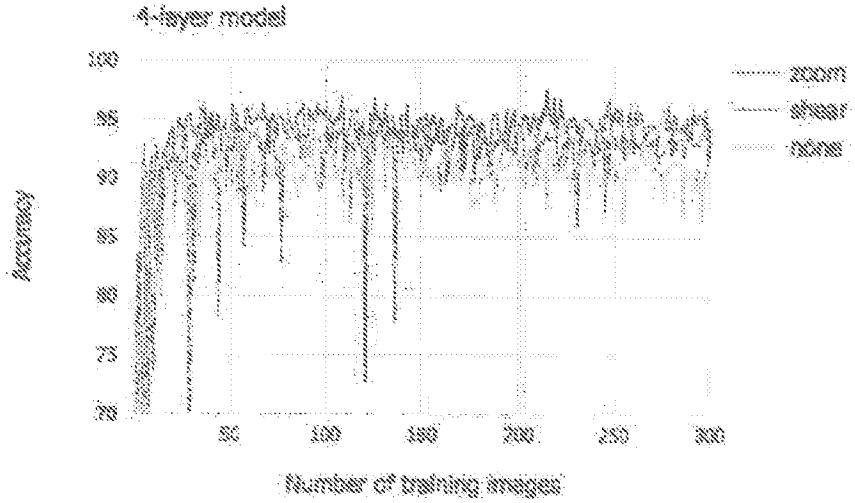


Fig. 17. Changes in accuracy with a number of training images using a convolutional neural network classified by a 4-layer CNN model: (none) original 600 resized images were used for training; (zoom) randomly zooming inside images; (shear) randomly applying shearing transformations

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.

SNSDOCID: <KP_____8949867&A_1_>

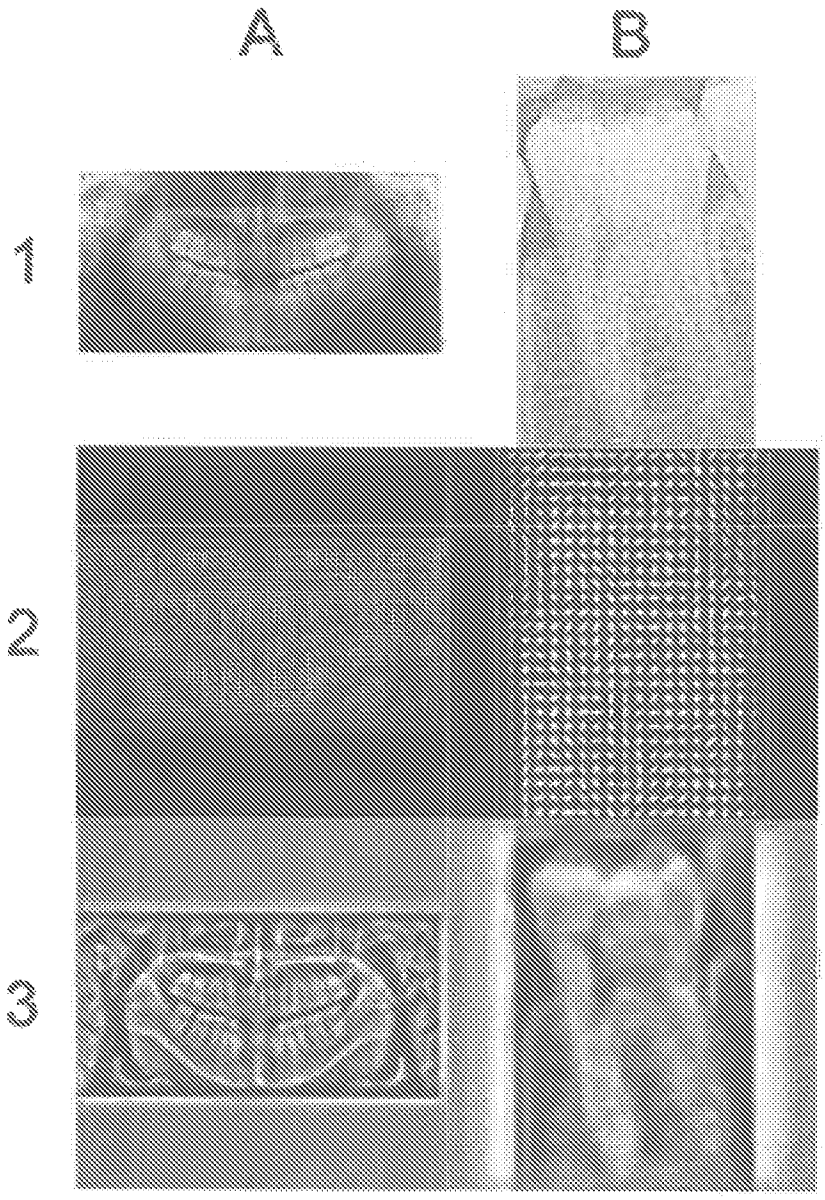


Fig. 18. Visualization of HOG based object detection features: panoramic radiography (A), molar-tooth radiography (B), original images (1), HOG features (2), HOG inversions (3).

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 teeth 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].

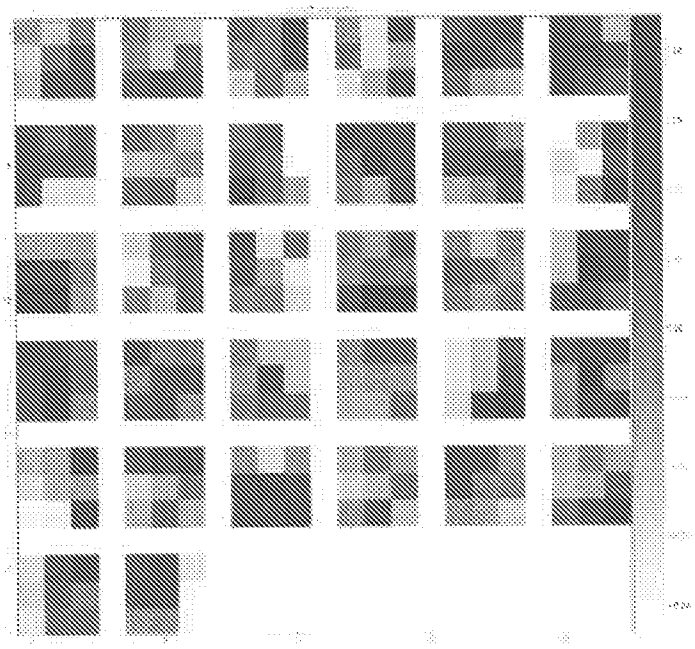


Fig. 19. Visualization of the first filter's weights after training.

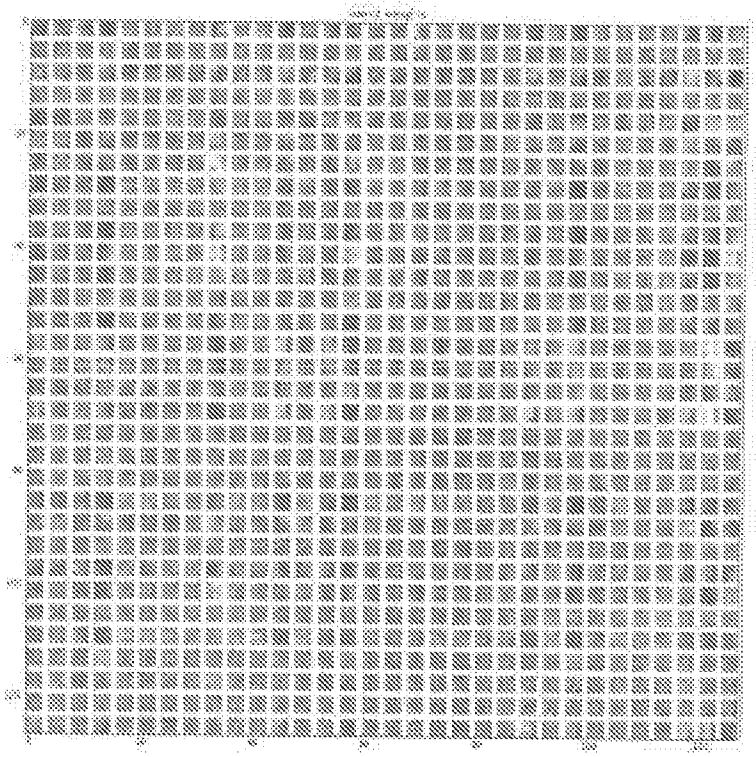


Fig. 20. Visualization of the second filter's weights after training.

Pg. 498
IN-SDOCID: <XP_____5643005798A_1_>

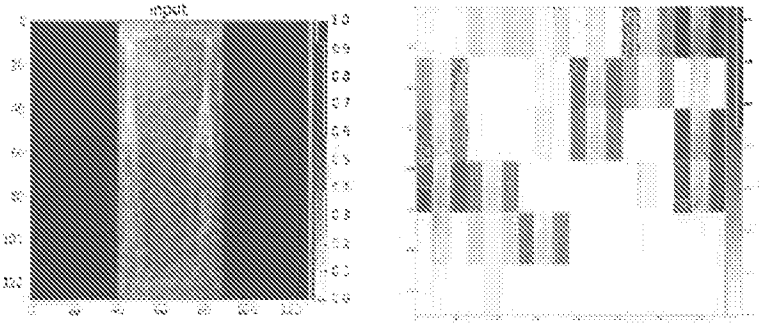


Fig. 21. Visualization of the first filter's activations with tooth #41.

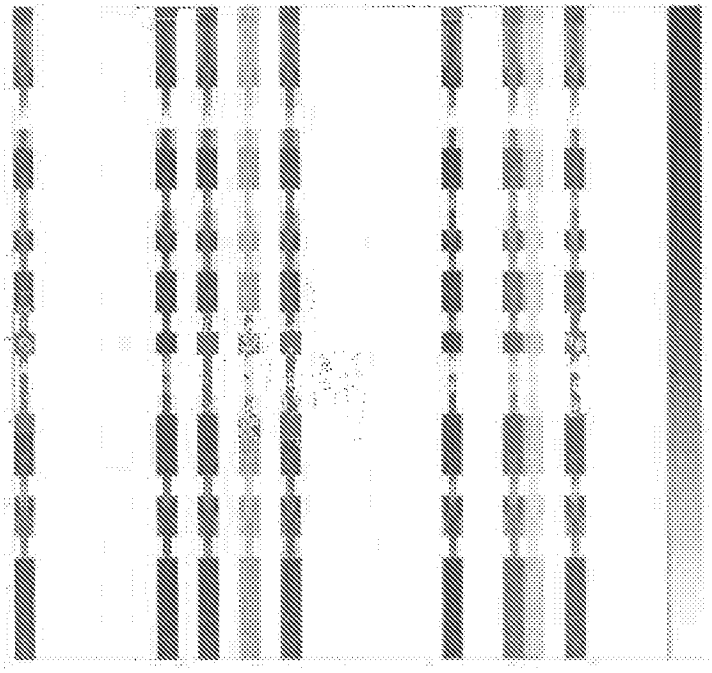


Fig. 22. Visualization of the second filter's activations with tooth #41.

BNSDOCID: <XP_____S6430578A_1_>

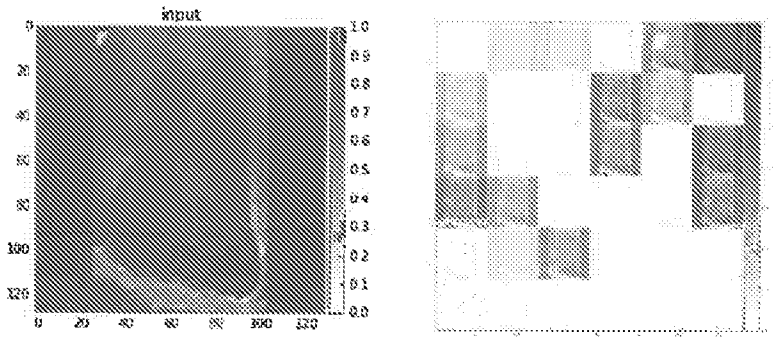


Fig. 23. Visualization of the first filter's activations with tooth #16.

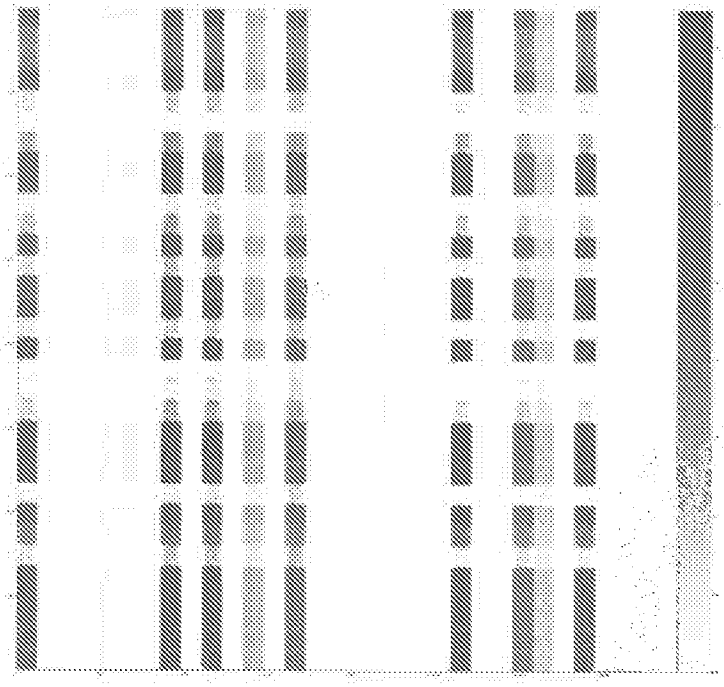


Fig. 24. Visualization of the second filter's activations with tooth #16.

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; Rozkovcová 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

BNSDOCID: <XP_____8848578A_1>

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.

8NSDOCID: <XP_____8843867BA_1_>

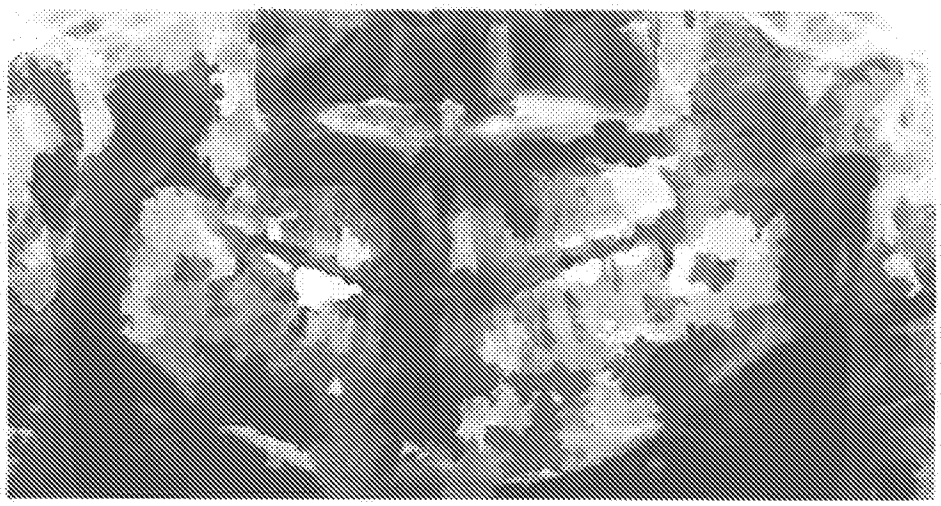


Fig. 25. Segmenting a panoramic radiograph into regions using a graph-based representation of the image.

BNSDOCID: <XP_____8640057SA_1_>

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

BNBDOC© <XP_____8648578A_1>

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., Monstyn, G. (2016, May),

BNSDOCID: <XP_____8548087SA_1_>

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

BNSDOCID: <JP_____8843097SA_1_>

marvin minsky. *Acta Polytechnica Hungarica*, 4(4), 1-12.

Khan, R., Weijer, J., Shahbaz Khan, F., Muselet, D., Ducottet, 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.

SNSDOCID: <GP_____8568758A_1>

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.

Luszczek, 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., Ahlqwist, 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.

BNSDOCID: <XP_____5560978A_1>

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.

BNSDOCID: <XP_____8640885788_1_>

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.

Rozkovcová, E., Markova, M., Dolejsi, J. (1998). Studies on agenesis of third molars amongst populations of different origin. *Sbornik lekarsky*, 100(2), 71-84.

8N8OOOB: <XP_____8543857PA__1>

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

BNSDOCID: <XP_____8040578A_1_>

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.

BIB/DOCID <XP_____8843057BA_1_>

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 1. *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

Young-jun Yu
Department of Computer Science
Yonsei University
aaorkr@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

BNSDOCID: <XP_____5543567A_1>

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

8N8IDOID: <xP_____8648878A_1>

[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.

BNSDOC ID: <KR_____8643857BA_1_>

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 kth input to neuron i. Figure 1 shows a comparison between a human neuron and an ANN neuron [Maltarollo et al., 2013].

BNSDOCID: <XP_____8640678A_1_>

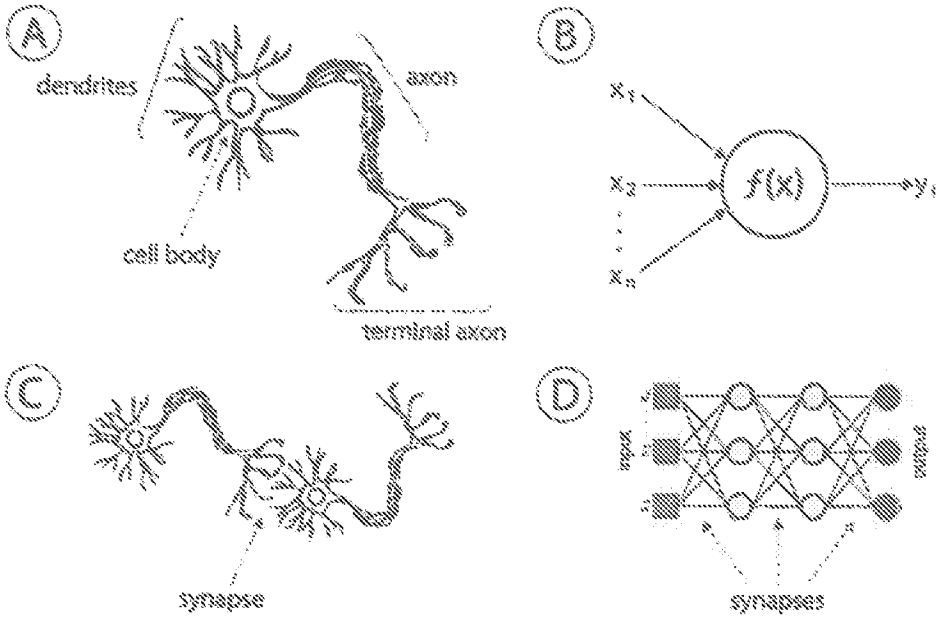


Fig. 1. (A) Human neuron; (B) Artificial neuron or hidden unity; (C) Biological synapse; (D) ANN synapses [Maltarollo et al., 2013].

BNSDOCID: <XP_____8640978A_1_>

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.

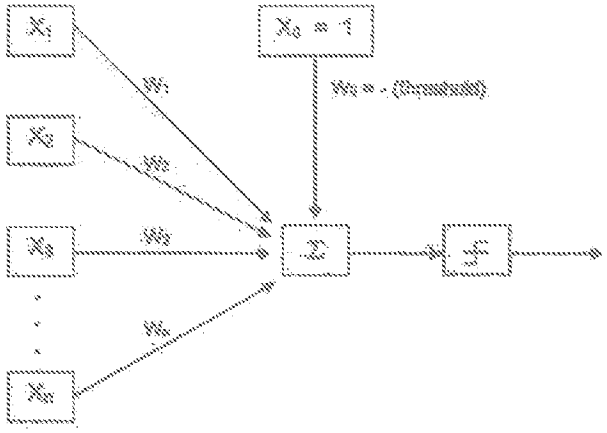


Fig. 2. An N-input perceptron with a fixed threshold that receives many inputs and determines a single output.

1.2.3. Perceptron limitations

While Rosenbaltt'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

BNSDOCID: <XP_____8643878A_1_>

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 $(x1, x2, x3, \ldots)$ and weight vector $(w1, w2, w3, \ldots)$ 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.

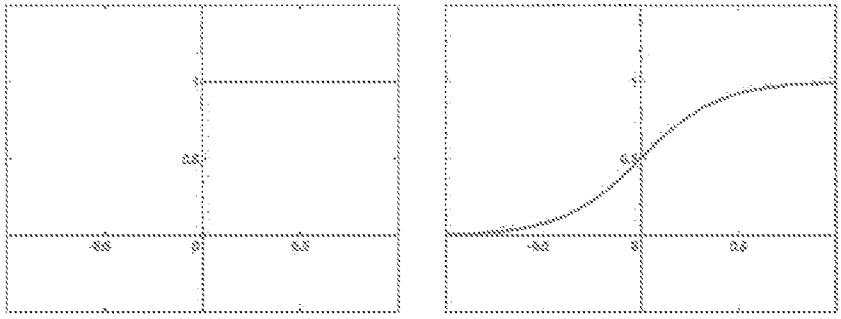


Fig. 3. Step Function (left) and sigmoid Function (right).

BRIEDOCID: <AP_____8546057BA_1>

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 Benhnke [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).

BNEDOCID: <KR_____B4830078A_1_>

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

ENERGOID: «XP_____884936758A__1_>

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].

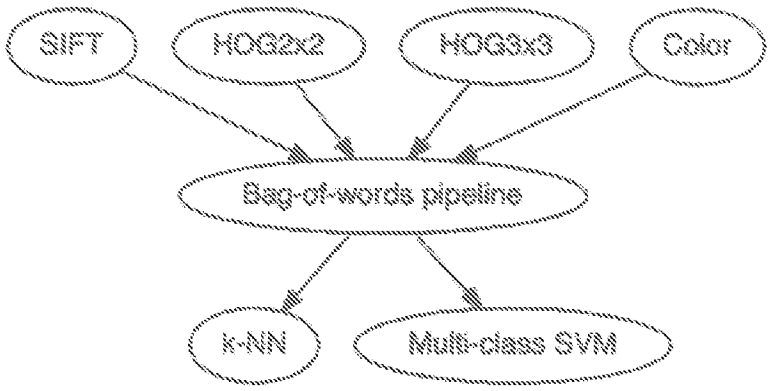


Fig. 4. Overview of our system for Bag-of-Words.

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

8NSOCCD:<KP_____3643957BA_1_>

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]

BNSDOCID: <XP_____8948978A_1_>

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:

$$crossentropy(t,o) = -(t \cdot \log(o) + (1-t) \cdot \log(1-o))$$

The gradient descent optimization functions utilized were adadelta 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].

BNSDOCID: <XF_____8S4035798A_1_>

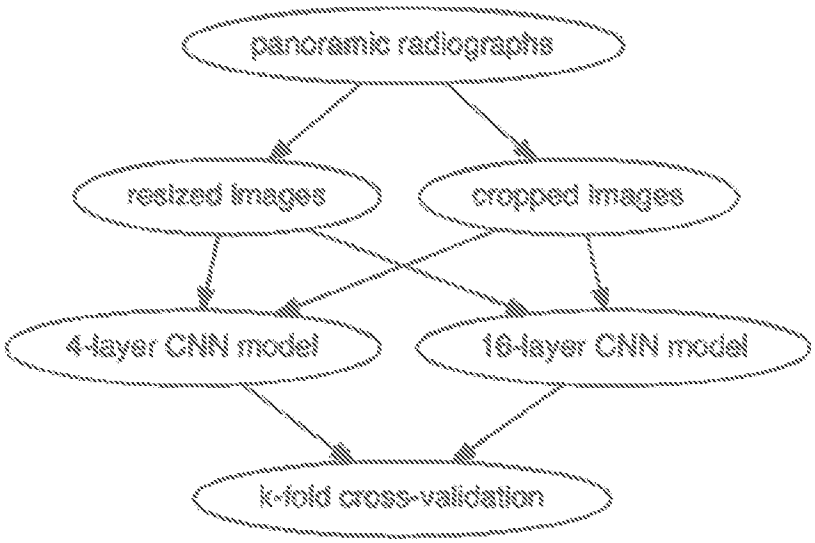


Fig. 5. Overview of our CNN system.

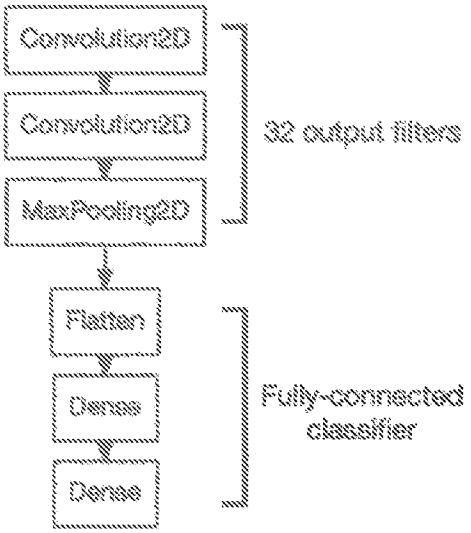


Fig. 6. 4-layer CNN model.

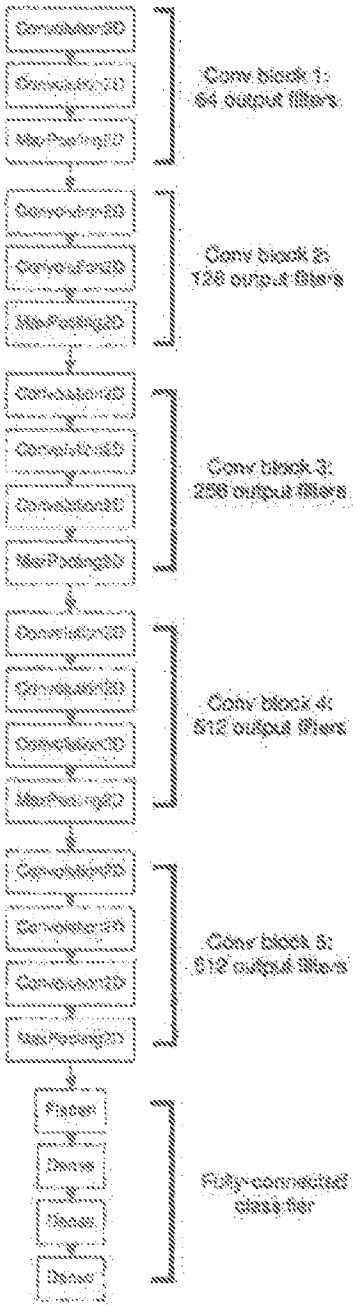


Fig. 7. 16-layer CNN model.

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

8NSOCID: <XP_____5543056?8A_1>

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.

8NSDOCID: <KP_____5548607BA_1_>

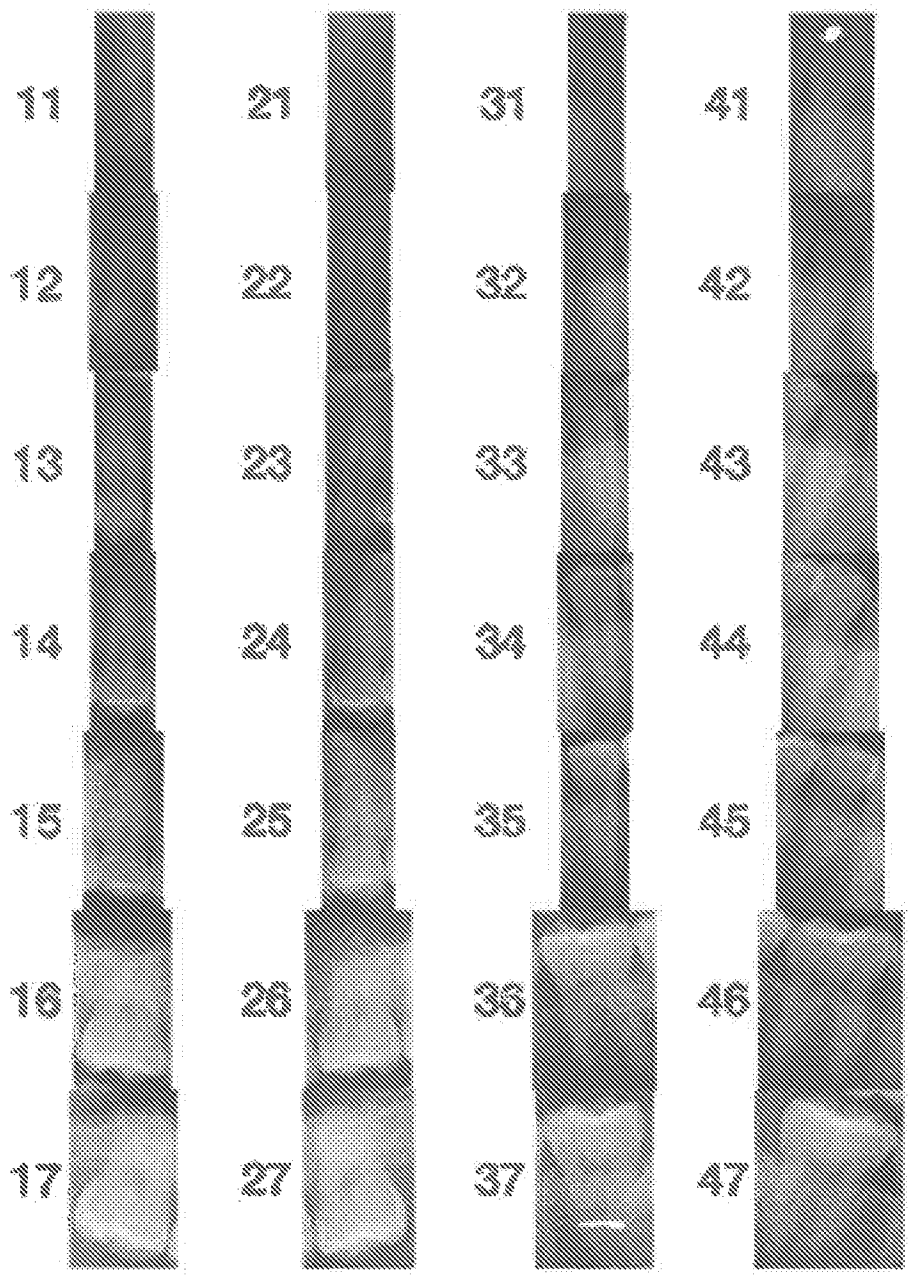


Fig. 8. Cropped images of 28 permanent teeth.

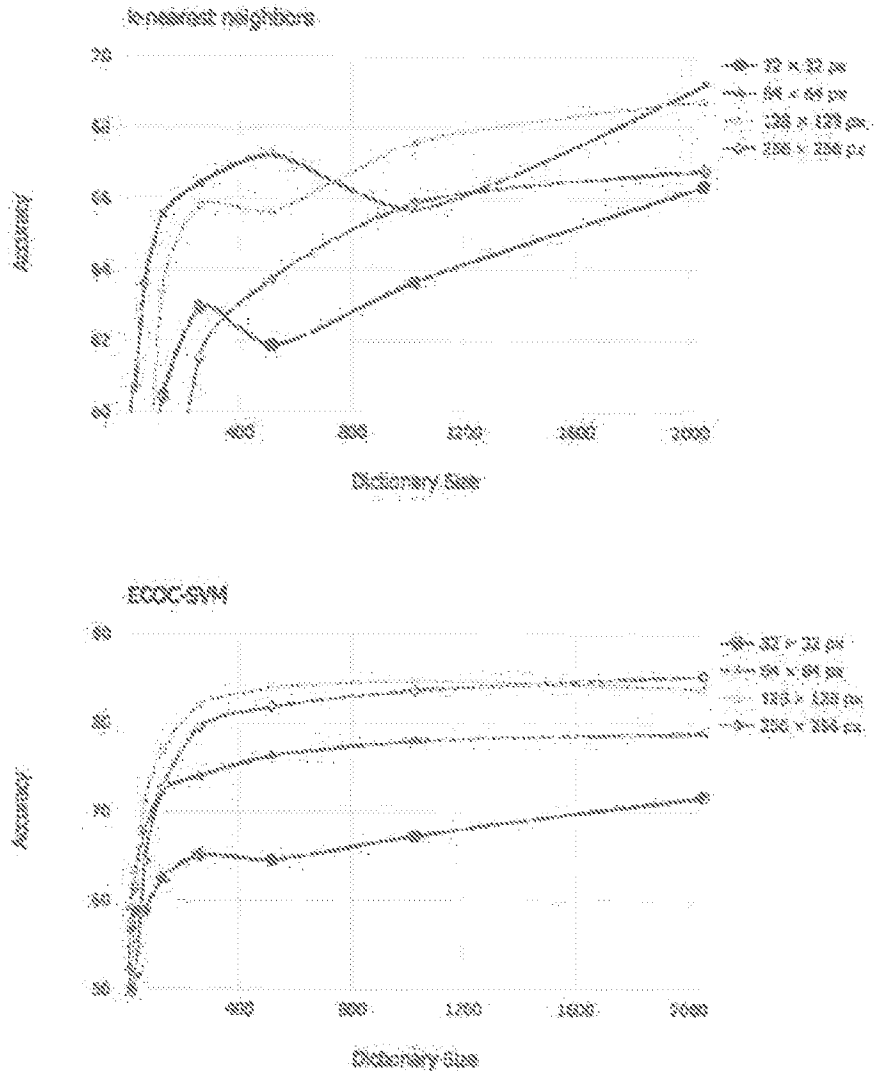


Fig. 9. Changes in accuracy with dictionary size with various input sizes using the SIFT algorithm: classified by k-NN (top) and classified by ECOC-SVM (bottom).

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.

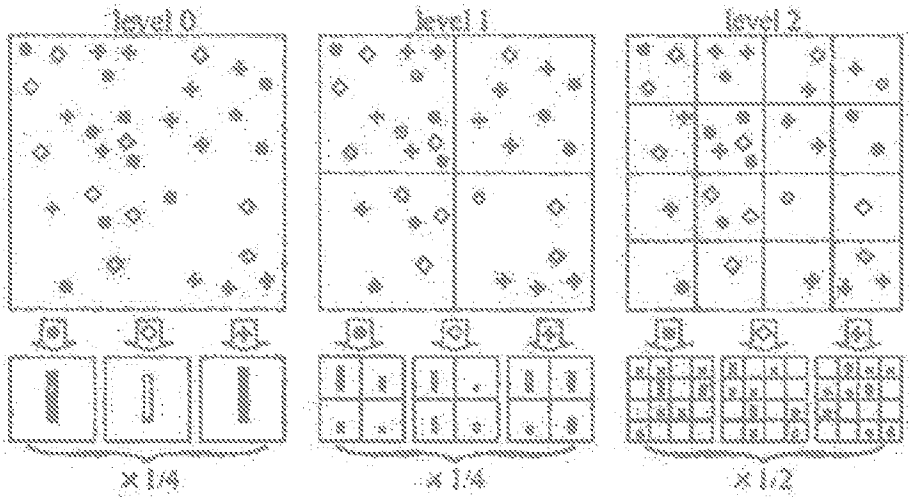


Fig. 10. Sample example of constructing a three-level pyramid. The image has three feature types, indicated by circles, diamonds, and crosses [Lazebnik et al., 2006].

ENERGOID: «XP_____8349B076A__1.»

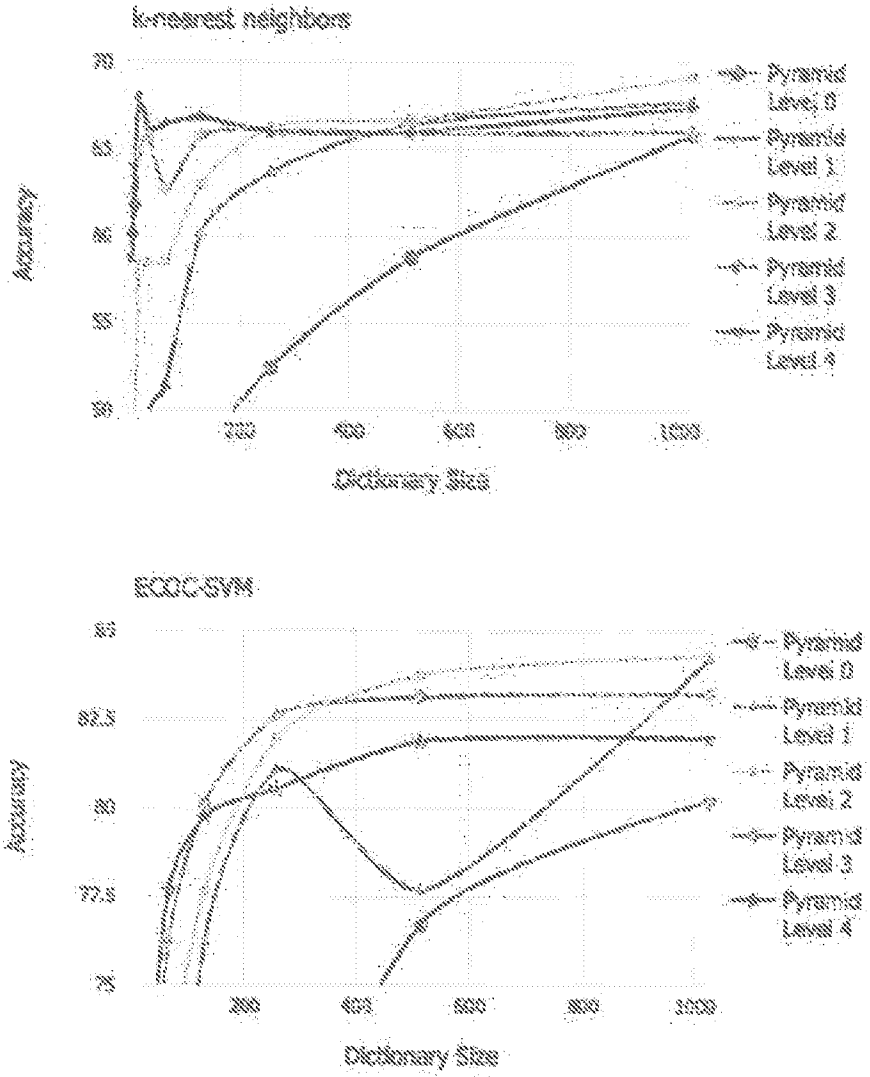


Fig. 11. Changes in accuracy with dictionary size with various pyramid levels using SIFT algorithm: classified by k-NN (top) and classified by ECOC-SVM (bottom).

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, HOG2×2, and HOG3×3 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 HOG2×2, 84.64% in the case of HOG2×2, 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 HOG2×2, 110.30 s with HOG3×3, 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.

ENSDOCID: <WP_____8349167?A_1_>

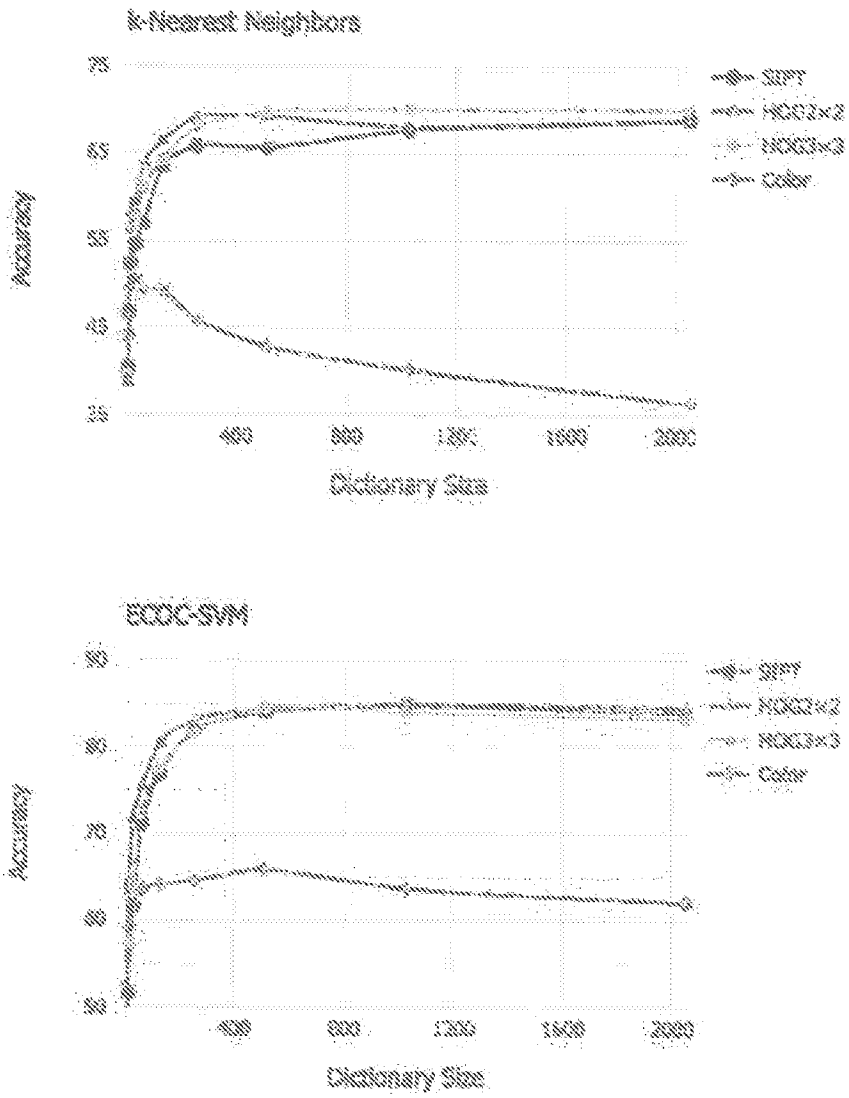


Fig. 12. Changes in accuracy with dictionary size at 128 × 128 pixels input size and level-2 pyramid using SIFT, HOG2×2, HOG3×3, and the Color algorithm: classified by k-NN algorithm (top) and classified by ECOC-SVM algorithm (bottom).

8NE0CCID: «XP_____EP4609758A__1_>

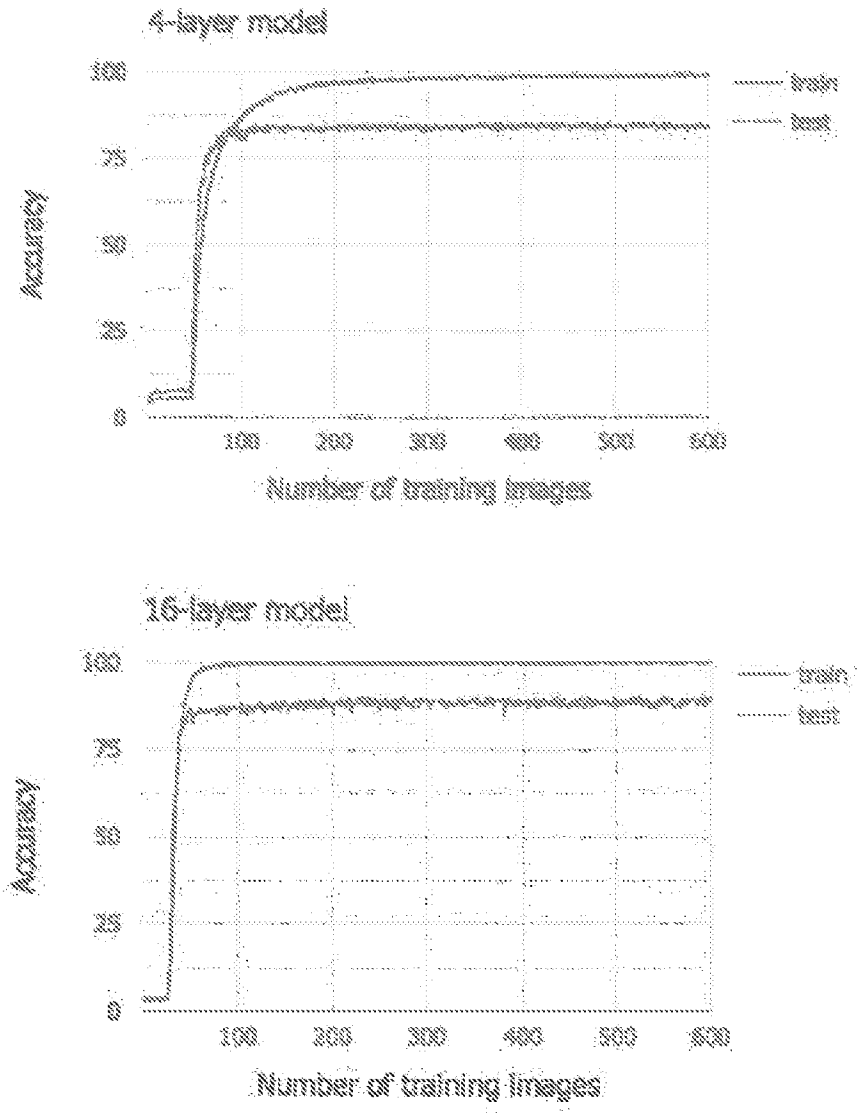


Fig. 13. Changes in accuracy with a number of training images at 128 × 128 pixels input size using the convolutional neural network: classified by a 4-layer CNN model (top) and a 16-layer CNN model (bottom).

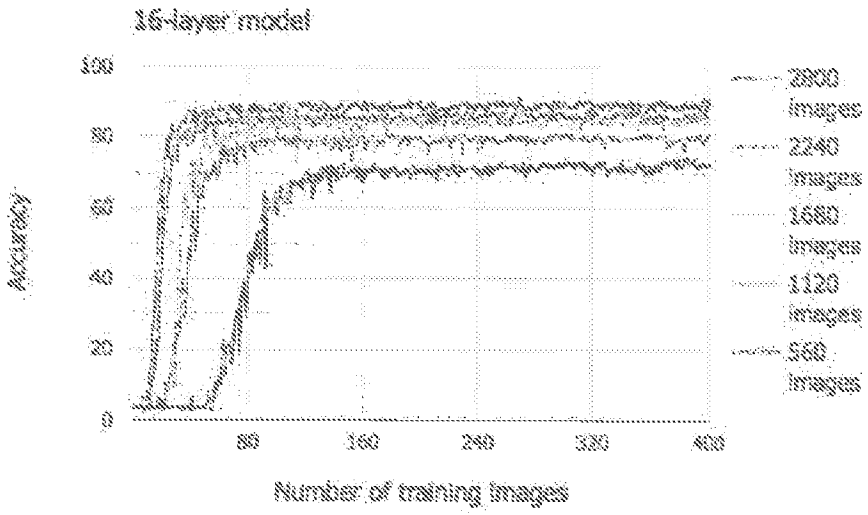


Fig. 14. Changes in accuracy with a number of training images with different training sizes using a 16-layer convolutional neural network model.

BNSDOCID: <KP_____SIA20578A_1_>

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	0.9187
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	0.8686
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

BNSDOCID: <KR_____B5403578A_1_>

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	128	2	1	0	0	0	1	4	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	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	115	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	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	136	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	1	0	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	1	0	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	1	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	12	123	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	0	2	133	7	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	0	1	8	132	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	102	18	0	0	0	0	0	16	7	3	0	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	8	3	0	0	0	0	0
33	0	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
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	124	14	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	0	0	8	134	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	0	0	0	1	113	8	0	0	0	0	1	0	0
37	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	133	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	89	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	0	1	0	0	0	0	0	0	8	133	2	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	0	0	1	133	9	0	0
45	0	0	0	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
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	0	0	133	7
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	5	134

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 x 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.

BNSDOCID: <KR_____8548067BA_1_>

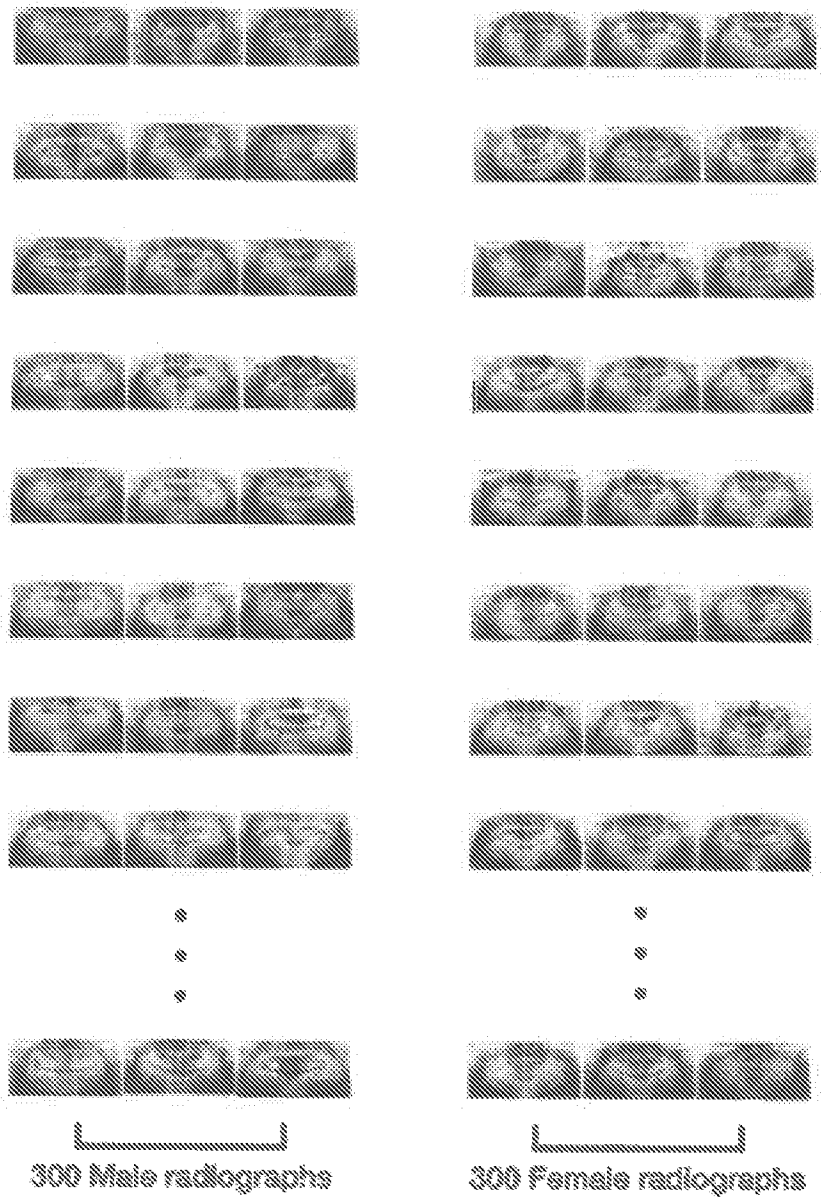


Fig. 15. Resized panoramic radiographs of 300 men and 300 women.

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%.

BNSOOOID <KP_____BN0035788_1>

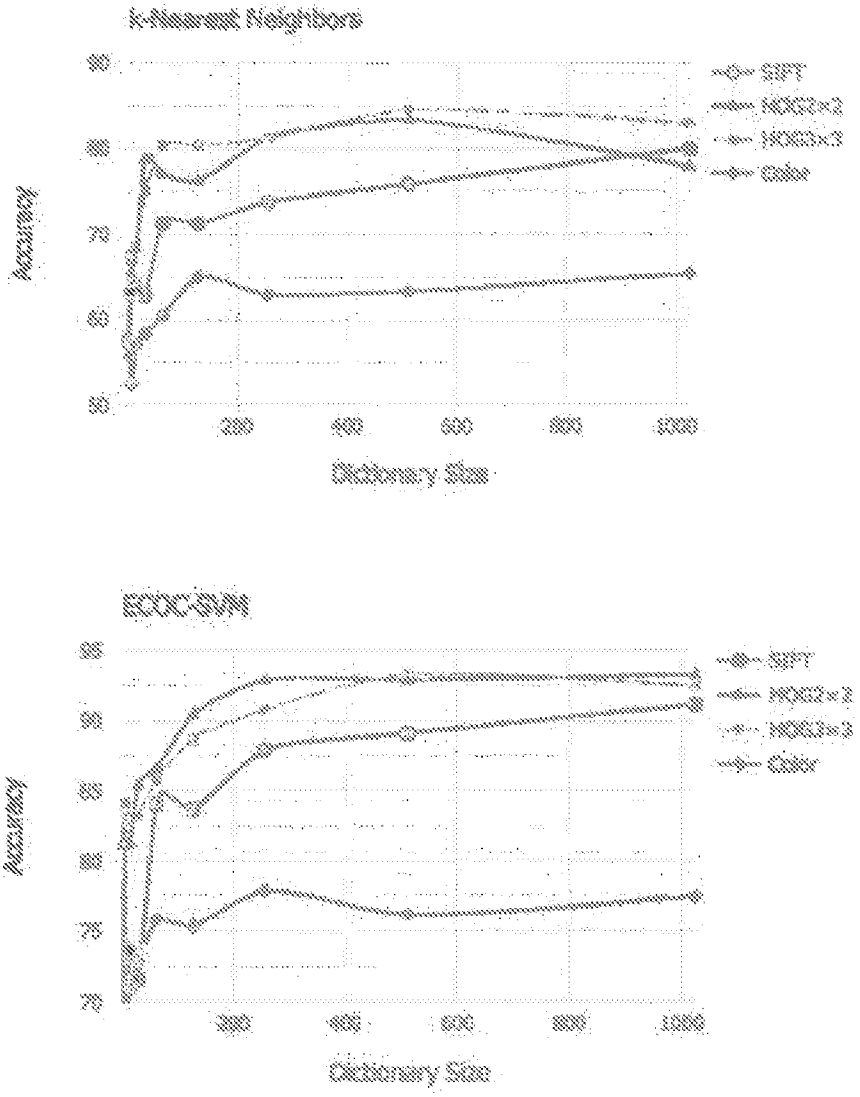


Fig. 16. Changes in accuracy with dictionary size at 640 × 640 pixels input size and level-2 pyramid using SIFT, HOG2×2, HOG3×3, and Color algorithm: (top) classified by k-NN algorithm; (bottom) classified by ECOC-SVM algorithm.

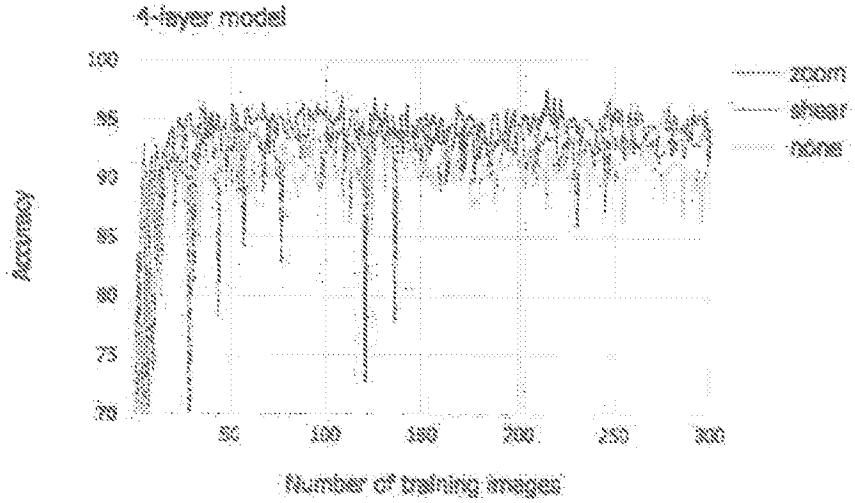


Fig. 17. Changes in accuracy with a number of training images using a convolutional neural network classified by a 4-layer CNN model: (none) original 600 resized images were used for training; (zoom) randomly zooming inside images; (shear) randomly applying shearing transformations

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.

SNSDOCID: <KR_____8949867&A_1_>

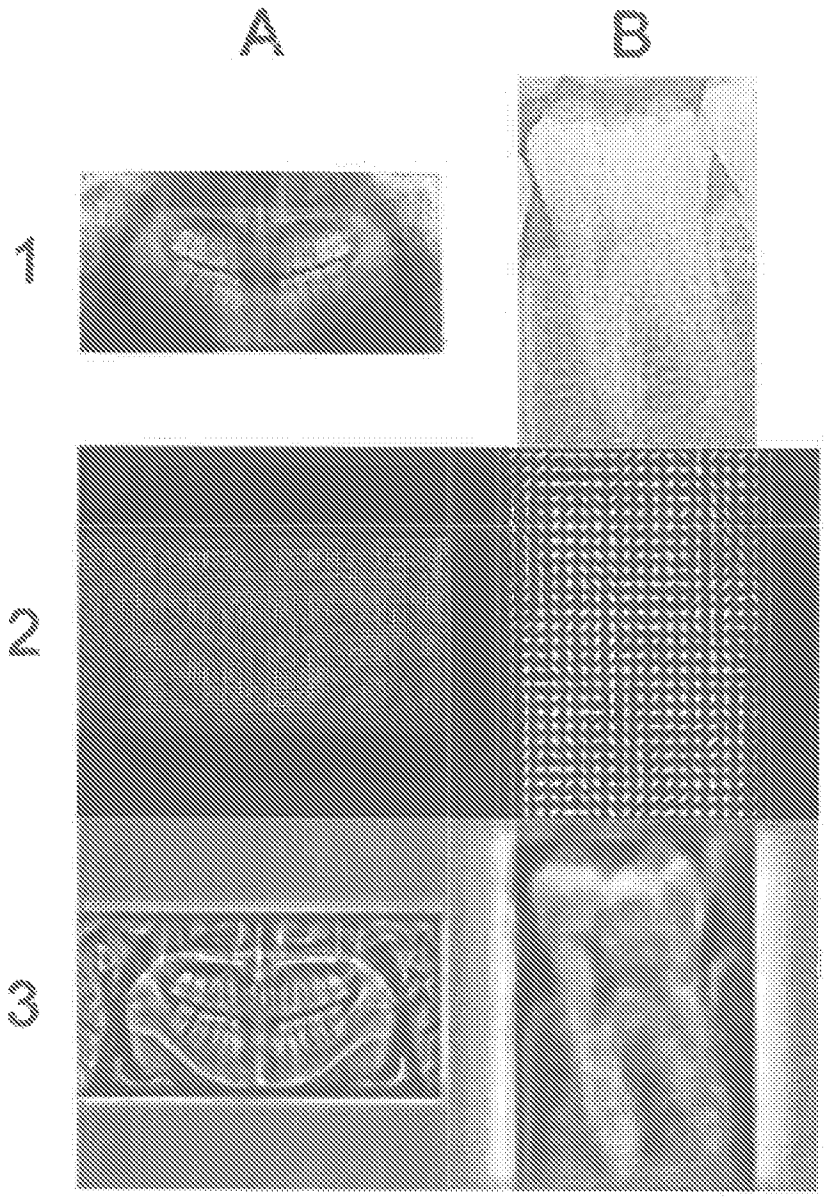


Fig. 18. Visualization of HOG based object detection features: panoramic radiography (A), molar-tooth radiography (B), original images (1), HOG features (2), HOG inversions (3).

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 teeth 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].

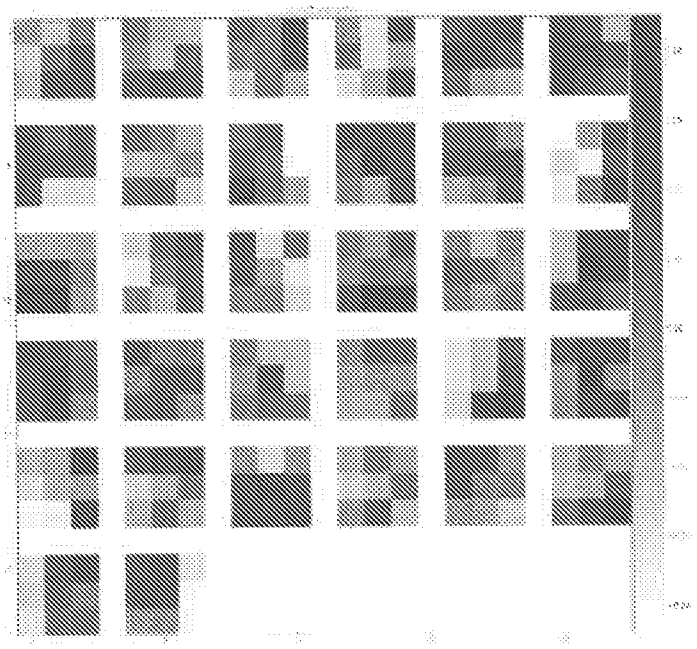


Fig. 19. Visualization of the first filter's weights after training.

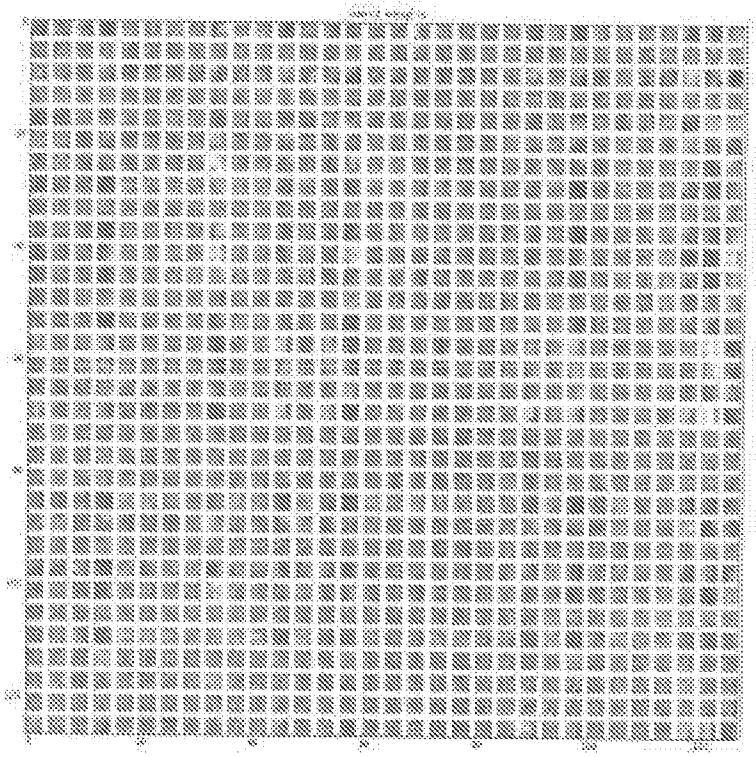


Fig. 20. Visualization of the second filter's weights after training.

Pg. 560

IMSDOCID: <XP_____5648305758A_1_>

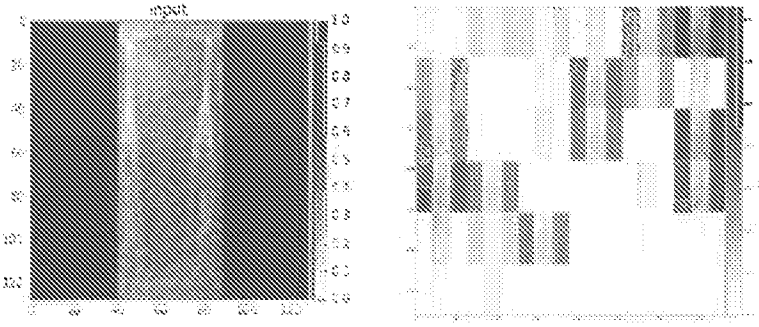


Fig. 21. Visualization of the first filter's activations with tooth #41.

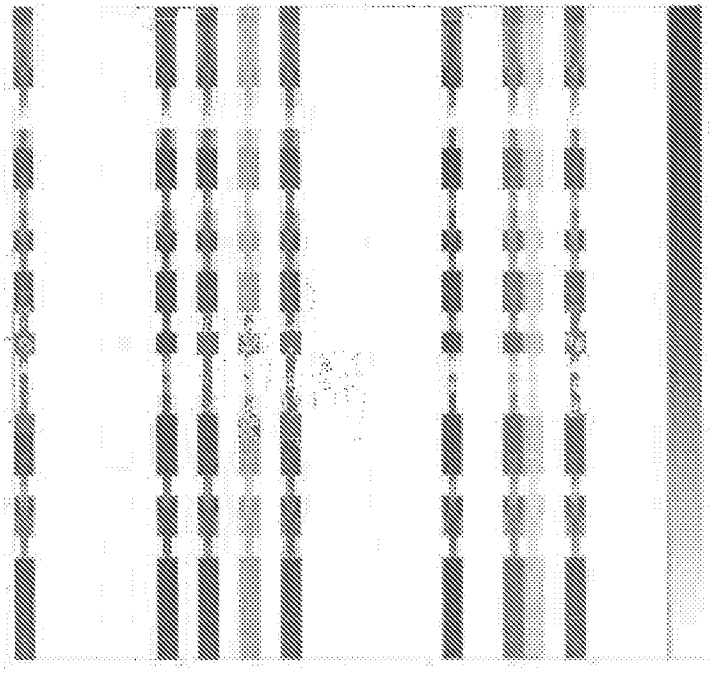


Fig. 22. Visualization of the second filter's activations with tooth #41.

BNSDOCID: <XP_____6643057BA_1_>

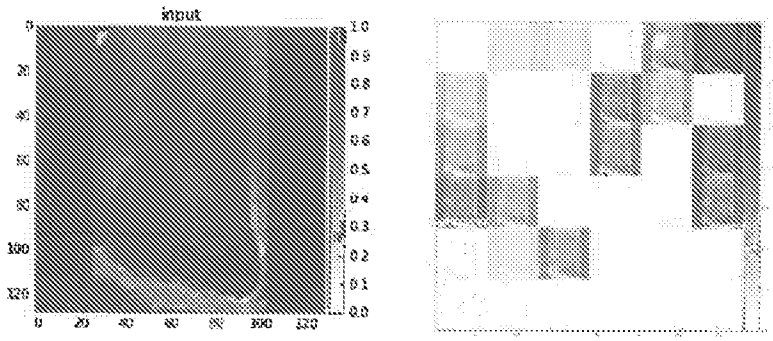


Fig. 23. Visualization of the first filter's activations with tooth #16.

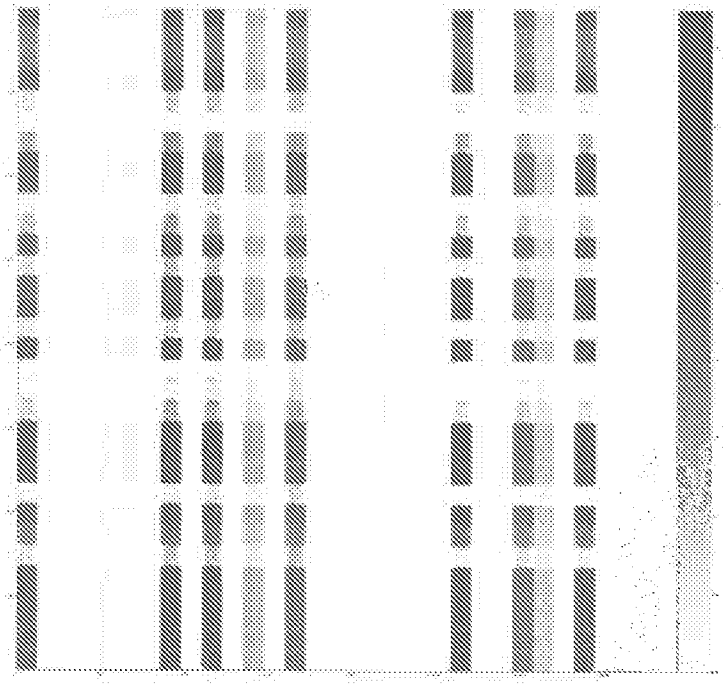


Fig. 24. Visualization of the second filter's activations with tooth #16.

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; Rozkovcová 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

BNSDOCID: <XP_____8848878A_1_>

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.

8NSDOCID: <XP_____8843867BA_1_>

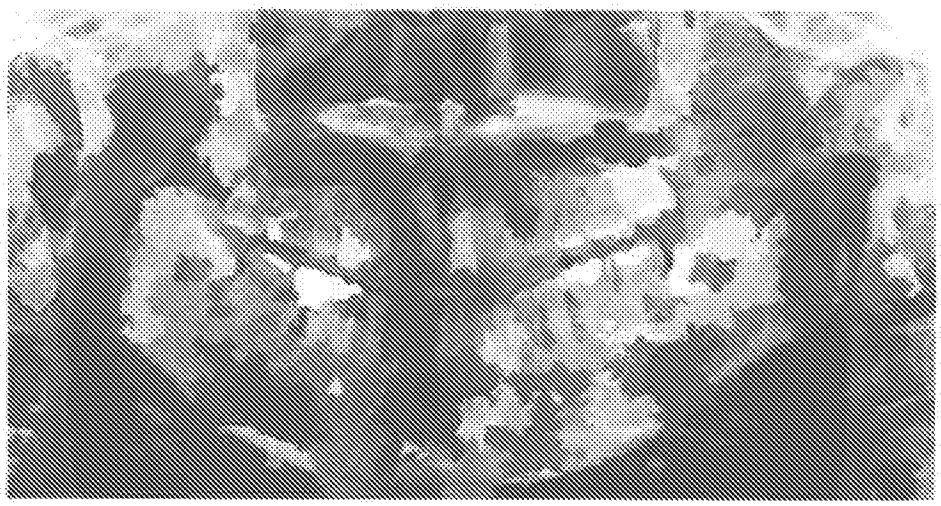


Fig. 25. Segmenting a panoramic radiograph into regions using a graph-based representation of the image.

BNSDOCID: <XP_____8640057SA_1_>

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

BNBDOC© <XP_____8648578A_1>

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., Monstyn, G. (2016, May).

BNSDOCID: <XP_____8548087SA_1_>

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

BNSDOCID: <JP_____8843097SA_1_>

marvin minsky. *Acta Polytechnica Hungarica*, 4(4), 1-12.

Khan, R., Weijer, J., Shahbaz Khan, F., Muselet, D., Ducottet, 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.

SNSDOCID: <GP_____8568758A_1>

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.

Luszczek, 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., Ahlqwist, 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.

BNSDOCID: <XP_____5560978A_1>

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.

BNSDOCID: <XP_____8640885788_1_>

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.

Rozkovcová, E., Markova, M., Dolejsi, J. (1998). Studies on agenesis of third molars amongst populations of different origin. *Sbornik lekarsky*, 100(2), 71-84.

SNEOOCID: <xP_____8543057BA_1>

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

BNSDOCID: <XP_____8040578A_1_>

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.

86300CCID <xP_____8643057BA_1_>

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 1. *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.

CD Submission Review Results

Internal Worksheet Only - Do Not Scan

Application Number	16030137	Receipt Date	Jul 9, 2018

X	New Application		Response To Notice	Date Of Response

[ ] Jumbo – Large tables are included on the CD

[X] **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: 16030137 Document Date: 07/09/2018

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.

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
16/030,137	07/09/2018	2668	1880	N-P-51422	12	1

CONFIRMATION NO. 6210

108676
Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131

FILING RECEIPT

OC000000101234401

Date Mailed: 07/27/2018

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 1756956 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: 07/24/2018

The country code and number of your priority application, to be used for filing abroad under the Paris Convention, is **US 16/030,137**

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 AssetsControl, 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: 16/030,137

APPLICATION AS FILED - PART I

FOR	(Column 1) NUMBER FILED	(Column 2) NUMBER EXTRA	SMALL ENTITY RATE($)	SMALL ENTITY FEE($)	OR	OTHER THAN SMALL ENTITY RATE($)	OTHER THAN SMALL ENTITY FEE($)
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), (i), 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(i))	12 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
MULTIPLE DEPENDENT CLAIM PRESENT (37 CFR 1.16(j))							0.00
* If the difference in column 1 is less than zero, enter "0" in column 2.			TOTAL			TOTAL	1720

APPLICATION AS AMENDED - PART II

		(Column 1) CLAIMS REMAINING AFTER AMENDMENT		(Column 2) HIGHEST NUMBER PREVIOUSLY PAID FOR	(Column 3) PRESENT EXTRA	SMALL ENTITY RATE($)	SMALL ENTITY ADDITIONAL FEE($)	OR	OTHER THAN SMALL ENTITY RATE($)	OTHER THAN SMALL ENTITY ADDITIONAL FEE($)
AMENDMENT A	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))									
	FIRST PRESENTATION OF MULTIPLE DEPENDENT CLAIM (37 CFR 1.16(j))							OR		
						TOTAL ADD'L FEE		OR	TOTAL ADD'L FEE	

		(Column 1) CLAIMS REMAINING AFTER AMENDMENT		(Column 2) HIGHEST NUMBER PREVIOUSLY PAID FOR	(Column 3) PRESENT EXTRA	RATE($)	ADDITIONAL FEE($)		RATE($)	ADDITIONAL FEE($)
AMENDMENT B	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))									
	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
16/030,137	07/09/2018	Philippe SALAH	N-P-51422

CONFIRMATION NO. 6210

108676
Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131

FORMALITIES LETTER

OC000000101234402

Date Mailed: 07/27/2018

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).

The following item(s) appear to have been **omitted** from the application:

- Figure(s) **17** described in the specification.

Applicant must reply to this notice within the time period set forth in this notice to avoid abandonment of this application. Applicant must select one of the three following options and the reply must comply with the requirements set forth in the selected option and any other requirements set forth in this notice. The reply should also indicate which option applicant has selected.

I. Petition for date of deposit: Should applicant contend that the above-noted omitted item(s) was in fact deposited in the U.S. Patent and Trademark Office (USPTO) with the nonprovisional application papers, a copy of this Notice and a petition (and the petition fee set forth in 37 CFR 1.17(f) with evidence of such deposit **must** be filed within **TWO MONTHS** of the date of this Notice. The petition fee will be refunded if it is determined that the item(s) was received by the USPTO. **THIS TWO MONTH PERIOD IS EXTENDABLE UNDER 37 CFR 1.136(a) or (b).**

Applicant should review their application file and determine whether their file differs from USPTO's records. In some situations there may be a mislabeling of the drawings and/or a failure to describe in the brief description each of the figures as labeled.

The brief description of the drawings in the specification must correspond with the figures and the figures must be labeled in accordance with 37 CFR 1.84(u)(1). For example, if the brief description describes Figure 1 and Figure 2 only, but the drawings show Fig. 1 and Fig. 2A and Fig. 2B, then the specification must be amended to refer to Figure 2A and Figure 2B and delete the reference to Figure 2 and a substitute specification in compliance with 37 CFR 1.52, 1.121(b)(3), and 1.125, is required. As another example, if a drawing is labeled Figure 2, but there are actually multiple figures within the labeled Figure 2 having labels A, B, and C, then the drawings must be relabeled in accordance with 37 CFR 1.84(u)(1) (e.g., Fig. 2A, Fig. 2B, and Fig. 2C). If the specification does not refer to the figures as relabeled, then the specification must be amended to refer to the relabeled figures (e.g., Fig. 2A, Fig. 2B, and Fig. 2C) and a substitute specification in compliance with 37 CFR 1.52, 1.121(b)(3), and 1.125, is required. A petition for date of deposit under option I should **NOT** be filed in either situation or in similar situations where there is simply a mislabeling of the drawings and/or a failure to describe in the brief description each of the figures. Instead, applicant should file a reply under option III.A below (including replacement drawing sheets and/or a substitute specification as required in III.A.2).

II. Petition for later filing date: Should applicant desire to supply the omitted item(s) and accept the date that such omitted item(s) was filed in the USPTO as the filing date of the above-identified application, a copy of this Notice, the omitted item(s), and a petition under 37 CFR 1.182 with the petition fee set forth in 37 CFR 1.17(f) requesting the later filing date **must** be filed within **TWO MONTHS** of the date of this Notice. **THIS TWO MONTH PERIOD IS EXTENDABLE UNDER 37 CFR 1.136(a) or (b).**
Applicant is advised that generally the filing fee required for an application is the filing fee in effect on the filing date accorded the application and that payment of the requisite basic filing fee on a date later than the filing date of the application requires payment of a surcharge (37 CFR 1.16(f)). To avoid processing delays and payment of a surcharge, applicant should submit any balance due for the requisite filing fee based on the later filing date being requested when submitting the omitted item(s) and the petition (and petition fee) requesting the later filing date.

III. Acceptance of application as deposited: Applicant may accept the application as deposited in the USPTO by filing an appropriate amendment as set forth in either (A) or (B) below within **TWO MONTHS** of the date of this Notice. **THIS TWO MONTH PERIOD IS EXTENDABLE UNDER 37 CFR 1.136(a) or (b)** . The application will maintain a filing date as of the date of deposit of the application papers in the USPTO, and original application papers (i.e., the original disclosure of the invention) will include only those application papers present in the USPTO on the date of deposit. A petition is not required for this option.
(A) If applicant wants to accept the application as deposited without adding the subject matter that was in the omitted item (e.g., a missing page or figure), applicant is required to submit one or more of the following items without adding any new matter (see 35 U.S.C. 132(a)):

1. For a missing page of the specification,
   a) a substitute specification including claims that amends the specification to renumber the pages consecutively and cancels any incomplete sentences, and
   b) a statement that the substitute specification includes no new matter, in compliance with 37 CFR 1.121(b)(3) and 1.125;
2. For a missing figure of the drawings (including a mislabeled figure),
   a) replacement drawing sheets in compliance with 37 CFR 1.121(d) to renumber the drawing figures consecutively (if necessary),
   b) a substitute specification excluding claims that amends the specification to cancel any references to any omitted drawing(s) and corrects the references in the specification to the drawing figures to correspond with any relabeled drawing figures, and
   c) a statement that the substitute specification includes no new matter, in compliance with 37 CFR 1.121(b)(3) and 1.125;
3. For a missing page of the claim listing only, a replacement claim listing with the claims renumbered consecutively or, if amendment to the claims is also necessary, then a complete claim listing in compliance with 37 CFR 1.121(c);
4. For a missing or unreadable compact disc,

a) a substitute specification (excluding the claims) deleting the reference to the compact disc and the files contained on the compact disc, and
b) a statement that the substitute specification includes no new matter, in compliance with 37 CFR 1.121(b)(3) and 1.125; and

5. For a missing or unreadable file submitted on a compact disc,
   a) a substitute specification (excluding the claims) deleting the reference to the missing or unreadable file, and a statement that the substitute specification includes no new matter, in compliance with 37 CFR 1.121(b)(3) and 1.125; and
   b) a replacement transmittal letter listing all of the files except the missing or unreadable file in compliance with 37 CFR 1.52(e)(3)(ii).

(B) Alternatively, if applicant wants to accept the application as deposited but wishes to add the subject matter in the omitted item (e.g., a missing page or figure) by relying on an incorporation by reference under 37 CFR 1.57 or other portions of the original disclosure, applicant is required to submit one or more of the following items without adding any new matter (see 35 U.S.C. 132(a)):

1. To add the subject matter in a missing page of specification,
   a) a substitute specification excluding claims and
   b) a statement that the substitute specification includes no new matter, in compliance with 37 CFR 1.121(b)(3) and 1.125;
2. To add a missing figure of the drawings, new and replacement drawing sheets in compliance with 37 CFR 1.121(d);
3. To add the subject matter in a missing page of the claim listing, a complete claim listing in compliance with 37 CFR 1.121(c) (e.g., a claim in the missing page should be submitted as a new claim);
4. To add the subject matter in a missing or unreadable compact disc,
   a) a replacement compact disc and a duplicate copy of the compact disc, in compliance with 37 CFR 1.52(e); and
   b) a statement that the replacement compact disc contains no new matter in compliance with 37 CFR 1.52(e)(4); and,
5. To add the subject matter in a missing or unreadable file submitted on a compact disc,
   a) a replacement compact disc that contains all of the files listed in the specification including the missing or unreadable file and a duplicate copy of the compact disc, in compliance with 37 CFR 1.52(e); and
   b) a statement that the replacement compact disc contains no new matter in compliance with 37 CFR 1.52(e)(4).

If applicant is relying on an incorporation by reference under 37 CFR 1.57 to add the omitted subject matter, then applicant must also comply with the requirements of 37 CFR 1.57.

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**.

/snguyen/

To: patdoc@cooperlegalgroup.com,,
From: PAIR_eOfficeAction@uspto.gov
Cc: PAIR_eOfficeAction@uspto.gov
Subject: Private PAIR Correspondence Notification for Customer Number 108676

Jul 27, 2018 04:30:35 AM

Dear PAIR Customer:

Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131
UNITED STATES

The following USPTO patent application(s) associated with your Customer Number, 108676 , have new outgoing correspondence. This correspondence is now available for viewing in Private PAIR.

The official date of notification of the outgoing correspondence will be indicated on the form PTOL-90 accompanying the correspondence.

Disclaimer:
The list of documents shown below is provided as a courtesy and is not part of the official file wrapper. The content of the images shown in PAIR is the official record.

Application	Document	Mailroom Date	Attorney Docket No.
16030137	APP.FILE.REC	07/27/2018	N-P-51422
	NT.CR.APP.PA	07/27/2018	N-P-51422

To view your correspondence online or update your email addresses, please visit us anytime at https://sportal.uspto.gov/secure/myportal/privatepair.

If you have any questions, please email the Electronic Business Center (EBC) at EBC@uspto.gov with 'e-Office Action' on the subject line or call 1-866-217-9197 during the following hours:

Monday - Friday 6:00 a.m. to 12:00 a.m.

Thank you for prompt attention to this notice,

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

PATENT APPLICATION INFORMATION RETRIEVAL SYSTEM

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

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 01 JUIN 2018

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
La Directrice du département des données

Anne DUFOUR

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

BREVET D'INVENTION

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

cerfa

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 DATE	21/07/2017
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI	1756956
DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI	
Vos références pour ce dossier BR78290/BMJSar	

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

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				
N° de télécopie				
Courrier électronique				
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				

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.

☐ **Polynésie française**

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	2	42

Total	EURO	315
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.

R E P U B L I Q U E F R A N C A I S E

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

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	1756956	
Numéro de soumission	1000415044	
Date de réception	21 juillet 2017	
Vos références	BR78290/BMJSar	
Demandeur	DENTAL MONITORING	
Pays	FR	
Titre de l'invention	Procédé d'analyse d'une image d'une arcade dentaire	
Documents envoyés	package-data.xml	requetefr.xml
	application-body.xml	fr-fee-sheet.xml
	requetefr.pdf (3 p.)	validation-log.xml
	comment.pdf (2 p.)	indication-bio-deposit.xml
	design.pdf (2 p.)	fr-office-specific-info.xml
	textebrevet.pdf (51 p.)	dessins.pdf (10 p.)
	redtax-1.pdf (1 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, 15:54:35 (CEST)	
Empreinte officielle du dépôt	A6:53:11:2C:F8:27:03:57:B4:34:0D:87:21:BF:0B:7F:33:AA:A8:E5	

/INPI, section dépôt/

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

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

BREVET D'INVENTION

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

ccrfa

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S)

Vos références pour ce dossier	BR78290/BMJSar
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

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 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 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 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 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 » ;

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 ;

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 ;

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.

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.

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

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 », 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, 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
- 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 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 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 :

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 » ;

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, 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.

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 ».

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).

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.

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.

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.

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.

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.

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 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 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 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 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.

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 »*) 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 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.

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.

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 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

- 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 recomposition 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,
- 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.

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.

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, schématiquement, les différentes étapes d'un procédé d'analyse détaillée d'une image, selon l'invention ;
- 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 ;
- 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 ;
- 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 ;
- 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 ;
- 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 14_1 et 14_2, selon les directions d'observation représentées en traits interrompus ;
- 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 ;
- 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.

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.

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.

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.

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 préférencc 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 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.

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 « 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 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.

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 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 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.

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.

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).

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 apparait 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.

Le score peut être par exemple un coefficient de corrélation.

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 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.

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 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.

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 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.

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.

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.

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.

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.

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 ».

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.

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').

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).

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 récidive 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 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.

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.

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.

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 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 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.

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

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 :

- les réseaux spécialisés dans la classification d'images, appelés « CNN » (« Convolutional neural network »), par exemple
  - AlexNet (2012)
  - ZF Net (2013)
  - 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_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).
- 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)
- SSD (2015).

La liste ci-dessus n'est pas limitative.

A l'étape 2), le dispositif d'apprentissage profond est de préférence entrainé 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.

Grâce à son entrainement 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 »,
- 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.

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 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').

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.

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.

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 entrainement 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 « 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 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.

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 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. 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 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 » ;

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 ;

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 « 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 ;

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 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.

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)).

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 ;
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.

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.

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 ».

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 ».

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 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 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 ccttc 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 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 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 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 agençant les modèles de dent optimaux.

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.

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 ». 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 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.

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 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 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.

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 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).

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).

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.

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.

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.

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, entrainé 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 ;

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, 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 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 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 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 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.

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 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 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, 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 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 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.

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 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.

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 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.

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 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.

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).

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.

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.

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.

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.

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, entrainé 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 » ; 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 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 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 ;

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

- 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 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 entrainé 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.

Le procédé peut être également utilisé pour évaluer d'autre pièces ou appareils orthodontiques.

Programme d'ordinateur

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 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.

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.

REVENDICATIONS

1. 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, entrainé 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 » représentant, au moins partiellement, une dent sur ladite 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.

2. Procédé selon la revendication immédiatement précédente, comportant, après l'étape b''), une étape c'') suivante :

c") évaluation de l'adéquation de la gouttière en fonction de la valeur dudit attribut de dent ou d'image.

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 la valeur d'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.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ledit attribut de 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.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape b'') comporte les étapes suivantes :

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 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 ;
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 de ladite image d'analyse, d'une zone de dent d'analyse, et
   - 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'un écartement de la gouttière et de la dent représentée par ladite zone de dent d'analyse, et/ou d'une amplitude dudit écartement.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel l'étape b'') comporte 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 valeur d'attribut pour au moins un attribut d'image, ou « valeur d'attribut d'image », l'attribut d'image étant relatif à un écartement entre la ou les dents et la gouttière représentées sur l'image historique ;
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, 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 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 », 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.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, 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 ;

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 6, 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.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape a''), on utilise un téléphone mobile pour acquérir l'image d'analyse.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 10, comportant, après l'étape c''), une étape d'') suivante :

d") émission d'un message d'information en fonction de ladite évaluation.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 11, dans lequel, en fonction du résultat de ladite évaluation, on fabrique une nouvelle gouttière.

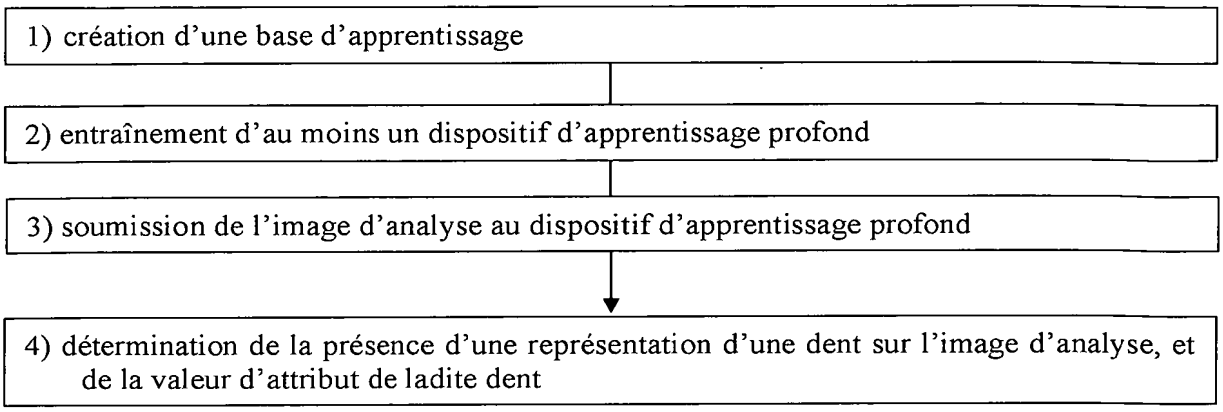

1) création d'une base d'apprentissage
2) entraînement d'au moins un dispositif d'apprentissage profond
3) soumission de l'image d'analyse au dispositif d'apprentissage profond
4) détermination de la présence d'une représentation d'une dent sur l'image d'analyse, et de la valeur d'attribut de ladite dent

Fig. 1

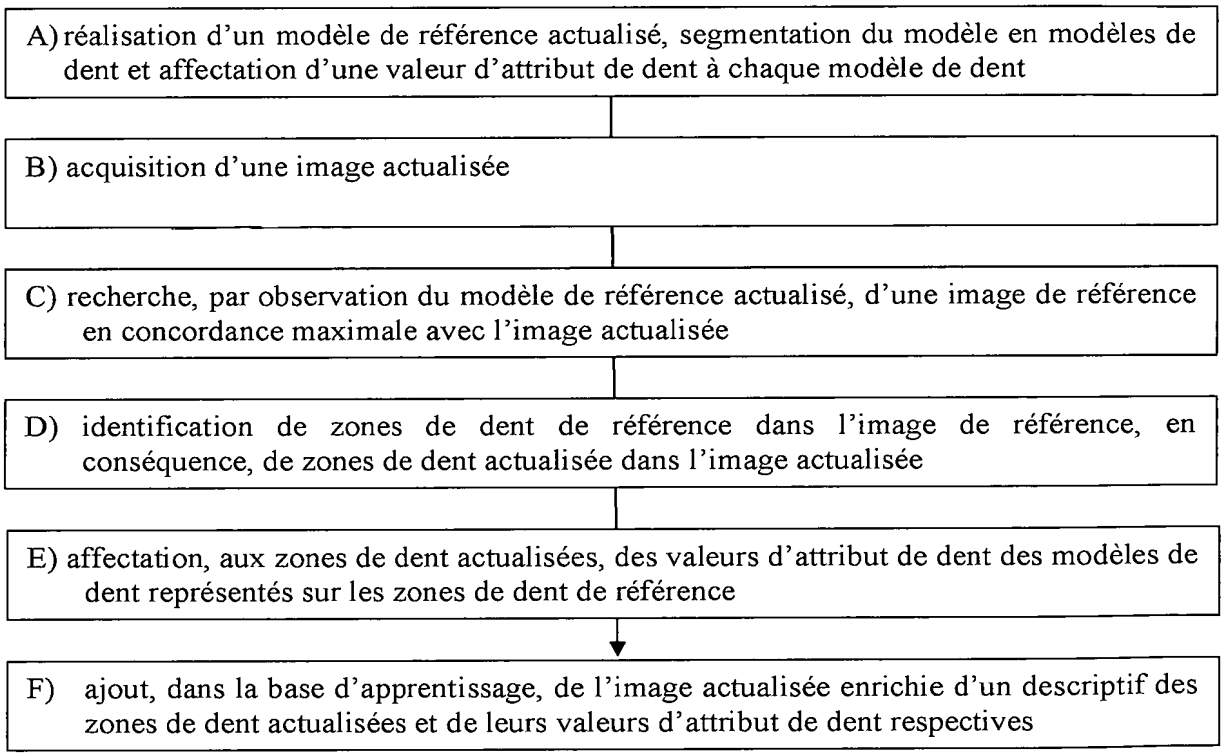

A) réalisation d'un modèle de référence actualisé, segmentation du modèle en modèles de dent et affectation d'une valeur d'attribut de dent à chaque modèle de dent
B) acquisition d'une image actualisée
C) recherche, par observation du modèle de référence actualisé, d'une image de référence en concordance maximale avec l'image actualisée
D) identification de zones de dent de référence dans l'image de référence, en conséquence, de zones de dent actualisée dans l'image actualisée
E) affectation, aux zones de dent actualisées, des valeurs d'attribut de dent des modèles de dent représentés sur les zones de dent de référence
F) ajout, dans la base d'apprentissage, de l'image actualisée enrichie d'un descriptif des zones de dent actualisées et de leurs valeurs d'attribut de dent respectives

Fig. 2

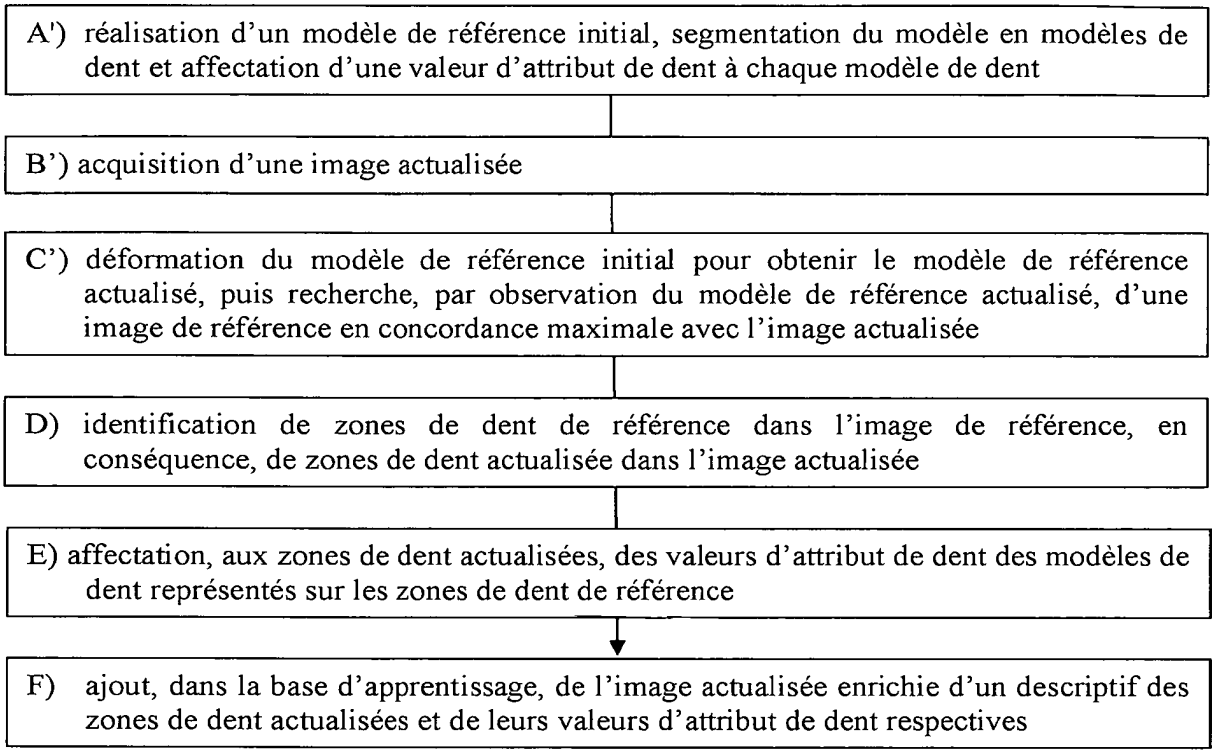

A') réalisation d'un modèle de référence initial, segmentation du modèle en modèles de dent et affectation d'une valeur d'attribut de dent à chaque modèle de dent
B') acquisition d'une image actualisée
C') déformation du modèle de référence initial pour obtenir le modèle de référence actualisé, puis recherche, par observation du modèle de référence actualisé, d'une image de référence en concordance maximale avec l'image actualisée
D) identification de zones de dent de référence dans l'image de référence, en conséquence, de zones de dent actualisée dans l'image actualisée
E) affectation, aux zones de dent actualisées, des valeurs d'attribut de dent des modèles de dent représentés sur les zones de dent de référence
F) ajout, dans la base d'apprentissage, de l'image actualisée enrichie d'un descriptif des zones de dent actualisées et de leurs valeurs d'attribut de dent respectives

Fig. 3

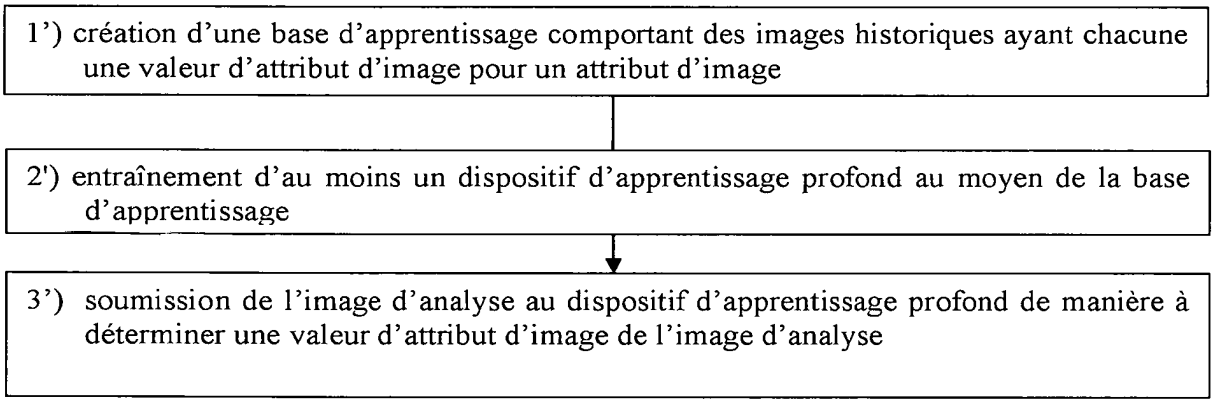

1') création d'une base d'apprentissage comportant des images historiques ayant chacune une valeur d'attribut d'image pour un attribut d'image
2') entraînement d'au moins un dispositif d'apprentissage profond au moyen de la base d'apprentissage
3') soumission de l'image d'analyse au dispositif d'apprentissage profond de manière à déterminer une valeur d'attribut d'image de l'image d'analyse

Fig. 4

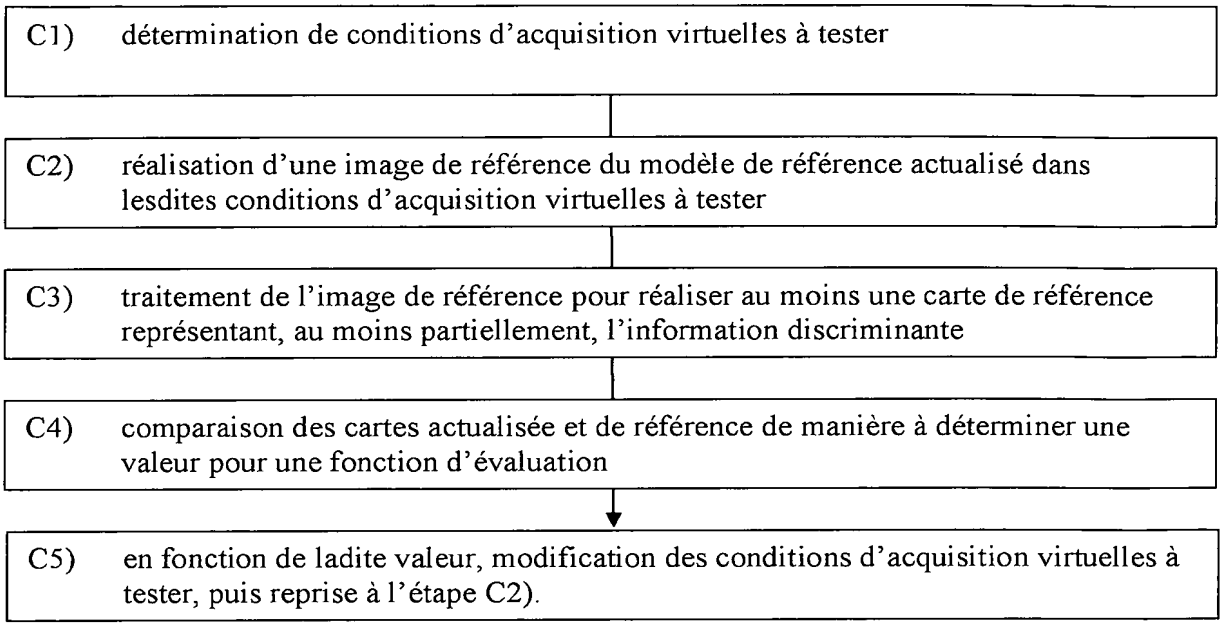

C1) détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester
C2) réalisation d'une image de référence du modèle de référence actualisé dans lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester
C3) traitement de l'image de référence pour réaliser au moins une carte de référence représentant, au moins partiellement, l'information discriminante
C4) comparaison des cartes actualisée et de référence de manière à déterminer une valeur pour une fonction d'évaluation
C5) en fonction de ladite valeur, modification des conditions d'acquisition virtuelles à tester, puis reprise à l'étape C2).

Fig. 5

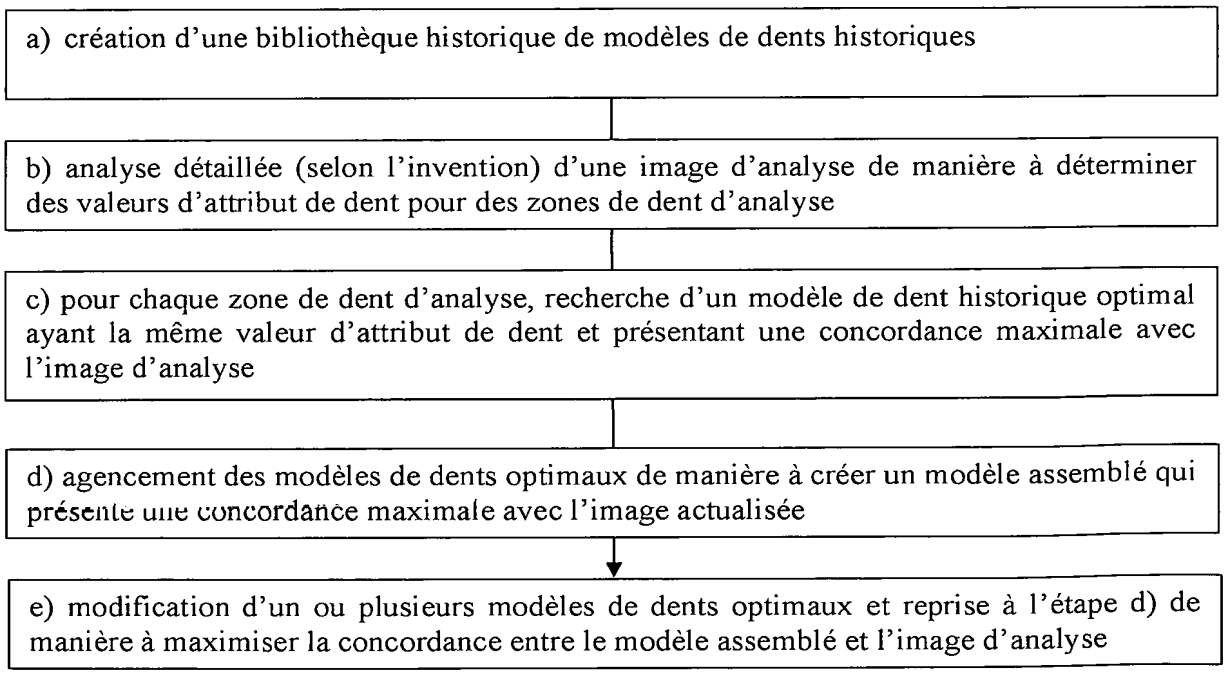

a) création d'une bibliothèque historique de modèles de dents historiques
b) analyse détaillée (selon l'invention) d'une image d'analyse de manière à déterminer des valeurs d'attribut de dent pour des zones de dent d'analyse
c) pour chaque zone de dent d'analyse, recherche d'un modèle de dent historique optimal ayant la même valeur d'attribut de dent et présentant une concordance maximale avec l'image d'analyse
d) agencement des modèles de dents optimaux de manière à créer un modèle assemblé qui présente une concordance maximale avec l'image actualisée
e) modification d'un ou plusieurs modèles de dents optimaux et reprise à l'étape d) de manière à maximiser la concordance entre le modèle assemblé et l'image d'analyse

Fig. 6

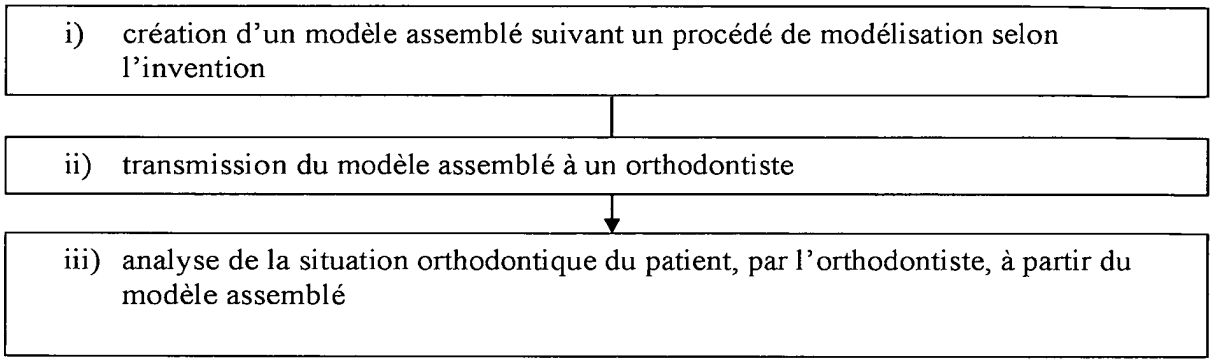

i) création d'un modèle assemblé suivant un procédé de modélisation selon l'invention
ii) transmission du modèle assemblé à un orthodontiste
iii) analyse de la situation orthodontique du patient, par l'orthodontiste, à partir du modèle assemblé

Fig. 7

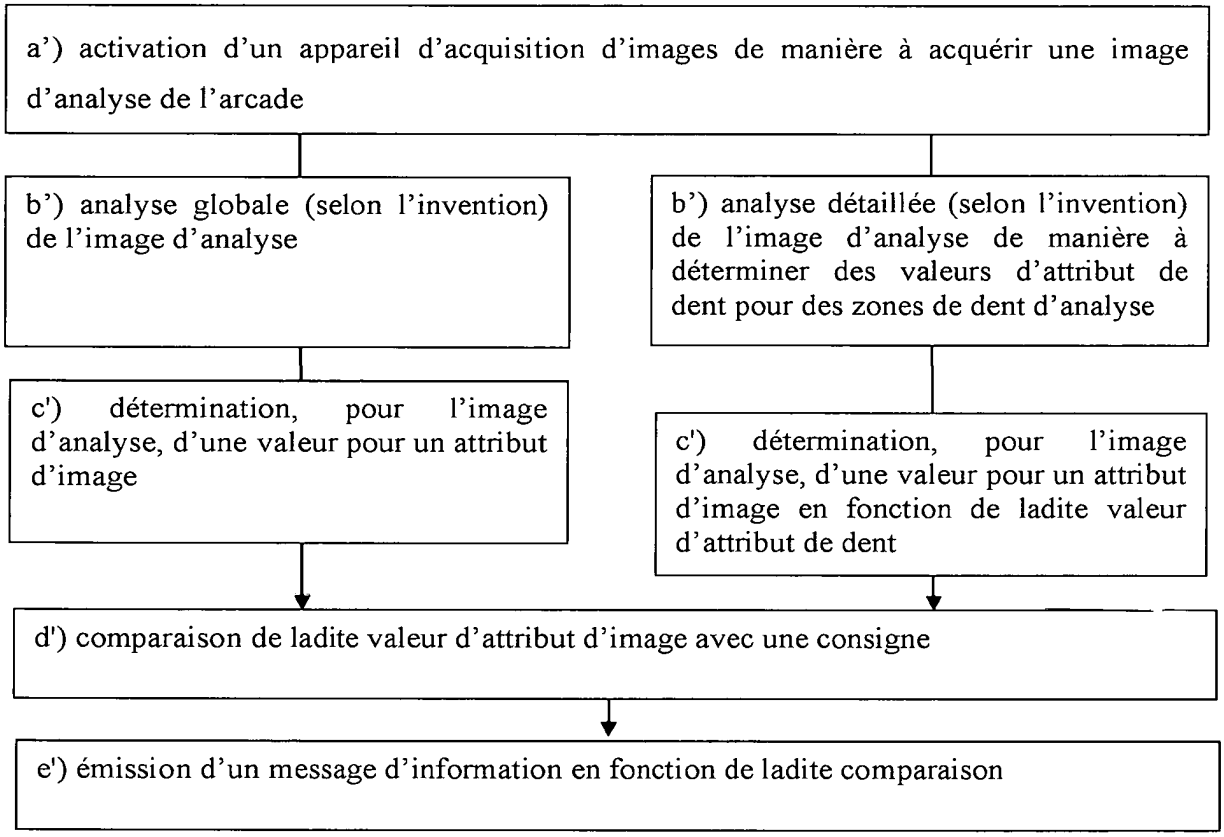

a') activation d'un appareil d'acquisition d'images de manière à acquérir une image d'analyse de l'arcade
b') analyse globale (selon l'invention) de l'image d'analyse
b') analyse détaillée (selon l'invention) de l'image d'analyse de manière à déterminer des valeurs d'attribut de dent pour des zones de dent d'analyse
c') détermination, pour l'image d'analyse, d'une valeur pour un attribut d'image
c') détermination, pour l'image d'analyse, d'une valeur pour un attribut d'image en fonction de ladite valeur d'attribut de dent
d') comparaison de ladite valeur d'attribut d'image avec une consigne
e') émission d'un message d'information en fonction de ladite comparaison

Fig. 8

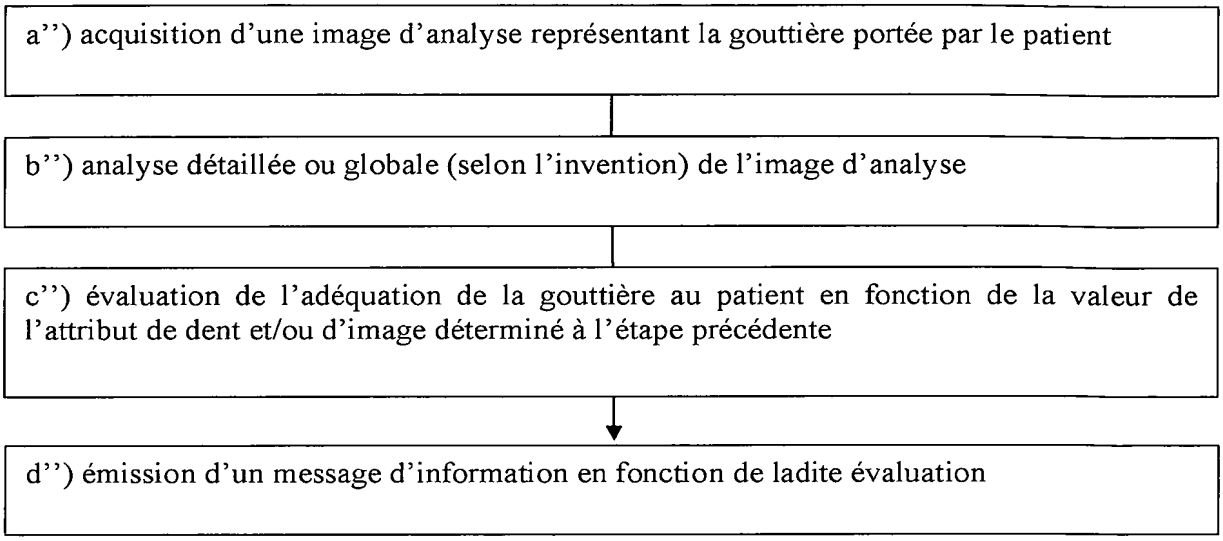

a'') acquisition d'une image d'analyse représentant la gouttière portée par le patient
b'') analyse détaillée ou globale (selon l'invention) de l'image d'analyse
c'') évaluation de l'adéquation de la gouttière au patient en fonction de la valeur de l'attribut de dent et/ou d'image déterminé à l'étape précédente
d'') émission d'un message d'information en fonction de ladite évaluation

Fig. 9

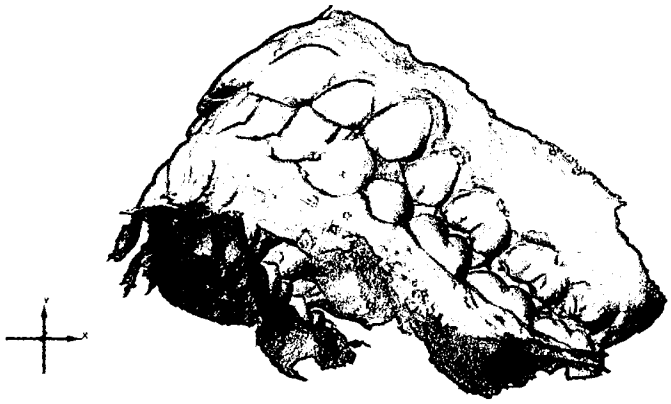


Fig.10

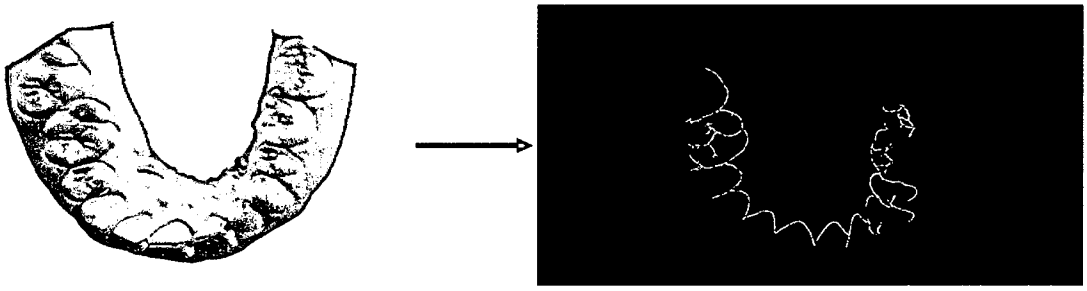


Fig. 11a

Fig. 11b



Fig. 11c

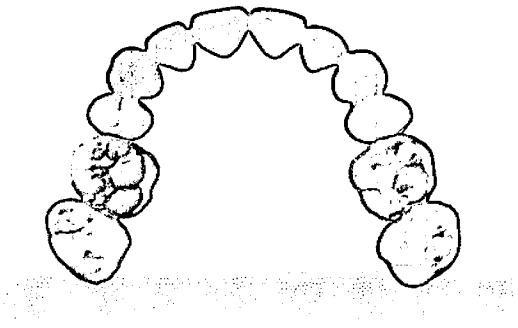


Fig. 11d

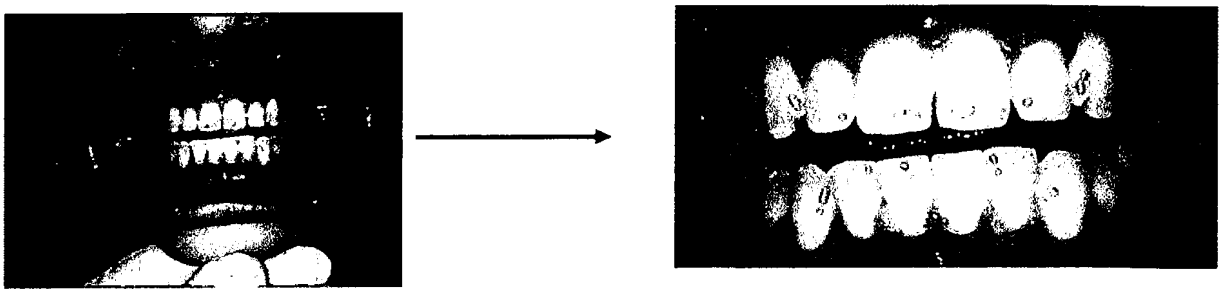


Fig. 12a

Fig. 12b

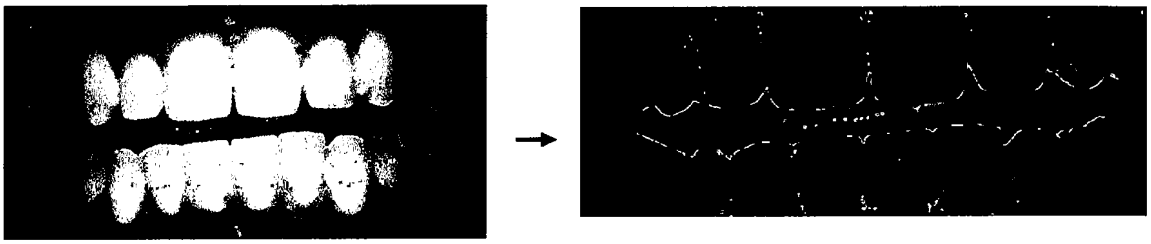


Fig. 12c

Fig. 12d

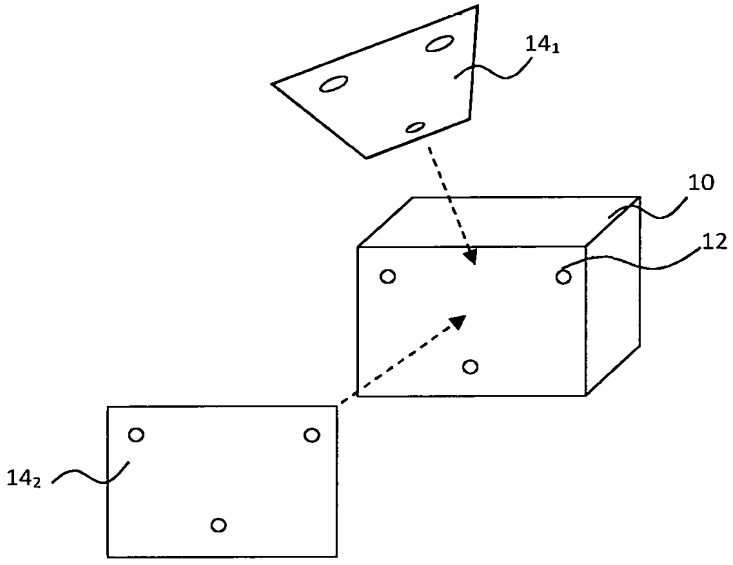


Fig. 13

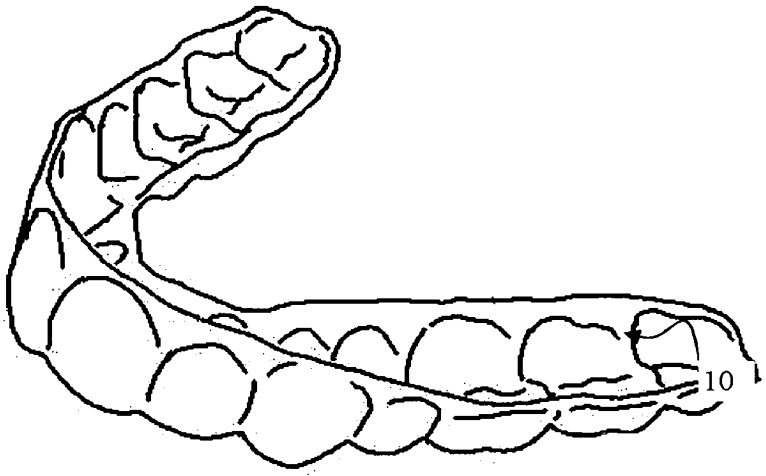


Fig. 14

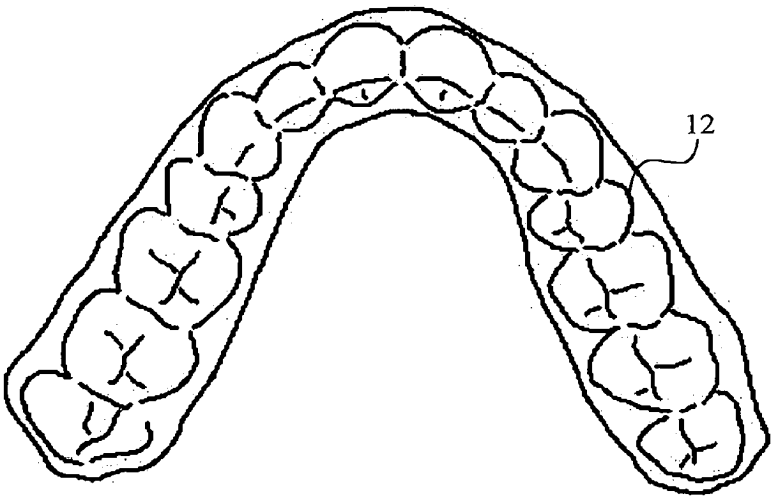


Fig. 15

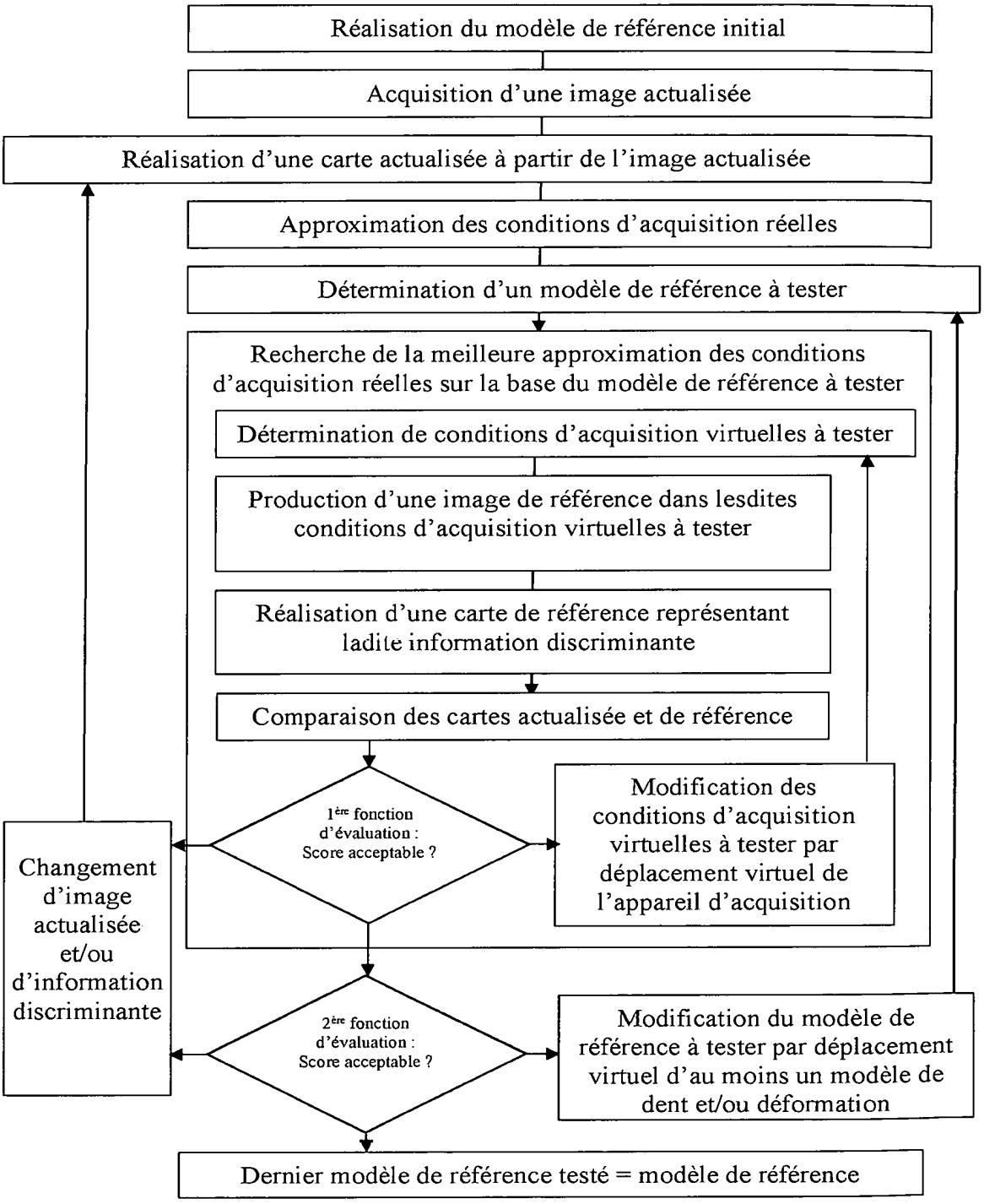

Réalisation du modèle de référence initial
Acquisition d'une image actualisée
Réalisation d'une carte actualisée à partir de l'image actualisée
Approximation des conditions d'acquisition réelles
Détermination d'un modèle de référence à tester
Recherche de la meilleure approximation des conditions d'acquisition réelles sur la base du modèle de référence à tester
Détermination de conditions d'acquisition virtuelles à tester
Production d'une image de référence dans lesdites conditions d'acquisition virtuelles à tester
Réalisation d'une carte de référence représentant ladite information discriminante
Comparaison des cartes actualisée et de référence
1ère fonction d'évaluation : Score acceptable ?
Modification des conditions d'acquisition virtuelles à tester par déplacement virtuel de l'appareil d'acquisition
Changement d'image actualisée et/ou d'information discriminante
2ère fonction d'évaluation : Score acceptable ?
Modification du modèle de référence à tester par déplacement virtuel d'au moins un modèle de dent et/ou déformation
Dernier modèle de référence testé = modèle de référence

Fig. 16

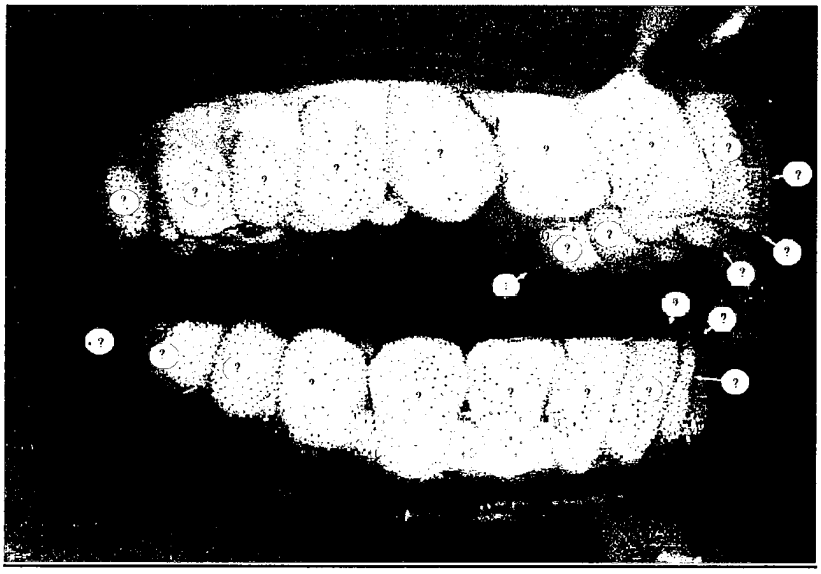


Fig. 17a

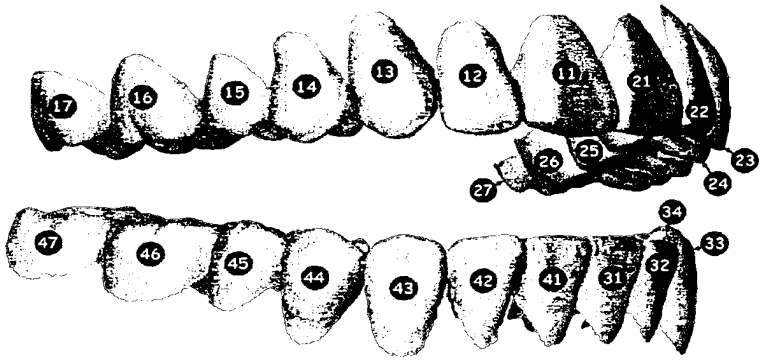


Fig. 17b

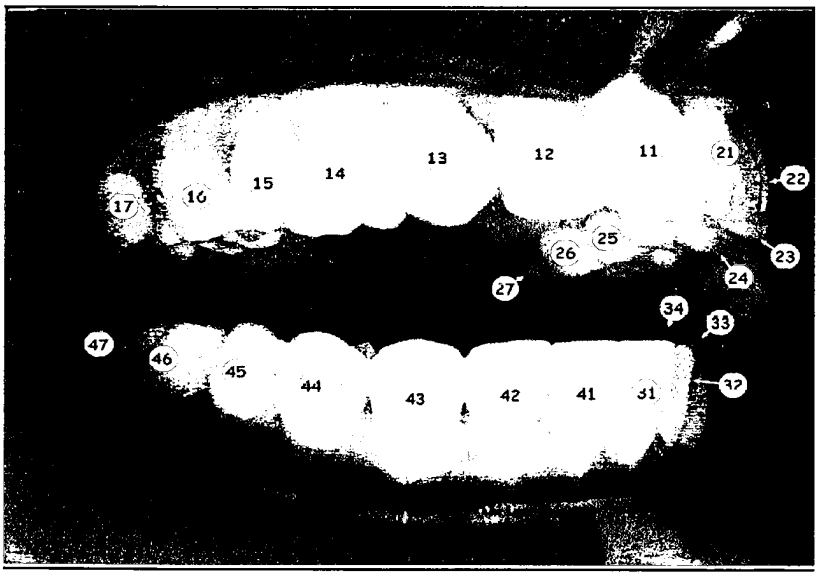


Fig. 17c

OPAP AKIMA-8
AUG 1 0 2018
PATENT & TRADEMARK OFFICE

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No.	:	16/030,137
Applicant	:	Philippe SALAH
Filed	:	July 9, 2018
Title	:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
Conf. No.	:	6210
TC/A.U.		
Examiner	:	
Customer No.	:	108676
Docket No.	:	N&P-51422

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 1756956, 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

DocCode - FRPR.SCORE

SCORE Placeholder Sheet for IFW Content

Application Number: 16030137 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.

Form Revision Date: August 26, 2013

METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Technical field

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

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.

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

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

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;
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";

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.

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.

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.

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:

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) 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;

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 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.

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 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;

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;

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".

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:

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, 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".

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 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 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, 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 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 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.

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 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.

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

- 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,
- the Fletcher and Powell method,
- the sound effects method,
- stochastic tunneling,
- random-restart hill climbing,
- the cross-entropy method, and
- 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".

"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:

- 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;
- 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;
- 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;
- 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 14_1 and 14_2, 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.

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).

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.

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 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 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.

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 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:

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;

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);

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, 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 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.

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.

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 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 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 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, 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 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 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 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 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 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 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,

- 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

- 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 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 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

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, 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)
  - 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).
- 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 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 "*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.

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",
- 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.

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.

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, 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 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".

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 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.

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";

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";

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.

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 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 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.

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 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.

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 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 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 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 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.

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 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.

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 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 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 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 22_1 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.

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 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.

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 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.

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.

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 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.

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 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 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 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 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 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 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.

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.

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.

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";

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;

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.

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.

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.

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:

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;

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;

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.

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:

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;

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 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 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 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 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 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 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 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 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.

METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Technical field

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

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.

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

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

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;
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";

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.

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.

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.

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:

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) 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;

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 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.

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 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;

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;

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".

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:

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, 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".

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 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 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, 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 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 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.

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 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.

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

- 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,
- the Fletcher and Powell method,
- the sound effects method,
- stochastic tunneling,
- random-restart hill climbing,
- the cross-entropy method, and
- 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".

"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:

- 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;
- 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;
- 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;
- 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

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 14_1 and 14_2, 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~~ 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~~ 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).

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~~ 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.

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 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 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.

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 discriminating information item.

For example, figure ~~12d~~ 12D is an updated map relating to the contour of the teeth obtained 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;

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 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);

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, 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 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.

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~~ 11A and ~~11b~~ 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 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 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 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, 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 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 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 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 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,

- 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

- 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 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 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

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, 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~~ 12A or figure ~~12b~~ 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)
  - 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).
- 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 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 "*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.

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",
- 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.

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.

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, 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 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".

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 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.

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";

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";

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.

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 isolate the representations of the teeth, as in figure ~~11d~~ 11D. Each of these representations, exhibiting a specific gray shade in figure ~~11d~~ 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 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.

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 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.

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 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 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 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 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.

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 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.

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 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 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 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 22_1 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.

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 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.

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 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.

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.

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 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.

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 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 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 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 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 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 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.

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.

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.

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";

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;

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.

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.

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.

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:

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;

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;

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.

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:

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;

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 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 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 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 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 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 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 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 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.

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	33780003
Application Number:	16030137
International Application Number:	
Confirmation Number:	6210
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-51422
Receipt Date:	20-SEP-2018
Filing Date:	09-JUL-2018
Time Stamp:	14:25:04
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	Applicant Response to Pre-Exam Formalities Notice	N-P-51422_UPPA-BwithreplacementSheets.pdf	2185262 7bf366097436b6473d5394c3473d5bceaf3541f8	no	8

Warnings:

Information:					
2	Specification	N-P-51422-SubstituteSpecificationcleanversion.pdf	266084 54b28606f7a0402c1c31428f30a583bfa3db16fa	no	47
Warnings:					
Information:					
3	Specification	N-P-51422-SubstituteSpecificationwithmarkings.pdf	266841 232c999509fe2fc512e2c26f5a03b0df6f5deed5	no	47
Warnings:					
Information:					
			Total Files Size (in bytes):	2718187	

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

APPLICATION NUMBER	FILING OR 371(C) DATE	FIRST NAMED APPLICANT	ATTY. DOCKET NO./TITLE
16/030,137	07/09/2018	Philippe SALAH	N-P-51422

CONFIRMATION NO. 6210

108676
Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131

INFORMAL NOTICE

OC000000102531779

Date Mailed: 09/25/2018

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**.

/dgela/

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
16/030,137	07/09/2018	2668	1880	N-P-51422	12	1

CONFIRMATION NO. 6210
UPDATED FILING RECEIPT

108676
Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131

OC000000102331778

Date Mailed: 09/25/2018

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 1756956 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: 07/24/2018

The country code and number of your priority application, to be used for filing abroad under the Paris Convention, is **US 16/030,137**

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 AssetsControl, 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: 16/030,137

APPLICATION AS FILED - PART I

FOR	(Column 1) NUMBER FILED	(Column 2) NUMBER EXTRA	SMALL ENTITY RATE($)	SMALL ENTITY FEE($)	OR	OTHER THAN SMALL ENTITY RATE($)	OTHER THAN SMALL ENTITY FEE($)
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), (i), 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(i))	12 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
MULTIPLE DEPENDENT CLAIM PRESENT (37 CFR 1.16(j))							0.00
* If the difference in column 1 is less than zero, enter "0" in column 2.			TOTAL			TOTAL	1720

APPLICATION AS AMENDED - PART II

		(Column 1) CLAIMS REMAINING AFTER AMENDMENT		(Column 2) HIGHEST NUMBER PREVIOUSLY PAID FOR	(Column 3) PRESENT EXTRA	SMALL ENTITY RATE($)	SMALL ENTITY ADDITIONAL FEE($)	OR	OTHER THAN SMALL ENTITY RATE($)	OTHER THAN SMALL ENTITY ADDITIONAL FEE($)
AMENDMENT A	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))									
	FIRST PRESENTATION OF MULTIPLE DEPENDENT CLAIM (37 CFR 1.16(j))							OR		
						TOTAL ADD'L FEE		OR	TOTAL ADD'L FEE	

		(Column 1) CLAIMS REMAINING AFTER AMENDMENT		(Column 2) HIGHEST NUMBER PREVIOUSLY PAID FOR	(Column 3) PRESENT EXTRA	RATE($)	ADDITIONAL FEE($)		RATE($)	ADDITIONAL FEE($)
AMENDMENT B	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))									
	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.

Doc Code: PA..
Document Description: Power of Attorney

PTO/AIA/82A (07-13)
Approved for use through 11/30/2014. OMB 0651-0051
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 displays a valid OMB control number.

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/AIA82B identifies the application to which the Power of Attorney is directed, the Power of Attorney will not be recognized in the application.

Application Number	16/030,137
Filing Date	July 9, 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-51422

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.**

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 and select option 2.

Doc Code: PA..
Document Description: Power of Attorney

PTO/AIA/82B (07-13)
Approved for use through 11/30/2014. OMB 0651-0051
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 displays a valid OMB control number

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)	04/07/2014
Name	PHILIPPE SALTI		
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:	33801943
Application Number:	16030137
International Application Number:	
Confirmation Number:	6210
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-51422
Receipt Date:	24-SEP-2018
Filing Date:	09-JUL-2018
Time Stamp:	11:16:28
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	1004355 b5046f0d7f6e5f07c51a1ae364eeaecf57e307d5	no	2

Warnings:

Information:	
Total Files Size (in bytes):	1004355

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.

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl No.	: 16/030,137
Applicant	: Philippe SALAH et al.
Filing Date	: July 9, 2018
Title	: METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
Conf. No.	: 6210
Customer No.	: 108676
Docket No	: N&P-51422

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.

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

It is noted that the Notice requires selection of an option from among three options. To comply with this requirement, Applicant hereby selects option III (Accept application as deposited).

As some discussion: The Notice within the subject application appears very different from similar Notices for sister applications (i.e., Appl no.: 16/030,032 16/031,125, 16/031,172, 16/031,201). It is believed that such is due to an assertion for the subject application that figure 17 is completely missing. Please note that there was simply an inconsistency in the usage of figure 17 vs. figure 17a, figure 17b and figure 17c. Nothing was missing from the drawing set. The content of the application, as filed, is accepted.

Within the present application, as similar to the action taken with the sister applications, the above-mentioned inconsistency of usage is corrected. Specifically, a Substitute Specification is provided that removes the inconsistency.

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 20, 2018

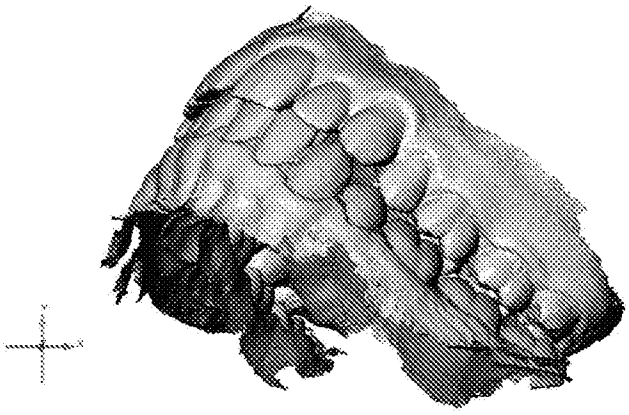


Fig.10

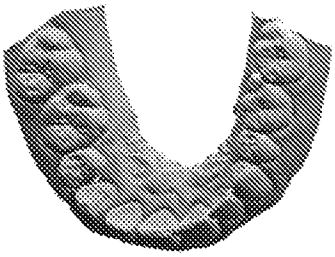


Fig. 11A

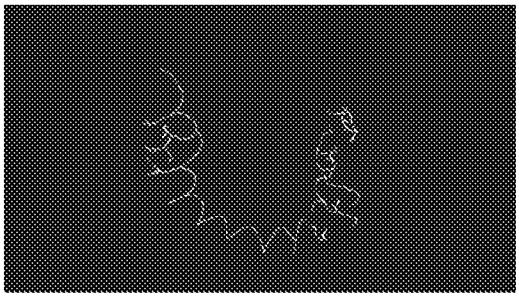


Fig. 11B



Fig. 11C

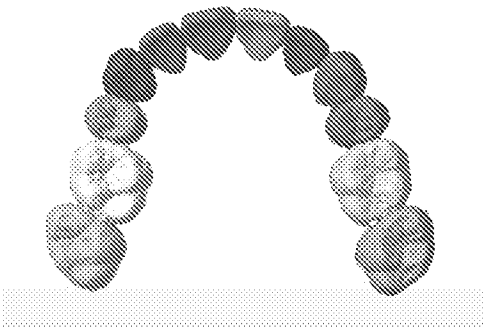


Fig. 11D

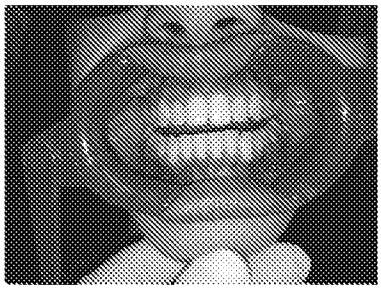


Fig. 12A

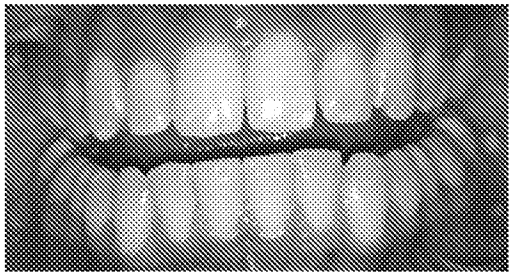


Fig. 12B

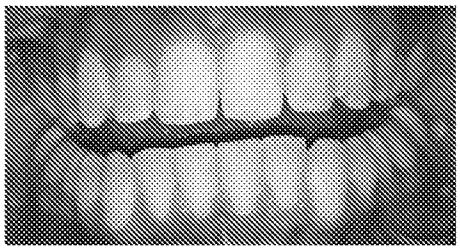


Fig. 12C

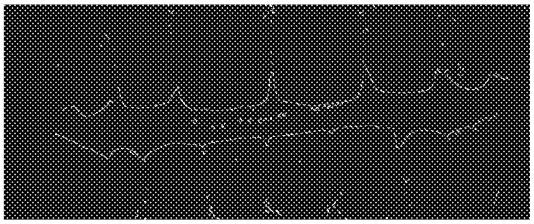


Fig. 12D

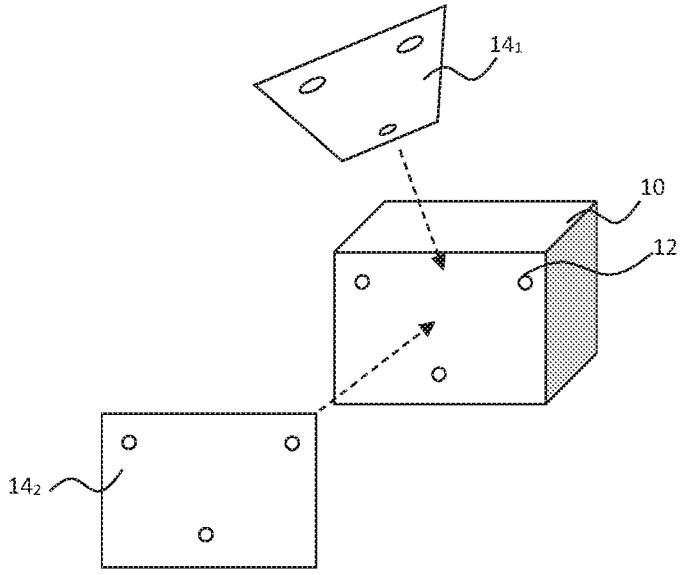


Fig. 13

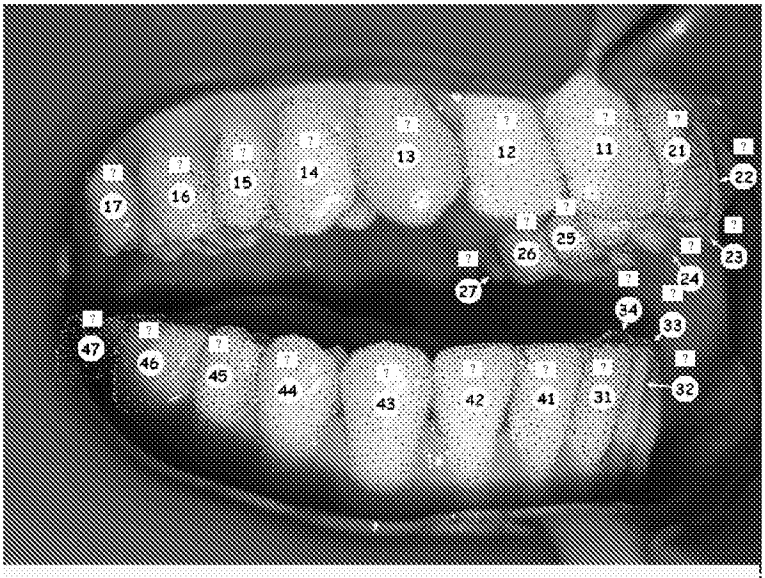


Fig. 17A

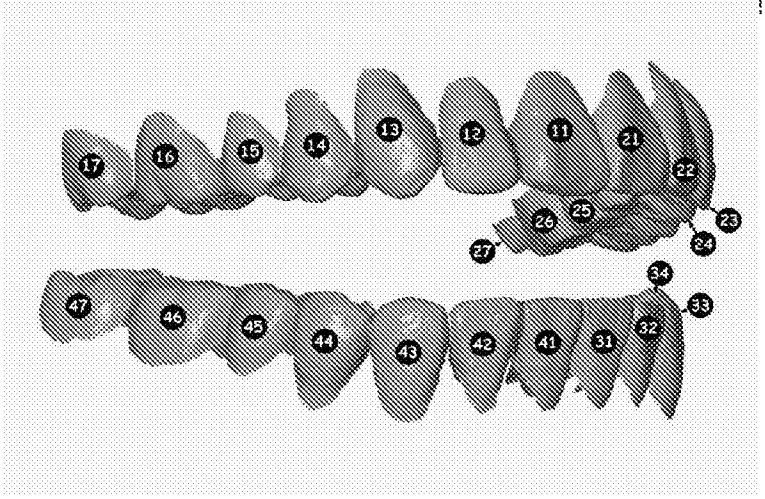


Fig. 17B

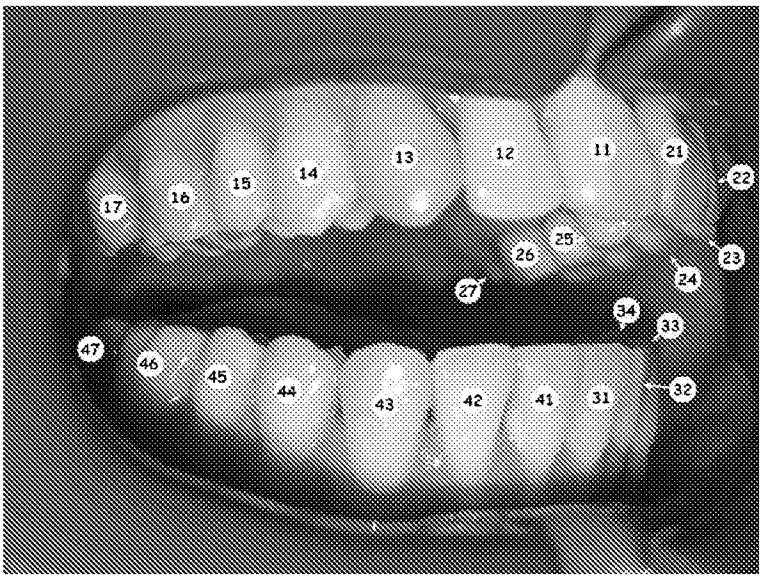


Fig. 17C

Letter dated: September 21, 2018

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No.	: 16/030,137
Applicant	: Philippe SALAH
Filing Date	: July 9, 2018
Title	: METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
Conf. No.	: 6210
Customer No.	: 108676
Docket No	: N&P-51422

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

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-51422.

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:	33814929
Application Number:	16030137
International Application Number:	
Confirmation Number:	6210
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-51422
Receipt Date:	25-SEP-2018
Filing Date:	09-JUL-2018
Time Stamp:	09:36:23
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-51422-LetterreDisclosure.pdf	61054 84237507da059db4b6eae0848d41a6fb59eb8849	no	3

Warnings:

Information:	
Total Files Size (in bytes):	61054

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.

To: patdoc@cooperlegalgroup.com,,
From: PAIR_eOfficeAction@uspto.gov
Cc: PAIR_eOfficeAction@uspto.gov
Subject: Private PAIR Correspondence Notification for Customer Number 108676

Sep 25, 2018 03:37:01 AM

Dear PAIR Customer:

Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131
UNITED STATES

The following USPTO patent application(s) associated with your Customer Number, 108676 , have new outgoing correspondence. This correspondence is now available for viewing in Private PAIR.

The official date of notification of the outgoing correspondence will be indicated on the form PTOL-90 accompanying the correspondence.

Disclaimer:
The list of documents shown below is provided as a courtesy and is not part of the official file wrapper. The content of the images shown in PAIR is the official record.

Application	Document	Mailroom Date	Attorney Docket No.
16030137	M327	09/25/2018	N-P-51422
	APP.FILE.REC	09/25/2018	N-P-51422

To view your correspondence online or update your email addresses, please visit us anytime at https://sportal.uspto.gov/secure/myportal/privatepair.

If you have any questions, please email the Electronic Business Center (EBC) at EBC@uspto.gov with 'e-Office Action' on the subject line or call 1-866-217-9197 during the following hours:

Monday - Friday 6:00 a.m. to 12:00 a.m.

Thank you for prompt attention to this notice,

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

PATENT APPLICATION INFORMATION RETRIEVAL SYSTEM

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
16/030,137	07/09/2018	Philippe SALAH	N&P-51422

CONFIRMATION NO. 6210

POA ACCEPTANCE LETTER

108676
Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131

OC00000102601749

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**.

/mabebe/

PTO/AIA/01 (08-12)
Approved for use through 01/31/2014. OMB 0651-0032
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 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

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 16/030,137 filed on July 9, 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

PTO/AIA/01 (06-12)
Approved for use through 01/31/2014. OMB 0651-0032
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 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

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 16/030,137 filed on July 9, 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: Thomas PELLISSARD Date (Optional): 08/24/18

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.



PTO/AIA/01 (06-12)
Approved for use through 01/31/2014. OMB 0651-0032
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 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

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 16/030,137 filed on July 9, 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): 08/24/2021

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.

PTO/AIA/01 (08-12)
Approved for use through 01/31/2014. OMB 0651-0032
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 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

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 16/030,137 filed on July 9, 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.

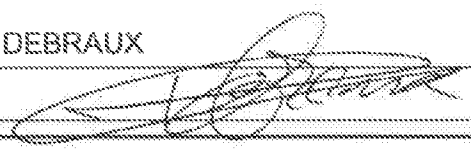
I hereby acknowledge that any willful false statement made in this declaration is punishable under 18 U.S.C. 1001 by fine or imprisonment of not more than five (5) years, or both.

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: Laurent DEBRAUX Date (Optional): 8/24/18

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, magisirate, 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:	34020766
Application Number:	16030137
International Application Number:	
Confirmation Number:	6210
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-51422
Receipt Date:	16-OCT-2018
Filing Date:	09-JUL-2018
Time Stamp:	11:49:37
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	Oath or Declaration filed	Declaration.pdf	1716321 dd5d09ac2866632afcf9fc944c385ff8c72f0b a8	no	8

Warnings:

Information:	
Total Files Size (in bytes):	1716321

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	16030137	Receipt Date	Sep 20, 2018

X	New Application		Response To Notice	Date Of Response

[ ] Jumbo – Large tables are included on the CD

[X] **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: 16030137 Document Date: 09/20/2018

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.

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
16/030,137	07/09/2018	Philippe SALAH	N&P-51422

CONFIRMATION NO. 6210

108676
Ronald M. Kachmarik
Cooper Legal Group LLC
6505 Rockside Rd.
Suite 330
Independence, OH 44131

PUBLICATION NOTICE

OC00000105307815

Title:METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Publication No.US-2019-0026893-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 Managment, 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.	:	16/030,137
Applicant	:	Philippe SALAH
Filing Date	:	July 9, 2018
Title	:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
Examiner Name	:	Matthew C. Bella
Group Art Unit	:	2667
Conf. No.	:	6210
Customer No.	:	108676
Docket No	:	N&P-51422

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

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-51422.

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:	36347796
Application Number:	16030137
International Application Number:	
Confirmation Number:	6210
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-51422
Receipt Date:	19-JUN-2019
Filing Date:	09-JUL-2018
Time Stamp:	15:19:29
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-51422-Ltr-Disclosure.pdf	61528 aa811c4a6354fd8097c1113095e932b61f3acc33	no	3

Warnings:

Information:	
Total Files Size (in bytes):	61528

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.

Letter dated: September 23, 2019

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No.	:	16/030,137
Applicant	:	Philippe SALAH
Filing Date	:	July 9, 2018
Title	:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
Examiner Name	:	Matthew C. Bella
Group Art Unit	:	2667
Conf. No.	:	6210
Customer No.	:	108676
Docket No	:	N&P-51422

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

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-51422.

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:	37244858
Application Number:	16030137
International Application Number:	
Confirmation Number:	6210
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-51422
Receipt Date:	23-SEP-2019
Filing Date:	09-JUL-2018
Time Stamp:	15:56:38
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	Miscellaneous Incoming Letter	N-P-51422-Ltr-Disclosure_9-23-19.pdf	61424 50814a0aeb1e50f3f663cd0ab731cdbdc393815e	no	3

Warnings:

Information:	
Total Files Size (in bytes):	61424

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.

PTO/SB/06 (09-11)
Approved for use through 1/31/2014. OMB 0651-0032
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 displays a valid OMB control number.

PATENT APPLICATION FEE DETERMINATION RECORD Substitute for Form PTO-875	Application or Docket Number 16/030,137	Filing Date 07/09/2018	☐ To be Mailed

ENTITY: ☑ LARGE ☐ SMALL ☐ MICRO

APPLICATION AS FILED - PART I

FOR	(Column 1) NUMBER FILED	(Column 2) 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	07/09/2018	CLAIMS REMAINING AFTER AMENDMENT		HIGHEST NUMBER PREVIOUSLY PAID FOR	PRESENT EXTRA		RATE ($)	ADDITIONAL FEE ($)
	Total (37 CFR 1.16(i))	* 12	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.	LIE
** If the "Highest Number Previously Paid For" IN THIS SPACE is less than 20, enter "20".	/MYRTLE B LEIGH/
*** 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 NO.	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR	ATTORNEY DOCKET NO.	CONFIRMATION NO.
16/030,137	07/09/2018	Philippe SALAH	N&P-51422	6210

108676 7590 02/27/2020

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
02/27/2020	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

Office Action Summary	Application No. 16/030,137	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 7/9/2018.

☐ 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) 1-12 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) 1-6 and 9-12 is/are rejected.

8) ☑ Claim(s) 7-8 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 7/9/2018 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, 5, 6 and 9 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 9, 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, "the aligner represented on the analysis image, and/or for an image attribute of the analysis image", image attribute relating to a separation between at least one tooth represented on the analysis image.

Examiner indicated, as an example regarding claim 1, limitation of "and/or", the specification should disclose three independent embodiments.

[I] One embodiment should disclose "the aligner represented on the analysis image".

[II], Second embodiment should disclose "an image attribute of the analysis image".

[III], Third embodiment teaches "the aligner represented on the analysis image and an image attribute.

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 1-4 are rejected under 35 U.S.C. 102(a) (1) as being anticipated by Matov (U.S. Pub No: 2013/0230818 A1).

Regarding claim 1, Matov discloses a method for assessing the shape of an orthodontic aligner, said method comprising the following steps (see abstract, method and system for establishing an initial position of a tooth, determining a target position of the tooth in a treatment plan, calculating a movement vector associated with the tooth movement from the initial position to the target position, determining a plurality of components corresponding to the movement vector, and determining a corresponding one or more positions of a respective one or more attachment devices relative to a surface plane of the tooth such that the one or more attachment devices engages with a dental appliance are provided);

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 (see page 11, paragraph [0135] FIGS. 11A-11B illustrate an initial tooth position with a positioned dental appliance, and a resulting undesirable force vector, respectively. Referring to the Figures, in an example where the tooth as shown is being moved in a facial direction along the x-direction, upon positioning of the dental appliance such as the polymeric shell aligner, over the tooth, the aligner shape

geometry is configured to apply a predetermined force upon the tooth to reposition the tooth in accordance with a treatment plan for the particular treatment stage. For example, as shown in FIG. 11B, the dental appliance is configured to engage the tooth to reposition the tooth in the x-direction as shown, but, rather, results in the application of a predetermined force in the +x/-z direction as shown and illustrated by the arrow);

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" representing, at least partially, a tooth on said 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 (see pages 4-5, paragraphs, [0068-0069] 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 (refer to learning base).

Also page 5, paragraph, [0078] the output streams or results 4 of FIG. 1A are used as feedback in improving dental appliance design and/or usage by doctors. For example, the data mining results can be used to evaluate performance based on staging approaches, to compare appliance performance indices based on treatment approaches, and to evaluate performance comparing different attachment shapes and positions on teeth. Finally pages 7-8 paragraph,

[0104] FIG. 2B illustrates a process 200 implementing the appliance-calculation step (FIG. 2A, step 170) for polymeric shell aligners of the kind described in above-mentioned U.S. Pat. No. 5,975,893. Inputs to the process include an initial aligner shape 202, various control parameters 204, and a desired end configuration for the teeth at the end of the current treatment path segment 206. Other inputs include digital models of the teeth in position in the jaw, models of the jaw tissue, and specifications of an initial aligner shape and of the aligner material. Using the input data, the process creates a finite element model of the aligner, teeth and tissue, with the aligner in place on the teeth (step 210). Next, the process applies a finite element analysis to the composite finite element model of aligner, teeth and tissue (step 220). The analysis runs until an exit condition is reached, at which time the process evaluates whether the teeth have reached the desired end position for the current path segment, or a position sufficiently close to the desired end position (step 230). If an acceptable end position is not reached by the teeth, the process calculates a new candidate aligner shape (step 240). If an acceptable end position is reached, the motions of the teeth calculated by the finite elements analysis are evaluated to determine whether they are orthodontically acceptable (step 232). If they are not, the process also proceeds to calculate a new candidate aligner shape (step 240). If the motions are orthodontically acceptable and the teeth have reached an acceptable position, the current aligner shape is compared to the previously calculated aligner shapes. If the current shape is the best solution so far (decision step 250), it is saved as the best candidate so far (step 260). If not, it is saved in an optional step as a possible intermediate result (step 252). If the current aligner shape is the best candidate so far, the process determines whether it is good enough to be accepted (decision step 270). If it is, the process exits. Otherwise, the process continues and calculates another candidate shape (step 240)

for analysis).

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 (see page 11, paragraph [0135] FIGS. 11A-11B illustrate an initial tooth position with a positioned dental appliance, and a resulting undesirable force vector, respectively. Referring to the Figures, in an example where the tooth as shown is being moved in a facial direction along the x-direction, upon positioning of the dental appliance such as the polymeric shell aligner, over the tooth, the aligner shape geometry is configured to apply a predetermined force upon the tooth to reposition the tooth in accordance with a treatment plan for the particular treatment stage. For example, as shown in FIG. 11B, the dental appliance is configured to engage the tooth to reposition the tooth in the x-direction as shown, but, rather, results in the application of a predetermined force in the +x/-z direction as shown and illustrated by the arrow. Also page paragraph, [0138] FIG. 12 illustrates a modified dental appliance geometry including an additional shape modification to remove a gap between the dental appliance and the tooth. Referring to FIG. 12, it is to be noted that while the modification of the aligner shape geometry (for example, discussed above in conjunction with FIGS. 11C-11D), results in the desired predetermined force applied upon the tooth as planned for the dental treatment, there may be a gap or pocket that forms between the tooth and the aligner, for example, as shown in FIG. 12, near the gingival area. In one aspect, to account for this gap (separation) or pocket generated, the aligner shape geometry may be further modified or optimized, for example, to better adapt in the direction towards the tooth when the aligner is in the active (or stretched) state).

Regarding claim 2, Matov discloses the method as claimed in claim 1, comprising, after the step b"), step c") as follows: c") assessment of the suitability of the aligner as a function of

the value of said tooth or image attribute (see claim 1, also page 3, paragraph, [0057] 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.sup.2 that is obtained from a regression computation of "Achieved" and "Goal" data. Also page 12, paragraph, [0149] additionally, in one aspect, there is provided an interactive analysis process where minute or small localized changes are introduced into the aligner shape geometry, and wherein the effect of the resulting force profile is compared to the desired force, for example, in each treatment stage of a treatment plan, and repeated if the result is closer to the target profile, and ignored if the results move away or deviate further from the target profile. This may be repeated for each treatment stage of the treatment plan such that the series of dental appliances or aligners are each optimized in its respective shape geometry to improve treatment results).

Regarding claim 3, Matov discloses the method as claimed in claim 2, in which, in the step b"), all said analysis tooth zones are identified, and the tooth attribute value 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 (see page 14, paragraph, [0171] FIG. 21 is a flowchart illustrating the optimized shape geometry of the dental appliance. Referring to FIG. 21, at step 2110, the initial position of the tooth is determined. Thereafter, at step 2120, the target position

of the tooth based on the treatment plan is determined. In one aspect, the target position may include the next or n+1 treatment stage tooth position. Referring back to FIG. 21, after determining the target position of the tooth based on the treatment plan, a movement vector associated with the tooth movement from the initial position to the target position is calculated or determined at step 2130. That is, a force profile or attribute is determined which includes, for example, the magnitude of the force and the direction of the force, for example, that is associated with the tooth movement from the initial position to the target position).

Regarding claim 4, Matov discloses the method as claimed in claim 1, 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 10, paragraphs, [0122-0124] as was mentioned above, the process 600 is defined and parameterized by various items of input data (step 602). In one implementation, this initializing and defining data includes the following items: an iteration limit for the outer loop of the overall process; specification of figures of merit that are calculated to determine whether an aligner is good enough (see FIG. 2B, step 270); a specification of the aligner material; a specification of the constraints that the shape or configuration of an aligner must satisfy to be acceptable; a specification of the forces and positioning motions and velocities that are orthodontically acceptable; an initial treatment path, which includes the motion path for each tooth and a segmentation of the treatment path into segments, each segment to be accomplished by one aligner; a specification of the "shapes" and positions of any anchors installed on the teeth or otherwise; and a specification of a model for the jaw bone and other tissues in or on which the teeth are situated (in the implementation being described, this model consists of a model of a viscous substrate fluid in which the teeth are embedded and which has

boundary conditions that essentially define a container for the fluid). FIG. 7 is an exemplary diagram of a statistical root model. As shown therein, using the scanning processes described above, a scanned upper portion 701 of a tooth is identified. The scanned upper portion, including the crown, is then supplemented with a modeled 3D root. The 3D model of the root can be statistically modeled. The 3D model of the root 702 and the 3D model of the upper portion 700 together form a complete 3D model of a tooth. FIG. 8 shows exemplary diagrams of root modeling, as enhanced using additional dental information. In FIG. 8, the additional dental information is X-ray information. An X-ray image 710 of teeth is scanned to provide a 2D view of the complete tooth shapes. An outline of a target tooth is identified in the X-Ray image. The model 712 as developed in FIG. 7 is modified in accordance with the additional information. In one embodiment, the tooth model of FIG. 7 is morphed to form a new model 714 that conforms with the X-ray data. Also paragraph, [0129] in one embodiment, the system determines a surface area for each tooth model. The system then sums all surface areas for all tooth models to be moved. Next, the system sums all surface areas of all tooth models on the arch. For each stage of teeth movement, the system checks that a predetermined area ratio or constraint is met while the tooth models are moved. In one implementation, the constraint can be to ensure that the surface areas of moving teeth are less than the total surface areas of teeth on an arch supporting the teeth being moved. If the ratio is greater than a particular number such as 50%, the system indicates an error signal to an operator to indicate that the teeth should be moved on a slower basis).

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 5-6 and 9 are rejected under 35 U.S.C. 103(a) as being unpatentable over Matov (U.S. Pub No: 2013/0230818 A1) in view of Kuo (U.S. Pub No: 2015/0132708 A1).

Regarding claim 5, Matov discloses (see claim 1, also pages 4-5, paragraphs, [0068-0069] 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 (refer to learning base).

Also pages 7-8 paragraph, [0104] FIG. 2B illustrates a process 200 implementing the appliance-calculation step (FIG. 2A, step 170) for polymeric shell aligners of the kind described in above-mentioned U.S. Pat. No. 5,975,893. Inputs to the process include an initial aligner shape 202, various control parameters 204, and a desired end configuration for the teeth at the end of the current treatment path segment 206. Other inputs include digital models of the teeth in position in the jaw, models of the jaw tissue, and specifications of an initial aligner shape and of the aligner material. Using the input data, the process creates a finite element model of the aligner, teeth and tissue, with the aligner in place on the teeth (step 210). Next, the process applies a finite element analysis to the composite finite element model of aligner, teeth and tissue

(step 220). The analysis runs until an exit condition is reached, at which time the process evaluates whether the teeth have reached the desired end position for the current path segment, or a position sufficiently close to the desired end position (step 230). If an acceptable end position is not reached by the teeth, the process calculates a new candidate aligner shape (step 240). If an acceptable end position is reached, the motions of the teeth calculated by the finite elements analysis are evaluated to determine whether they are orthodontically acceptable (step 232). If they are not, the process also proceeds to calculate a new candidate aligner shape (step 240). If the motions are orthodontically acceptable and the teeth have reached an acceptable position, the current aligner shape is compared to the previously calculated aligner shapes. If the current shape is the best solution so far (decision step 250), it is saved as the best candidate so far (step 260). If not, it is saved in an optional step as a possible intermediate result (step 252). If the current aligner shape is the best candidate so far, the process determines whether it is good enough to be accepted (decision step 270). If it is, the process exits. Otherwise, the process continues and calculates another candidate shape (step 240) for analysis).

But does not explicitly state the limitation of claim "a learning base comprising more than 1000 images".

On the other hand Kuo in the same field of providing dynamic orthodontic assessment and treatment teaches (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. 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).

Therefore, it would have been obvious to one having ordinary skill in the art at the time the invention was made to modify the Matov invention according to the teaching of Kuo because to combine "the Neural Network images that is taught by the Matov invention according to the teaching taught by Kuo to include 1,000 images, would provide a more extensive Neural Network database for fitting aligners and teeth in orthodontic procedures).

With regard to claims 6 and 9 the arguments analogous to those presented above for claims 1, 5 are respectively applicable to claim 6 and 9.

7. Claims 10-12 are rejected under 35 U.S.C. 103(a) as being unpatentable over Matov (U.S. Pub No: 2013/0230818 A1) in view of Borovinskih et al (Pub. No: U.S. 2017/0049311 A1).

Regarding claim 11, Matov discloses (see page 18, paragraph, [0229] to provide for

interaction with a user, the invention can be implemented using a computer system having a display device such as a monitor or LCD (liquid crystal display) screen for displaying information to the user and input devices by which the user can provide input to the computer system such as a keyboard, a two-dimensional pointing device such as a mouse or a trackball, or a three-dimensional pointing device such as a data glove or a gyroscopic mouse. The computer system can be programmed to provide a graphical user interface through which computer programs interact with users. The computer system can be programmed to provide a virtual reality, three-dimensional display interface).

But does not explicitly state, limitation of claim "the cellphone is used to acquire the image".

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 Matov invention according to the teaching of Borovinskih because to combine "the central server to communicate with the terminal and display information to the user that may be performed over the internet that is taught by the Matov 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.

With regard to claims 10 and 12 the arguments analogous to those presented above for claims 1, 11 are respectively applicable to claims 10 and 12.

Allowable Subject Matter

Claims 7 and 8 are objected to as being dependent upon a rejected base claim, but would be allowable if rewritten in independent form including all of the limitations of the base claim and any intervening claims.

Contact Information

8. 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. 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
February 21, 2020

Notice of References Cited	Application/Control No. 16/030,137	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-20130230818-A1	09-2013	Matov; Vadim	A61C7/00	433/3
*	B	US-20170049311-A1	02-2017	Borovinskih; Artem	G06T5/20	1/1
*	C	US-20160310097-A1	10-2016	BAE; Woong	A61B6/032	1/1
*	D	US-20180168780-A1	06-2018	Kopelman; Avi	A61C1/0015	1/1
*	E	US-20150132708-A1	05-2015	Kuo; Eric E.	A61C7/002	433/24
	F					
	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.	Applicant(s)/Patent Under Reexamination
	16/030,137	SALAH et al.
	Examiner	Art Unit
	SEYED H AZARIAN	2667

CPC - Searched*		
Symbol	Date	Examiner

CPC Combination Sets - Searched*		
Symbol	Date	Examiner
A61C 7/00	2/15/2020	S.A
G06K 9/00	2/15/2020	S.A

US Classification - Searched*			
Class	Subclass	Date	Examiner
382	100,103,106,128-131,154-155,162,168,173,181,199,219,224,232,254,285-291,395,318.	2/15/2020	S.A
1	1	2/15/2020	S.A
705	2	2/15/2020	S.A
433	3,24,215	2/16/2020	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	2/15/2020	S.A

Interference Search			
US Class/CPC Symbol	US Subclass/CPC Group	Date	Examiner

/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	

Search Notes	Application/Control No.	Applicant(s)/Patent Under Reexamination
	16/030,137	SALAH et al.
	Examiner	Art Unit
	SEYED H AZARIAN	2667

/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	

Index of Claims	Application/Control No.	Applicant(s)/Patent Under Reexamination
	16/030,137	SALAH et al.
	Examiner	Art Unit
	SEYED H AZARIAN	2667

✓	Rejected	-	Cancelled	N	Non-Elected	A	Appeal
=	Allowed	÷	Restricted	I	Interference	O	Objected

CLAIMS

☐ Claims renumbered in the same order as presented by applicant ☐ CPA ☐ T.D. ☐ R.1.47

CLAIM		DATE								
Final	Original	02/23/2020								
	1	✓								
	2	✓								
	3	✓								
	4	✓								
	5	✓								
	6	✓								
	7	O								
	8	O								
	9	✓								
	10	✓								
	11	✓								
	12	✓								

Doc code: IDS
Doc description: Information Disclosure Statement (IDS) Filed

PTO/SB/08a (01-10)
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-51422

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.	

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	Para [0066]-[0070]; Para [0035]
	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] i	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]

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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-51422

	1	2016066651	WO	A1	2016-05-06	Salah et al.		☐
	2	2017182654	WO	A1	2017-10-26	Salah et al.	Pg. 57, Ln.15-Pg.62, Ln.3	☐
	3	3027505	FR	A1	2016-04-29	Salah et al.		☐
	4	3010629	FR	A1	2015-03-20	Salah et al.		☐
	5	2017094181	JP	A	2017-06-01	Matov et al.	See corresponding US 2009/191503; Para [0065]-[0074]; Para [0101]-[0119]; Para [0195]-[0198]	☐

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.: 1756956, French Search Report, dated March 23, 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]; Entire Document	☐
	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	☐

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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-51422

	5	LIN P L ET AL: "An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using teeth region and contour infonmation", 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]	☐
	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]	☐
	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	☐
	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	02/23/2020

*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.

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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-51422

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)	2018-07-09
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.**

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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 record s.

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.

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.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

BIB DATA SHEET

CONFIRMATION NO. 6210

SERIAL NUMBER	FILING or 371(c) DATE RULE	CLASS	GROUP ART UNIT	ATTORNEY DOCKET NO.
16/030,137	07/09/2018	382	2667	N&P-51422

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 1756956 07/21/2017

**** IF REQUIRED, FOREIGN FILING LICENSE GRANTED ****
07/24/2018

Foreign Priority claimed ☑ Yes ☐ No 35 USC 119(a-d) conditions met ☑ Yes ☐ No Verified and Acknowledged /SEYED H AZARIAN/ Examiner's Signature	☐ Met after Allowance S.A Initials	STATE OR COUNTRY	SHEETS DRAWINGS	TOTAL CLAIMS	INDEPENDENT CLAIMS
		FRANCE	11	12	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	157	(PHILIPPE WITH SALAH)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/03/04 12:01
L2	99	1 AND DENTAL$4	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/03/04 12:01
L3	67	1 AND (DENTAL$4 WITH ARCH$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/03/04 12:02

3/4/2020 12:03:10 PM

EAST Search History

EAST Search History (Prior Art)

Ref #	Hits	Search Query	DBs	Default Operator	Plurals	Time Stamp
L6	1	(IMAG$3 AND ALIGN$4 AND NEURAL$3 AND NETWORK$3 AND SEPARAT$4 AND TOOTH$3 AND TRAIN$4).CLM.	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/03/04 12:10

3/4/2020 12:10:52 PM

EAST Search History

EAST Search History (Prior Art)

Ref #	Hits	Search Query	DBs	Default Operator	Plurals	Time Stamp
L4	11312	(DENTAL$4 NEAR4 ARCH$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/03/04 12:05
L5	40	4 AND (DEEP NEAR4 LEARN$4)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/03/04 12:06

3/4/2020 12:07:25 PM

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No.	:	16/030,137
Applicant	:	Philippe SALAH
Filing Date	:	July 9, 2018
Title	:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
Conf. No.	:	6210
Art Unit	:	2667
Examiner	:	Seyed H. Azarian
Customer No.	:	108676
Docket No	:	N&P-51422

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 February 27, 2020, Paper No./Mail Date: 20200221. The three-month period for responding to the Office Action expired on May 27, 2020.

Please amend the above identified application as follows:

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.

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	39545152
Application Number:	16030137
International Application Number:	
Confirmation Number:	6210
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-51422
Receipt Date:	27-MAY-2020
Filing Date:	09-JUL-2018
Time Stamp:	10:09:38
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		N-P-51422_UPAM-C.pdf	195071 94e00217a1d5104e1235bb3c89716e39af71cb31	yes	10

	Multipart Description/PDF files in .zip description		
	Document Description	**Start**	**End**
	Applicant Arguments/Remarks Made in an Amendment	7	10
	Claims	2	6
	Amendment/Req. Reconsideration-After Non-Final Reject	1	1
Warnings:			
Information:			
	Total Files Size (in bytes):	195071	

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.

REMARKS/ARGUMENTS

Reconsideration of the subject application in view of the present Amendment is respectfully requested.

By the present amendment, claims 1, 5, 6, and 9 are amended, and claims 13 and 14 are added. Specifically regarding claim amendments: The term "preferably" is removed from claims 1, 5, 6 and 9. Claim 1 is amended to remove the term "and/or". New claim 13 is added in view of the former version of claim 1. New claim 14 is added in view of the former version of claim 1.

Turning to the rejection of claims 1, 5, 6, and 9 under 35 U.S.C. §112(b), regarding the use of "preferably," these claims are amended to address the concern. Accordingly, it is respectfully requested that the rejection under 35 U.S.C. §112(b) be withdrawn.

Turning to the rejection of claims 1and 9 under 35 U.S.C. §112(a), regarding the claim 1 portion: "the aligner represented on the analysis image, and/or for an image attribute of the analysis image," claim 1 is amended to address the concern. Specifically, the portion "and/or for an image attribute of the analysis image . . ." is deleted. Accordingly, it is respectfully requested that the rejection under 35 U.S.C. §112(a) be withdrawn.

Turning to the rejections of claims in view of Matov (U.S. Pub. No. 2013/0230818), either alone or in asserted combination, please note the following:

Claim 1 recites, in pertinent part: "*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'*" (emphasis added).

Matov does not disclose the acquisition of an image at least partially representing the aligner, and even less in a service position.

The aim of Matov is to determine the shape and the positioning of a dental appliance by determining the movement between an initial position of a tooth and a target position of said tooth.

In fact, the first mention of an "image" is at paragraph [0096] of Matov. This image is an X-ray image to provide additional information to complete a digital model.

Paragraph [0124] of Matov also mention images. But these images are also used to provide additional information, in particular to model the root of the teeth.

Therefore, Matov teaches away from the acquisition of an image at least partially representing an aligner in a service position.

Claim 1 also recites, in pertinent part, "*analysis of the analysis image by means of a deep learning device, trained by means of a learning base, so as to determine a value for at least one tooth attribute of an "analysis tooth zone" representing, at least partially, a tooth on said 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*" (emphasis added).

Matov does not disclose the submission of an image to a deep learning device, as the only mentioned images are used to provide additional information in order to complete digital model.

In Matov, the "data" appear to be conventional numerical data. For instance, paragraph [0058] discloses: "*Exemplary data sets cover Expansion/Constriction (+/−X Translation), Mesialization/Distalization (+/−Y Translation), Intrusion (−Z Translation), Extrusion (+Z Translation), Tip/Angulation (X Rotation), Torque/Inclination (Y Rotation), and Pure Rotation (Z Rotation).*"

Moreover, in Matov, neural networks are only mentioned at paragraphs [0068], [0069] and [0077], which are not linked to the paragraphs mentioning images ([0096] and [0124]).

In fact, paragraph [0068] of Matov only mentions neural networks once, when it recites "*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.*" This teaching is very general and does not focus on a neural network, and even less on a neural network dealing with an image.

In paragraph [0069] of Matov, neural networks are cited among many other methods including "*a Hidden Markov Model (HMM), a dynamic programming model, a neural network, a fuzzy logic, or a template matcher, among others.*" *And, again, this paragraph does not suggest using a neural network with an image. On the contrary, it recites "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.*"

Paragraph [0076] of Matov mentions the use of an "*hidden Markov model*" to "*derive a set of reference pattern templates, each template representative of an identified pattern in a vocabulary set of reference treatment patterns*", which, *a priori*, is not an image information. And paragraph [0077] of Matov explains "*the HMM template has a number of states, each having a discrete value. However, as treatment pattern features may have a dynamic pattern in contrast to a single value, the addition of a neural network at the front end of the HMM in an embodiment provides the capability of representing states with dynamic values.*" The neural network is therefore used to improve the HMM, and does use any image.

Moreover, since Matov does not deal with the treatment of images by a neural network, and more generally by a deep learning device, it cannot suggest such a treatment to determine values of a "*tooth attribute*" or of an "*image attribute.*"

Therefore, Matov does not disclose, nor suggest the submission of an image to a deep learning device.

Accordingly, Matov does not disclose, teach or suggest the invention as set forth in claim 1. Thus, the rejections based upon Matov, alone or in combination, necessarily fall short.

It is respectfully requested that the rejection asserted against claim 1 be withdrawn and claim 1 is patentable.

Please note, that the claims that depend from claim 1 are patentable for at least the reasons set forth above for claim 1 and also for the limitations set forth thereon. Accordingly, it is respectfully requested that the rejections asserted against the dependent claims, (i.e., in view of Matov, either alone or in asserted combination) be withdrawn.

Please note that for new independent claim 14, at least similar reasons set forth above regarding claim 1 are applicable claim 14. Accordingly, it is respectfully submitted that claim 14 is patentable.

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 Order No. N&P-51422.

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

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 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";
   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" representing, at least partially, a tooth on said 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~~.

2. (Original) The method as claimed in claim 1, comprising, after the step b''), step c'') as follows:
   c'') assessment of the suitability of the aligner as a function of the value of said tooth or image attribute.

3. (Original) The method as claimed in claim 2, in which, in the step b''), all said analysis tooth zones are identified, and the tooth attribute value 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.

4. (Original) The method as claimed in claim 1, 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.

5. (Currently amended) The method as claimed in claim 1, 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 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, 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 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:
      - the presence, in a location of said analysis image, of an analysis tooth zone, and
      - 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 separation of the aligner and of the tooth represented by said analysis tooth zone, and/or of an amplitude of said separation.

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", the image attribute relating to a separation between the tooth or teeth and the aligner represented on the historical image;

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 1, in which the learning base is constructed 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 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 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.

8. (Original) The method as claimed in claim 1, in which the learning base is constructed 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.

9. (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.

10. (Original) The method as claimed in claim 1, in which, in the step a''), a cellphone is used to acquire the analysis image.

11. (Original) The method as claimed in claim 2, comprising, after the step c''), a step d'') as follows:

d'') sending of an information message as a function of said assessment.

12. (Original) The method as claimed in claim 2, in which, as a function of the result of said assessment, a new aligner is manufactured.

13. (New) The method as claimed in claim 1, in which in step b''), the deep learning device is a neural network.

14. (New) 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";

b'') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, trained by means of a learning base, so as to determine a value

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.

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.
16/030,137	07/09/2018	Philippe SALAH	N&P-51422	6210

108676 7590 06/19/2020

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
06/19/2020	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

Office Action Summary	Application No. 16/030,137	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 5/27/2020.

☐ 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) 1-14 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) 1-6 and 9-14 is/are rejected.

8) ☑ Claim(s) 7-8 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 9/20/2018 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.

RESPONSE TO AMENDMENT

1. Based on applicant's amendment filed on 5/27/2020, see page 2 through 10, of the remark, with respect to amended claims 1, 5, 6, 9 and new claims 13-14, have been fully considered and are moot in view of the new ground (s) of rejection as necessitated by applicant's amendment is made).

2. Also upon further consideration, based on applicant's amendment, the 35 U.S.C. 112 (b) and 35 U.S.C. 112 (a) rejections, are hereby withdrawn.

Contrary to the applicant's assertion, as he traverses, regarding limitations of amended claim 1, that Matov does not disclose "the acquisition of an image at least partially representing the aligner".

Contrary to the applicant's assertion, Examiner indicates, that Matov discloses (page 2, paragraph, [0052-0053], these technologies allow the clinician to use the actual patient's dentition as a starting point for customizing the treatment plan. The software technology available from Align Technology, Inc., uses a patient-specific digital model to plot a treatment plan, and then use a scan of the achieved or actual treatment outcome to assess the degree of success of the outcome as compared to the original digital treatment plan. The data mining software can interrogate the information captured and/or updated in the database 2 and can generate an output data stream correlating a patient tooth problem with a dental appliance

solution.

Also page 6, paragraph, [0096] 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. Finally page 7, paragraph, [0104] FIG. 2B illustrates a process 200 implementing the appliance-calculation step (FIG. 2A, step 170) for polymeric shell aligners of the kind described in above-mentioned U.S. Pat. No. 5,975,893. Inputs to the process include an initial aligner shape 202, various control parameters 204, and a desired end configuration for the teeth at the end of the current treatment path segment 206. Other inputs include digital models of the teeth in position in the jaw, models of the jaw tissue, and specifications of an initial aligner shape and of the aligner material. Using the input data, the process creates a finite element model of the aligner, teeth and tissue, with the aligner in place on the teeth (step 210). Next, the process applies a finite element analysis to the composite finite element model of aligner, teeth and tissue (step 220). The analysis runs until an exit condition is reached, at which time the process evaluates whether the teeth have reached the desired end position for the current path segment, or a position sufficiently close to the desired end position (step 230). If an acceptable end position is not reached by the teeth, the process calculates a new candidate aligner shape (step 240). If an acceptable end position is reached, the motions of the teeth calculated by the finite elements analysis are evaluated to determine whether they are orthodontically acceptable (step 232). If they are not, the process also proceeds to

calculate a new candidate aligner shape (step 240). If the motions are orthodontically acceptable and the teeth have reached an acceptable position, the current aligner shape is compared to the previously calculated aligner shapes. If the current shape is the best solution so far (decision step 250), it is saved as the best candidate so far (step 260). If not, it is saved in an optional step as a possible intermediate result (step 252). If the current aligner shape is the best candidate so far, the process determines whether it is good enough to be accepted (decision step 270). If it is, the process exits. Otherwise, the process continues and calculates another candidate shape (step 240) for analysis).

Contrary to the applicant's assertion, as he traverses, regarding limitations of amended claim 1, that Matov does not disclose "the submission of an image to a deep learning device (neural network)".

Examiner indicates, that Matov discloses (page 4, paragraph, [0068-0069] 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).

Contrary to the applicant's assertion, as he traverses, regarding limitations of the claims that Matov does not deal "with the treatment of images? by a neural network".

Examiner respectfully want to point out, all throughout the specification referring to

"orthodontic treatment" and not treatment of image. It is not clear what, "treatment of images is referring to".

Examiner indicates, that Matov discloses (page 2, paragraph, [0052] digital treatment plans are now possible with "3-dimensional orthodontic treatment" planning tools such as software from Align Technology, Inc. or other software available from eModels and OrthoCAD, among others. These technologies allow the clinician to use the actual patient's dentition as a starting point for customizing the treatment plan. The software technology available from Align Technology, Inc., uses a patient-specific digital model to plot a treatment plan, and then use a scan of the achieved or actual treatment outcome to assess the degree of success of the outcome as compared to the original digital treatment plan as discussed in U.S. patent application Ser. No. 10/640,439, filed Aug. 21, 2003 and U.S. patent application Ser. No. 10/225,889 filed Aug. 22, 2002. The problem with the digital treatment plan and outcome assessment is the abundance of data and the lack of standards and efficient methodology by which to assess "treatment success" at an individual patient level. To analyze the information, a dental data mining system is used.

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 1-4 are rejected under 35 U.S.C. 102(a) (1) as being anticipated by Matov (U.S. Pub No: 2013/0230818 A1).

Regarding claim 1, Matov discloses a method for assessing the shape of an orthodontic aligner, said method comprising the following steps (see abstract, method and system for establishing an initial position of a tooth, determining a target position of the tooth in a treatment plan, calculating a movement vector associated with the tooth movement from the initial position to the target position, determining a plurality of components corresponding to the movement vector, and determining a corresponding one or more positions of a respective one or more attachment devices relative to a surface plane of the tooth such that the one or more attachment devices engages with a dental appliance are provided);

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 (see page 11, paragraph [0135] FIGS. 11A-11B illustrate an initial tooth position with a positioned dental appliance, and a resulting undesirable force vector, respectively. Referring to the Figures, in an example where the tooth as shown is being moved in a facial direction along the x-direction, upon positioning of the dental appliance such as the polymeric shell aligner, over the tooth, the aligner shape geometry is configured to apply a predetermined force upon the tooth to reposition the tooth in accordance with a treatment plan for the particular treatment stage. For example, as shown in FIG. 11B, the dental appliance is configured to engage the tooth to reposition the tooth in the x-direction as shown, but, rather, results in the application of a predetermined force in the +x/-z direction as shown and illustrated by the arrow);

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" representing, at least partially, a tooth on said 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 (see pages 4-5, paragraphs, [0068-0069] 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 (refer to learning base).

Also page 5, paragraph, [0078] the output streams or results 4 of FIG. 1A are used as feedback in improving dental appliance design and/or usage by doctors. For example, the data mining results can be used to evaluate performance based on staging approaches, to compare appliance performance indices based on treatment approaches, and to evaluate performance comparing different attachment shapes and positions on teeth. Finally pages 7-8 paragraph, [0104] FIG. 2B illustrates a process 200 implementing the appliance-calculation step (FIG. 2A, step 170) for polymeric shell aligners of the kind described in above-mentioned U.S. Pat. No. 5,975,893. Inputs to the process include an initial aligner shape 202, various control parameters 204, and a desired end configuration for the teeth at the end of the current treatment path segment 206. Other inputs include digital models of the teeth in position in the jaw, models of the jaw tissue, and specifications of an initial aligner shape and of the aligner material. Using the input data, the process creates a finite element model of the aligner, teeth and tissue, with the

aligner in place on the teeth (step 210). Next, the process applies a finite element analysis to the composite finite element model of aligner, teeth and tissue (step 220). The analysis runs until an exit condition is reached, at which time the process evaluates whether the teeth have reached the desired end position for the current path segment, or a position sufficiently close to the desired end position (step 230). If an acceptable end position is not reached by the teeth, the process calculates a new candidate aligner shape (step 240). If an acceptable end position is reached, the motions of the teeth calculated by the finite elements analysis are evaluated to determine whether they are orthodontically acceptable (step 232). If they are not, the process also proceeds to calculate a new candidate aligner shape (step 240). If the motions are orthodontically acceptable and the teeth have reached an acceptable position, the current aligner shape is compared to the previously calculated aligner shapes. If the current shape is the best solution so far (decision step 250), it is saved as the best candidate so far (step 260). If not, it is saved in an optional step as a possible intermediate result (step 252). If the current aligner shape is the best candidate so far, the process determines whether it is good enough to be accepted (decision step 270). If it is, the process exits. Otherwise, the process continues and calculates another candidate shape (step 240) for analysis).

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 (see page 11, paragraph [0135] FIGS. 11A-11B illustrate an initial tooth position with a positioned dental appliance, and a resulting undesirable force vector, respectively. Referring to the Figures, in an example where the tooth as shown is being moved in a facial direction along the x-direction, upon positioning of the dental appliance such as the polymeric shell aligner, over the tooth, the aligner shape geometry is configured to apply a predetermined

force upon the tooth to reposition the tooth in accordance with a treatment plan for the particular treatment stage. For example, as shown in FIG. 11B, the dental appliance is configured to engage the tooth to reposition the tooth in the x-direction as shown, but, rather, results in the application of a predetermined force in the +x/-z direction as shown and illustrated by the arrow. Also page paragraph, [0138] FIG. 12 illustrates a modified dental appliance geometry including an additional shape modification to remove a gap between the dental appliance and the tooth. Referring to FIG. 12, it is to be noted that while the modification of the aligner shape geometry (for example, discussed above in conjunction with FIGS. 11C-11D), results in the desired predetermined force applied upon the tooth as planned for the dental treatment, there may be a gap or pocket that forms between the tooth and the aligner, for example, as shown in FIG. 12, near the gingival area. In one aspect, to account for this gap (separation) or pocket generated, the aligner shape geometry may be further modified or optimized, for example, to better adapt in the direction towards the tooth when the aligner is in the active (or stretched) state).

Regarding claim 2, Matov discloses the method as claimed in claim 1, comprising, after the step b"), step c") as follows: c") assessment of the suitability of the aligner as a function of the value of said tooth or image attribute (see claim 1, also page 3, paragraph, [0057] 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.sup.2 that is obtained from a regression computation of "Achieved" and "Goal" data. Also page 12, paragraph, [0149] additionally, in one aspect, there is provided an interactive analysis process where minute or small localized changes are introduced into the aligner shape geometry, and wherein the effect of the resulting force profile is compared to the desired force, for example, in each treatment stage of a treatment plan, and repeated if the result is closer to the target profile, and ignored if the results move away or deviate further from the target profile. This may be repeated for each treatment stage of the treatment plan such that the series of dental appliances or aligners are each optimized in its respective shape geometry to improve treatment results).

Regarding claim 3, Matov discloses the method as claimed in claim 2, in which, in the step b"), all said analysis tooth zones are identified, and the tooth attribute value 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 (see page 14, paragraph, [0171] FIG. 21 is a flowchart illustrating the optimized shape geometry of the dental appliance. Referring to FIG. 21, at step 2110, the initial position of the tooth is determined. Thereafter, at step 2120, the target position of the tooth based on the treatment plan is determined. In one aspect, the target position may include the next or n+1 treatment stage tooth position. Referring back to FIG. 21, after determining the target position of the tooth based on the treatment plan, a movement vector associated with the tooth movement from the initial position to the target position is calculated or determined at step 2130. That is, a force profile or attribute is determined which includes, for example, the magnitude of the force and the direction of the force, for example, that is associated with the tooth movement from the initial position to the target position).

Regarding claim 4, Matov discloses the method as claimed in claim 1, 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 10, paragraphs, [0122-0124] as was mentioned above, the process 600 is defined and parameterized by various items of input data (step 602). In one implementation, this initializing and defining data includes the following items: an iteration limit for the outer loop of the overall process; specification of figures of merit that are calculated to determine whether an aligner is good enough (see FIG. 2B, step 270); a specification of the aligner material; a specification of the constraints that the shape or configuration of an aligner must satisfy to be acceptable; a specification of the forces and positioning motions and velocities that are orthodontically acceptable; an initial treatment path, which includes the motion path for each tooth and a segmentation of the treatment path into segments, each segment to be accomplished by one aligner; a specification of the "shapes" and positions of any anchors installed on the teeth or otherwise; and a specification of a model for the jaw bone and other tissues in or on which the teeth are situated (in the implementation being described, this model consists of a model of a viscous substrate fluid in which the teeth are embedded and which has boundary conditions that essentially define a container for the fluid). FIG. 7 is an exemplary diagram of a statistical root model. As shown therein, using the scanning processes described above, a scanned upper portion 701 of a tooth is identified. The scanned upper portion, including the crown, is then supplemented with a modeled 3D root. The 3D model of the root can be statistically modeled. The 3D model of the root 702 and the 3D model of the upper portion 700 together form a complete 3D model of a tooth. FIG. 8 shows exemplary diagrams of root modeling, as enhanced using additional dental information. In FIG. 8, the additional dental information is X-ray information. An X-ray image 710 of teeth is scanned to provide a 2D view

of the complete tooth shapes. An outline of a target tooth is identified in the X-Ray image. The model 712 as developed in FIG. 7 is modified in accordance with the additional information. In one embodiment, the tooth model of FIG. 7 is morphed to form a new model 714 that conforms with the X-ray data. Also paragraph, [0129] in one embodiment, the system determines a surface area for each tooth model. The system then sums all surface areas for all tooth models to be moved. Next, the system sums all surface areas of all tooth models on the arch. For each stage of teeth movement, the system checks that a predetermined area ratio or constraint is met while the tooth models are moved. In one implementation, the constraint can be to ensure that the surface areas of moving teeth are less than the total surface areas of teeth on an arch supporting the teeth being moved. If the ratio is greater than a particular number such as 50%, the system indicates an error signal to an operator to indicate that the teeth should be moved on a slower basis).

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 5-6, 9 and 13-14 are rejected under 35 U.S.C. 103(a) as being unpatentable over Matov (U.S. Pub No: 2013/0230818 A1) in view of Kuo (U.S. Pub No: 2015/0132708 A1).

Regarding claim 5, Matov discloses (see claim 1, also pages 4-5, paragraphs, [0068-0069] 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 (refer to learning base).

Also pages 7-8 paragraph, [0104] FIG. 2B illustrates a process 200 implementing the appliance-calculation step (FIG. 2A, step 170) for polymeric shell aligners of the kind described in above-mentioned U.S. Pat. No. 5,975,893. Inputs to the process include an initial aligner shape 202, various control parameters 204, and a desired end configuration for the teeth at the end of the current treatment path segment 206. Other inputs include digital models of the teeth in position in the jaw, models of the jaw tissue, and specifications of an initial aligner shape and of the aligner material. Using the input data, the process creates a finite element model of the aligner, teeth and tissue, with the aligner in place on the teeth (step 210). Next, the process applies a finite element analysis to the composite finite element model of aligner, teeth and tissue (step 220). The analysis runs until an exit condition is reached, at which time the process evaluates whether the teeth have reached the desired end position for the current path segment, or a position sufficiently close to the desired end position (step 230). If an acceptable end position is not reached by the teeth, the process calculates a new candidate aligner shape (step 240). If an acceptable end position is reached, the motions of the teeth calculated by the finite elements analysis are evaluated to determine whether they are orthodontically acceptable (step 232). If they are not, the process also proceeds to calculate a new candidate aligner shape (step 240). If the motions are orthodontically acceptable and the teeth have reached an acceptable position, the

current aligner shape is compared to the previously calculated aligner shapes. If the current shape is the best solution so far (decision step 250), it is saved as the best candidate so far (step 260). If not, it is saved in an optional step as a possible intermediate result (step 252). If the current aligner shape is the best candidate so far, the process determines whether it is good enough to be accepted (decision step 270). If it is, the process exits. Otherwise, the process continues and calculates another candidate shape (step 240) for analysis).

But does not explicitly state the limitation of claim "a learning base comprising more than 1000 images".

On the other hand Kuo in the same field of providing dynamic orthodontic assessment and treatment teaches (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.
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).

Therefore, it would have been obvious to one having ordinary skill in the art at the time the invention was made to modify the Matov invention according to the teaching of Kuo because to combine "the Neural Network images that is taught by the Matov invention according to the teaching taught by Kuo to include 1,000 images, would provide a more extensive Neural Network database for fitting aligners and teeth in orthodontic procedures).

With regard to claims 6, 9 and 13-14 the arguments analogous to those presented above for claims 1, 5 are respectively applicable to claim 6, 9 and 13-14.

7. Claims 10-12 are rejected under 35 U.S.C. 103(a) as being unpatentable over Matov (U.S. Pub No: 2013/0230818 A1) in view of Borovinskih et al (Pub. No: U.S. 2017/0049311 A1).

Regarding claim 11, Matov discloses (see page 18, paragraph, [0229] to provide for interaction with a user, the invention can be implemented using a computer system having a display device such as a monitor or LCD (liquid crystal display) screen for displaying information to the user and input devices by which the user can provide input to the computer system such as a keyboard, a two-dimensional pointing device such as a mouse or a trackball, or a three-dimensional pointing device such as a data glove or a gyroscopic mouse. The computer system can be programmed to provide a graphical user interface through which computer programs interact with users. The computer system can be programmed to provide a virtual

reality, three-dimensional display interface).

But does not explicitly state, limitation of claim "the cellphone is used to acquire the image".

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 Matov invention according to the teaching of Borovinskih because to combine "the central server to communicate with the terminal and display information to the user that may be performed over the internet that is taught by the Matov 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.

With regard to claims 10-12 the arguments analogous to those presented above for claims 1, 11 are respectively applicable to claims 10-12.

Allowable Subject Matter

8. Claims 7 and 8 are objected to as being dependent upon a rejected base claim, but would be allowable if rewritten in independent form including all of the limitations of the base claim and any intervening claims.

Conclusion

9. Applicant's amendment necessitated the new ground(s) of rejection presented in this Office action. Accordingly, **THIS ACTION IS MADE FINAL**. See MPEP § 706.07(a). Applicant is reminded of the extension of time policy as set forth in 37 CFR 1.136(a).

A shortened statutory period for reply to this final action is set to expire THREE MONTHS from the mailing date of this action. In the event a first reply is filed within TWO MONTHS of the mailing date of this final action and the advisory action is not mailed until after the end of the THREE-MONTH shortened statutory period, then the shortened statutory period

will expire on the date the advisory action is mailed, and any extension fee pursuant to 37 CFR 1.136(a) will be calculated from the mailing date of the advisory action. In no event, however, will the statutory period for reply expire later than SIX MONTHS from the date of this final action.

Contact Information

10. 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. 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
June 14, 2020

Search Notes	Application/Control No.	Applicant(s)/Patent Under Reexamination
	16/030,137	SALAH et al.
	Examiner	Art Unit
	SEYED H AZARIAN	2667

CPC - Searched*		
Symbol	Date	Examiner

CPC Combination Sets - Searched*		
Symbol	Date	Examiner
A61C 7/00	2/15/2020	S.A
G06K 9/00	2/15/2020	S.A

US Classification - Searched*			
Class	Subclass	Date	Examiner
382	100,103,106,128-131,154-155,162,168,173,181,199,219,224,232,254,285-291,395,318.	2/15/2020	S.A
1	1	2/15/2020	S.A
705	2	2/15/2020	S.A
433	3,24,215	2/16/2020	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	2/15/2020	S.A
UPDATED SEARCH	06/12/2020	S.A

/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	

Search Notes	Application/Control No.	Applicant(s)/Patent Under Reexamination
	16/030,137	SALAH et al.
	Examiner	Art Unit
	SEYED H AZARIAN	2667

Interference Search			
US Class/CPC Symbol	US Subclass/CPC Group	Date	Examiner

/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	

Index of Claims	Application/Control No.	Applicant(s)/Patent Under Reexamination
	16/030,137	SALAH et al.
	Examiner	Art Unit
	SEYED H AZARIAN	2667

✓	Rejected	-	Cancelled	N	Non-Elected	A	Appeal
=	Allowed	÷	Restricted	I	Interference	O	Objected

CLAIMS

☐ Claims renumbered in the same order as presented by applicant ☐ CPA ☐ T.D. ☐ R.1.47

CLAIM		DATE								
Final	Original	02/23/2020	06/15/2020							
	1	✓	✓							
	2	✓	✓							
	3	✓	✓							
	4	✓	✓							
	5	✓	✓							
	6	✓	✓							
	7	O	O							
	8	O	O							
	9	✓	✓							
	10	✓	✓							
	11	✓	✓							
	12	✓	✓							
	13		✓							
	14		✓							

EAST Search History

EAST Search History (Prior Art)

Ref #	Hits	Search Query	DBs	Default Operator	Plurals	Time Stamp
L1	171	(PHILIPPE WITH SALAH)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/06/15 14:42
L2	112	1 AND DENTAL	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/06/15 14:43
L3	49	1 AND (DENTAL NEAR3 ARCH)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/06/15 14:43

6/15/2020 2:43:53 PM

Doc code: IDS
Doc description: Information Disclosure Statement (IDS) Filed

PTO/SB/08a (01-10)
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-51422

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.	

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	Para [0066]-[0070]; Para [0035]
	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] i	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]

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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-51422

	1	2016066651	WO	A1	2016-05-06	Salah et al.		☐
	2	2017182654	WO	A1	2017-10-26	Salah et al.	Pg. 57, Ln.15-Pg.62, Ln.3	☐
	3	3027505	FR	A1	2016-04-29	Salah et al.		☐
	4	3010629	FR	A1	2015-03-20	Salah et al.		☐
	5	2017094181	JP	A	2017-06-01	Matov et al.	See corresponding US 2009/191503; Para [0065]-[0074]; Para [0101]-[0119]; Para [0195]-[0198]	☐

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.: 1756956, French Search Report, dated March 23, 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]; Entire Document	☐
	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	☐

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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-51422

	5	LIN P L ET AL: "An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using teeth region and contour infonmation", 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]	☐
	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]	☐
	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	☐
	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	06/15/2020

*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.

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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-51422

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)	2018-07-09
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.**

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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 record s.

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.

EFS Web 2.1.17

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.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

BIB DATA SHEET

CONFIRMATION NO. 6210

SERIAL NUMBER	FILING or 371(c) DATE / RULE	CLASS	GROUP ART UNIT	ATTORNEY DOCKET NO.
16/030,137	07/09/2018	382	2667	N&P-51422

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 1756956 07/21/2017

** IF REQUIRED, FOREIGN FILING LICENSE GRANTED **
07/24/2018

Foreign Priority claimed	35 USC 119(a-d) conditions met	Verified and Acknowledged	Met after Allowance	STATE OR COUNTRY	SHEETS DRAWINGS	TOTAL CLAIMS	INDEPENDENT CLAIMS
☑ Yes ☐ No	☑ Yes ☐ No	/SEYED H AZARIAN/ Examiner's Signature	☐ S.A Initials	FRANCE	11	12	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

PTO/SB/30EFS (02-18)
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.

REQUEST FOR CONTINUED EXAMINATION(RCE)TRANSMITTAL
(Submitted Only via EFS-Web)

Application Number	16/030,137	Filing Date	2018-07-09	Docket Number (if applicable)	N&P-51422	Art Unit	2667
First Named Inventor	Philippe SALAH			Examiner Name	Seyed H. Azarian		

This is a Request for Continued Examination (RCE) under 37 CFR 1.114 of the above-identified application.
Request for Continued Examination (RCE) practice under 37 CFR 1.114 does not apply to any utility or plant application filed prior to June 8, 1995, or to any design application. The Instruction Sheet for this form is located at WWW.USPTO.GOV

SUBMISSION REQUIRED UNDER 37 CFR 1.114

Note: If the RCE is proper, any previously filed unentered amendments and amendments enclosed with the RCE will be entered in the order in which they were filed unless applicant instructs otherwise. If applicant does not wish to have any previously filed unentered amendment(s) entered, applicant must request non-entry of such amendment(s).

☐ Previously submitted. If a final Office action is outstanding, any amendments filed after the final Office action may be considered as a submission even if this box is not checked.

- ☐ Consider the arguments in the Appeal Brief or Reply Brief previously filed on _____
- ☐ Other _____

☒ Enclosed

- ☒ Amendment/Reply
- ☐ Information Disclosure Statement (IDS)
- ☐ Affidavit(s)/ Declaration(s)
- ☐ Other _____

MISCELLANEOUS

☐ Suspension of action on the above-identified application is requested under 37 CFR 1.103(c) for a period of months _____
(Period of suspension shall not exceed 3 months; Fee under 37 CFR 1.17(i) required)

☐ Other _____

FEES

☒ **The RCE fee under 37 CFR 1.17(e) is required by 37 CFR 1.114 when the RCE is filed.**
The Director is hereby authorized to charge any underpayment of fees, or credit any overpayments, to Deposit Account No 505088

SIGNATURE OF APPLICANT, ATTORNEY, OR AGENT REQUIRED

☒ Patent Practitioner Signature

☐ Applicant Signature

PTO/SB/30EFS (02-18)
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.

Signature of Registered U.S. Patent Practitioner			
Signature	/Ronald M. Kachmarik/	Date (YYYY-MM-DD)	2020-09-04
Name	Ronald M. Kachmarik	Registration Number	34512

This collection of information is required by 37 CFR 1.114. 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 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.

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 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 Patent Application Fee Transmittal

Application Number:	16030137
Filing Date:	09-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-51422

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:				
Extension-of-Time:				

Description	Fee Code	Quantity	Amount	Sub-Total in USD($)
Miscellaneous:				
RCE- 1ST REQUEST	1801	1	1300	1300
		Total in USD ($)		**1300**

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	40479697
Application Number:	16030137
International Application Number:	
Confirmation Number:	6210
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-51422
Receipt Date:	04-SEP-2020
Filing Date:	09-JUL-2018
Time Stamp:	15:30:33
Application Type:	Utility under 35 USC 111(a)

Payment information:

Submitted with Payment	yes
Payment Type	CARD
Payment was successfully received in RAM	$1300
RAM confirmation Number	E202094F31106814
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		N-P-51422_UPAM-D.pdf	164473 737b20654580ea3b4805a4410d58200535b43731	yes	10
	Multipart Description/PDF files in .zip description				
	Document Description		**Start**	**End**	
	Applicant Arguments/Remarks Made in an Amendment		7	10	
	Claims		2	6	
	Response After Final Action		1	1	
Warnings:					
Information:					
2	Request for Continued Examination (RCE)	RCE_Transmittal.pdf	74771 70d1ca950e6b349231af99e59176f15ac92a8e31	no	3
Warnings:					
This is not a USPTO supplied RCE SB30 form.					
Information:					
3	Fee Worksheet (SB06)	fee-info.pdf	30918 747c11ce3cdb1eda72d310b092bdbbfc59af124e	no	2
Warnings:					
Information:					
		Total Files Size (in bytes):	270162		

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.

REMARKS/ARGUMENTS

Reconsideration of the subject application in view of the present Amendment is respectfully requested. The present Amendment is filed contemporaneously with an RCE and, as such, immediate entry of the present Amendment is expected.

By the present amendment, claims 1 and 2 are amended, and claims 15 and 16 are added. Please note the following:

• Claim 1 is amended in view of description page 12, lines 17-18 and page 44, lines 19-20 and 27.

• Claim 2 is amended as the image attribute is no longer defined in claim 1.

• Claim 14 is amended in view of description page 12, lines 17-18 and page 44, lines 19-20 and 27.

• New claims 15 and 16 are added in view of the former version of claim 2 and claim 10.

The Applicant acknowledges, with appreciation, the indication of the allowability of claims 7 and 8.

Also, before proceeding too far, the Applicant's representative would like to request a telephone interview with the Examiner. As such, once the Examiner has reviewed the present Amendment, the Examiner is invited to contact the Applicant's representative (see below for attorney contact information).

With regard to the rejections in view of Matov (US 2013/0230818), please note the following:

Claim 1 recites "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', the analysis image being a photograph or an image extracted from a film". It also recites that step a'') take place "more than 1 week after the start of the treatment with the aligner."

Indeed, the claimed invention aims "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 " by means of the analysis of an analysis image with a deep learning device (please see Specification page 45, lines 11-13). In particular, the invention allows a visual inspection to be carried out, 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 (please see Specification page 41, lines 5-7).

In particular, 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" (please see Specification page 42, lines 4-9), and "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" (please see Specification page 46, lines 11-14).

The aim of Matov is to design the best aligner as possible in order to reach a desired end position (see paragraph 104), by determining, before manufacturing said aligner, the movement between an initial position of a tooth and a target position of said tooth. For this purpose, Matov describes a method using data mining to correlate a patient tooth problem with a dental appliance. The method of Matov allows the clinician to determine which dental appliance the patient has to use to achieve a treatment outcome (see Matov paragraphs [0052]-[0053]).

But Matov does not disclose such acquisition of an image at least partially representing an aligner, and even less a photograph, or an image extracted from a film, representing the aligner.

Matov only describes the acquisition of information relative to the patient himself or herself: "a mold or a scan of patient's teeth or mouth tissue is acquired [...] and other techniques for obtaining information about the position and structure of the teeth, jaws, gums and other orthodontically relevant tissue" and that "X-ray image of teeth is scanned to provide a 2D view of the complete tooth shapes". This information allows obtaining and/or enriching a digital model representing the initial arrangement of the patient's teeth and tissues.

Moreover, Matov does not disclose such acquisition of an image at least partially representing the aligner in a service position, acquired "more than 1 week after the start of the treatment with the aligner." On the contrary, in Matov, the method is performed in order to design the appliance, the appliance being not yet manufactured, i.e. before any treatment. As such, in Matov, it is not possible to acquire an image of the appliance in a service position.

Therefore, starting from Matov, there is no incitation to acquire an image at least partially representing the aligner in a service position, and even less a photograph, or an image extracted from a film, of such an aligner.

Moreover, claim 1 also recites "analysis of the analysis image by means of a deep learning device."

Even if Matov mentions neural networks (paragraphs [0068]-[0069], [0077]), it never suggests the submission of an image, and even less of an image at least partially representing an aligner, and even less of an image at least partially representing an aligner in a service position, to a deep learning device.

Still further, claim 1 also recites "the tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the analysis tooth zone, and the aligner represented on the analysis image."

Since the tooth attribute relates to a separation between the tooth represented by the analysis tooth zone, and the aligner represented on the analysis image, it is essential that both the tooth and the aligner be represented on the image. Since Matov does not suggest an image representing at least partially an aligner in a service position, it cannot suggest the determination of such tooth attribute, and even less with a deep learning device.

Matov is focused on the evaluation of the performance of an appliance as regard a dental situation to determine the best treatment and appliance for a patient (see paragraph 78).

Therefore, starting from Matov, a person of ordinary skill in the art would never have contemplated determining the separation between a tooth and an aligner from a photograph or an image extracted from a film representing at least partially an aligner.

Therefore, Matov never teaches or suggests the invention as claimed in claim 1. Accordingly, claim 1 and the claims dependent therefrom are patentable.

With regard to independent claim 14, a similar set of points of distinction are applicable to claim 14. Accordingly, claim 14 and the claims dependent therefrom are patentable.

As such, it is respectfully requested that the rejections based upon Matov be withdrawn.

In view of the foregoing, it is respectfully submitted that this application is in condition for allowance and allowance is respectfully requested. If there is anything further needed, the Examiner is invited to call the below signed attorney.

If there are any fees resulting from this communication, please charge same to our Deposit Account No. 505088, our Order No. N&P-51422.

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

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 assessing the shape of an orthodontic aligner, said method comprising the following steps:

   a'') more than 1 week after the start of the treatment with the aligner, 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", the analysis image being a photograph, or an image extracted from a film;

   b'') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, trained by means of a learning base, so as to determine a value
   for at least one tooth attribute of an "analysis tooth zone" representing, at least partially, a tooth on said 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.

   .

2. (Currently amended) The method as claimed in claim 1, comprising, after the step b''), step c'') as follows:

   c'') assessment of the suitability of the aligner as a function of the value of said tooth ~~or image~~ attribute.

3. (Original) The method as claimed in claim 2, in which, in the step b''), all said analysis tooth zones are identified, and the tooth attribute value 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.

4. (Original) The method as claimed in claim 1, 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.

5. (Previously presented) 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 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, 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 is assigned;
   2) training of at least one deep learning device, 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, in a location of said analysis image, of an analysis tooth zone, and
      - 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 separation of the aligner and of the tooth represented by said analysis tooth zone, and/or of an amplitude of said separation.

6. (Previously presented) 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", the image attribute relating to a separation between the tooth or teeth and the aligner represented on the historical image;
   2') training of at least one deep learning device, 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 1, in which the learning base is constructed 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 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 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.

8. (Original) The method as claimed in claim 1, in which the learning base is constructed 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.

9. (Previously presented) The method as claimed in claim 1, in which, to create a historical image of the learning base, an operator,
   - 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. (Original) The method as claimed in claim 1, in which, in the step a''), a cellphone is used to acquire the analysis image.

11. (Original) The method as claimed in claim 2, comprising, after the step c''), a step d'') as follows:

d'') sending of an information message as a function of said assessment.

12. (Original) The method as claimed in claim 2, in which, as a function of the result of said assessment, a new aligner is manufactured.

13. (Previously presented) The method as claimed in claim 1, in which in step b''), the deep learning device is a neural network.

14. (Currently amended) A method for assessing the shape of an orthodontic aligner, said method comprising the following steps:

a'') more than 1 week after the start of the treatment with the aligner, 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" the analysis image being a photograph, or an image extracted from a film;

b'') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, trained by means of a learning base, so as to determine a value

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. (New) The method as claimed in claim 14, comprising, after the step b''), step c'') as follows:

c'') assessment of the suitability of the aligner as a function of the value of said image attribute.

16 (New) The method as claimed in claim 14, in which, in the step a''), a cellphone is used to acquire the analysis image.

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No.	:	16/030,137
Applicant	:	Philippe SALAH
Filing Date	:	July 9, 2018
Title	:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
Conf. No.	:	6210
Art Unit	:	2667
Examiner	:	Seyed H. Azarian
Customer No.	:	108676
Docket No	:	N&P-51422

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

Amendment "D"
After final

Sir:

This amendment is filed in response to the Office Action dated June 19, 2020, Paper No./Mail Date: 20200614. The three-month period for responding to the Office Action expired on September 19, 2020. This Amendment is filed contemporaneously with an RCE and as such immediate entry of this amendment is expected.

Please amend the above identified application as follows:

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.

PTO/SB/06 (09-11)
Approved for use through 1/31/2014. OMB 0651-0032
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 displays a valid OMB control number.

PATENT APPLICATION FEE DETERMINATION RECORD Substitute for Form PTO-875	Application or Docket Number 16/030,137	Filing Date 07/09/2018	☐ To be Mailed

ENTITY: ☑ LARGE ☐ SMALL ☐ MICRO

APPLICATION AS FILED - PART I

FOR	(Column 1) NUMBER FILED	(Column 2) 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	09/04/2020	CLAIMS REMAINING AFTER AMENDMENT		HIGHEST NUMBER PREVIOUSLY PAID FOR	PRESENT EXTRA		RATE ($)	ADDITIONAL FEE ($)
	Total (37 CFR 1.16(i))	* 16	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.	LIE
** If the "Highest Number Previously Paid For" IN THIS SPACE is less than 20, enter "20".	/MINNIE A JACKSON/
*** 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 NO.	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR	ATTORNEY DOCKET NO.	CONFIRMATION NO.
16/030,137	07/09/2018	Philippe SALAH	N&P-51422	6210

108676 7590 09/28/2020

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
09/28/2020	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

Office Action Summary	Application No. 16/030,137	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 9/4/2020.

☐ 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) 1-16 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) 1-6 and 9-16 is/are rejected.

8) ☑ Claim(s) 7-8 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 7/9/2018 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.

Continued Examination Under 37 CFR 1.114

1. A request for continued examination under 37 CFR 1.114, including the fee set forth in 37 CFR 1.17(e), was filed in this application after final rejection. Since this application is eligible for continued examination under 37 CFR 1.114, and the fee set forth in 37 CFR 1.17(e) has been timely paid, the finality of the previous Office action has been withdrawn pursuant to 37 CFR 1.114. Applicant's submission filed on 9/4/2020 has been entered.

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. Claim 5 is rejected under 35 U.S.C. 112, first paragraph, as failing to comply with the "enablement requirement". While the claim recite a series of steps or acts to be performed.

Regarding limitations of claim 5, "the presence of a separation of the aligner and of the tooth represented by said analysis tooth zone, and/or of an amplitude of said separation".

Examiner indicated, that regarding the limitation of "and/or", the specification should disclose three independent embodiments.

[I] One embodiment should disclose "analysis tooth zone of said separation".

[II], Second embodiment should disclose "analysis of amplitude of said separation".

[III], Third embodiment teaches "analysis tooth zone, and of an amplitude of said separation".

Stating and/or in the specification is not enough without three independent embodiments as explained above.

RESPONSE TO AMENDMENT

3. Based on Applicants' amendment, filed on 9/4/2020, see page 2 through page 10, of remark, with respect to amended claims 1, 2, 14 and new claims 14 and 15, have been fully considered but they are moot in view of the new ground (s) of rejection as necessitated by applicant's amendment is made in view of Wen et al (U.S. Pub No: 2017/0300207 A1).

Examiner Note:

Examiner respectfully wants to point out regarding applicant's representative request for a telephone interview, Examiner made numerous attempts to contact attorney of records, and was unable to reach the applicant's representative.

Contrary to the applicant's assertion, as he traverses, regarding limitations of amended claim 1, that Matov does not does not describe the newly presented features of step a) "acquisition of an image at least partially representing the aligner in a service position", and

"acquired more than 1 week after the start of the treatment with the aligner".

First:

Examiner indicates, contrary to the applicant's assertion, as he traverses, regarding limitations of amended claim 1, that Matov does not disclose "the acquisition of an image at least partially representing the aligner".

Matov discloses (page 2, paragraph, [0052-0053], these technologies allow the clinician to use the actual patient's dentition as a starting point for customizing the treatment plan. The software technology available from Align Technology, Inc., uses a patient-specific digital model to plot a treatment plan, and then use a scan of the achieved or actual treatment outcome to assess the degree of success of the outcome as compared to the original digital treatment plan. The data mining software can interrogate the information captured and/or updated in the database 2 and can generate an output data stream correlating a patient tooth problem with a dental appliance solution.

Also page 5, paragraph, [0078] the output streams or results 4 of FIG. 1A are used as feedback in improving dental appliance design and/or usage by doctors. For example, the data mining results can be used to evaluate performance based on staging approaches, to compare appliance performance indices based on treatment approaches, and to evaluate performance comparing different attachment shapes and positions on teeth.

Also page 7, paragraph, [0104] FIG. 2B illustrates a process 200 implementing the appliance-calculation step (FIG. 2A, step 170) for polymeric shell aligners of the kind described in above-mentioned U.S. Pat. No. 5,975,893. Inputs to the process include an initial aligner shape 202, various control parameters 204, and a desired end configuration for the teeth at the end of the current treatment path segment 206. Other inputs include digital models of the teeth in position in the jaw, models of the jaw tissue, and specifications of an initial aligner shape and of the aligner material. Using the input data, the process creates a finite element model of the aligner, teeth and tissue, with the aligner in place on the teeth (step 210). Next, the process applies a finite element analysis to the composite finite element model of aligner, teeth and tissue

(step 220). The analysis runs until an exit condition is reached, at which time the process evaluates whether the teeth have reached the desired end position for the current path segment, or a position sufficiently close to the desired end position (step 230). If an acceptable end position is not reached by the teeth, the process calculates a new candidate aligner shape (step 240). If an acceptable end position is reached, the motions of the teeth calculated by the finite elements analysis are evaluated to determine whether they are orthodontically acceptable (step 232). If they are not, the process also proceeds to calculate a new candidate aligner shape (step 240). If the motions are orthodontically acceptable and the teeth have reached an acceptable position, the current aligner shape is compared to the previously calculated aligner shapes. If the current shape is the best solution so far (decision step 250), it is saved as the best candidate so far (step 260). If not, it is saved in an optional step as a possible intermediate result (step 252). If the current aligner shape is the best candidate so far, the process determines whether it is good enough to be accepted (decision step 270). If it is, the process exits. Otherwise, the process continues and calculates another candidate shape (step 240) for analysis).

Finally, pages 11-12, paragraphs, [0138] and [0149], FIG. 12 illustrates a modified dental appliance geometry including an additional shape modification to remove a gap between the dental appliance and the tooth. Referring to FIG. 12, it is to be noted that while the modification of the aligner shape geometry (for example, discussed above in conjunction with FIGS. 11C-11D), results in the desired predetermined force applied upon the tooth as planned for the dental treatment, there may be a gap or pocket that forms between the tooth and the aligner, for example, as shown in FIG. 12, near the gingival area. In one aspect, to account for this gap or pocket generated, the aligner shape geometry may be further modified or optimized, for example, to better adapt in the direction towards the tooth when the aligner is in the active (or stretched) state. Additionally, in one aspect, there is provided an interactive analysis process where minute or small localized changes are introduced into the aligner shape geometry, and wherein the effect of the resulting force profile is compared to the desired force, for example, in each treatment stage of a treatment plan, and repeated if the result is closer to the target profile, and ignored if

the results move away or deviate further from the target profile. This may be repeated for each treatment stage of the treatment plan such that the series of dental appliances or aligners are each optimized in its respective shape geometry to improve treatment results).

Second:

For this amended feature, that reference does not disclosed "acquired more than 1 week after the start of the treatment with the aligner". Examiner is using the new reference based on the amended claim supplied with this action "Wen", in the same field of "Treatment of Teeth Aligners", teaches (see page 9, paragraphs, [0091-0093] After manufacture, the aligners can be marked for case number and subject's name (or otherwise labeled), cleaned, sterilized, and packaged for shipment. In some variations, a box is shipped to the practitioner that includes two plastic bags containing two sets of appliances formed in the preceding steps, plus the templates for buttons, if any. The practitioner examines the appliance (the "next aligner") on the subject to test the fit. During the first visit to the practitioner after impressions have been made, the "next appliance" will be the first appliance. If the practitioner deems the aligner fit to be correct, the subject can leave with the current appliance, and the next appliance, and wears each for three weeks in succession.

[0092] During the 6 week period of use of the appliances most recently delivered to the subject, a technician may manipulate the "current" positions of the subject's teeth (which are the positions used to create the appliance(s) most recently delivered to the subject), to move the teeth in the manner the technician believes should be done by the next appliance. This proposed new position may be made available to the practitioner for approval or modification, as described above, and may then be used to form the next appliance, in the manner described above.

[0093] The subject typically returns to the practitioner after having worn for each of the two aligners received for the appropriate time (e.g., three weeks). The practitioner may then monitor the effect of the aligner use to determine if the subject is progressing as expected, or if the treatment plan needs to be modified. For example, the practitioner may take additional

images of the subject, or may take additional casts of the subject's teeth. The monitoring and analysis of the subject's treatment may be sent to the manufacturer (e.g., for use by the technician manufacturing the aligners). If no modification is necessary, or after modification, the steps of approval, further modification of the digital model and manufacture of the new aligners is repeated substantially as described above).

Therefore, it would have been obvious to one having ordinary skill in the art at the time the invention was made to modify the Matov invention according to the teaching of Wen because to combine "the Neural Network images for optimizing dental aligner and determining position of tooth treatment, that is taught by the Matov invention according to the teaching taught by Wen to include the additional images taken after 3 weeks of wearing aligners and position of the teeth, would provide accuracy and more extensive Neural Network database for fitting aligners and teeth treatment in orthodontic procedures.

Contrary to the applicant's assertion, as he traverses, regarding limitations of amended claim 1, that Matov does not disclose "the submission of an image to a deep learning device (neural network)".

Examiner indicates, that Matov discloses (page 4, paragraph, [0068-0069] 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).

Contrary to the applicant's assertion, as he traverses, regarding limitations of the claims that Matov does not deal "with the treatment of images by a neural network".

Examiner respectfully want to point out, all throughout the specification referring to "orthodontic treatment" and not treatment of image. It is not clear what, "treatment of images is referring to".

Examiner indicates, that Matov discloses (page 2, paragraph, [0052] digital treatment plans are now possible with "3-dimensional orthodontic treatment" planning tools such as

software from Align Technology, Inc. or other software available from eModels and OrthoCAD, among others. These technologies allow the clinician to use the actual patient's dentition as a starting point for customizing the treatment plan. The software technology available from Align Technology, Inc., uses a patient-specific digital model to plot a treatment plan, and then use a scan of the achieved or actual treatment outcome to assess the degree of success of the outcome as compared to the original digital treatment plan as discussed in U.S. patent application Ser. No. 10/640,439, filed Aug. 21, 2003 and U.S. patent application Ser. No. 10/225,889 filed Aug. 22, 2002. The problem with the digital treatment plan and outcome assessment is the abundance of data and the lack of standards and efficient methodology by which to assess "treatment success" at an individual patient level. To analyze the information, a dental data mining system is used.

DETAILED ACTION

Claim Rejections - 35 USC § 103

4. 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.

5. Claims 1-4 and 14 are rejected under 35 U.S.C. 103(a) as being unpatentable over Matov (U.S. Pub No: 2013/0230818 A1) in view of Wen et al (U.S. Pub No: 2017/0300207 A1).

Regarding claim 1, Matov discloses a method for assessing the shape of an orthodontic aligner, said method comprising the following steps (see abstract, method and system for establishing an initial position of a tooth, determining a target position of the tooth in a treatment

plan, calculating a movement vector associated with the tooth movement from the initial position to the target position, determining a plurality of components corresponding to the movement vector, and determining a corresponding one or more positions of a respective one or more attachment devices relative to a surface plane of the tooth such that the one or more attachment devices engages with a dental appliance are provided);

a") more than 1 week after the start of treatment with the aligner, 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", the analysis image being a photograph, or an image extracted from a film (see page 11, paragraph [0135] FIGS. 11A-11B illustrate an initial tooth position with a positioned dental appliance, and a resulting undesirable force vector, respectively. Referring to the Figures, in an example where the tooth as shown is being moved in a facial direction along the x-direction, upon positioning of the dental appliance such as the polymeric shell aligner, over the tooth, the aligner shape geometry is configured to apply a predetermined force upon the tooth to reposition the tooth in accordance with a treatment plan for the particular treatment stage. For example, as shown in FIG. 11B, the dental appliance is configured to engage the tooth to reposition the tooth in the x-direction as shown, but, rather, results in the application of a predetermined force in the +x/-z direction as shown and illustrated by the arrow);

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" representing, at least partially, a tooth on said 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 (see pages 4-5, paragraphs, [0068-0069] 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 (refer to learning base).

Also page 5, paragraph, [0078] the output streams or results 4 of FIG. 1A are used as feedback in improving dental appliance design and/or usage by doctors. For example, the data mining results can be used to evaluate performance based on staging approaches, to compare appliance performance indices based on treatment approaches, and to evaluate performance comparing different attachment shapes and positions on teeth. Finally pages 7-8 paragraph, [0104] FIG. 2B illustrates a process 200 implementing the appliance-calculation step (FIG. 2A, step 170) for polymeric shell aligners of the kind described in above-mentioned U.S. Pat. No. 5,975,893. Inputs to the process include an initial aligner shape 202, various control parameters 204, and a desired end configuration for the teeth at the end of the current treatment path segment 206. Other inputs include digital models of the teeth in position in the jaw, models of the jaw tissue, and specifications of an initial aligner shape and of the aligner material. Using the input data, the process creates a finite element model of the aligner, teeth and tissue, with the aligner in place on the teeth (step 210). Next, the process applies a finite element analysis to the composite finite element model of aligner, teeth and tissue (step 220). The analysis runs until an exit condition is reached, at which time the process evaluates whether the teeth have reached the desired end position for the current path segment, or a position sufficiently close to the desired

end position (step 230). If an acceptable end position is not reached by the teeth, the process calculates a new candidate aligner shape (step 240). If an acceptable end position is reached, the motions of the teeth calculated by the finite elements analysis are evaluated to determine whether they are orthodontically acceptable (step 232). If they are not, the process also proceeds to calculate a new candidate aligner shape (step 240). If the motions are orthodontically acceptable and the teeth have reached an acceptable position, the current aligner shape is compared to the previously calculated aligner shapes. If the current shape is the best solution so far (decision step 250), it is saved as the best candidate so far (step 260). If not, it is saved in an optional step as a possible intermediate result (step 252). If the current aligner shape is the best candidate so far, the process determines whether it is good enough to be accepted (decision step 270). If it is, the process exits. Otherwise, the process continues and calculates another candidate shape (step 240) for analysis).

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 (see page 11, paragraph [0135] FIGS. 11A-11B illustrate an initial tooth position with a positioned dental appliance, and a resulting undesirable force vector, respectively. Referring to the Figures, in an example where the tooth as shown is being moved in a facial direction along the x-direction, upon positioning of the dental appliance such as the polymeric shell aligner, over the tooth, the aligner shape geometry is configured to apply a predetermined force upon the tooth to reposition the tooth in accordance with a treatment plan for the particular treatment stage. For example, as shown in FIG. 11B, the dental appliance is configured to engage the tooth to reposition the tooth in the x-direction as shown, but, rather, results in the application of a predetermined force in the +x/-z direction as shown and illustrated by the arrow. Also page

paragraph, [0138] FIG. 12 illustrates a modified dental appliance geometry including an additional shape modification to remove a gap between the dental appliance and the tooth. Referring to FIG. 12, it is to be noted that while the modification of the aligner shape geometry (for example, discussed above in conjunction with FIGS. 11C-11D), results in the desired predetermined force applied upon the tooth as planned for the dental treatment, there may be a gap or pocket that forms between the tooth and the aligner, for example, as shown in FIG. 12, near the gingival area. In one aspect, to account for this gap (separation) or pocket generated, the aligner shape geometry may be further modified or optimized, for example, to better adapt in the direction towards the tooth when the aligner is in the active (or stretched) state).

However regarding claim 1, that Matov does not disclose "acquired more than 1 week after the start of the treatment with the aligner". Examiner is using the new reference based on the amended claim supplied with this action "Wen", in the same field of "Treatment of Teeth Aligners", teaches (see page 9, paragraphs, [0091-0093] After manufacture, the aligners can be marked for case number and subject's name (or otherwise labeled), cleaned, sterilized, and packaged for shipment. In some variations, a box is shipped to the practitioner that includes two plastic bags containing two sets of appliances formed in the preceding steps, plus the templates for buttons, if any. The practitioner examines the appliance (the "next aligner") on the subject to test the fit. During the first visit to the practitioner after impressions have been made, the "next appliance" will be the first appliance. If the practitioner deems the aligner fit to be correct, the subject can leave with the current appliance, and the next appliance, and wears each for three weeks in succession.

[0092] During the 6 week period of use of the appliances most recently delivered to the subject, a technician may manipulate the "current" positions of the subject's teeth (which are the

positions used to create the appliance(s) most recently delivered to the subject), to move the teeth in the manner the technician believes should be done by the next appliance. This proposed new position may be made available to the practitioner for approval or modification, as described above, and may then be used to form the next appliance, in the manner described above.

[0093] The subject typically returns to the practitioner after having worn for each of the two aligners received for the appropriate time (e.g., three weeks). The practitioner may then monitor the effect of the aligner use to determine if the subject is progressing as expected, or if the treatment plan needs to be modified. For example, the practitioner may take additional images of the subject, or may take additional casts of the subject's teeth. The monitoring and analysis of the subject's treatment may be sent to the manufacturer (e.g., for use by the technician manufacturing the aligners). If no modification is necessary, or after modification, the steps of approval, further modification of the digital model and manufacture of the new aligners is repeated substantially as described above).

Therefore, it would have been obvious to one having ordinary skill in the art at the time the invention was made to modify the Matov invention according to the teaching of Wen because to combine “the Neural Network images for optimizing dental aligner and determining position of tooth treatment, that is taught by the Matov invention according to the teaching taught by Wen to include “the additional images taken after 3 weeks of wearing aligners and position of the teeth”, would provide accuracy and more extensive Neural Network database for fitting aligners and teeth treatment in orthodontic procedures.

Regarding claim 2, Matov discloses the method as claimed in claim 1, comprising, after the step b"), step c") as follows: c") assessment of the suitability of the aligner as a function of the value of said tooth or image attribute (see claim 1, also page 3, paragraph, [0057] 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.sup.2 that is obtained from a regression computation of "Achieved" and "Goal" data. Also page 12, paragraph, [0149] additionally, in one aspect, there is provided an interactive analysis process where minute or small localized changes are introduced into the aligner shape geometry, and wherein the effect of the resulting force profile is compared to the desired force, for example, in each treatment stage of a treatment plan, and repeated if the result is closer to the target profile, and ignored if the results move away or deviate further from the target profile. This may be repeated for each treatment stage of the treatment plan such that the series of dental appliances or aligners are each optimized in its respective shape geometry to improve treatment results).

Regarding claim 3, Matov discloses the method as claimed in claim 2, in which, in the step b"), all said analysis tooth zones are identified, and the tooth attribute value 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 (see page 14, paragraph, [0171] FIG. 21 is a flowchart illustrating the optimized shape geometry of the dental appliance. Referring to FIG. 21, at step 2110, the initial position of the tooth is determined. Thereafter, at step 2120, the target position of the tooth based on the treatment plan is determined. In one aspect, the target position may

include the next or n+1 treatment stage tooth position. Referring back to FIG. 21, after determining the target position of the tooth based on the treatment plan, a movement vector associated with the tooth movement from the initial position to the target position is calculated or determined at step 2130. That is, a force profile or attribute is determined which includes, for example, the magnitude of the force and the direction of the force, for example, that is associated with the tooth movement from the initial position to the target position).

Regarding claim 4, Matov discloses the method as claimed in claim 1, 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 10, paragraphs, [0122-0124] as was mentioned above, the process 600 is defined and parameterized by various items of input data (step 602). In one implementation, this initializing and defining data includes the following items: an iteration limit for the outer loop of the overall process; specification of figures of merit that are calculated to determine whether an aligner is good enough (see FIG. 2B, step 270); a specification of the aligner material; a specification of the constraints that the shape or configuration of an aligner must satisfy to be acceptable; a specification of the forces and positioning motions and velocities that are orthodontically acceptable; an initial treatment path, which includes the motion path for each tooth and a segmentation of the treatment path into segments, each segment to be accomplished by one aligner; a specification of the "shapes" and positions of any anchors installed on the teeth or otherwise; and a specification of a model for the jaw bone and other tissues in or on which the teeth are situated (in the implementation being described, this model consists of a model of a viscous substrate fluid in which the teeth are embedded and which has boundary conditions that essentially define a container for the fluid). FIG. 7 is an exemplary

diagram of a statistical root model. As shown therein, using the scanning processes described above, a scanned upper portion 701 of a tooth is identified. The scanned upper portion, including the crown, is then supplemented with a modeled 3D root. The 3D model of the root can be statistically modeled. The 3D model of the root 702 and the 3D model of the upper portion 700 together form a complete 3D model of a tooth. FIG. 8 shows exemplary diagrams of root modeling, as enhanced using additional dental information. In FIG. 8, the additional dental information is X-ray information. An X-ray image 710 of teeth is scanned to provide a 2D view of the complete tooth shapes. An outline of a target tooth is identified in the X-Ray image. The model 712 as developed in FIG. 7 is modified in accordance with the additional information. In one embodiment, the tooth model of FIG. 7 is morphed to form a new model 714 that conforms with the X-ray data. Also paragraph, [0129] in one embodiment, the system determines a surface area for each tooth model. The system then sums all surface areas for all tooth models to be moved. Next, the system sums all surface areas of all tooth models on the arch. For each stage of teeth movement, the system checks that a predetermined area ratio or constraint is met while the tooth models are moved. In one implementation, the constraint can be to ensure that the surface areas of moving teeth are less than the total surface areas of teeth on an arch supporting the teeth being moved. If the ratio is greater than a particular number such as 50%, the system indicates an error signal to an operator to indicate that the teeth should be moved on a slower basis).

With regard to claim 4 the arguments analogous to those presented above for claims 1, 2, 3 and 4 are respectively applicable to claim 4.

6. Claims 5-6, 9 and 13 are rejected under 35 U.S.C. 103(a) as being unpatentable over Matov (U.S. Pub No: 2013/0230818 A1) in view of Wen et al (U.S. Pub No: 2017/0300207 A1),

further in view of Kuo (U.S. Pub No: 2015/0132708 A1).

Regarding claim 5, Matov discloses (see claim 1, also pages 4-5, paragraphs, [0068-0069] 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 (refer to learning base).

Also pages 7-8 paragraph, [0104] FIG. 2B illustrates a process 200 implementing the appliance-calculation step (FIG. 2A, step 170) for polymeric shell aligners of the kind described in above-mentioned U.S. Pat. No. 5,975,893. Inputs to the process include an initial aligner shape 202, various control parameters 204, and a desired end configuration for the teeth at the end of the current treatment path segment 206. Other inputs include digital models of the teeth in position in the jaw, models of the jaw tissue, and specifications of an initial aligner shape and of the aligner material. Using the input data, the process creates a finite element model of the aligner, teeth and tissue, with the aligner in place on the teeth (step 210). Next, the process applies a finite element analysis to the composite finite element model of aligner, teeth and tissue (step 220). The analysis runs until an exit condition is reached, at which time the process evaluates whether the teeth have reached the desired end position for the current path segment, or a position sufficiently close to the desired end position (step 230). If an acceptable end position is not reached by the teeth, the process calculates a new candidate aligner shape (step 240). If an

acceptable end position is reached, the motions of the teeth calculated by the finite elements analysis are evaluated to determine whether they are orthodontically acceptable (step 232). If they are not, the process also proceeds to calculate a new candidate aligner shape (step 240). If the motions are orthodontically acceptable and the teeth have reached an acceptable position, the current aligner shape is compared to the previously calculated aligner shapes. If the current shape is the best solution so far (decision step 250), it is saved as the best candidate so far (step 260). If not, it is saved in an optional step as a possible intermediate result (step 252). If the current aligner shape is the best candidate so far, the process determines whether it is good enough to be accepted (decision step 270). If it is, the process exits. Otherwise, the process continues and calculates another candidate shape (step 240) for analysis).

However neither Matov nor wen explicitly state the limitation of claim "a learning base comprising more than 1000 images".

On the other hand Kuo in the same field of providing dynamic orthodontic assessment and treatment teaches (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. 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).

Therefore, it would have been obvious to one having ordinary skill in the art at the time the invention was made to modify the Matov invention according to the teaching of Kuo because to combine "the Neural Network images that is taught by the Matov invention according to the teaching taught by Kuo to include 1,000 images, would provide a more extensive Neural Network database for fitting aligners and teeth in orthodontic procedures).

With regard to claims 6, 9 and 13 the arguments analogous to those presented above for claims 1, 5 are respectively applicable to claim 6, 9 and 13.

7. Claims 10-12 and 15-16 are rejected under 35 U.S.C. 103(a) as being unpatentable over Matov (U.S. Pub No: 2013/0230818 A1) in view of Wen et al (U.S. Pub No: 2017/0300207 A1), further in view of Borovinskih et al (Pub. No: U.S. 2017/0049311 A1).

Regarding claim 10, Matov discloses (see page 18, paragraph, [0229] to provide for interaction with a user, the invention can be implemented using a computer system having a display device such as a monitor or LCD (liquid crystal display) screen for displaying information to the user and input devices by which the user can provide input to the computer

system such as a keyboard, a two-dimensional pointing device such as a mouse or a trackball, or a three-dimensional pointing device such as a data glove or a gyroscopic mouse. The computer system can be programmed to provide a graphical user interface through which computer programs interact with users. The computer system can be programmed to provide a virtual reality, three-dimensional display interface).

However neither Matov nor wen explicitly state, limitation of claim 10 "the cellphone is used to acquire the image".

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 Matov invention according to the teaching of Borovinskih because to combine "the central server to communicate with the terminal and display information to the user that may be performed over the internet that is taught by the Matov 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.

With regard to claims 11-12 and 15-16 the arguments analogous to those presented above for claims 1, 10 and 14 are respectively applicable to claims 11-12 and 15-16.

Allowable Subject Matter

8. Claims 7 and 8 are objected to as being dependent upon a rejected base claim, but would be allowable if rewritten in independent form including all of the limitations of the base claim and any intervening claims.

Contact Information

9. 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. 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
September 22, 2020

Notice of References Cited	Application/Control No. 16/030,137	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-20170300207-A1	10-2017	WEN; Huafeng	A61C7/002	1/1
	B					
	C					
	D					
	E					
	F					
	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.

Index of Claims	Application/Control No.	Applicant(s)/Patent Under Reexamination
	16/030,137	SALAH et al.
	Examiner	Art Unit
	SEYED H AZARIAN	2667

✓	Rejected	-	Cancelled	N	Non-Elected	A	Appeal
=	Allowed	÷	Restricted	I	Interference	O	Objected

CLAIMS

☐ Claims renumbered in the same order as presented by applicant ☐ CPA ☐ T.D. ☐ R.1.47

CLAIM		DATE								
Final	Original	02/23/2020	06/15/2020	09/23/2020						
	1	✓	✓	✓						
	2	✓	✓	✓						
	3	✓	✓	✓						
	4	✓	✓	✓						
	5	✓	✓	✓						
	6	✓	✓	✓						
	7	O	O	O						
	8	O	O	O						
	9	✓	✓	✓						
	10	✓	✓	✓						
	11	✓	✓	✓						
	12	✓	✓	✓						
	13		✓	✓						
	14		✓	✓						
	15			✓						
	16			✓						

Search Notes	Application/Control No.	Applicant(s)/Patent Under Reexamination
	16/030,137	SALAH et al.
	Examiner	Art Unit
	SEYED H AZARIAN	2667

CPC - Searched*		
Symbol	Date	Examiner

CPC Combination Sets - Searched*		
Symbol	Date	Examiner
A61C 7/00	2/15/2020	S.A
G06K 9/00	2/15/2020	S.A

US Classification - Searched*			
Class	Subclass	Date	Examiner
382	100,103,106,128-131,154-155,162,168,173,181,199,219,224,232,254,285-291,395,318.	2/15/2020	S.A
1	1	2/15/2020	S.A
705	2	2/15/2020	S.A
433	3,24,215	2/16/2020	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	2/15/2020	S.A
UPDATED SEARCH	06/12/2020	S.A
UPDATED SEARCH	09/20/2020	S.A

/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	

Search Notes	Application/Control No.	Applicant(s)/Patent Under Reexamination
	16/030,137	SALAH et al.
	Examiner	Art Unit
	SEYED H AZARIAN	2667

Interference Search			
US Class/CPC Symbol	US Subclass/CPC Group	Date	Examiner

/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	

EAST Search History

EAST Search History (Prior Art)

Ref #	Hits	Search Query	DBs	Default Operator	Plurals	Time Stamp
L1	2	"20130230818"	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/09/21 07:18
L2	2	1 and (photo$4 or photograp$4 or film$3 or pictur$4)	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/09/21 07:19
L3	2	1 and (photo$7 or photograp$4 or film$3 or pictur$4)	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/09/21 07:20
L4	2	"20150132708"	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/09/21 07:23
L5	2	4 and (photo$7 or photograp$4 or film$3 or pictur$4)	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/09/21 07:23
L6	2	"20170049311"	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/09/21 07:26
L7	2	6 and (photo$7 or photograp$4 or film$3 or pictur$4)	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/09/21 07:26

9/21/2020 7:29:09 AM

EAST Search History

EAST Search History (Prior Art)

Ref #	Hits	Search Query	DBs	Default Operator	Plurals	Time Stamp
L1	2	"20170100212"	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/09/22 13:11
L2	2	1 and (treatmen$4 or day$2 or week$2 or mount$4 or tim$3 or photograp$4)	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/09/22 13:12
L3	2	"20150132708"	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/09/22 13:20
L4	2	3 and (treatmen$4 or day$2 or week$2 or mount$4 or tim$3 or photograp$4)	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/09/22 13:20
L5	2	"20130230818"	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/09/22 13:21
L6	2	5 and (treatmen$4 or day$2 or week$2 or mount$4 or tim$3 or photograp$4)	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/09/22 13:21
L7	2	"20170049311"	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/09/22 13:24
L8	2	7 and (treatmen$4 or day$2 or week$2 or mount$4 or tim$3 or photograp$4)	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/09/22 13:24

9/22/2020 1:30:27 PM

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. 6210

SERIAL NUMBER	FILING or 371(c) DATE RULE	CLASS	GROUP ART UNIT	ATTORNEY DOCKET NO.
16/030,137	07/09/2018	382	2667	N&P-51422

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 1756956 07/21/2017

**** IF REQUIRED, FOREIGN FILING LICENSE GRANTED ****
07/24/2018

Foreign Priority claimed ☑ Yes ☐ No 35 USC 119(a-d) conditions met ☑ Yes ☐ No Verified and Acknowledged /SEYED H AZARIAN/ Examiner's Signature	☐ Met after Allowance S.A Initials	STATE OR COUNTRY	SHEETS DRAWINGS	TOTAL CLAIMS	INDEPENDENT CLAIMS
		FRANCE	11	12	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
Doc description: Information Disclosure Statement (IDS) Filed

PTO/SB/08a (01-10)
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-51422

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.	

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	Para [0066]-[0070]; Para [0035]
	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] i	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]

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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-51422

	1	2016066651	WO	A1	2016-05-06	Salah et al.		☐
	2	2017182654	WO	A1	2017-10-26	Salah et al.	Pg. 57, Ln.15-Pg.62, Ln.3	☐
	3	3027505	FR	A1	2016-04-29	Salah et al.		☐
	4	3010629	FR	A1	2015-03-20	Salah et al.		☐
	5	2017094181	JP	A	2017-06-01	Matov et al.	See corresponding US 2009/191503; Para [0065]-[0074]; Para [0101]-[0119]; Para [0195]-[0198]	☐

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.: 1756956, French Search Report, dated March 23, 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]; Entire Document	☐
	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	☐

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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-51422

	5	LIN P L ET AL: "An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using teeth region and contour infonmation", 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]	☐
	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]	☐
	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	☐
	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	09/23/2020

*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.

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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-51422

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)	2018-07-09
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.**

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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 record s.

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.

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No.	:	16/030,137
Applicant	:	Philippe SALAH
Filing Date	:	July 9, 2018
Title	:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
Conf. No.	:	6210
Art Unit	:	2667
Examiner	:	Seyed H. Azarian
Customer No.	:	108676
Docket No	:	N&P-51422

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

Amendment "E"

Sir:

This amendment is filed in response to the Office Action dated September 28, 2020, Paper No./Mail Date: 20200922. The three-month period for responding to the Office Action expires on December 28, 2020.

Please amend the above identified application as follows:

Amendments to the Claims are reflected in the listing of claims that begins on page 2 of this paper.

Remarks / Arguments begin on page 8 of this paper.

Listing of Claims:

The listing of claims will replace all prior versions, and listings, of claims in this application:

1. (Previously presented) A method for assessing the shape of an orthodontic aligner, said method comprising the following steps:

   a'') more than 1 week after the start of the treatment with the aligner, 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", the analysis image being a photograph, or an image extracted from a film;

   b'') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, trained by means of a learning base, so as to determine a value
   for at least one tooth attribute of an "analysis tooth zone" representing, at least partially, a tooth on said 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.

   .

2. (Previously presented) The method as claimed in claim 1, comprising, after the step b''), step c'') as follows:

   c'') assessment of the suitability of the aligner as a function of the value of said tooth attribute.

3. (Original) The method as claimed in claim 2, in which, in the step b''), all said analysis tooth zones are identified, and the tooth attribute value 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.

4. (Original) The method as claimed in claim 1, 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.

5. (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 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, 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 is assigned;
   2) training of at least one deep learning device, 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, in a location of said analysis image, of an analysis tooth zone, and
      - 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 separation of the aligner and of the tooth represented by said analysis tooth zone~~, and/or of an amplitude of said separation~~.

6. (Previously presented) 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", the image attribute relating to a separation between the tooth or teeth and the aligner represented on the historical image;
   2') training of at least one deep learning device, 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 1, in which the learning base is constructed 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 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 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.

8. (Original) The method as claimed in claim 1, in which the learning base is constructed 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.

9. (Previously presented) The method as claimed in claim 1, in which, to create a historical image of the learning base, an operator,
   - 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. (Original) The method as claimed in claim 1, in which, in the step a''), a cellphone is used to acquire the analysis image.

11. (Original) The method as claimed in claim 2, comprising, after the step c''), a step d'') as follows:

d'') sending of an information message as a function of said assessment.

12. (Original) The method as claimed in claim 2, in which, as a function of the result of said assessment, a new aligner is manufactured.

13. (Previously presented) The method as claimed in claim 1, in which in step b''), the deep learning device is a neural network.

14. (Previously presented) A method for assessing the shape of an orthodontic aligner, said method comprising the following steps:

a'') more than 1 week after the start of the treatment with the aligner, 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" the analysis image being a photograph, or an image extracted from a film;

b'') analysis of the analysis image by means of a deep learning device, trained by means of a learning base, so as to determine a value

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. (Previously presented) The method as claimed in claim 14, comprising, after the step b''), step c'') as follows:

c") assessment of the suitability of the aligner as a function of the value of said image attribute.

16. (Previously presented) The method as claimed in claim 14, in which, in the step a''), a cellphone is used to acquire the analysis image.

17. (New) 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 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, 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 is assigned;

2) training of at least one deep learning device, 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, in a location of said analysis image, of an analysis tooth zone, and
   - the attribute value of the tooth represented on said analysis tooth zone;
4) determination, as a function of said probability, of an amplitude of said separation.

REMARKS/ARGUMENTS

Reconsideration of the subject application in view of the present Amendment is respectfully requested.

By the present amendment, claim 5 is amended (i.e., the portion "and/or of an amplitude of said separation" is removed), and claim 17 is added. Please note that new claim 17 is based upon the portion removed from claim 5.

As an initial matter, the Applicant's Representative would like to request a telephone Examiner Interview. It is believed that the Examiner may be understanding the present invention and the Applicant's Representative would like to have the Interview to ensure that proper understanding is provided to the Examiner. As such, once the Examiner has taken-up the present Amendment, it is respectfully requested that the Examiner contact the below-signed Applicant's Representative so that the Interview may be properly scheduled (i.e., after the Examiner has had opportunity to review the present Amendment and the following discussion).

Turning to the rejection of claim 5 under 35 U.S.C. §112, please note that the identified verbiage of "and/or" and the associated limitation are removed from claim 5. As such, it is respectfully requested that the rejection under 35 U.S.C. §112 be withdrawn.

Turning to the rejection of claims under 35 U.S.C. §103 in view of Matov (U.S. Pub. No. 2013/0230818) and Wen (U.S. Pub. No. 2017/0300207), please note the following:

Claim 1 recites:

"*more than 1 week after the start of the treatment with the aligner, 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'.*"

One aim of Matov is to design the best aligner as possible in order to reach a desired end position (see paragraph [01040]), by determining, before manufacturing said aligner, the movement between an initial position of a tooth and a target position of

said tooth. For this purpose, Matov describes a method using data mining to correlate a patient tooth problem with a dental appliance. The method of Matov allows the clinician to determine which dental appliance the patient has to use to achieve a treatment outcome (see paragraphs [0052]-[0053]).

The method described by Matov comprises the determination of the shape of the aligner. As such, the clinician calculates the movement of the teeth between an initial position and a target position and determines components associated to this movement, such as the force and the magnitude of the movement (see in particular figure 21). From these components, the clinician may modify the shape geometry of the aligner in order to design an optimal aligner.

However, the aligner of Matov is not real, in particular the clinician modifies the aligner before the aligner is actually manufactured. Indeed, the aim of Matov is to define what shape the aligner must take in order to be properly manufactured.

For example, figure 12 illustrates a modified aligner, which is a virtual model of aligner on virtual teeth. In particular figure 12 illustrates the force which would be applied on the teeth if the virtual model of aligner were manufactured and then actually worn by the patient.

In Matov, the aligner has not been manufactured yet, since the aim of Matov is to determine the optimal shape geometry for its later manufacture. Therefore, contrary to the present invention, in Matov, the patient cannot wear the aligner and thus no analysis image, at least partially representing the aligner in a service position, can be acquired.

In addition, claim 1 specifies that the acquisition is performed "more than 1 week after the start of the treatment with the aligner." However, in Matov the method is performed before the manufacture of the aligner. So, such presently claimed acquisition after the aligner treatment (i.e., use by the patient) has begun is not compatible with Matov.

As such, even if a person of ordinary in the art would have imagined acquiring an image, starting from Matov, the person of ordinary skill would not have imagined acquiring an image at least representing an aligner in a service position in which the

aligner is worn by the patient, more than 1 week after the start of the treatment with the aligner, as the aligner does not exist yet in Matov.

Moreover, claim 1 also recites:

"*analysis of the analysis image by means of a deep learning device*"

and

"*the tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the analysis tooth zone, and the aligner represented on the analysis image.*"

Even if Matov mentions neural networks (paragraphs [0068]-[0069],[0077]), Matov never suggests the submission of an image, and even less of an image at least partially representing an aligner, and even less of an image at least partially representing an aligner in a service position, to a deep learning device, to determine a value for at least one tooth attribute of an "analysis tooth zone" representing, at least partially, a tooth on said 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.

Therefore, Matov teaches away from the invention as claimed in claim 1. It is logical to be very cognizant that the base reference (i.e., Matov) of the asserted combination teaches away from the claimed invention as we look to see what the secondary reference (i.e., Wen) provides.

Wen discloses a method to design and manufacture aligners, and more particularly a series of aligners. Wen describes the determination of target configurations for each of a plurality of treatment steps for moving the subject's teeth from an initial configuration to a final configuration, at least one aligner being produced for each step (see paragraphs [0037]-[0038]), the aligner being produced using a physical arch model (paragraph [0041]). In particular, Wen suggests the deformation of a teeth model in order to determining a target position. The deformation may be estimated using an analysis device comprising constraint logic that indicates constraints on the movement of the teeth (paragraph [0049]).

Even if Wen suggests analyzing, after an aligner has been worn, the movement of the teeth to determine their position, in the dental arch, or how much they have moved since beginning the previous treatment step (paragraph [0154]), it never teaches or suggests the acquisition of an image at least partially representing the aligner in a service position in which it is worn by a patient. Indeed, the aim of Wen is to determine the movement of the teeth, to adjust the treatment plan and to better simulate the future movement of the teeth (paragraph [0164]).

In particular, Wen only suggests acquiring images of the teeth of the patient in order to create models of the teeth of the patient (see for example paragraphs [0077], [0096], [0099], [0111], [0115]). Such image acquisition is done as a preliminary step (i.e., pre-use/pre-wearing by the patient).

Moreover, even if the method of Wen may be performed after an aligner has been worn, there is no reason to acquire an image comprising the aligner.

Indeed, Wen only suggests measuring (manual measurement, contact scanning, non-contact scanning (paragraph [0112])) the movement of the teeth, to better simulate target configuration in order to produce new aligner or series of aligners, by reproducing the same steps as those carried out initially, i.e., before the patient wears an aligner (paragraph [0093]).

Finally, Wen never deals with a "*tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the analysis tooth zone, and the aligner represented on the analysis image" and even less with a "deep learning device.*"

As such, Wen does not teach or suggest the invention as claimed in claim 1. In other words, Wen also does not provide the missing claim limitations.

Thus, a combination of Matov and Wen cannot lead to the invention as none of the documents describes "more than 1 week after the start of the treatment with the aligner, 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'" and even less the analysis of such analysis image by means of a deep learning device, to determine a value for at least one tooth attribute of an "analysis tooth zone" representing, at least partially, a tooth on said 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. Bluntly, if neither document (Matov and Wen) includes the claimed limitations, the combination of the two documents cannot have such claimed limitations.

In particular, the invention as claimed simplifies the assessment of the good suitability of the aligner to the treatment, while making this assessment particularly reliable. In addition, 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 (see page 42, lines 5-9).

Therefore, claim 1 is new and inventive, thus patentable, over the asserted combination of Matov and Wen. The dependent claims are similarly patentable over the asserted combination of Matov and Wen.

With regard to claim 14, a similar analysis, as discussed above, is logically applied to claim 14. Therefore, claim 14 is patentable over the asserted combination of Matov and Wen.

In view of the foregoing, it is respectfully submitted that this application is in condition for allowance and allowance is respectfully requested. If there is anything further needed, the Examiner is invited to call the below signed attorney.

If there are any fees resulting from this communication, please charge same to our Deposit Account No. 505088, our Order No. N&P-51422.

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:	41503256
Application Number:	16030137
International Application Number:	
Confirmation Number:	6210
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-51422
Receipt Date:	28-DEC-2020
Filing Date:	09-JUL-2018
Time Stamp:	18:42:22
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		N-P-51422_UPAM-E.pdf	201869 192facb2c44b17e3cfb2f807bc8dee9b4707a46b	yes	12

	Multipart Description/PDF files in .zip description		
	Document Description	**Start**	**End**
	Amendment/Req. Reconsideration-After Non-Final Reject	1	1
	Claims	2	7
	Applicant Arguments/Remarks Made in an Amendment	8	12
Warnings:			
Information:			
	Total Files Size (in bytes):	201869	

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 02/22/2021

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: 02/22/2021

APPLICATION NO.	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR	ATTORNEY DOCKET NO.	CONFIRMATION NO.
16/030,137	07/09/2018	Philippe SALAH	N&P-51422	6210

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	$1200	$0.00	$0.00	$1200	05/24/2021

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)

108676 7590 02/22/2021

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.

(Typed or printed name)
(Signature)
(Date)

APPLICATION NO.	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR	ATTORNEY DOCKET NO.	CONFIRMATION NO.
16/030,137	07/09/2018	Philippe SALAH	N&P-51422	6210

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	$1200	$0.00	$0.00	$1200	05/24/2021

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 _____
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.
16/030,137	07/09/2018	Philippe SALAH	N&P-51422	6210

108676 7590 02/22/2021

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: 02/22/2021

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. 16/030,137	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 12/28/2020, also telephone interview on 2/4/2021.
   ☐ 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 and 17 . 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)
2. ☑ Information Disclosure Statements (PTO/SB/08), Paper No./Mail Date _____.
3. ☐ Examiner's Comment Regarding Requirement for Deposit of Biological Material _____.
4. ☑ Interview Summary (PTO-413), Paper No./Mail Date. 2/4/2021.
5. ☑ Examiner's Amendment/Comment
6. ☑ Examiner's Statement of Reasons for Allowance
7. ☐ Other _____.

/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 12/28/2020, see page 2 through 12 of the remarks, also telephone interview on February 4, 2021, with respect to cancellation of claim 16, and amended claim 1, have been fully considered and are persuasive, upon further consideration the 35 U.S.C. 112, first and rejection of 103(a) for claims 1-15 and 17, are hereby withdrawn.

The claims 1-15 and 17 now renumbered as 1-16 are allowed.

EXAMINER'S AMENDMENT

2. An examiner's amendment to the record appears below. Should the changes and/or additions be unacceptable to applicant, an amendment may be filed as provided by 37 CFR 1.312. To ensure consideration of such an amendment, it must be submitted no later than the payment of the issue fee.

Authorization for this examiner's amendment was given in a telephone interview with Applicants Attorney (Ronald M. Kachmarik, Reg No. 35,512), on February 4, 2021, without traverse.

The amended claim 1 as follows:

Cancel claim 16.

Claim 1. (Currently Amended) A method for assessing the shape of an orthodontic aligner, said method comprising the following steps:

a") more than 1 week after the start of the treatment with the aligner, 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", the analysis image being a photograph, or an image extracted from a film;

b") analysis of the analysis image by means of a deep learning device, trained by means of a learning base, so as to determine a value

for at least one tooth attribute of an "analysis tooth zone" representing, at least partially, a tooth on said 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,

in the step a"), a cellphone is used to acquire the analysis image.

Claim 16. (Cancelled)

REASONS FOR ALLOWANCE

3. The following is an examiner's statement of reasons for allowance.

This invention relates generally, to 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, a neural network, in order to determine at least one value of a tooth attribute.

Based on applicant's amendment, with respect to claim 1, representative of claim 14, the closest prior art of record (Matov and Wen), Matov reference is directed to method and system for establishing an initial position of a tooth, determining a target position of the tooth in a treatment plan, calculating a movement vector associated with the tooth movement from the initial position to the target position, but neither Matov nor Wen teach or suggest, among other things, "more than 1 week after the start of the treatment with the aligner, acquisition of at least

one "image at least partially representing the aligner" in a service position in which it is" worn" by a patient, "and tooth attribute relating to a separation between the tooth represented by the analysis tooth zone, and the aligner represented on the analysis image, a cellphone is used to acquire the analysis image".

These key features in combination with the other features of the claimed invention are neither taught nor suggested by (Matov and Wen) 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

4. 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. 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
February 13, 2021

Applicant-Initiated Interview Summary	**Application No.** 16/030,137	**Applicant(s)** SALAH et al.		
	Examiner SEYED H AZARIAN	**Art Unit** 2667	**AIA (First Inventor to File) Status** Yes	**Page** 1 of 1

All Participants (applicant, applicants representative, PTO personnel)	**Title**	**Type**
SEYED H AZARIAN	Primary Examiner	Telephonic
Ronald M. Kachmarik	Attorney	

Date of Interview: 04 February 2021

Issues Discussed:

35 U.S.C. 103

In a telephone interview, which was initiated by applicant's representative, discussing the limitation of claims, examiner suggested ways to clarify the independent claims or amend the claim so that it may overcome the prior art of record, and agreement was reached.

/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	

Applicant is reminded that a complete written statement as to the substance of the interview must be made of record in the application file. It is the applicants responsibility to provide the written statement, unless the interview was initiated by the Examiner and the Examiner has indicated that a written summary will be provided. See MPEP 713.04
Please further see:
MPEP 713.04
Title 37 Code of Federal Regulations (CFR) § 1.133 Interviews, paragraph (b)
37 CFR § 1.2 Business to be transacted in writing

Applicant recordation instructions: The formal written reply to the last Office action must include the substance of the interview. (See MPEP section 713.04). If a reply to the last Office action has already been filed, applicant is given a non-extendable period of the longer of one month or thirty days from this interview date, or the mailing date of this interview summary form, whichever is later, to file a statement of the substance of the 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.

Notice of References Cited	Application/Control No. 16/030,137	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-20170300207-A1	10-2017	WEN; Huafeng	A61C7/002	1/1
*	B	US-20130230818-A1	09-2013	Matov; Vadim	A61C7/00	433/3
*	C	US-20170049311-A1	02-2017	Borovinskih; Artem	G06T5/20	1/1
*	D	US-20160310097-A1	10-2016	BAE; Woong	A61B6/027	1/1
*	E	US-20180168780-A1	06-2018	Kopelman; Avi	G09B23/283	1/1
*	F	US-20150132708-A1	05-2015	Kuo; Eric E.	G06F19/00	433/24
	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.

Issue Classification	Application/Control No.	Applicant(s)/Patent Under Reexamination
	16/030,137	SALAH et al.
	Examiner	**Art Unit**
	SEYED H AZARIAN	2667

CPC						
Symbol					**Type**	**Version**
G06T	/	7	/	0014	F	2013-01-01
G06K	/	9	/	6273	I	2013-01-01
A61C	/	9	/	0046	I	2013-01-01
A61C	/	19	/	04	I	2013-01-01
G06T	/	7	/	62	I	2017-01-01
A61C	/	7	/	002	I	2013-01-01
G06K	/	9	/	624	I	2013-01-01
G06K	/	9	/	6256	I	2013-01-01
G06T	/	17	/	00	I	2013-01-01
G06T	/	2207	/	20081	A	2013-01-01
G06T	/	2207	/	30036	A	2013-01-01

CPC Combination Sets							
Symbol					**Type**	**Set**	**Ranking**	**Version**
	/		/					

NONE		Total Claims Allowed:	
(Assistant Examiner)	(Date)	16	
/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	05 February 2021	O.G. Print Claim(s)	O.G. Print Figure
(Primary Examiner)	(Date)	1	10

U.S. Patent and Trademark Office — Part of Paper No.: 20210204

Issue Classification	Application/Control No.	Applicant(s)/Patent Under Reexamination
	16/030,137	SALAH et al.
	Examiner	**Art Unit**
	SEYED H AZARIAN	2667

INTERNATIONAL CLASSIFICATION					
CLAIMED					
G06K	/	9	/	00	
A61C	/	3	/	00	

NON-CLAIMED				
	/		/	

US ORIGINAL CLASSIFICATION	
CLASS	**SUBCLASS**
382	128

CROSS REFERENCES(S)						
CLASS	**SUBCLASS (ONE SUBCLASS PER BLOCK)**					
382	286					
433	24					

NONE		Total Claims Allowed:	
(Assistant Examiner)	(Date)	16	
/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	05 February 2021	O.G. Print Claim(s)	O.G. Print Figure
(Primary Examiner)	(Date)	1	10

Issue Classification	Application/Control No.	Applicant(s)/Patent Under Reexamination
	16/030,137	SALAH et al.
	Examiner	**Art Unit**
	SEYED H AZARIAN	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	12	10												
2	2	4	11												
3	3	5	12												
6	4	13	13												
7	5	15	14												
8	6	16	15												
9	7	-	16												
10	8	14	17												
11	9														

NONE		**Total Claims Allowed:**	
(Assistant Examiner)	(Date)	16	
/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	05 February 2021	O.G. Print Claim(s)	O.G. Print Figure
(Primary Examiner)	(Date)	1	10

Search Notes	Application/Control No.	Applicant(s)/Patent Under Reexamination
	16/030,137	SALAH et al.
	Examiner	Art Unit
	SEYED H AZARIAN	2667

CPC - Searched*		
Symbol	Date	Examiner

CPC Combination Sets - Searched*		
Symbol	Date	Examiner
A61C 7/00	2/15/2020	S.A
G06K 9/00	2/15/2020	S.A

US Classification - Searched*			
Class	Subclass	Date	Examiner
382	100,103,106,128-131,154-155,162,168,173,181,199,219,224,232,254,285-291,395,318.	2/15/2020	S.A
1	1	2/15/2020	S.A
705	2	2/15/2020	S.A
433	3,24,215	2/16/2020	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	2/15/2020	S.A
UPDATED SEARCH	06/12/2020	S.A
UPDATED SEARCH	09/20/2020	S.A
UPDATED SEARCH	02/01/2021	S.A

/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	

Search Notes	Application/Control No.	Applicant(s)/Patent Under Reexamination
	16/030,137	SALAH et al.
	Examiner	Art Unit
	SEYED H AZARIAN	2667

Interference Search			
US Class/CPC Symbol	**US Subclass/CPC Group**	**Date**	**Examiner**
US-PGPUB	See Interference Search History Print Out	02/02/2021	S.A
382	286	02/05/2021	S.A
433	24	02/05/2021	S.A

/SEYED H AZARIAN/ Primary Examiner, Art Unit 2667	

Index of Claims	Application/Control No.	Applicant(s)/Patent Under Reexamination
	16/030,137	SALAH et al.
	Examiner	**Art Unit**
	SEYED H AZARIAN	2667

✓	Rejected	-	Cancelled	N	Non-Elected	A	Appeal
=	Allowed	÷	Restricted	I	Interference	O	Objected

CLAIMS

☐ Claims renumbered in the same order as presented by applicant ☐ CPA ☐ T.D. ☐ R.1.47

CLAIM		DATE								
Final	Original	02/23/2020	06/15/2020	09/23/2020	02/05/2021					
1	1	✓	✓	✓	=					
2	2	✓	✓	✓	=					
3	3	✓	✓	✓	=					
6	4	✓	✓	✓	=					
7	5	✓	✓	✓	=					
8	6	✓	✓	✓	=					
9	7	O	O	O	=					
10	8	O	O	O	=					
11	9	✓	✓	✓	=					
12	10	✓	✓	✓	=					
4	11	✓	✓	✓	=					
5	12	✓	✓	✓	=					
13	13		✓	✓	=					
15	14		✓	✓	=					
16	15			✓	=					
-	16			✓	-					
14	17				=					

EAST Search History

EAST Search History (Prior Art)

Ref #	Hits	Search Query	DBs	Default Operator	Plurals	Time Stamp
L1	118	((imag$3) with (aligner$2) with (patien$3 or person$2))	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2021/02/13 06:42
L3	14	1 and ((imag$3) with (aligner$2) with (worn$3) with (patien$3 or person$2))	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2021/02/13 06:45

2/13/2021 6:46:30 AM

EAST Search History

EAST Search History (Prior Art)

Ref #	Hits	Search Query	DBs	Default Operator	Plurals	Time Stamp
L1	11	"2018029276"	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 06:54
L2	3	1 and (dental$3 or teeth$3 or tooth$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 06:59
L3	11	("10192003" | "10206759" | "20060228009" | "20170100207" | "20180303581" | "20180333226" | "20190333224" | "20200022790" | "7004754" | "7844429" | "9629698").PN.	US-PGPUB; USPAT; USOCR	OR	OFF	2020/12/29 07:01
L4	5	3 and (mobil$3 or cel$3 or phon$3 or smart$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:02
L5	2	4 and color$3	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:06
L6	1	5 and (neural$3 ot network$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:07
L7	2	4 and (imag$3 near5 color$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:08
L8	33	"2016073569"	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:10

L9	6	8 and (mobil$3 or cel$3 or phon$3 or smart$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:10
L10	4	(dorodvand with rojina)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:12
L11	1	10 and (mobil$3 or cel$3 or phon$3 or smart$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:12
L12	0	11 and (imag$3 near5 color$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:13
L13	1	11 and (color$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:13
L14	1	13 and (neural$3 ot network$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:13
L15	1	14 and (attribut$4 or calibrat$4 or contras$4 or sharp$5 or bright$5)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:18
L16	1	"20180168780"	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/12/29 07:21
L17	1	16 and (mobil$3 or cel$3 or phon$3 or smart$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:21
L18	1	17 and (attribut$4 or calibrat$4 or contras$4 or sharp$5 or bright$5)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:21

L19	2	"20150132708"	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/12/29 07:24
L20	2	19 and (attribut$4 or calibrat$4 or contras$4 or sharp$5 or bright$5)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:24
L21	0	20 and (mobil$3 or cel$3 or phon$3 or smart$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:24
L22	2	20 and (color$3 or mobil$3 or cel$3 or phon$3 or smart$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:24
L23	2	"20170049311"	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/12/29 07:26
L24	2	23 and (color$3 or mobil$3 or cel$3 or phon$3 or smart$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:26
L25	2	24 and (attribut$4 or calibrat$4 or contras$4 or sharp$5 or bright$5)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:26
L26	2	23 and ((imag$3) with (color$3 or attribut$4 or calibrat$4 or contras$4 or sharp$5 or bright$5))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:28
L27	2	19 and ((imag$3) with (color$3 or attribut$4 or calibrat$4 or contras$4 or sharp$5 or bright$5))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:29
L28	1	"20190167115"	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2020/12/29 07:30
L29	1	28 and ((imag$3) with (color$3 or attribut$4 or calibrat$4 or contras$4 or sharp$5 or bright$5))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2020/12/29 07:30

12/29/2020 7:32:08 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. 6210

SERIAL NUMBER	FILING or 371(c) DATE RULE	CLASS	GROUP ART UNIT	ATTORNEY DOCKET NO.
16/030,137	07/09/2018	382	2667	N&P-51422

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 1756956 07/21/2017

**** IF REQUIRED, FOREIGN FILING LICENSE GRANTED ****
07/24/2018

Foreign Priority claimed	35 USC 119(a-d) conditions met	Verified and Acknowledged	Met after Allowance	STATE OR COUNTRY	SHEETS DRAWINGS	TOTAL CLAIMS	INDEPENDENT CLAIMS
☑ Yes ☐ No	☑ Yes ☐ No	/SEYED H AZARIAN/ Examiner's Signature	☐ S.A Initials	FRANCE	11	12	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	433,538	(orthodon$4 or dental$4)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2021/01/30 13:42
L2	110	1 and ((imag$3) with (aligner$2) with (worn$2 or patien$3))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2021/01/30 13:43
L3	61	2 and (train$4 or classif$ or neural$3 or ntwork$2 or deep$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2021/01/30 13:44
L4	22	1 and ((imag$3) with (aligner$2) with (worn$2 or wear$4) with (person$2 or patien$3))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2021/01/30 13:50
L5	111	1 and ((imag$3) with (aligner$2) with (worn$2 or wear$4 or patien$3))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2021/01/30 13:54
L6	61	5 and (train$4 or classif$ or neural$3 or ntwork$2 or deep$3)	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2021/01/30 13:54
L7	61	6 and ((imag$3) with (aligner$2))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2021/01/30 13:58
L8	61	6 and ((imag$3) same (aligner$2))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2021/01/30 14:01
L9	23	1 and ((imag$3) with (brac$3 or aligner$2) with (worn$2 or wear$4) with (person$2 or patien$3))	US-PGPUB; USPAT; USOCR; FPRS; EPO; JPO; DERWENT; IBM_TDB	OR	OFF	2021/01/30 14:18

1/30/2021 2:25:52 PM

EAST Search History

EAST Search History (Prior Art)

Ref #	Hits	Search Query	DBs	Default Operator	Plurals	Time Stamp
L1	2	"20130230818"	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2021/01/29 05:28
L2	2	1 and (imag$4 or photo$3 or photograph$4 or pictur$4 or neural$2 or network$2 or model$2 or camera$2 or train$4)	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2021/01/29 05:30
L3	2	1 and (imag$4 or photo$3 or align$4 or photograph$4 or pictur$4 or neural$2 or network$2 or model$2 or camera$2 or train$4)	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2021/01/29 05:37
L4	2	1 and (imag$4 or photo$3 or photograph$4 or pictur$4)	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2021/01/29 05:42
L5	1	"20170300207"	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2021/01/29 05:44
L6	1	5 and (imag$4 or photo$3 or align$4 or photograph$4 or pictur$4 or neural$2 or network$2 or model$2 or camera$2 or train$4)	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2021/01/29 05:44
L7	1	"20190026893"	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2021/01/29 05:53
L8	1	7 and (imag$4 or photo$3 or photograph$4 or pictur$4 or neural$2 or network$2 or model$2)	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2021/01/29 05:54
L9	1	7 and ((imag$4 or photo$3 or photograph$4 or pictur$4) same (model$2))	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2021/01/29 05:54

1/29/2021 6:00:04 AM

EAST Search History

EAST Search History (Prior Art)

Ref #	Hits	Search Query	DBs	Default Operator	Plurals	Time Stamp
L1	0	(ALIGNER$3 AND SHAP$4 AND TREATMEN$4 AND IMAG$3 AND PATIEN$2 AND TOOTH$2 AND SEPARAT$4 AND BETWEEN$2 AND EXTRACT$4).CLM.	US-PGPUB; USPAT	OR	OFF	2021/02/13 06:48

2/13/2021 6:50:04 AM

Doc code: IDS
Doc description: Information Disclosure Statement (IDS) Filed

PTO/SB/08a (01-10)
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-51422

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.	

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	Para [0066]-[0070]; Para [0035]
	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] i	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]

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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-51422

	1	2016066651	WO	A1	2016-05-06	Salah et al.		☐
	2	2017182654	WO	A1	2017-10-26	Salah et al.	Pg. 57, Ln.15-Pg.62, Ln.3	☐
	3	3027505	FR	A1	2016-04-29	Salah et al.		☐
	4	3010629	FR	A1	2015-03-20	Salah et al.		☐
	5	2017094181	JP	A	2017-06-01	Matov et al.	See corresponding US 2009/191503; Para [0065]-[0074]; Para [0101]-[0119]; Para [0195]-[0198]	☐

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.: 1756956, French Search Report, dated March 23, 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]; Entire Document	☐
	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	☐

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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-51422

	5	LIN P L ET AL: "An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using teeth region and contour infonmation", 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]	☐
	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]	☐
	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	☐
	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	02/05/2021

*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.

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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-51422

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)	2018-07-09
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.**

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.A/

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 record s.

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.

EFS Web 2.1.17

ALL REFERENCES CONSIDERED EXCEPT WHERE LINED THROUGH. /S.H.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.
16/030,137	07/09/2018	Philippe SALAH	N&P-51422	6210

108676 7590 03/09/2021

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
03/09/2021	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. : 16030137
Applicant : Salah
Filing Date : 07/09/2018
Date Mailed : 03/09/2021

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. 16030137

SPECIFICATION NOT IN COMPLIANCE WITH 37 CFR 1.52(b)(5)

The pages of the specification document coded SPEC dated 07/09/2018 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.

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No.	:	16/030,137
Applicant	:	Philippe SALAH
Filing Date	:	July 9, 2018
Title	:	METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH
Conf. No.	:	6210
Art Unit	:	2667
Examiner	:	Seyed H. Azarian
Customer No.	:	108676
Docket No	:	N&P-51422

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

AMENDMENT "F" 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 March 9, 2021. The two-month period for responding expires on May 9, 2021. 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.

AMENDMENTS TO THE SPECIFICATION

Please replace the original SPECIFICATION with the enclosed SUBSTITUTE SPECIFICATION, which includes no new matter.

REMARKS/ARGUMENTS

This Amendment is after a Notice of Allowance and is provided to comply with the Notice to File Corrected Application Papers dated March 9, 2021 (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 March 9, 2021. 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-51422.

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

METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Technical field

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

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.

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

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

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;
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";

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.

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.

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.

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:

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) 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;

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 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.

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 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;

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;

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".

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:

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, 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".

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 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 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, 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 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 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.

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 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.

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

- 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,
- the Fletcher and Powell method,
- the sound effects method,
- stochastic tunneling,

- random-restart hill climbing,
- the cross-entropy method, and
- 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".

"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:

- 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;
- 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;
- 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;

- 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;
- 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 14_1 and 14_2, 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.

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).

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.

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 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 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.

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 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:

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;

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);

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, 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 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.

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.

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 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 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 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, 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 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 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 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 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 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 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,

- 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

- 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 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 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

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, 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)
  - 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).

- 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 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 "*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.

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",
- 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.

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.

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, 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 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".

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 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.

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";

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";

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.

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 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 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.

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 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.

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 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 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 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 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.

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 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.

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 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 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 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 22_1 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.

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 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.

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 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.

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.

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 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.

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 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 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 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 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 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 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.

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.

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.

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”;

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;

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.

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.

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.

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:

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;

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;

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.

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:

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;

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 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 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 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 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 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 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 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 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 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";

   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" representing, at least partially, a tooth on said 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.

2. The method as claimed in claim 1, comprising, after the step b''), step c'') as follows:

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

3. The method as claimed in claim 2, in which, in the step b''), all said analysis tooth zones are identified, and the tooth attribute value 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.

4. The method as claimed in claim 1, 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.

5. The method as claimed in claim 1, 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 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, 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 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:
   - the presence, in a location of said analysis image, of an analysis tooth zone, and
   - 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 separation of the aligner and of the tooth represented by said analysis tooth zone, and/or of an amplitude of said separation.

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", the image attribute relating to a separation between the tooth or teeth and the aligner represented on the historical image;

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. The method as claimed in claim 1, in which the learning base is constructed 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 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 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.

8. The method as claimed in claim 1, in which the learning base is constructed 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.

9. 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. The method as claimed in claim 1, in which, in the step a’’), a cellphone is used to acquire the analysis image.

11. The method as claimed in claim 2, comprising, after the step c’’), a step d’’) as follows:

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

12. The method as claimed in claim 2, in which, as a function of the result of said assessment, a new aligner is manufactured.

ABSTRACT

DENTAL MONITORING

"Method for analyzing an image of a dental arch"

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";

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" representing, at least partially, a tooth on said 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.

No figure for the abstract.

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	42452414
Application Number:	16030137
International Application Number:	
Confirmation Number:	6210
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-51422
Receipt Date:	14-APR-2021
Filing Date:	09-JUL-2018
Time Stamp:	14:34:10
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-51422_UPAM-F.pdf	98689 5962e9500ec963e59e1a1e81605d249140be6166	yes	3

	Multipart Description/PDF files in .zip description		
	Document Description	**Start**	**End**
	Amendment after Notice of Allowance (Rule 312)	1	1
	Specification	2	2
	Applicant Arguments/Remarks Made in an Amendment	3	3

Warnings:					
Information:					
2	Specification	N-P-51422_Sub_Spec_Clean.pdf	276687 c0a18d05947a751885f940ab0eea40f8fcc7ec1c	no	53
Warnings:					
Information:					
3	Specification	N-P-51422_Sub_Spec_Marked.pdf	277457 2906965a9b19badadfd6e34f23d20b2ec03921d1	no	53
Warnings:					
Information:					
		Total Files Size (in bytes):	652833		

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.

METHOD FOR ANALYZING AN IMAGE OF A DENTAL ARCH

Technical field

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

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.

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

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

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;
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";

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.

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.

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.

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:

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) 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;

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 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.

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 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;

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;

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".

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:

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, 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".

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 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 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, 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 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 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.

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 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.

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

- 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,
- the Fletcher and Powell method,
- the sound effects method,
- stochastic tunneling,

- random-restart hill climbing,
- the cross-entropy method, and
- 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".

"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:

- 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;
- 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;
- 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;

- 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;
- 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 14_1 and 14_2, 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.

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).

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.

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 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 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.

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 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:

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;

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);

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, 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 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.

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.

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 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 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 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, 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 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 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 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 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 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 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,

- 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

- 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 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 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

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, 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)
  - 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).

- 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 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 "*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.

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",
- 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.

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.

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, 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 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".

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 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.

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";

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";

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.

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 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 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.

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 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.

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 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 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 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 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.

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 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.

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 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 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 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 22_1 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.

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 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.

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 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.

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.

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 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.

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 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 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 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 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 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 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.

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.

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.

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";

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;

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.

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.

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.

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:

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;

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;

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.

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:

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;

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 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 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 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 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 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 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 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 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 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";

   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" representing, at least partially, a tooth on said 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.

2. The method as claimed in claim 1, comprising, after the step b''), step c'') as follows:

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

3. The method as claimed in claim 2, in which, in the step b''), all said analysis tooth zones are identified, and the tooth attribute value 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.

4. The method as claimed in claim 1, 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.

5. The method as claimed in claim 1, 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 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, 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 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:
   - the presence, in a location of said analysis image, of an analysis tooth zone, and
   - 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 separation of the aligner and of the tooth represented by said analysis tooth zone, and/or of an amplitude of said separation.

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", the image attribute relating to a separation between the tooth or teeth and the aligner represented on the historical image;

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. The method as claimed in claim 1, in which the learning base is constructed 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 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 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.

8. The method as claimed in claim 1, in which the learning base is constructed 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.

9. 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. The method as claimed in claim 1, in which, in the step a’’), a cellphone is used to acquire the analysis image.

11. The method as claimed in claim 2, comprising, after the step c’’), a step d’’) as follows:

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

12. The method as claimed in claim 2, in which, as a function of the result of said assessment, a new aligner is manufactured.

ABSTRACT

DENTAL MONITORING

"Method for analyzing an image of a dental arch"

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";

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" representing, at least partially, a tooth on said 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.

No figure for the abstract.

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.
16/030,137	07/09/2018	Philippe SALAH	N&P-51422	6210

108676 7590 04/20/2021

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
04/20/2021	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. 16030137	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 *14 April 2021* 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.

mn

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 02/22/2021

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)
May 21, 2021	(Date)

APPLICATION NO	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR	ATTORNEY DOCKET NO	CONFIRMATION NO
16/030,137	07/09/2018	Philippe SALAH	N&P-51422	6210

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	$1200	$0.00	$0.00	$1200	05/24/2021

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 ☐ 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. 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 May 21, 2021

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:	16030137
Filing Date:	09-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-51422

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	1200	1200

Description	Fee Code	Quantity	Amount	Sub-Total in USD($)
Extension-of-Time:				
Miscellaneous:				
			Total in USD ($)	**1200**

Electronic Acknowledgement Receipt

EFS ID:	42788575
Application Number:	16030137
International Application Number:	
Confirmation Number:	6210
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-51422
Receipt Date:	21-MAY-2021
Filing Date:	09-JUL-2018
Time Stamp:	14:38:45
Application Type:	Utility under 35 USC 111(a)

Payment information:

Submitted with Payment	yes
Payment Type	CARD
Payment was successfully received in RAM	$1200
RAM confirmation Number	E20215KE39104933
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	194957 ea6489870a41c9b47157d24bbb3614d47a3d21b4	no	2
Warnings:					
Information:					
2	Fee Worksheet (SB06)	fee-info.pdf	30902 bfb34cd0a055dc9cb7c8f44d13413cdefd4f9ee5	no	2
Warnings:					
Information:					
		Total Files Size (in bytes):	225859		

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

APPLICATION NO.	ISSUE DATE	PATENT NO.	ATTORNEY DOCKET NO.	CONFIRMATION NO.
16/030,137	06/29/2021	11049248	N&P-51422	6210

108676 7590 06/09/2021

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 164 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.