



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。 Int. Cl.
H04N 1/56 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2007-0046010
(43) 공개일자 2007년05월02일

(21) 출원번호 10-2006-0105281
(22) 출원일자 2006년10월27일
심사청구일자 없음

(30) 우선권주장 RU2005133120 2005년10월28일 러시아(RU)
(71) 출원인 삼성전자주식회사
경기도 수원시 영통구 매탄동 416
(72) 발명자 일리아 브라디미로비치, 사포노브
러시아
(74) 대리인 허성원
이동욱
서동헌
윤창일

전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 디지털 이미지 개선방법

(57) 요약

본 발명은 디지털 이미지 개선 방법에 관한 것으로서, RGB 컬러 공간으로부터 이미지의 휘도 채널로 변환하는 단계와, 양측 필터에 의해 상기 이미지의 휘도 채널을 필터링하는 단계와, 상기 이미지의 휘도 채널에서 새도우에 대하여는 로컬 콘트라스트 및 휘도를 각각 증가시키도록 보정하고, 하이라이트에 대하여는 로컬 콘트라스트를 증가시키고 휘도를 감소시키도록 보정하는 단계와, 및 상기 보정 이미지를 RGB 컬러 공간으로 변환하는 단계를 포함한다. 이에 의하여, 포토 프린터에서 인쇄되는 동안 사진의 질을 개선할 수 있다.

대표도

도 3

특허청구의 범위

청구항 1.

디지털 이미지 개선 방법에 있어서,

RGB 컬러 공간으로부터 이미지의 휘도 채널로 변환하는 단계와;

양측 필터에 의해 상기 이미지의 휘도 채널을 필터링하는 단계와;

상기 이미지의 휘도 채널에서 새도우에 대하여는 로컬 콘트라스트 및 휘도를 각각 증가시키도록 보정하고, 하이라이트에 대하여는 로컬 콘트라스트를 증가시키고 휘도를 감소시키도록 보정하는 단계와;

상기 보정 이미지를 RGB 컬러 공간으로 변환하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 디지털 이미지 개선 방법.

청구항 2.

제1항에 있어서,

상기 양측 필터는, 잡음 억제를 위해 사용되는 것을 특징으로 하는 디지털 이미지 개선 방법.

청구항 3.

제1항에 있어서,

상기 양측 필터는, 공간 커널에 대한 일반 함수를 적용하는 것을 특징으로 하는 디지털 이미지 개선 방법.

청구항 4.

상기 제1항에 있어서,

상기 양측 필터는, 하기식을 필터링하는 범위에 적용하는 것을 특징으로 하는 디지털 이미지 개선 방법.

$$w(x) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left| \frac{x}{\sigma_R^2} \right|^\mu}},$$

청구항 5.

제1항에 있어서,

상기 양측 필터는, 하기식에 의해 이미지를 우선 행으로 처리한 다음 열로 처리하는 것을 특징으로 하는 디지털 이미지 개선 방법.

$$I_f^*(r, c) = \frac{\sum_{j=-S/2}^{S/2} I(r, c+j) * w(I(r, c+j) - I(r, c))}{S * \sum_{j=-S/2}^{S/2} w(I(r, c+j) - I(r, c))}$$

$$I_f(r, c) = \frac{\sum_{i=-S/2}^{S/2} I_f^*(r+i, c) * w(I_f^*(r+i, c) - I_f^*(r, c))}{S * \sum_{i=-S/2}^{S/2} w(I_f^*(r+i, c) - I_f^*(r, c))}$$

청구항 6.

제1항에 있어서,

상기 새도우를 보정하는 단계는, 새도우 톤에 대한 반사 추정치와 휘도 간의 차를 상기 이미지의 휘도 채널에 부가하고, 상기 차는 다음에 보정되는 톤 범위를 한정하는 파워까지 상승되는 네거티브의 양측 필터링 결과에 의해 승산되고, 새도우 증폭률과 승산되는 것을 특징으로 하는 디지털 이미지 개선 방법.

청구항 7.

제6항에 있어서,

새도우 톤에 대한 상기 반사율 추정치는, 필터링된 이미지에 대한 소오스 이미지의 비의 함수로 표현되는 것을 특징으로 하는 디지털 이미지 개선 방법.

청구항 8.

제6항에 있어서,

새도우에 대한 상기 반사율 추정치는, 하기식에 의해 계산되는 것을 특징으로 하는 디지털 이미지 개선 방법.

$$D_s(r, c) = \frac{1.3 * I(r, c)}{I_f(r, c) + 3 * \sigma_R}$$

청구항 9.

제1항에 있어서,

상기 하이라이트를 보정하는 단계는, 하이라이트 톤에 대한 반사율 추정치와 휘도 간의 차를 상기 휘도 채널로부터 삭감하고, 상기 차는 다음에 보정되는 톤 범위를 한정하는 파워까지 상승되는 양측 필터링 결과에 의해 승산되며, 그 다음, 하이라이트 감쇠율에 의해 승산되는 것을 특징으로 하는 디지털 이미지 개선 방법.

청구항 10.

제9항에 있어서,

하이라이트 톤에 대한 상기 반사율 추정치는, 소오스 이미지 휘도에 대한 필터링된 이미지의 비의 함수로 표현되는 것을 특징으로 하는 디지털 이미지 개선 방법.

청구항 11.

제9항에 있어서,

하이라이트 톤에 대한 상기 반사율 추정치는, 하기식에 의해 계산되는 것을 특징으로 하는 디지털 이미지 개선 방법.

$$D_h(r, c) = \frac{3 * \sigma_R * I_f(r, c)}{1.3 - I(r, c)}$$

청구항 12.

제1항에 있어서,

상기 보정 이미지를 RGB 컬러 공간으로 변환하기 위해 하기식이 사용되는 것을 특징으로 하는 디지털 이미지 개선 방법.

$$R' = R * I_c / I, \quad G' = G * I_c / I, \quad B' = B * I_c / I,$$

청구항 13.

제1항에 있어서,

상기 보정하는 단계는, 처리 시간을 줄이기 위해, 우선 2D 룩업테이블이 계산되고, 상기 테이블은 양측 필터링의 결과 및 휘도에 따라 보정되는 값을 저장하는 것을 특징으로 하는 디지털 이미지 개선 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 일반적으로 디지털 이미지 기술분야에 관한 것이다. 특히, 디지털 카메라 및 그레이스케일 사진의 개선을 위한 방법 분야에 관한 것이며, 좀더 구체적으로, 새도우(shadow) 및 하이라이트 보정(hightlight correction), 잡음 억제 및 샤프닝(sharpening)의 글로벌(전체적인) 및 로컬(국부적인) 톤 조정(tone adjustment)에 관한 것이다.

디지털 이미지 개선에 관한 수많은 특허와 공보들이 있다. 대부분의 방법들은 톤 조정, 잡음 억제 및 새도우와 관련된다. 본 발명에서 기본적으로 개량하고자하는 것은 새도우 및 하이라이트 보정 방법이다.

디지털 카메라로 찍은 대량의 소비자 사진, 예컨대, 백리트(backlit) 결합에 의해 영향을 받는 것들은 새도우 영역에서 낮은 다이내믹 범위(low dynamic range)를 갖는다.

하이라이트에서 낮은 다이내믹 범위는 DSC로 찍은 사진들의 경우, 거의 발생하지 않지만, 주사된 사진들의 경우에 그러한 특성을 갖는다. 로컬 톤 보정, 주로 새도우 톤에 속하는 특허 및 공보들이 다수 있다.

새도우 및 하이라이트 보정의 직관적으로 명료하고도 간단한 방법은 모러니 등(2004)과 엔. 모러니의 미국특허 제 6822762호 "비선형 마스크를 사용하는 로컬 컬러" [2000년 제8차 컬러 이미징 회의]에 개시되어 있다. 마스크는 휘도 채널의 강한 번짐(blurring)의 결과로서 생성된다. 그러한 번짐의 경우, 선형 로우패스필터(Low Pass Filter : LPF)가 적용된다. 또한 각각의 RGB 성분은 곡선형상이 마스크 값에 의존하는 톤 재생 곡선 군들을 사용하여 변환된다. 예컨대, 범위 [0,1]에 공식화된 이미지의 경우, 하기식을 나타낸다.

$$R = (R)^{2^{(1-2Mask)}}; \quad G = (G)^{2^{(1-2Mask)}}; \quad B = (B)^{2^{(1-2Mask)}}$$

유사한 방법이 쇼우 등의 미국특허 제6792160호(2004년)에 개시되어 있다. 소프트웨어 패키지들, 예컨대, 아도브 포토샵 CS "샤도우/하이라이트" 메뉴 아이템에서 샤도우의 보정을 위해 유사한 기술이 사용된다.

주어진 방법들의 기본적인 단점은 할로-효과(halo-effect)의 형성에 있다. 또한 새도우 톤에서의 잡음레벨도 증가된다.

체스노코브 부이의 국제출원 WO 02/089060호(2002년)는 직교 레티노-모픽 이미지 변환(Orthogonal Retino-Morphic Image Transform: ORMIT)에 기초한 이미지 개선방법을 개시한다.

$$I = \sum_{i=0}^N a_i(I) * LPF(P_i(F(I))) * Q_i(F(I)) + b(I)$$

상기 식에서 $P_i(x)$ 는 $0 < x < 1$ 에 정의된 x 의 함수인 직교원리(orthogonall basis)이고, Q_i 는 P_i 의 안티-도함수(anti-derivatives) 또는 그의 근사값이고, LPF는 로우 패스 공간필터의 연산자이고, F 는 감마보정과 유사한 중량 함수이고, N 은 밴드(band)의 수, 즉, $N \ll n$, 여기서 n 은 컬러 깊이, a 및 b 는 각 밴드의 특정 상수이다. 적합한 P_i 의 선택은 새도우 영역에서 로컬 콘트라스트 및 휘도를 증가시켜준다. 주어진 방법은 니콘 "D-Lighting" 기술에서 사용된다. 그 방법은 거의 무시할 수 없는 할로(halo)를 형성하지만, 새도우 톤의 잡음레벨은 증가된다.

새도우 보정의 또 다른 일반적인 방법은 하기와 같은 그레이스케일 이미지 I 를 형성하는 가장 간단한 물리적 모델을 채용한다.

$$I = R * L,$$

상기 식 중에서, L 은 피사체의 명도로서, 상대적으로 낮게 변화하며, R 은 고주파수로 변화하는 피사체의 반사율(또는 알베도(albedo)) [1986년 MIT 프레스, 혼 비.케이.피. "로봇 비전(Robot vision)"]이다.

주어진 모델은 광원들의 이미지, 거울반사(단, 확산 램버트 반사) 및 피사체로부터 새도우의 형성시에 출현의 기회를 고려하지 않는다.

단점에도 불구하고, 그 모델은 이미지들의 넓은 클래스에 아주 잘 적용되며 후술되는 방법들에 사용된다. 이러한 방법들에서 반사율은 상이한 방법에 의해 추산되지만 항상 I 와 L 의 비로 추산된다.

소볼 등의 미국특허 제6760484호, 소볼 등의 공개공보 제2002/0154323호, 소볼 등의 제2002/0154832호, 제2003/0161546호, 소볼 및 소볼 알.의 제2004/0174571호 "와이드 다이내믹 범위의 사진을 만들기 위한 레티넥스 알고리즘(Retinex algorithm)의 개선" [2004년 1월 잡지, '전자 이미징' 권13, 1호 65-74페이지]는 멀티스케일 레티넥스(Multiscale Retinex: MSR) 알고리즘의 수정에 기초한 새도우의 보정방법을 나타낸다. 간단히 말하여, 이 방법의 아이디어는 다음과 같다. 수정된 MSR은 휘도 채널을 위해 수행된다. 휘도는 $\max(R, G, B)$ 로서 계산된다. 수정된 MSR의 결과는 마스크라 칭한다. 마스크는 R, G 및 B 채널들에 추가된다.

종래의 MSR은 다음 식에 의해 구한다.

$$I = \sum_{n=l}^N \omega_n * (\log(I) - \log(LPF_n(I)))$$

상기 식 중에서, LPF는 여러가지 σ 를 갖는 가우시안 번짐(Gaussian blur)이다.

소볼의 방법에서, 최적의 계산 알고리즘은 가우시안 번짐의 실현을 위해 사용된다. 또한 스레스홀드의 세트는 계산 알고리즘에 부가적으로 투입된다. 주어진 방법은 "순응성 발광(Adaptive Lighting)"이라고 하는 HP에 의한 기술에서 사용된다. 그 방법은 거의 무시할 수 없는 할로(halo)를 형성하지만, 새도우 톤의 잡음레벨을 증가시킨다.

브라요빅 및 페이퍼 브라요빅 브이.의 미국공개 제2005/0089239호, "휘도 작용(Brightness Perception), 다이내믹 범위 및 잡음: 즉, 순응성 이미지 센서들의 통합모델" [2004년 컴퓨터 비전 및 패턴 인식에 관한 IEEE 컴퓨터 소사이어티 컨퍼런스의 진행, 권2, II-189 ~ II-196 페이지]에서, 그 방법은 다음과 같은 공식의 새도우 보정을 포함하는 낮은 다이내믹 범위 장치들에서 고 다이내믹 이미지의 화면을 묘사한다:

$$I = S(R + a*L),$$

상기 식 중에서, a 는 감쇠상수, S 는 글로벌 신호범위에 대한 결과들을 스케일하는 선형 스케일링 연산자이고, L 은 에지-보전 필터링을 적용한 결과이고, R 은 소오스 이미지의 휘도와 L 간의 비의 함수이다. 에지-보전 필터링은 이미지의 각 주사선에 대하여 수행되며, 필터의 연산은 이미지의 잡음레벨의 추정치에 기초한다.

잡음은 휘도 채널에서 억제되지만, 색도 채널에서 잡음은 남는다. 그 방법의 장점은 식별가능한 할로가 없다는 것이다.

상술한 방법들에서는 하이라이트 보정, 보정 파라미터들의 자동선택 및 새도우들/하이라이트들의 공동보정에 대해서는 고려하지 않았으며, 또한 이미지의 글로벌 콘트라스트의 조정, 즉, 포스터리제이션(posterization) 효과가 종종 가능하다.

아이. 사포노브의 러시아 공개출원 제2005/112311호는 글로벌 콘트라스트 조정 및 보정 파라미터들이 자동으로 선택되는 새도우 보정을 제안한다. 그럼에도 불구하고, 제안된 방법은 새도우의 보정에 대한 것이므로, 하이라이트 영역보정을 포함하는 복합 이미지 개선에 대해서는 적합하지 않다. 더욱이, 이 기술은 어두운 영역에서 뚜렷한 잡음레벨을 나타낸다.

로컬 다이내믹 보정에 사용되는 현재의 기술은 다음의 중요한 단점을 갖는다:

- * 하이라이트 톤이 보정되지 않는다.
- * 기존 방법들에는 글로벌 콘트라스트 조정과 새도우 보정의 조합이 없다.
- * 어떤 알고리즘은 콘트라스트 샤프 경계(contrast sharp boundaries) 부근에서 할로-효과를 유도한다.
- * 기존 알고리즘의 적용은 새도우에서 잡음 및/또는 JPEG 인공물(artifacts)을 증가시킨다.
- * 포스터리제이션 효과가 종종 가능하다.
- * 기존 해결책들은 적합하지 않으며, 보정레벨이 자동으로 얻어질 수 없다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 상기 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 글로벌 콘트라스트 조정, 로컬 새도우 및 하이라이트 보정, 즉, 잡음억제 및 샤프닝(shapening)에 관여하는 이미지 개선의 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

발명의 구성

신규성 및 진보성에 관한 설명

1. 잡음을 억제하기 위해 이미지를 사전에 양방향 필터를 사용하여 여과한다.
2. 본 출원인은 새도우들 및 하이라이트들의 보정시에 평판 도메인 커널(flat domain kernel)과 범용 엘팔라포드 에지스탑(El-Fallah-Ford edge-stop) 기능을 갖는 양방향 필터를 사용하여 샤프닝의 증가를 작게하는 것을 제안한다.
3. 새도우 보정은 새도우 톤에 대한 반사 추정치와 휘도 간의 차를 휘도 채널에 부가하여줌으로써 달성되며, 이 차는 다음에 보정되는 톤 범위를 한정하는 파워까지 상승되는 네거티브의 양방향 필터링 결과에 의해 승산되고, 그 다음, 새도우 증폭률에 의해 승산된다. 여기서 새도우 톤에 대한 반사율 추정치는 필터링된 이미지에 대한 소오스 이미지의 비의 함수이다.
4. 하이라이트 보정은 하이라이트 톤들에 대한 반사 추정치 및 휘도 간의 차의 휘도 채널로부터 삭감함으로써 달성되며, 여기서 그 차는 다음에 보정되는 톤 범위를 한정하는 파워까지 상승되는 양측 필터링 결과에 의해 승산되며, 그 다음, 하이라이트 감쇠율에 의해 승산된다. 여기서 하이라이트 톤에 대한 반사율 추정치는 소오스 이미지 휘도에 대한 필터링된 이미지의 비의 함수이다.
5. 2-D 룩업테이블에 데시메이트된 바와같이, 행-열식으로 양측 필터를 적용하고 또한 보정 함수를 한정하는 것을 제안한다.

실시예

도 1은 그 방법을 실현하는 시스템의 기본 구성의 동작도를 나타낸다. 그 장치의 동작 프로세스는 프로그램 메모리(102)에 저장되는 프로그램 코드를 실행하는 프로세서(101)에 의해 제어된다. 메모리(102)에는 소오스 그레이스케일 또는 컬러 사진이 저장된다. 컬러 이미지는 $N \times M$ 의 사이즈와 컬러깊이 $d(n=d/3$ 채널용 컬러깊이)를 갖는 RGB 컬러공간 내에 저장된다. 만일 소오스 컬러 이미지의 컬러공간이 RGB와 다를 경우, RGB 컬러공간으로의 변환이 필요하다. 그레이스케일 이미지는 $N \times M$ 의 사이즈와 컬러깊이 n bpp를 갖는다. 이미지는 개선되어, 인쇄 장치 또는 화면 장치(103)로 이송된다. 보정 파라미터들은 입력장치(104)를 사용하여 시스템으로 입력된다. 정보교환은 데이터버스(105)를 통해 수행된다.

0 ~ 1 범위의 휘도 값을 갖는 그레이스케일 사진에 대하여 본 발명에서 제안된 새도우 및 하이라이트 보정에 대한 기본적인 아이디어를 생각해보자.

일부의 사진, 예컨대, 백릿 결함에 의해 영향을 받는 것들은 새도우 및/또는 하이라이트 영역들에서 낮은 다이내믹을 갖는다. 따라서, 관측자의 경우, 적당히 노출된 영역들보다 특히 상응하는 보다 밝고 어두운 명암을 갖는 새도우 및 하이라이트에서 디테일(details)을 식별하는 어려움을 야기한다. 그러므로, 새도우 및 하이라이트 영역에서 로컬 콘트라스트를 증가시키고, 새도우 내에서 휘도를 증가시키고, 또한 하이라이트에서 휘도를 감소시키는 것이 필요하다.

새도우에서 고 로컬 콘트라스트를 갖는 "디테일 이미지" D_s 및 하이라이트 영역에서 고 로컬 콘트라스트를 갖는 "디지털 이미지" D_h , 즉, 새도우 및 하이라이트에서 상응하게 디지털을 잘 식별할 수 있는 이미지들을 찍어보자. 그러면, I 및 D_s 의 하기 알파 혼합식을 사용하여 소오스 이미지 I 의 로컬 콘트라스트 및 휘도를 증가시키는 것이 가능하다:

$$I_{es}(r,c) = I(r,c) * \alpha_s(r,c) + (1 - \alpha_s(r,c)) * (k'_s * D_s(r,c) + (1-k'_s) * I(r,c)) \quad (1)$$

이미지 I 의 모든 화소들(r,c)에 대하여, 상기 식 중에서, α_s 는 밝은 영역에서 1에 가까운 값을 그리고 어두운 영역에서 0에 가까운 값을 갖는 투과성의 알파-채널이고, 인자 k'_s 는 새도우에서 로컬 콘트라스트의 증폭레벨을 제어한다. 괄호를 연후, 우리는 다음 식을 얻을 수 있다.

$$I_{es}(r,c) = I(r,c) + k'_s * (1 - \alpha_s(r,c)) * (D_s(r,c) - I(r,c)). \quad (2)$$

동일한 방식으로, I 및 D_h 의 하기 알파 혼합식을 사용하여 소오스 이미지 I 의 로컬 콘트라스트를 증가시키고 또한 휘도를 감소시키는 것이 가능하다.

$$I_{eh}(r, c) = I(r, c) - k'_h * (1 - a_h(r, c)) * (I(r, c) - D_h(r, c)), \quad (3)$$

상기 식 중에서, a_h 는 밝은 영역에서 0에 가까운 값을 그리고 어두운 영역에서 1에 가까운 값을 갖는 투과성의 알파-채널 이고, 인자 k'_h 는 하이라이트에서 로컬 콘트라스트의 증폭레벨을 제어한다.

새도우 및 하이라이트 보정의 결과는 하기식에 의해 합성될 수 있다.

$$\begin{aligned} I_e(r, c) &= (I_s(r, c) + I_{eh}(r, c))/2 = \\ &= I(r, c) + k_s * (1 - a_s(r, c)) * (D_s(r, c) - I(r, c)) - k_h * (1 - a_h(r, c)) * (I(r, c) - D_h(r, c)), \end{aligned} \quad (4)$$

상기 식 중에서, k_s 는 새도우 증폭률, $k_s = k'_s/2$, k_h 는 하이라이트 감쇠율, $k_h = k'_h/2$, 그리고 k_s 및 $k_h \in [0, 1]$ 이다.

"디지털 이미지" D_s 및 D_h 의 생성방식을 생각해보자. 인간은 이미지에 대한 디지털을 식별할 수 있다. 왜냐하면 그들의 휘도는 어떤 로컬 영역에서 배경 휘도와 다르기 때문이다. 이 말은 그레이스케일 이미지 I 를 형성하는 가장 간단한 하기의 물리적인 모델과 유사하다:

$$I = R * L, \quad (5)$$

상기 식 중에서, L 은 상대적으로 서서히 변화하는 피사체의 명도, R 은 고주파수로 변화하는 피사체 디지털의 반사율(또는 알베도)이다. 따라서, "디지털 이미지"는 반사율의 추정치이다.

클래식한 래티엑스 로컬 배경(또는 장면 L 의 피사체 명도)에서 로우 패스 필터를 사용하여 예컨대, 가우시안 번짐을 추정한다. 그러나, 물리적 화점(view point)으로부터 아주 정확하지 않다. 왜냐하면, 낮은 식별성의 피사체 경계 중에서, 고 콘트라스트 샤프 경계가 잘 감퇴 되어 있어서, 상이한 밝기를 갖는 피사체들 간에서 L 값의 완만한 변화를 생성하기 때문이다. L 값에 대한 양호한 해상도는 등가의 발광 영역에 대한 이미지의 일부분이지만, 여전히 해결하기 어려운 문제가 있다. 이러한 제한을 절충하기 위해, 고 콘트라스트 샤프 경계를 보전하는 필터링을 적용하는 것이 가능하다.

여러 타입의 에지 보전 필터들이 존재한다. 그들은 주로 잡음 억제 필터로서 고려된다. 씨. 토마시, 알. 맨듀히 [시. 토마시, 알. 맨듀히 "그레이 및 컬러 이미지용 양측 필터", 1998년 컴퓨터 비전에 관한 IEEE 컨퍼런스]는 일군의 고 효율 및 간단한 필터로서, 양측 필터의 실현을 제안하였다:

$$I_f(r, c) = \frac{\sum_{i=-S/2}^{S/2} \sum_{j=-S/2}^{S/2} I(r+i, c+j) * v(i, j) * w(I(r+i, c+j) - I(r, c))}{\sum_{i=-S/2}^{S/2} \sum_{j=-S/2}^{S/2} v(i, j) * w(I(r+i, c+j) - I(r, c))}, \quad (6)$$

이미지 I 의 모든 화소들 (r, c) 에 대하여, $S = 3 * \sigma_D$ 는 필터 개구의 사이즈(도메인 커널)이다.

양측 필터의 종래의 실현은 도메인 처리를 위해 하기 가우시안 함수를 사용한다:

$$v(i, j) = \exp\left(-\frac{i^2 + j^2}{2\sigma_D^2}\right), \quad (7)$$

또한, 범위 처리(일명, 에지-스톱 함수)의 경우,

$$w(x) = \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_R^2}\right), \quad (8)$$

상기 식 중에서, σ_D^2 및 σ_R^2 은 상응하는 도메인 및 범위에 대한 분산이다.

$N \times N$ 사이의 이미지에 대한 상기 식(6)에서 양측 필터의 연산 복잡성은 $O(N^2 * S^2)$ 이고, 뚜렷한 연산 자원을 요한다. 논문 [에프 듀란드, 제이. 도시의 "고 다이내믹 이미지의 표시용 고속 양측 필터", GIGGRAPH 2002년, 257~266P]은 FFT 실행에 의존하여 약 30~50 이상 S에 대하여 양측 필터의 속도를 상승시키는 유효방법을 개시한다. 듀란드/도시의 방법의 단점은 블록식 또는 타일식 프로세싱으로서 실행이 복잡하다는 것이다.

그러므로, $S < 30$ 의 경우, 하기와 같이 우선, 행(row)으로 그다음, 열(column)로 이미지를 필터링하도록 양측 필터를 적용하는 것이 좋다는 것이다:

$$I_f^*(r, c) = \frac{\sum_{j=-S/2}^{S/2} I(r, c+j) * u(j) * w(I(r, c+j) - I(r, c))}{\sum_{j=-S/2}^{S/2} u(j) * w(I(r, c+j) - I(r, c))},$$

$$I_f(r, c) = \frac{\sum_{i=-S/2}^{S/2} I_f^*(r+i, c) * u(i) * w(I_f^*(r+i, c) - I_f^*(r, c))}{\sum_{i=-S/2}^{S/2} u(i) * w(I_f^*(r+i, c) - I_f^*(r, c))} \quad (9)$$

콘볼루션(convolution)과 유사하므로, 본 출원인은 수학적으로 양측 필터의 분리가능성(separability)이 엄밀하게 입증되지는 않았지만, 그러한 필터를 "분리가능(separable)"으로 명명한다. 분리가능한 양측 필터의 연산 복잡성은 $O(2 * N^2 * S)$ 이다.

공식(2) 및 (3)을 하기식의 공지된 샤프닝 방법 "언샤프 마스크(unsharp mask)"와 비교해보자:

$$I_s = I + a * (I - I_b), \quad (10)$$

상기 식 중에서, a 는 상수, I_b 는 소오스 이미지의 로우 패스 필터링(번짐)의 결과이다.

상술한 이유에 의하면, 이미지 D_s 및 D_b (반사율의 추정치)는 양측 필터를 사용하여 필터링된 이미지와 소오스 이미지 간의 비의 함수이다. 본 출원인은 양측 필터의 파라미터들에 따라, 이미지의 샤프니스(sharpness)의 증가를 달성하는 것이 가능하다는 것을 제안한다. 사실상, 가우시안이 에지-스톱 함수로서 사용될 경우, 약간의 샤프닝이 $3\sigma_R$ 이하의 에지들에 대하여 발생한다. 더 큰 로컬 콘트라스트를 갖는 에지들은 변동하지 않는다. 왜냐하면 가우시안이 신속히 범위 $[-3\sigma_R, 3\sigma_R]$ 외부에서 제로(0)가 되는 경향이 있기 때문이다. 본 출원인은 한편 가우시안과 유사하고, 다른 한편 그렇게 신속히 제로가 되는 경향이 아닌 에지-스톱 함수를 사용하는 것을 제안한다. 엘-폴라-포드 함수를 일반화하는 것을 제안한다 [1993년 IEEE 27차 신호, 시스템 및 컴퓨터에 관한 컨퍼런스, 엘폴라 에이.아이., 포드 지.이.의 "이미지 필터링시의 비동질 확산을 보전하는 구조"]:

$$w(x) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{|x|^\mu}{\sigma_R^2}}} \quad (11)$$

종래의 엘-폴라-포드 함수에서, $\mu=2$ 는 $\mu=6$ 의 경우의 가우시안과 유사한 함수이다. 1부터 6까지 범위의 μ 의 변동은 샤프닝의 제어를 허용한다. 도 2는 $\mu=2$ 및 $\mu=6$ 의 경우, 또한 동일한 σ_R 을 갖는 가우시안의 경우 $w(x)$ 의 구성을 나타낸다. 변량 μ 를 갖는 식(11)의 사용이 도 3에 도시된다(단계 301 및 305).

도메인 커널에 대하여 일반 함수를 사용하는 것을 이해하기 위한 하기식:

$$u(x) = \begin{cases} \frac{1}{S}, & |x| \leq \sigma_D \\ 0, & |x| > \sigma_D \end{cases} \quad (12)$$

그때, 분리가능 양측 필터는 더 간단하고 고속이다:

$$I_f^*(r, c) = \frac{\sum_{j=-S/2}^{S/2} I(r, c+j) * w(I(r, c+j) - I(r, c))}{S * \sum_{j=-S/2}^{S/2} w(I(r, c+j) - I(r, c))},$$

$$I_f(r, c) = \frac{\sum_{i=-S/2}^{S/2} I_f^*(r+i, c) * w(I_f^*(r+i, c) - I_f^*(r, c))}{S * \sum_{i=-S/2}^{S/2} w(I_f^*(r+i, c) - I_f^*(r, c))} \quad (13)$$

양측 필터에 의해 필터링된 이미지 I_f 는 알파-채널 a_s 로서 사용될 수 있다. I_f 의 네거티브는 알파-채널 a_h 로서 사용될 수 있다. 새도우 및 하이라이트에 대하여 톤 폭(tone width)을 작용시킬 기회를 갖는 것이 유리하다. 필요한 효과는 파워 t_s 를 a_s 까지 그리고 파워 t_h 를 a_h 까지 상승시키고, $t_h \in [1, 6]$ 으로 함으로써 달성된다. 따라서, 식(4)은 하기와 같이 변환될 것이다:

$$I_g(r, c) = I(r, c) + k_s * (1 - I_f(r, c))^{t_s} * (D_s(r, c) - I(r, c)) - k_h * (I_f(r, c))^{t_h} * (I(r, c) - D_h(r, c)) \quad (14)$$

D_s 및 D_h 의 가장 바람직한 변형 중 하나는 다음과 같은 함수이다:

$$D_s(r, c) = \frac{1.3 * I(r, c)}{I_f(r, c) + 3 * \sigma_R}, \quad (15)$$

$$D_h(r, c) = \frac{3 * \sigma_R * I_f(r, c)}{1.3 - I(r, c)} \quad (16)$$

이들 함수는 충분한 샘플사진을 가지고 모델링하는 것으로 정의된다.

이미지 값에 휘도 값의 허용가능 범위를 두는 것을 방지하기 위해 하기와 같이 처리되는 이미지의 컬러 깊이를 고려하고 또한 식(14)을 몇몇 추가 함수들과 함께 대입하는 것이 필요하다:

$$I_e(r, c) = f_w(I(r, c) + k_s * (2^n - 1 - I_f(r, c))^{t_s} * f_b(\frac{1.3 * I(r, c)}{I_f(r, c) + 3 * \sigma_R} - \frac{I(r, c)}{2^n - 1}) - k_h * (I_f(r, c))^{t_h} * f_b(\frac{I(r, c)}{2^n - 1} - \frac{3 * \sigma_R * I_f(r, c)}{1.3 - I(r, c)}))$$

$$f_b(x) = \begin{cases} x : x \geq 0 \\ 0 : x < 0 \end{cases}$$

$$f_w(x) = \begin{cases} x : x \leq (2^n - 1) \\ 2^n - 1 : x > (2^n - 1) \end{cases} \quad (17)$$

상기 식 중에서, I_e 는 I 및 I_f 에만 종속되고, 따라서 I_e 연산시간이 2D(dimension) 룩업테이블(LUT)을 구성함으로써 감소될 수 있을 알 수 있다. 메모리 재원이 제한되고 또한 $(2^n - 1) * (2^n - 1)$ 매트릭스를 저장하는 것이 불가능할 경우에, 데시메이트된 값들 간에 차기 이중선형 보간법(bilinear interpolation)으로 데시메이트된 LUT가 구성될 수 있다. 예컨대, n 이 8일 때, 52×52 또는 86×86 사이즈의 LUT를 가시적으로 사용하는 결과들은 256×256 LUT를 사용할 때와 같이 거의 식별 가능성이 없다.

도 3에는 그 방법의 기본적인 작업단계들의 개통도가 도시되어 있다. 무엇보다 먼저, R,G,B 채널 각각의 잡음이 억제된다(단계301). 이러한 톤들에서 새도우들 및 하이라이트들의 보정시에, 잡음레벨 및 JPEG 인공물은 성장한다. 새도우/하이라이트 보정 이전에 잡음의 필터링을 수행하는 것이 필요하다. 양측 필터는 잡음 억제를 위한 것이다. 토마시와 맨듀히는 랩 컬러공간(Lab color space)에서 범위 거리를 계산할 것을 제안하였고, 또한 R,G,B 채널 각각에 의한 필터링시 가능한 컬러 할로들에 관하여 개시하였다[1998년, 컴퓨터 비전에 관한 IEEE 컨퍼런스, 시. 토마시, 알. 맨듀히의 "그레이 및 컬러 이미지에 대한 양측 필터"]. 그러한 S 가 작은 경우, 할로들은 거의 식별할 수 없고, 채널식 필터링이 허용될 수 있다. 본 출원인은 파라미터들 $\mu=6$, S_3 , $\sigma_R=0.02 * (2^n - 1)$ 을 갖는 식(13) 및(11)에 따라 양측 필터를 사용하는 것을 제안하거나 또는 적응가능하게 σ_R 을 추정하는 것을 제안한다. 기타 변량들은 랩 컬러공간에서 또는 그레이-채널에서 거리를 계산하기 위한 것이다.

단계302에서 R,G,B 채널 각각에 대하여 글로벌 콘트라스트 조정이 수행된다. 도 4는 글로벌 콘트라스트 조정의 개통도를 나타낸다. 단계303에서 컬러 이미지는 하기식과 같이 R,G,B로부터 최대의 휘도 채널로 전환된다:

$$I(r, c) = \max(R(r, c), G(r, c), B(r, c)). \quad (18)$$

또한, 단계304에서는 새도우/하이라이트 보정 파라미터들(k_s, k_h, t_s, t_h)들이 정의된다. 본정 파라미터들을 정의하기 위해, 아이. 사브노프의 러시아 공개출원 제2005/112311호에서 제안된 유사한 자동분류기를 사용하거나 또는 입력 장치를 사용하여 파라미터들을 대화식으로 설정하는 것이 가능하다. 또한 단계305에서는 필터 파라미터들 $\mu=2$, $S=15$, $\sigma_R=0.1 * (2^n - 1)$ 을 갖는 식(13) 및(11)에 따라 분리가능한 양측 필터에 의해 필터링된다. 단계306에서, 식(17)에 따라 새도우 및 하이라이트 보정이 수행된다. 보정의 결과로서, 샤프닝이 약간 증가한다. 또한 단계307에서, 보정된 이미지는 하기와 같이 컬러공간 RGB로 변환된다:

$$R' = R * I_e / I, G' = G * I_e / I, B' = B * I_e / I. \quad (19)$$

주어진 식들은 서로 간에 RGB 채널들의 콘트라스트 비들을 유지하며, 그에 따라 컬러 이미지의 색상과 포화를 일정하게 유지한다.

그레이스케일 이미지의 보정도 유사하게 수행되지만, 단계들303 및 307은 제외된다.

도 4는 글로벌 콘트라스트 조정의 개통도를 나타낸다. 무엇보다 먼저, 단계401에서, R,G,B의 강도의 글로벌 히스토그램들 H_R , H_G , H_B 이 계산된다. 또한 단계402에서 글로벌 콘트라스트 조정의 필요성에 대한 결정이 만들어진다. 만일 2개의 최소 또는 2개의 최대 강도의 값들에 대한 히스토그램 값들은 제로 즉,

Если ($H_R[0]=0$ and $H_R[1]=0$ and $H_G[0]=0$ and $H_G[1]=0$ and $H_B[0]=0$ and $H_B[1]=0$) or ($H_R[2^n-3]=0$ and $H_R[2^n-2]=0$ and $H_G[2^n-3]=0$ and $H_G[2^n-2]=0$ and $H_B[2^n-3]=0$ and $H_B[2^n-2]=0$),

일 경우, 글로벌 콘트라스트 조정이 수행된다.

단계403에서, 글로벌 콘트라스트 조정을 위한 낮은 경계의 범위가 하기식에 의해 정의된다:

$$\begin{aligned} low = \min(T, \min\{i \mid H_R[i] \geq H_0\}, \min\{i \mid \sum_{k=0}^i H_R[k] \geq C_0\}, \min\{i \mid H_G[i] \geq H_0\}, \min\{i \mid \sum_{k=0}^i H_G[k] \geq C_0\}, \\ \min\{i \mid H_B[i] \geq H_0\}, \min\{i \mid \sum_{k=0}^i H_B[k] \geq C_0\}), \end{aligned} \quad (20)$$

상기 식 중에서, H_0 , C_0 및 T 는 히스토그램 레벨, 히스토그램 영역 및 강도에 따른 스레스홀드 값들이다. 스레스홀드 T 는 이미지가 지나치게 어두워지는 것을 피할 목적으로 투입된다.

글로벌 콘트라스트 조정을 위한 높은 경계의 범위는 단계404에서 하기와 같이 정의된다:

$$\begin{aligned} high = \max(\max\{i \mid H_R[i] \geq H_1\}, \max\{i \mid \sum_{k=i}^{2^n-1} H_R[k] \geq C_1\}, \max\{i \mid H_G[i] \geq H_1\}, \max\{i \mid \sum_{k=i}^{2^n-1} H_G[k] \geq C_1\}, \\ \max\{i \mid H_B[i] \geq H_1\}, \max\{i \mid \sum_{k=i}^{2^n-1} H_B[k] \geq C_1\}), \end{aligned} \quad (21)$$

상기 식 중에서, H_1 및 C_1 은 히스토그램 영역 및 강도에 따른 스레스홀드 값들이다. 도 5는 히스토그램에 대한 스레스홀드 값들을 나타낸다.

또한 단계405에서는, 모든 이용가능한 범위까지 신장되는 선형 콘트라스트가 하기와 같이 수행된다:

$$\begin{aligned} R(r,c) &= (2^n-1) * (R(r,c) - low) / (high - low) \\ G(r,c) &= (2^n-1) * (G(r,c) - low) / (high - low) \\ B(r,c) &= (2^n-1) * (B(r,c) - low) / (high - low) \end{aligned} \quad (22)$$

도 6은 보정 예를 나타내는 도면으로, a)는 소오스 이미지, b)는 개선된 이미지($k_s=0.5$, $k_h=0.5$, $t_s=2$, $t_h=2$), c)는 양측 필터링의 결과, d)는 식(15)을 사용하여 계산되는 새도우에 대한 반사율 추정치, e)는 식(16)을 사용하여 계산되는 하이라이트에 대한 반사율 추정치이다. 사진의 좌측부와 상측부에 새도우 보정이 되고, 우측부에 하이라이트 보정이 되었다.

도 7은 사진의 질에 대한 잡음 필터링의 영향을 나타내는 도면으로, a)는 잡음 억제 없이 개선된 이미지(6a)의 일부분, b)는 잡음 억제된 개선된 이미지의 부분이다. 이미지(6g)의 일부분의 피부색(skin tone)의 변동은 더 스무스하고, 이미지(6f)에서 보다 즐겁다. 이미지(6g)의 일부분의 분산은 모든 컬러채널들에 대하여 이미지(6f)의 분산 이하이다.

도 8은 아도브 포토샵 새도우/하이라이트 해상도 이상의 제안된 방법의 장점을 나타내는 도면으로서, a)는 포토샵 새도우/하이라이트의 결과, b)는 제안 방법에 의해 개선된 사진, c)는 원래의 사진, d)는 선분들 AB 에 따른 휘도 프로파일의 구성도이다. 아도브 포토샵 새도우/하이라이트 해상도는 할로 효과를 생성하며, 제안된 방법에서 할로 효과는 없고 잡음레벨은 더 낮다.

본 발명 실시의 최우량 변형

제안된 방법은 프린팅 펌웨어 또는 소프트웨어 또는 이미지 캡처 하드웨어에서 실현될 수 있다.

발명의 효과

제안된 방법은 사진 인쇄기에서 인쇄되는 동안 사진들의 개선에 적용될 수 있으며, 특히, 그 방법들은 포토 프린터에서 인쇄되는 동안 사진의 질을 개선시키기 위해 적용될 수 있다. 특히, 본 발명의 방법들은 예컨대, 백릿 결함을 갖는 사진 보정을 위해 새도우 및/또는 하이라이트에서 낮은 다이내믹 범위를 갖는 컬러 및 그레이스케일 사진의 보정에 적용될 수 있다. 약간의 변경으로 디지털 스틸 카메라, 카메라를 갖는 모바일 폰, 캠코더 및 TV-카메라에서 캡처된 이미지들의 품질을 개선하기 위해 사용될 수 있다. 디스플레이용 수정도 가능하다.

도면의 간단한 설명

도 1은 시스템의 기본구성도.

도 2는 상이한 에지-스톱 함수(edge-stop function)의 구성도.

도 3은 개선 단계들을 나타내는 개통도.

도 4는 글로벌 콘트라스트 조정을 나타내는 개통도.

도 5는 히스토그램에 표시된 콘트라스트 신장을 위한 스트레스홀드 값(threshold values)을 나타내는 그래프.

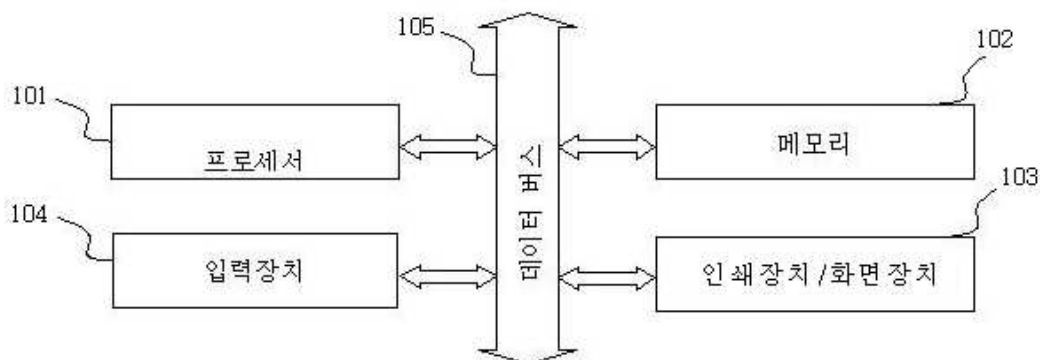
도 6은 개선의 샘플도.

도 7은 잡음 억제 샘플도.

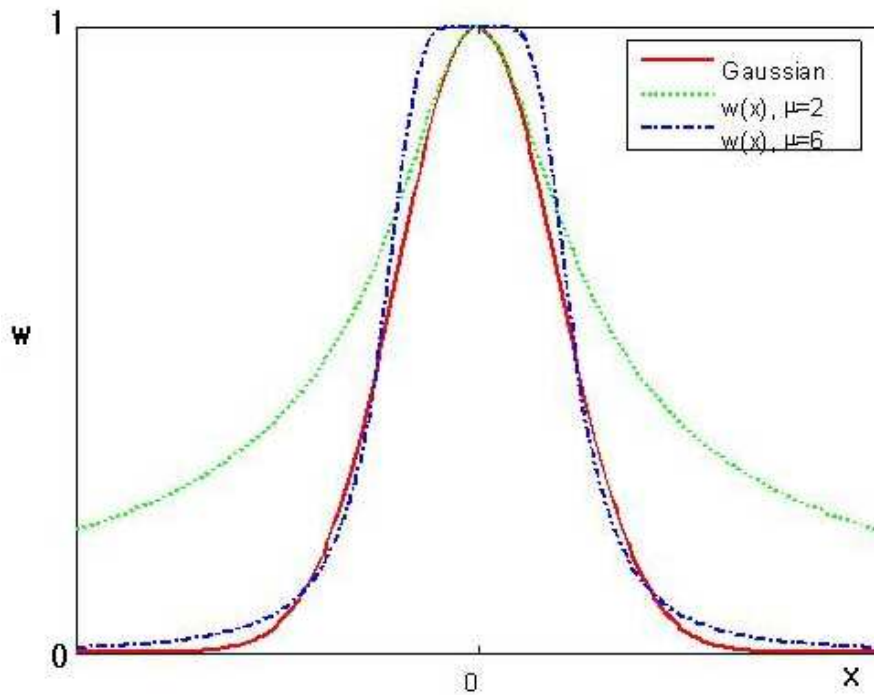
도 8은 아도브 포토샵 CS 새도우/하이라이트 결과와 제안된 방법의 비교결과도이다.

도면

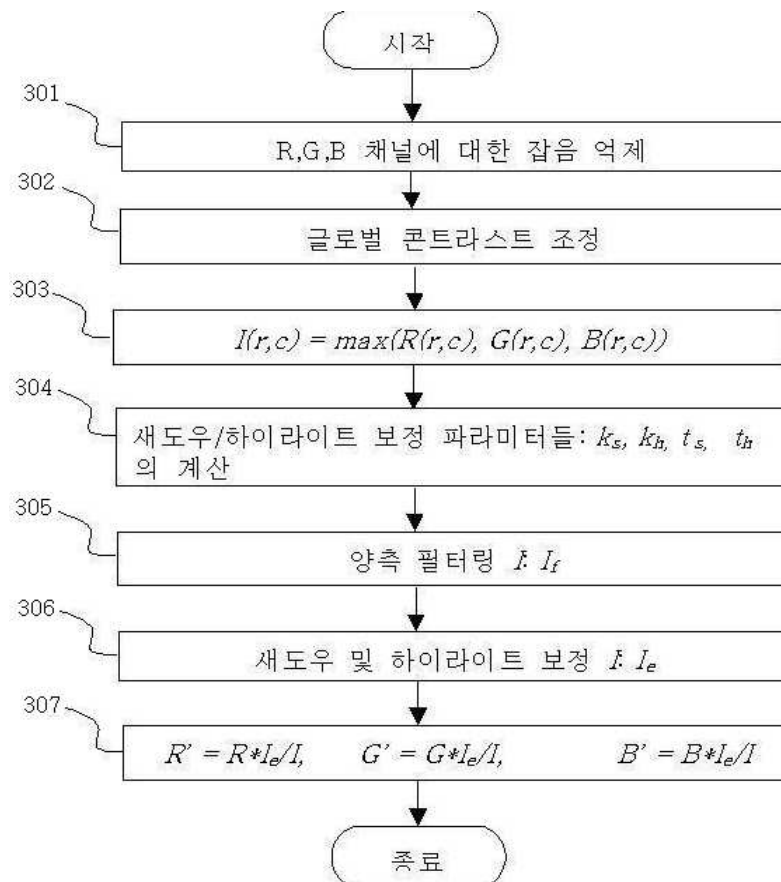
도면1



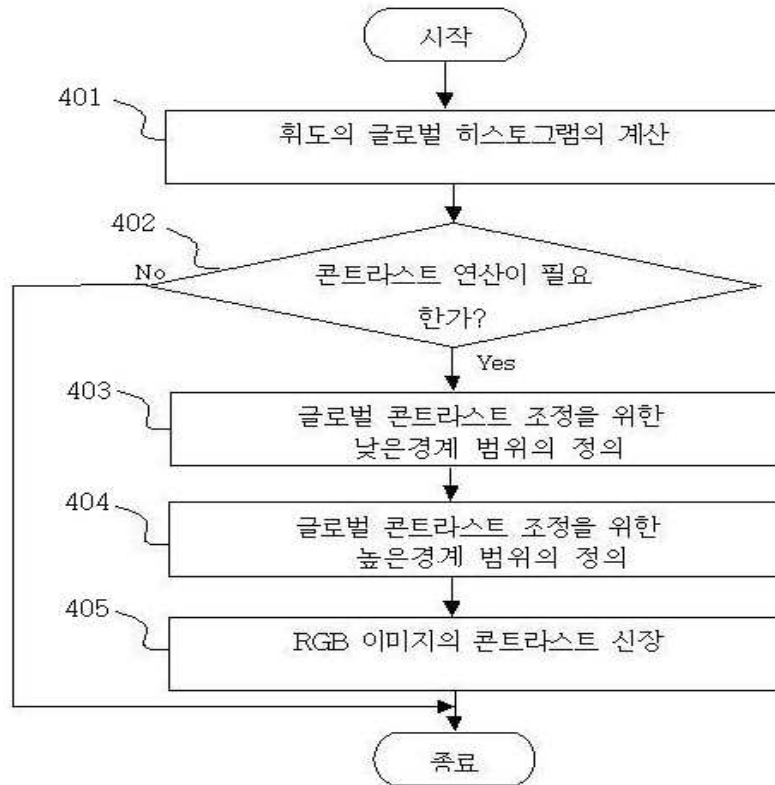
도면2



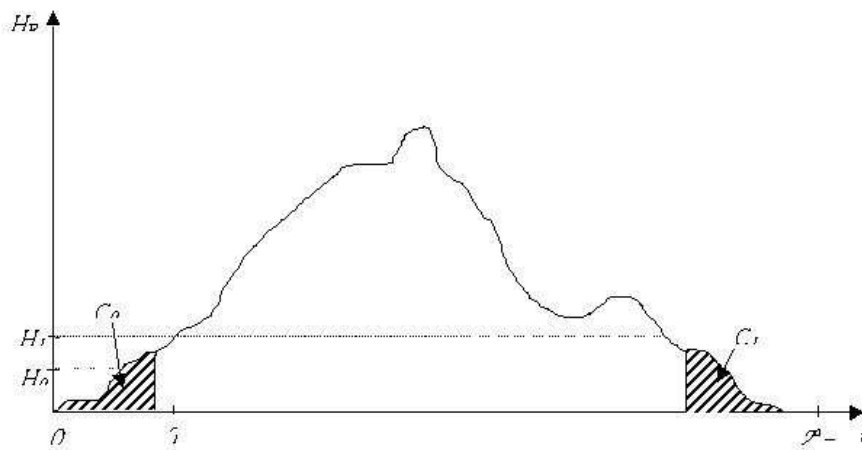
도면3



도면4



도면5



도면6



a)



b)



c)



d)



e)

도면7



a)



b)

도면8

