

논문 2011-48SP-1-9

변형된 영상 생성 모델을 이용한 칼라 영상 보정

(Color Image Rendering using A Modified Image Formation Model)

최 호 형*, 윤 병 주**

(Ho-Hyoung Choi and Byoung-Ju Yun)

요 약

이미징 파이프라인(imaging pipeline)의 목적은 디스플레이 되는 영상을 원영상과 비슷하게 변환하는 것이다. 이를 위해 감마 조정 혹은 히스토그램기반 방법이 영상대비와 세부 영역을 개선하기 위해 제안되었다. 그러나 이러한 방법들은 조도성분과 색도성분이 위치에 따라 변화하므로 영상 개선에 한계가 있다. 따라서 MSR (Multi-Scale Retinex) 기법이 제안되었으며, 이는 영상에 따른 가우시안 필터의 크기에 의존하며, 독립적인 로그 신호를 기반으로 한다. 그러므로 영상 보정 후 후광효과(Halo), 색상변화(Color change or graying-out), 특정 색상의 두드러짐 등의 영상 왜곡(image distortion)이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 영상을 전역조명성분, 국부조명성분, 반사성분으로 나누는 새로운 색상 보정 방법을 제안한다. 제안한 방법에서 전역조명성분은 가우시안 필터를 적용하여 획득하며, 국부 조명성분은 JND(Just-noticeable difference) 기반 적응적 필터를 적용하여 획득한다. 반사성분은 원 영상에 획득된 전역조명성분과 국부조명성분으로 나누어 줌으로써 획득된다. 개선된 영상은 멱함수(power function)를 수행한 후 이들의 곱으로 획득되며, sRGB로 표현된다. 실험 결과에서 제안한 방법이 기존의 방법에 비해 우수한 성능을 보인다.

Abstract

The objective of the imaging pipeline is to transform the original scene into a display image that appear similar. Generally, gamma adjustment or histogram-based method is modified to improve the contrast and detail. However, this is insufficient as the intensity and the chromaticity of illumination vary with geometric position. Thus, MSR (Multi-Scale Retinex) has been proposed. the MSR is based on a channel-independent logarithm, and it is dependent on the scale of the Gaussian filter, which varies according to input image. Therefore, after correcting the color, image quality degradations, such as halo, graying-out, and dominated color, may occur. Accordingly, this paper presents a novel color correction method using a modified image formation model in which the image is divided into three components such as global illumination, local illumination, and reflectance. The global illumination is obtained through Gaussian filtering of the original image, and the local illumination is estimated by using JND-based adaptive filter. Thereafter, the reflectance is estimated by dividing the original image by the estimated global and the local illumination to remove the influence of the illumination effects. The output image is obtained based on sRGB color representation. The experiment results show that the proposed method yields better performance of color correction over the conventional methods.

Keywords : 후광효과, 색상변화, 레티넥스, 변형된 영상 생성 모델, JND-기반 적응적 필터

I. 서 론

이미징 파이프라인(imaging pipeline)의 목적은 디스플레이 되는 영상을 원래의 환경과 비슷하게 변환하는 것이다. 일반적으로 이미징 어플리케이션(imaging application)에서 보정된 영상은 원래의 영상에 정확하게 물리적으로 일치하는 것이 드물다. 따라서 보정 알고리즘은 원래의 환경과 최대한 비슷하게 디스플레이

* 정회원, 경북대학교 모바일통신학과
(Department of Mobile Communication, Kyungpook National University)

** 평생회원-교신저자, 경북대학교 전자공학부
(School of Electronics Engineering, IT College, Kyungpook National University)

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0016848)

접수일자: 2010년5월19일, 수정완료일: 2010년8월30일

영상이 보정되어야 한다. 이것은 보정된 영상과 원래의 영상이 물리적으로 일치시키는 일반적인 방법이며, 디스플레이 되는 영상과 원래 영상의 상대적인 밝기 값 비율은 일치되어야 한다^[1]. 이러한 요구에서, 영상 보정을 위한 밝기 값의 비율이 중요하며, 최대/최소 밝기 값 사이의 극단적인 비율의 범위를 요약하는 것이 근본이다. 이 비율을 일반적으로 동적 폭(dynamic range)이라 한다. 영상 보정은 원래 환경의 밝기 비율과 일치하거나 확장될 때 원래의 밝기 비율을 보존할 수 있다. 이러한 이유로 히스토그램 기반 방법이나 감마 조정 방법은 색상 보정을 개선하기 위해 일반적으로 사용된다. 이들 방법들은 전역적인 영상 대비를 개선하기 위한 간단하고 효과적인 방법이다. 그러나 인간 시각의 민감도는 특정 환경에서 물체의 위치와 조도 성분에서 국부적으로 변하는 한 영상 대비의 보정은 한계를 갖는다^[2-3]. 최근에 이러한 한계를 해결하기 위해서, 레티넥스 방법(Retinex method)이 제안되었다^[4-6]. 레티넥스의 대표적인 방법이 SSR(Single-Scale Retinex)와 MSR(Multi-Scale Retinex)방법이 있다. MSR^[7]은 SSR과 같은 저역통과필터를 사용하며, SSR의 가중 합으로 출력이 주어진다. 이러한 이유로 SSR에 비해 후광효과(Halo-artifact)는 어느 정도 줄일 수 있으나 완전히 제거할 수는 없다. 게다가 SSR과 MSR은 필터의 유효 폭에 의지하며, 유효 폭이 클 경우 균일한 조도가 넓다는 것을 보장한다. 반면 유효 폭이 작을 경우 좋지 못한 색상 보정결과를 야기한다. 즉 후광효과가 나타난다. 또한 MSR의 경우 독립적인 로그 신호를 사용하였기 때문에 일반적으로 색상 변화(graying out)가 발생하게 된다^[8]. SSR과 MSR의 단점인 색상 변화와 후광 효과를 해결하기 위해 이방성 필터(bilateral filter)^[9]를 이용한 방법이 제안되었다. 이방성필터는 조도성분과 반사성분을 획득하기 위해 확률적인 방법을 사용했으며, SSR과 MSR과 비교했을 때 후광효과/색상변화 없이 영역 영상 대비가 잘 개선되었다. 그러나 결과영상에서 높은 휘도 값을 갖는다.

참고문헌^[10]에서 개선된 영상생성모델을 이용한 칼라 영상 보정 방법이 제안되었으며, 이는 전역조명성분, 국부조명성분, 반사성분으로 나누는 개선된 영상 생성 모델을 사용하였다. 전역조명성분을 획득하기 위해 비선형적인 가우시안 필터 사용하였으며, 국부조명성분을 획득하기 위해 JND-기반 방법을 적용하였다. 반사성분을 획득하기 위해서 전역조명성분과 국부조명성분을

나누어 준다. 그러나 국부조명성분 획득에 있어서 반사성분에 대해서 JND 계수를 적용하였다. 위에서 언급한 것과 같이 칼라 영상 보정(color image rendition)은 디스플레이 되는 영상과 원래의 환경과 비슷하게 변환하는 것을 목적으로 하며, 원래의 밝기를 보존해야 한다. 따라서 반사성분에 대해서 JND 계수를 기반으로 비선형적인 가우시안 필터를 적용하는 것은 옳지 않으며, 이로 인해 후광효과가 발생하게 된다.

따라서 본 논문은 영상을 전역조명성분, 국부조명성분, 반사성분으로 나누는 변형된 영상 생성 모델을 적용한 새로운 색상 보정방법을 제안한다. 전역조명성분은 모든 빛의 전역 평균이며, 원 영상에 가우시안 필터(Gaussian filter)를 사용하여 획득한다. 인간 시각의 민감도는 실제의 환경에서 물체의 위치와 조도성분에 따라서 영역적으로 변하며, 하이라이트 영역에서 최소의 밝기 변화에 따라 적응적으로 변한다. 이러한 이유로, 제안한 방법에서 국부조명성분을 도입한다. 국부조명성분은 국부적인 평균을 사용하여 획득하며, JND^[11]를 근간으로 하는 적응적 필터를 적용함으로써 획득 된다. JND를 근간으로 하는 적응적 필터는 영상의 국부영역 최소 밝기 변화 양을 기반으로 하며, 웨버의 법칙(Weber's law)을 따른다. 일반적으로 후광효과는 하이라이트 영역과 비 하이라이트 영역사이에 발생하며, 하이라이트 영역과 비 하이라이트 영역 사이에 적절한 처리를 사용하여 줄일 수 있다. 반사성분은 원 영상에 획득한 전역 조명성분과 국부조명성분으로 나누어 줌으로써 획득되며, 이는 조도성분의 영향을 제거하기 위함이다. 마지막으로, 개선된 결과 영상은 멱함수(power function)를 적용한 후 이들의 곱을 통해서 획득한다.

II. 멀티 스케일 레티넥스

완전히 균일한 조명 하에서, 영상은 조명성분과 반사성분으로 나눈다^[12]. 앞에서 언급한 것과 같이 반사성분은 인지되는 색상으로부터 획득한 조명성분에 의해서 계산할 수 있다. 그러나 일반적인 환경에서 조명성분은 완전하게 균일하지 않다. 그러므로 적절한 국부적 처리가 필요하다. 레티넥스 이론을 기반으로 하는 대표적인 영상 보정방법은 MSR이며, MSR은 SSR로부터 쉽게 설명된다. SSR에서 가우시안필터는 조도성분을 획득하기 위해 사용되며, 원 영상과 가우시안 필터 적용결과 영상에 로그 신호를 취한 후 이들의 차를 통해서 반사

성분을 획득하며, 다음과 같다^[2~3].

$$R_i(x, y) = \log(I_i(x, y)) - \log F(x, y) * I_i(x, y) \quad (1)$$

$i \in R, G, B$

여기에서 $I_i(x, y)$ 는 원영상이며, $F(x, y)$ 와 *는 가우시안 필터와 컨볼루션 연산(convolution operator)을 각각 나타낸다. 가우시안 필터는 다음과 같이 주어진다.

$$F(x, y) = Ke^{-(x^2+y^2)/\sigma^2}, \quad (2)$$

and $\iint F(x, y) dx dy = 1$

여기에서 K 는 상수 값을 갖는 계수이며, σ 는 표준편차이다. 식 (1)에서 보는 것과 같이 MSR의 출력은 서로 다른 필터의 유효 폭에 대해서 SSR의 가중 합으로 획득된다.

$$R_{M_i}(x, y) = \sum_{n=1}^N w_n \log(I_i(x, y)) - \log[F(x, y) * I_i(x, y)] \quad (3)$$

$i \in R, G, B$

여기에서 $R_{M_i}(x, y)$ 는 i 채널에서 MSR의 결과이며, w_n 은 n 번째 SSR의 가중치이다.

위에서 언급한 것과 같이 MSR은 최근 제안된 색상 보정 방법이다. 그러나 MSR은 몇몇 취약성을 갖고 있다. 즉, MSR은 비선형적 공간에서 색상 보정을 수행하였으며, 국부 공간적 필터를 기반으로 한다. 보다 더 중요한 문제는 이러한 국부 공간적 필터를 이용한 방법은 최적이지 아니라는 데 있다. 즉, 색상 보정을 위한 알고리즘은 조명성분의 색도(Chromaticity)가 공간적으로 변화하는 것에 관한 가정을 만든다. 다시 말해서, 일반적으로 조명성분의 색도가 일정하게 변한다는 가정 하에서 이루어지며, 이러한 가정 하에서 개발되었다. MSR의 경우에 큰 유효 폭의 경우에 조명성분의 균일성이 광범위하다는 것을 보장한다. 반면에 유효 폭이 작을 경우 빈약한 결과를 초래하며, 색상의 변화 혹은 후광 효과가 발생하게 된다.

III. 제안한 방법

이전의 절에서, 후광효과와 색상의 변화를 포함한 MSR방법이 갖는 몇몇 중요한 문제들에 대해서 토론하

였다. 이러한 이유로, 영상으로부터 희망하지 않는 조도성분의 효과를 제거하는 방법이 제안되었다. 이는 이방성 필터^[9]를 이용한 방법이다. 이방성 필터는 조도성분과 반사성분의 동적 폭을 위해 확률적인 방법을 사용한다. 게다가 결과영상에서 동적 폭을 조절하기 위해 감마 조절을 사용한다. 사실에서, 감마조정의 적용은 빈약한 영상 보정 결과를 야기한다. 특히, 그 결과 영상은 희석되며 과한 감마 조절이 이루어진다. 또한 감마조정은 특정 장치를 위한 색상 보정을 의미한다. 따라서 그 결과는 특정 장치에 의존하게 된다. 즉, CRT 모니터의 경우, 감마 조절으로 접근할 수 있다. 그러므로 제안한 방법에서는 입력이 선형적이라 가정하며, 좋은 결과는 선형성에 의존한다. 이러한 이유로, 제안한 방법은 결과영상에서 색상의 변화를 피하기 위해 로그 신호를 사용하지 않으며, 특정 장치에 의존적인 색상 보정의 문제를 해결하기 위해 멱함수를 적용한다.

제안한 방법에서, 영상 $f(x, y)$ 을 전역조명성분 $\hat{l}_G(x, y)$, 국부조명성분 $\hat{l}_L(x, y)$, 반사성분 $\hat{r}(x, y)$ 으로 나누는 새로운 색상 보정 방법을 사용하며^[10], 다음과 같다.

$$f(x, y) = \hat{l}_G(x, y) \hat{l}_L(x, y) \hat{r}(x, y) \quad (4)$$

특정 장비에 의존하는 문제와 색상 보정의 동적 폭을 조절하기 위해, 제안한 방법의 출력은 다음과 같이 획득된다.

$$f(x, y) = \hat{l}_G(x, y)^\alpha \hat{l}_L(x, y)^\beta \hat{r}(x, y)^\gamma \quad (5)$$

여기에서 α, β 그리고 γ 는 멱함수를 위한 상수 값이다. 멱함수는 색상 보정 영상의 동적 폭을 조절하기 위해 사용된다. 식 (4)에서 전역조명성분은 가우시안 필터를 사용하여 획득된다. 그 후, 국부조명성분은 JND 기반 적응적 필터를 통해서 획득된다. 최종적으로 반사성분은 원 영상에 획득된 전역조명성분과 국부조명성분을 나누어 줌으로써 획득되며, 이는 조도성분의 영향을 피하기 위해서이다.

1. 전역조명성분

전역조명성분을 획득하기 위해, 비록 조도성분이 균일하지 않더라도 조도 성분은 영상에서 천천히 변화한다고 가정한다. 이러한 가정 하에서, 조명성분은 전역 공간에서 평균에 의해서 접근할 수 있다. 전역 공간 평균은 다음과 같이 주어진다.

$$a_i = \frac{1}{n} \sum_{x,y} c_i(x,y), \quad i \in \{R, G, B\} \quad (6)$$

여기에서 $c_i(x,y)$ 와 n 은 원 영상과 영상 축소 수를 각각 나타낸다.

처리 시간을 줄이기 위해서, 본 논문은 반복적인 라플라시안 피라미드 방법(Laplacian pyramid method)^[13]을 적용한다. 반복적인 라플라시안 피라미드 방법은 집합 $h(m)$ 과 $h(n)$ 에 대해 입력 영상 ($f^0(x,y)$)를 컨볼루션 한 것과 같다. 즉 전역조명성분($\hat{l}_G(x,y)$)은 다음과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} \hat{l}_G(x,y) &= f^k(x,y) = \\ & \sum_{m=W_n-W_1}^n \sum_{n=W_n-W_1}^n h(m)h(n)f^{k-1}(x+2^{k-1}(m-1)-1, y+2^{k-1}(n-1)-1) \\ & k = 1, 2, 3, \dots, K_G \end{aligned} \quad (7)$$

여기에서 $f^0(x,y)$ 는 원영상이며, $f^k(x,y)$ 는 k 번째 반복 후 출력영상이다. $h(m)$ 과 $h(n)$ 은 수평/수직 방향 선형적인 가우시안 필터이다. W_1 은 1차원 윈도우이며, K_G 는 반복 횟수이다. 그림 1은 반복적인 라플라시안 피라미드 방법을 사용하여 전역조명성분을 획득한 결과를 보여준다. 비록 조명성분이 균일하지 않다 하더라도, 결과영상에서 천천히 변한다.



그림 1. “소년” 영상 (a) 원 영상, (b) 전역조명성분
Fig. 1. “A boy” image with (a) original image, and (b) the estimated global illumination.

2. 국부조명성분과 반사성분

일반적으로, 인간 시각의 민감도는 원래의 환경에서 물체의 위치와 조도성분에 따라서 변하며, 이것은 하이라이트 영역의 최소 밝기 변화에 따라 적응적으로 변한다. 사실에서, 하이라이트 영역을 추출하는 것이 필요하다. 이전의 방법^{[2][3]}에서, 가우시안 필터 영상의 히스토그램은 영상으로부터 하이라이트 영역을 추출하는데 사용되었다. 각각의 RGB채널에 대한 히스토그램은 다음

과 같이 표현한다.

$$H_i(k) = \text{histogram}\{F(x,y) * I_i(x,y)\}, \quad i \in \{R, G, B\} \quad (8)$$

여기에서 $F(x,y)$ 와 $I_i(x,y)$ 는 가우시안 필터와 원 영상을 각각 나타낸다. *는 컨볼루션을 나타낸다.

히스토그램의 하이라이트 영역은 다음과 같이 추출된다.

$$N \cdot p \leq \sum_{k=1}^b H_i(k) \quad (9)$$

여기에서 N 과 p 는 영상 픽셀의 총수와 영상에서 하이라이트 영역에 대한 상수 비율로 이전에 정의된다. k 는 히스토그램에 대한 버킷 인덱스를 결정하며, b 번째 버킷을 기반으로 하이라이트 영역은 분리된다. 식 (9)에서 하나의 화소가 아주 밝은 값이라면, 그것은 정확하지 않는 결과를 도출할 것이다. 이는 밝은 빛을 갖는 물체에서 부수적인 빛을 반영할 때 발생하게 되며, 화소 클리핑의 결과이다. JND 기반 방법은 선형적인 변환에 의존하며^[12], 다음과 같다.

$$JND(x,y) = c_1 \cdot f(x,y) + c_2 \quad (10)$$

여기에서 $f(x,y)$ 는 원영상이며, c_1 과 c_2 는 임의의 기울기와 절편이다.

식 (10)에서 보는 것과 같이, JND 기반 방법은 선형적 변환을 제공하며, 따라서 기존의 방법과 비교했을 때 이미징 응용에서 색상 보정의 정확도를 증가시킬 수 있다. 이러한 이유로, 국부조명성분은 변형된 JND 기반 방법을 사용하여 획득하며, JND 기반 적응적 필터라고 명명한다. JND 기반 적응적 필터는 국부 영역에서 최소의 밝기 변화량을 나타내며 웨버의 범칙을 근간으로 한다. JND 기반 적응적 필터의 핵심은 입력 영상의 최소 밝기 변화를 반영하는 계수인 3x3 평균 마스크를 이용하여 몽롱화하기 위해 입력 영상을 반복적으로 컨볼루션을 하는 것이다. 식 (4)에서 국부조명성분 $\hat{l}_L(x,y)$ 은 JND 기반 적응적 필터를 사용하여 입력 영상의 몽롱화 함으로써 획득한다. 그리고 $t+1$ 번째 국부조명성분은 $\hat{l}_L^{t+1}(x,y)$ 는 다음과 같이 묘사할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{l}_L^{t+1}(x,y) &= f^{(t+1)}(x,y) = \\ & \frac{1}{N^{(t)}} \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 f^t(x+i, y+j) w^{(t)}(x+i, y+j) \end{aligned} \quad (11)$$

$$N^{(t)} = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 w^{(t)}(x+i, y+j) \quad (12)$$

여기에서 $f^{(0)}(x, y)$ 는 원 영상이고, $f^{(t+1)}(x, y)$ 은 $t+1$ 번째 반복 후 출력 영상이다. $N^{(t)}$ 와 t 는 평활화 계수와 반복 횟수를 각각 나타낸다.

$w^{(t)}(x, y)$ 는 다음 식에서 주어진다.

$$w^{(t)}(x, y) = g(JND^{(t)}(x, y)) = e^{-\frac{|JND^{(t)}(x, y)|^2}{2k^2}} \quad (13)$$

여기에서 k 는 상수 값이다. JND 기반 필터는 필터의 크기가 중요하며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 $k=100$ 으로 결정했다. $JND^{(t)}(x, y) > 0$ 일 때, 식 (13)에서 변환 함수 $g(\cdot)$ 는 $JND^{(t)}(x, y)$ 이 증가할 때 $g(0) = 1$ 와 $g(JND^{(t)}(x, y)) \rightarrow 0$ 인 비음수 단조 감소함수이며, $JND^{(t)}(x, y)$ 는 화소 (x, y) 에서 최소 색상 변화의 양을 나타낸다. 최종적으로 반사성분을 획득하기 위해서, 조도성분은 상수 값이라는 가정을 한다. 조도성분이 상수 값이라면, 조도성분의 영향은 1차 미분을 계산함으로써 제거 될 수 있다. 이것은 이웃한 화소 값이 같은 조도성분 일 때 이다^[3]. 비슷하게 반사성분 $\hat{r}(x, y)$ 는 원 영상에 전역조명성분 $\hat{l}_G(x, y)$ 과 국부조명성분 $\hat{l}_L(x, y)$ 을 나누어 줌으로써 획득하며, 다음과 같다.

$$\hat{r}(x, y) = \frac{f(x, y)}{\hat{l}_G(x, y)\hat{l}_L(x, y)} \quad (14)$$

그림 2(a)는 JND 기반 적응적 필터를 적용한 결과를 보여준다. 또한 (b)에서 보는 것과 같이 반사성분은 식 (14)에 의해서 조도성분의 영향이 제거되었다.

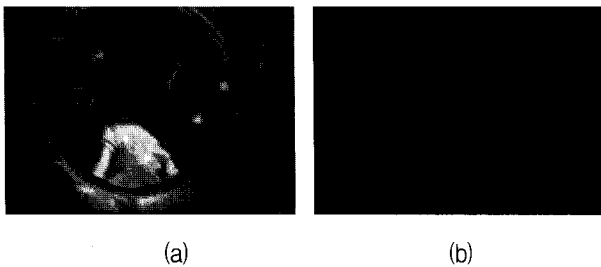


그림 1. “소년” 영상 (a) 국부조명성분과 (b) 반사성분
Fig. 1. “A boy” image with (a) the estimated local illumination, and (b) the estimated reflectance.

IV. 정량적인 평가

1. 화질 측정

향상된 영상의 향상 정도는 주관적일 수밖에 없지만, 향상 정도의 정량적, 객관적인 향상도 측정을 위해서 VCM(Visual Contrast Measurement)^[14]을 도입한다. VCM은

$$VCM = 100 \times \frac{R_v}{R_t} \quad (15)$$

이다.

여기에서 R_v 는 임의의 영상에서 문턱치 이상인 영역의 수를 나타내며, R_t 는 나누어진 영역의 총 영역수를 나타낸다. 따라서 VCM값이 보다 높다는 것은 보다 우수한 영상 대비를 갖고 있다는 것을 의미한다.

2. 예측 에러 측정

객관적인 방법으로 예측 에러를 평가하기 위해서, rg 색도 공간을 사용하였다. 예측 에러를 계산하는 방법^[5-16]은 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta E_{rg} = \sqrt{\Delta r^2 + \Delta g^2} \quad (16)$$

여기에서 r 과 g 는 카메라 RGB 색상 공간에 대해 R, G, B의 합이며, 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{pmatrix} r \\ g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R \\ R+G+B \\ G \\ R+G+B \end{pmatrix} \quad (17)$$

결과는 색도 좌표의 결과와 비슷하며, r, g, b 와 x, y, z 사이의 관계는 CIE Publication No. 15에 명기되어 있다^[17].

III. 실험 및 평가

제안한 색상 영상 보정 방법은 나사 홈페이지로부터 다운 받은 몇몇 영상과 PDA와 모바일 폰으로부터 촬영된 영상을 적용하였다. 전역조명 성분을 획득하기 위해 $h[m] = h[n] = \{0.25, 0.5, 0.25\}$ 의 계수를 갖는 비선형적인 저역통과 필터를 적용하였다. 화소 값의 동적 폭을 조절하기 위해 감마 조정을 하였으므로, 감마 조정을 위한 상수 값에 따른 개선된 영상 화질은 점검되어



그림 3. 칼라 왜곡정도를 평가하기 위한 실험 영상
Fig. 3. Test image for evaluation of color distortion.

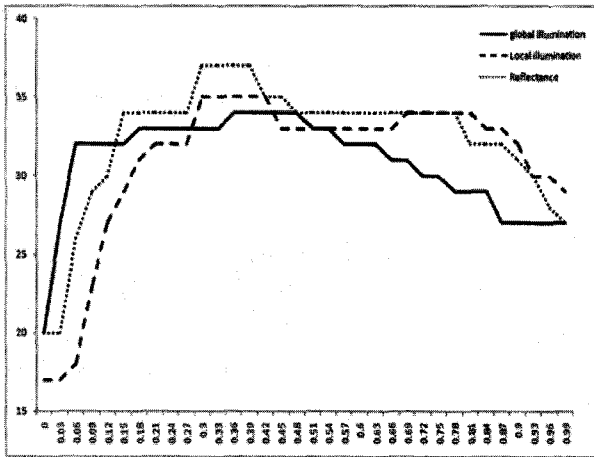
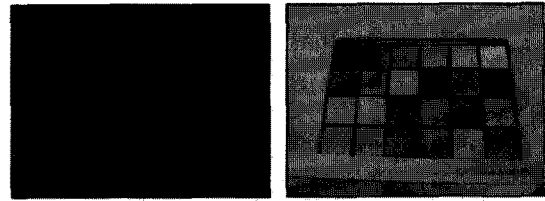


그림 4. 상수 값 증가에 따른 VCM의 결과
Fig. 4. The result of calculation of VCM as the power constant value increases.

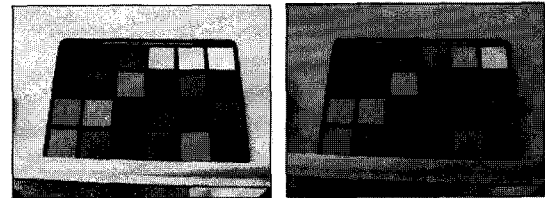
야한다. 이러한 이유로, 그림 3의 영상에 대하여, 감마 조정을 위한 상수 값에 따른 최대 VCM값을 계산한다.

그림 4에서 보는 것과 같이, 감마 조정을 위한 값들은 0과 1의 범위이다. 전역조명성분에서, 최대 VCM값은 0.36과 0.48의 범위일 때 이다. 국부조명성분에서는 0.30과 0.42에서 최대이며, 반사성분은 0.30과 0.39범위이다. 이러한 실험을 기반으로 하여 실제 영상에 사용된 감마 조정을 위한 조정 값은 각각 $\alpha = 0.42$, $\beta = 0.36$, $\gamma = 0.34$ 으로 결정하였다.

그림 5는 결과 영상을 보여주며, (a)는 원 영상이며, 빈약한 조명의 영향으로 인해 낮은 영상 대비를 갖는다. (b)는 MSR을 수행한 결과 영상이며, 독립적인 로그 신호를 사용했기 때문에 결과영상의 색상이 변하였다. (c)는 이방성 필터를 적용한 결과 영상으로써 결과 영상은 희석되어졌으며, 과한 감마 조정이 이루어졌다. (d)는 제안한 방법의 결과 영상이며 영상의 왜곡 없이 참조 영상의 색

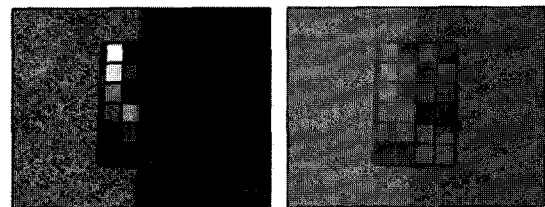


(a) (b)

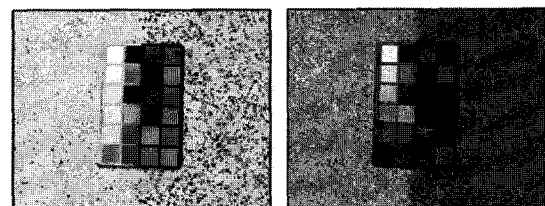


(c) (d)

그림 5. “맥베스 칼라 체크” 영상 (a) 원 영상, (b) MSR, (c) 이방성 필터, 그리고 (d) 제안한 방법
Fig. 5. “A Macbeth color checker” image with (a) original image, (b) MSR, (c) bilateral filter, and (d) proposed method



(a) (b)



(c) (d)

그림 6. “그림자 맥베스 칼라 체크”영상 (a) 원 영상, (b) MSR, (c) 이방성 필터, 그리고 (d) 제안한 방법
Fig. 6. “Shadow in a Macbeth color checker” image with (a) original image, (b) MSR, (c) bilateral filter, and (d) proposed method

상이 잘 보존되었다.

제안한 방법의 국부적 실험을 위해서, 영상은 그림 6과 같이 획득하였다. 특히 이방성 필터를 적용한 결과 영상 (c)에서, 영상의 오른쪽은 영상의 왜곡 없이 잘 개선되었으며, 참조 영상의 색상을 잘 보존하였다. 그러나 영상의 왼쪽 영역은 높은 영상 대비를 갖는 영역으로써 결과 영상에서 색상이 희석 되었으며, 과한 감마 조정이 이루어졌다. 반면 제안한 방법인 (d)의 경우, 결과 영상에서 영

표 1. 그림 6에서 왼쪽과 오른쪽의 평균 밝기

Table 1. Mean lightness of the left and right part of the images in Fig. 6

평균 밝기	원 영상	MSR	이방성 필터	제안한 방법
왼쪽	158.35	191.36	217.19	183.96
오른쪽	74.36	162.38	195.79	127.47
전체	116.35	176.87	206.49	155.72

표 2. 조명에 따른 예측 에러 비교

Table 2. Comparison of estimation error according to illumination.

조명	MSR	이방성 필터	제안한 방법
Day	0.006532344	0.002697241	0.000587568
CWF	0.009230829	0.010063779	0.003114720
TL84	0.022427651	0.017770155	0.004494862
A	0.020147473	0.021327518	0.002749227
UV	0.020424385	0.014272774	0.004513944

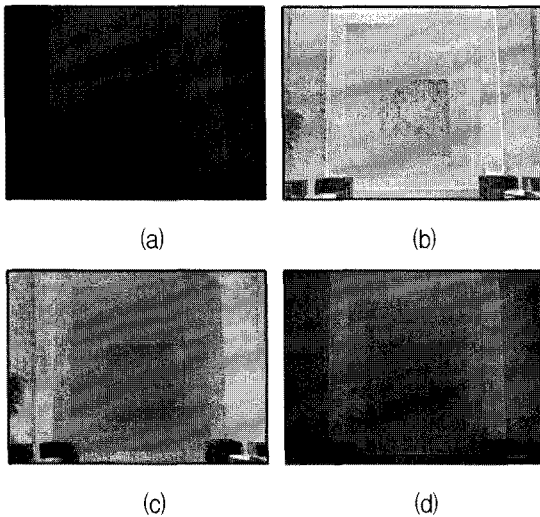


그림 7. “앨버스” 영상[18] (a) 원 영상, (b) MSR, (c) 이방성 필터, (d) 제안한 방법

Fig. 7. “A albers” image[18] with (a) original image, (b) MSR, (c) bilateral filter, and (d) proposed method

상의 왜곡 없이 잘 개선되었다.

표 1은 그림 6의 평균 밝기 값을 나타내며, 모든 방법에서 원 영상과 비교했을 때 개선되었지만 기존의 방법에서 과하게 개선되었다. 그러나 제안한 방법에서는 기존의 방법보다 잘 개선되었음을 표 1에서 볼 수 있다.

그림 7(a)는 원영상이며, (b)는 MSR의 결과 영상이며, (c)는 이방성 필터를 적용한 결과 영상이며, (d)는 제안한 방법으로 획득한 결과영상이다. 그림 5와 그림 6과 비슷한 결과를 나타낸다.

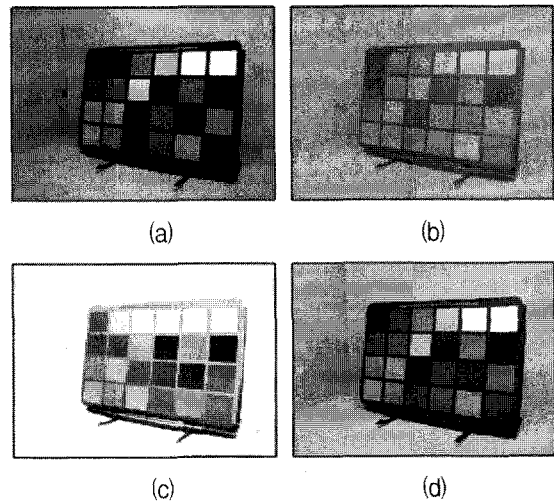


그림 8. “Day 조명” 영상 (a) 원 영상, (b) MSR, (c) 이방성 필터, 그리고 (d) 제안한 방법

Fig. 8. “Day illumination” image with (a) original image, (b) MSR, (c) bilateral filter, and (d) proposed method

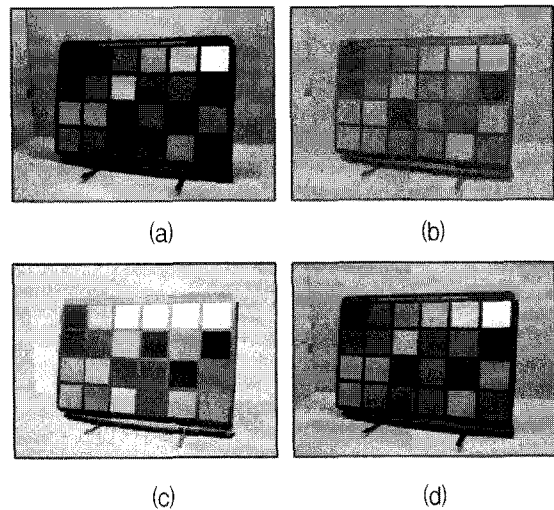


그림 9. “TL84 조명” 영상 (a) 원 영상, (b) MSR, (c) 이방성 필터, 그리고 (d) 제안한 방법

Fig. 9. “TL84 illumination” image with (a) original image, (b) MSR, (c) bilateral filter, and (d) proposed method.

표 2는 다섯 개의 서로 다른 조명(Day, CWF, TL84, A, UV)하에서 촬영한 영상을 식 (16)을 기반으로 한 결과이다. 제안한 방법이 기존의 방법과 비교했을 때 가장 작은 예측에러를 보인다.

그림 8과 그림 9는 개선한 영상으로써, 각각의 (a)는 라이트 부스(light booth)에서 Day와 TL84의 조명 하에서 획득한 영상이며, (b)는 MSR을 기반으로 한 결과 영상, (c)는 이방성 필터의 결과 영상, (d)는 제안한 방법의 결과 영상이다.

IV. 결 론

최근에 SSR, MSR, 이방성필터를 사용한 레티넥스 모델을 포함하여 색상 보정 방법들이 제안되었다. 그러나 색상 보정 후, 색상의 변화와 후광효과와 같은 영상 왜곡이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 영상을 전역조명성분, 국부조명성분, 반사성분으로 나누는 변형된 영상 생성 모델을 사용하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서, 전역조명성분은 가우시안 필터를 적용하였으며, 국부조명성분은 JND 기반 적응적 필터를 통해 획득하였다. 그 후, 반사성분은 원 영상에 전역조명성분과 국부조명성분을 나누어줌으로써 획득 한다. 입력영상이 선형적이라는 가정 하에, 제안한 방법은 특정장치에 의존하는 문제를 해결하기 위해 멱함수를 적용하였다. 개선된 결과 영상은 멱함수를 수행한 후, 이들의 곱으로 획득한다. 결과와 같이 국부 영역의 영상 대비와 영상의 세부적인 특징들을 색상 왜곡 없이 잘 개선되었음을 실험을 통해 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] J. M. Dicarolo and B. A. Wandell, "Rendering high dynamic range images," Proceedings of the SPIE: Image Sensors, Vol. 3965, pp. 189-198, Jan. 2000.
- [2] I. S. Jang, K. H. Park, and Y. H. Ha, "Color Correction by Estimation of Dominant Chromaticity in Multi-Scaled Retinex," Journal of Image Science and Technology, Vol. 53, No. 5, pp. 050502-05502-11, Aug. 2009.
- [3] M. Ebner, Color Constancy, Wiley, London, 2007.
- [4] D. J. Jobson, Z. Rahman, and G. Woodell, "Properties and performance of a center/surround retinex," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 6, No. 3, pp. 451-462, Mar. 1997.
- [5] B. Funt, F. Ciurea, and J. McCann, "Retinex in MATLAB," Journal of Electronic Imaging, Vol. 13, No. 1, pp. 48-57, Jan. 2004.
- [6] L. Meylan, and S. Susstrunk, "High Dynamic Range Image Rendering With a Retinex-based Adaptive Filter," IEEE Transactions on Image processing, Vol. 15, No. 9, pp. 2820-30, Sep. 2006.
- [7] D. J. Jobson, Z. Rahman and G. A. Woodell, "A Multiscale Retinex for Bridging the Gap between Color Images and The Human Observation," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 6, No. 7, pp. 965-976, July 1997.
- [8] K. Barnard, and B. Funt, "Investigations into Multi-scale Retinex," In colour imaging Vision and Technology, pp. 9-17, 1999.
- [9] M. Elad, "Retinex by Two Bilateral Filters," Scale-space 2005, Vol. LNCS 3459, pp.217-229, Apr. 2005.
- [10] 최두현, 장익훈, 김남철, "개선된 영상 생성 모델에 기반한 칼라 영상 향상," 전자공학회 논문지, 제46권 SP편, 6호, 2006년.
- [11] B. W. Keelan, Handbook of Image Quality Characterization and Prediction, New York Basel, 2002.
- [12] R. C. Gonzalez and R. E. Wood, Digital Image Processing, second edition Addison Wesley, 2002.
- [13] P. J. Burt and E. H. Adelson, "The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code," IEEE Transactions on communications, Vol. COM-31, pp. 532-540, Apr. 1983.
- [14] D. J. Jobson, Zia-Ur Rahman, G. A. Woodell, and G.D. Hines. , "A Comparison of Visual Statistics for the Image Enhancement of FORESITE Aerial Images with Those of Major image Class," Visual Information Processing XIV, Proceeding of SPIE 6246, 2006.
- [15] O. S. Kwon, Y. H. Cho, and Y. H. Ha, "Illumination Estimation Based on Valid Pixel Selection from CCD Camera Response," Journal of Imaging Science and Technology, Vol. 49, No. 3, pp. 308-316, May 2005.
- [16] V. C. Cardei, B. Funt, and K. Barnard, "Estimating the scene illumination chromaticity by using a neural network," Journal of the optical society of America A, Vol. 19, No. 12, pp. 2374-2386, Dec. 2002.
- [17] H. R. Kang, Computational Color Technology, SPIE, 2006.
- [18] http://www.cis.rit.edu/mcsl/icam/hdr/rit_hdr/

— 저 자 소 개 —



최 호 형(정회원)
 2001년 경주대학교 컴퓨터 전자공학부 공학학사 졸업.
 2003년 경주대학교 컴퓨터 전자공학과 석사 졸업.
 2009년 경북대학교 모바일통신학과 박사수료

<주관심분야 : 컬러 영상 처리, 컴퓨터 비전, 머신 비전>



윤 병 주(정회원)-교신저자
 1993년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1996년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업.
 2002년 한국과학기술원 전자전산학과 박사

2003년~현재 경북대학교 전자공학부 연구초빙교수(부교수)

<주관심분야 : 멀티미디어 신호처리, 영상 압축, H.264, SVC, HCI, 컴퓨터 비전>