

장치 독립적 컬러 공간에서 기준 컬러를 이용한 디지털 영상의 컬러 보정 알고리즘

이석한*, 김태은**, 최종수*

요약

본 논문에서는 컬러 보정차트를 이용한 디지털 영상의 컬러 보정 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 기준 컬러 값과 영상으로부터 취득된 컬러 값 사이의 컬러 변환 관계를 계산하기 위하여 별도의 컬러 보정 차트를 이용한다. 기존의 컬러 재현 알고리즘은 취득된 영상에 대한 컬러 스펙트럼 분석 및 디지털 영상의 형성 과정에 대한 모델링 등을 통한 방법을 이용하여 취득된 영상에 대한 컬러를 보정하는 방법을 주로 이용한다. 제안된 알고리즘은 차트로부터 제공되는 기준 영상과 취득된 영상의 컬러 사이의 변환 관계를 이용하여 컬러 보정 과정을 수행한다. 제안된 알고리즘은 두 단계로 수행된다. 컬러 보정의 첫 번째 단계에서는 컬러 차트의 영상을 취득한 다음, 내부의 기준 컬러 값과 차트 영상으로부터 취득된 컬러 값 사이의 변환 관계를 계산한다. 두 번째 단계에서는 계산된 변환 관계를 이용하여 차트 영상과 유사한 조건에서 촬영된 영상에 대한 컬러 보정을 수행한다. 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 다양한 조건 하에서 실험을 수행하였으며, 이를 일반적인 상용프로그램들의 컬러 보정 성능과 비교 및 평가 하였다.

A Color Compensation Algorithm using Reference Colors in the Device Independent Color Space

Seok-Han Lee*, Tae-Eun Kim**, and Jong-Soo Choi*

Abstract

In this paper, we describe the color reproduction system for color images captured by digital camera. The system uses a color compensation chart to estimate the transformation between the colors in the image and the reference colors in the chart. The color reproduction process consists of two steps, i.e., the profile creation process and the profile application process. During the pro-file creation process, the relationships between the captured colors and the ref-erence colors are estimated. And the system creates a color profile and embeds the estimation result in the profile. During the profile application process, the colors in the images which are captured under the same condition as that of the chart image are reproduced using the created color profile. To evaluate the per-formance of the system, we perform experiments under various conditions. And we compare the results with those of widely used commercial applications.

Keywords : Color Compensation(컬러 보정), ICC Color Profile, Color Compensation Chart(컬러 보정 차트)

1. 서론

최근 디지털 카메라와 같은 디지털 영상 기기

의 급격한 발전과 더불어 디지털 영상의 정확한 컬러 구현이 중요한 문제로 대두되고 있다. 하지만 일반적으로 디지털 카메라와 같은 디지털 영상 기기의 정확한 컬러 구현은 매우 난해한 문제로 알려져 있다. 이는 영상의 취득될 당시의 조명 특성, 피사체의 컬러 등에 대한 정보를 미리 알 수 없기 때문이며, 또한 취득되는 영상의 컬러 특성은 영상 취득에 사용된 카메라의 특성에 의해서도 좌우되기 때문이다. 따라서 일반적인

※ 제일저자(First Author) : 이석한
접수일:2009년 12월 04일, 완료일:2009년 12월 28일
* 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과
{ichthus, jschoi}@imagelab.ac.kr
** 남서울대학교 멀티미디어학과
▣ 본 연구는 산학협동재단 2009년 연구지원금으로 연구 되었습니다.

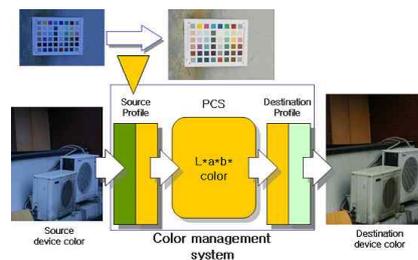
으로 취득되는 영상은 취득되는 피사체, 혹은 장면의 고유의 컬러와는 다른 왜곡된 컬러 값을 갖는다. 즉, 동일한 컬러를 갖는 피사체를 촬영한다 하더라도 카메라의 특성 또는 피사체가 촬영될 당시의 여러 조건 등의 영향에 의해서 본래의 컬러가 아닌 왜곡된 컬러를 갖는 영상이 취득될 수 있으며, 이러한 컬러 왜곡은 정확한 컬러 구현이 필수적인 분야에 매우 치명적인 문제가 될 수 있다. 따라서 컬러의 정확도가 매우 중요한 영상의 경우, 영상 내의 컬러 오차를 최소화하기 위한 컬러 보정 과정이 필수적이다. 이를 위한 기존의 컬러 복원 방법들은 대부분 취득된 영상에서 추출한 컬러 스펙트럼 분석 및 영상 형성 모델링(image formation modeling)에 기반하거나, 매우 제한된 조건 하에서의 컬러 재현 및 복원 과정에 대한 방법을 제안한다 [1], [2], [3], [4], [5]. 또한 다중 스펙트럼 카메라(multispectral camera) 등과 같은 실험실 수준에서 가능한 특수한 장비를 이용한 방법들이 제안되어 있으며 [5], [6], [7], 일반적인 조건 하에서 일반적인 영상 취득 장비를 이용한 적용 예를 보임으로써 제안된 방법의 실용성에 대한 가능성을 제공하는 경우는 찾아보기 힘들다. 본 논문에서는 일반적으로 사용되는 디지털 카메라를 위한 컬러 보정 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 기존의 방법들과는 달리 컬러 스펙트럼 분석에 기반한 방법을 이용하지 않으며, 기준 컬러와 영상 내의 컬러 사이의 변환 관계를 계산한 후 이를 이용하여 입력 영상에 대한 컬러 보정 과정을 수행한다. 기준 컬러 값과 영상으로부터 취득된 컬러 값 사이의 변환 관계를 계산하기 위해서 본 논문에서는 별도의 컬러 보정 차트를 구성하고 이를 이용하였다. 또한 계산된 컬러 변환 관계를 저장하기 위하여 ICC (international color consortium) 표준을 지원하는 컬러 프로파일을 이용하였다. 제안된 알고리즘은 컬러 프로파일 생성과 프로파일 적용의 두 단계로 구성된다. 컬러 보정의 첫 번째 단계에서는 컬러 차트의 영상을 촬영한 다음, 차트 영상에서 취득된 컬러 차트의 컬러와 내부 기준 컬러 사이의 변환 관계를 계산 하고 이를 ICC 컬러 프로파일에 저장한다. 프로파일 적용 단계에서는 컬러 프로파일에 저장된 변환 관계를 이용하여 차트 영상과 동일한 조건에서 촬영된 영상의 컬러 보정

을 수행한다. 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해서 다양한 조건 하에서 실험을 수행하였으며, 이를 일반적으로 널리 사용되는 상용프로그램의 컬러 보정 성능과 비교 및 평가 하였다.

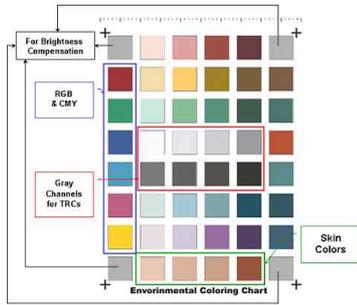
2. 제안된 시스템

2.1. 시스템의 개요

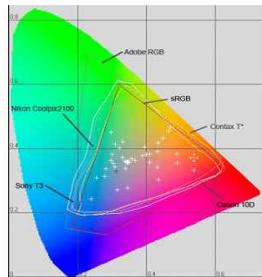
컬러 보정 과정을 구현하기 위해서 본 논문에서는 CMS(color management system)와 PCS (profile connection space)의 개념을 도입하였다. CMS와 PCS는 서로 다른 장치들 간의 컬러 일관성 문제를 해결하기 위해서 ICC에 의해서 정의 되었으며, 대부분의 디지털 영상 취득 장비 및 출력 장비에서 이를 지원하고 있다 [14], [16]. 한편 기존의 컬러 복원 방법들은 다중 스펙트럼 카메라, 조도계, 분광기, 복사계 등과 같은 복잡한 장비를 필요로 하는 경우가 많으며, 컬러의 특성 자체에 대한 매우 전문지식을 요구하는 경우가 많다. (그림 1)에서 제안된 알고리즘에 대한 간략한 블록도를 보인다. 먼저 기준 컬러 값들에 기반한 컬러 패치가 배열되어 있는 컬러 차트의 영상을 촬영한다. 그리고 촬영된 영상 내의 컬러 차트에 포함되어 있는 컬러 패치들의 컬러 값을 취득한 다음 이들과 내부의 기준 컬러 값들 사이의 변환 관계를 계산한다. 계산된 변환 관계는 ICC 컬러 프로파일에 저장되며, 이 프로파일은 차트 영상과 동일한 조건 하에서 촬영된 영상의 컬러를 보정하기 위한 소스 프로파일(source profile)로 이용된다.



(그림 1) 제안된 알고리즘의 블록도



(그림 2) 컬러 보정 차트의 구성



(그림 3) 컬러 차트 구성에 고려된 색역도

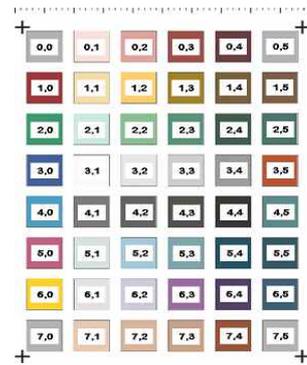
었다. 그림 3에 제안된 알고리즘을 위한 차트 제작에 고려된 색역도를 보인다. 그림 3에서 ‘+’ 표시는 본 논문에서 이용된 차트의 컬러 값에 대한 $L^*a^*b^*$ 컬러 공간상에서의 좌표값을 나타낸다. (그림 4)는 차트 내의 모든 패치에 대한 $L^*a^*b^*$ 컬러값이다. (그림 5)는 본 논문에서 제안하는 알고리즘이 구현 되는 과정에서 사용되는 모든 패치들의 색인 값(index)을 나타낸다.

L*	71.19	89.39	70.58	49.25	91.98	71.19
a*	-0.37	6.63	22.04	32.32	19.46	-0.37
b*	-0.37	6.61	11.04	19.83	6.13	-0.37
L*	88	87.14	84.24	84.87	41.52	42.49
a*	43.71	1.74	10.57	5.96	5.9	11.5
b*	20.98	27.87	62.94	48.67	24.64	18.56
L*	56.08	88.11	71.28	56.22	36.4	44.94
a*	-37.07	-12.64	-24.66	-24.62	-13.43	-17.49
b*	16.32	2.66	16.82	8.28	5.23	-0.29
L*	39.58	95.5	88.7	81.15	62.58	47.86
a*	1.6	0.23	-0.04	-0.78	-0.13	40.08
b*	-38.32	0.26	-0.01	-0.28	-0.39	36.62
L*	60.05	49.61	40.96	33.7	23.12	53.36
a*	-16.5	-0.66	-0.61	0.38	0.14	-16.33
b*	-26.63	-0.43	-0.4	2.96	-0.25	-5.03
L*	62.35	86.78	77.2	63.91	34.27	83.54
a*	41.92	-4.71	-10.11	-10.44	-10.63	-10.32
b*	-1.53	-0.5	-11.92	-7.88	-16.13	-9.65
L*	83.54	88.13	80.36	60.6	29.96	38.07
a*	5.65	1.86	4.88	25.15	12.62	-6.5
b*	77.19	0.59	-7.78	-20.62	-17.88	-16.08
L*	71.18	80.84	74.88	67.73	48.1	71.18
a*	-0.37	8.34	10.64	12.13	24.62	-0.37
b*	-0.37	16.18	18.04	19.17	26.86	-0.37

(그림 4) 패치의 $L^*a^*b^*$ 컬러값

2.2. 제안된 알고리즘을 위한 컬러 보정 차트

제안된 알고리즘을 위하여 제작된 컬러 보정 차트의 구조를 (그림 2)에 보인다. 컬러 보정 차트는 취득된 영상의 컬러와 이상적인 컬러 사이의 변환 관계 계산을 위한 기준 컬러 값을 제공한다. (그림 2)의 컬러 보정 차트에서 네 부분의 모서리에 위치한 회색 컬러를 갖는 패치는 차트 내의 모든 패치에 대한 음영 보정을 위해서 사용된다. 그리고 차트의 중앙 부분에 위치한 8개의 중성 컬러 값을 갖는 패치는 영상의 색조 재현 곡선(TRC: tone reproduction curve)의 계산에 이용된다. (그림 2)의 차트 내에 위치하는 패치의 컬러 값은 일반적인 환경에서 취득 빈도수가 가장 높은 컬러 값 [18]과 한국인의 일반적인 피부색을 기반으로 결정되었다 [15]. 또한 일반적으로 많이 사용되는 디지털 카메라의 색역(color gamut) 또한 고려되었으며, 이는 제안된 알고리즘이 디지털 카메라와 같은 디지털 영상 취득 장비를 위하여 개발되었기 때문이다. 그리고 일반적으로 많이 이용되는 컬러 공간인 sRGB 컬러 공간과 AdobeRGB 컬러 공간 또한 고려되

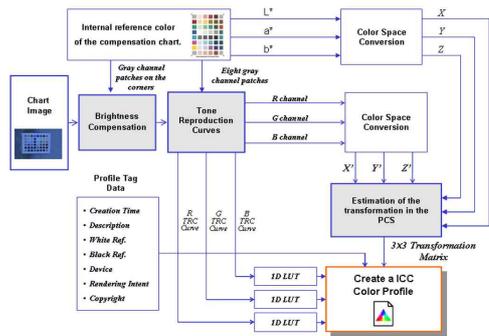


(그림 5) 컬러 차트의 패치 색인

2.3. 프로파일 생성 과정

본 논문에서 제안되는 컬러 보정 알고리즘은 프로파일 생성 과정과 프로파일 적용 과정의 두 단계로 수행된다. 프로파일 생성 단계에서는 먼저 컬러 차트의 영상을 촬영한 다음, 촬영된 영상 내의 컬러 차트에 포함되어 있는 컬러 패치들의 컬러 값을 취득한다. 그리고 차트의 네 모서리 부분에 위치하는 회색 패치들의 컬러 값을 이용하여 차트 내의 모든 패치의 밝기 값들을

균일하게 보정한다. 그리고 영상으로부터 취득된 컬러 패치의 컬러 값들과 내부의 기준 컬러 값들 사이의 변환 관계를 계산한다. 계산된 변환 관계는 ICC 컬러 프로파일에 저장되며, 이 프로파일은 차트 영상과 동일한 조건 하에서 촬영된 영상의 컬러를 보정하기 위하여 이용된다. 프로파일 생성 과정 블록도를 (그림 6)에 보인다.



(그림 6) 프로파일 생성 과정의 블록도

2.3.1. 색조 재현 곡선 계산 과정

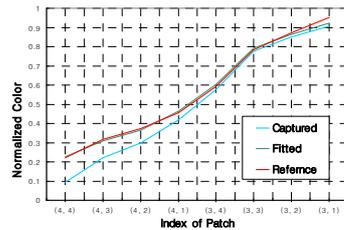
색조 재현 곡선을 구하기 위해서 차트의 중앙 부분에 위치한 8개의 패치, 즉 그림 5의 (3, 1)에서 (3, 4), 그리고 (4, 1)에서 (4, 4)의 패치의 컬러 값을 이용한다. 이 과정은 R, G, B 각각의 컬러 값에 대해서 수행되며, 색조 재현 곡선 계산 과정을 통하여 R, G, B 각각의 컬러 값에 대한 세 개의 곡선이 구해진다. 색조 재현 곡선은 8개의 패치의 컬러 값을 기반으로 아래의 곡선 회귀 과정을 통하여 계산된다 [17].

$$g(x) = a_1 f_1(x) + a_2 f_2(x) + a_3 f_3(x) + a_4 f_4(x), \quad 0 \leq x \leq 1, \\ f_1(x) = 1, \quad f_2(x) = x, \quad f_3(x) = \sin(x), \quad f_4(x) = \exp(x) \quad (1)$$

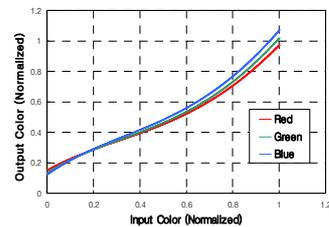
여기서 x는 0.0에서 1.0 사이의 값을 갖도록 정규화된 패치의 컬러 값을 나타낸다. 식 (4)의 계수 a_n 은 다음과 같이 차트 영상 내의 패치의 컬러 값과 내부 기준 컬러 값 사이의 차분에 대한 제곱의 합이 최소값이 되도록 결정 된다.

$$R = \sum_{i=1}^8 [r_i]^2 = \sum_{i=1}^8 \left[y_i - \sum_{n=1}^4 a_n f_n(x_i) \right]^2 \quad (2)$$

(그림 7)에서 색조 재현 곡선 계산 과정에 대한 결과를 보인다. (그림 7)(a)는 곡선 회귀 결과이며, (그림 7)(b)은 계산된 색조 재현 곡선이다. (그림 7)로부터 색조 재현 계산 과정으로부터 심각한 오차가 발생하지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 계산된 색조 재현 곡선을 이용하여 입력 영상의 컬러 값을 조정하는 다음 컬러 공간 변환 및 컬러 보정 과정을 수행한다.



(a) 곡선 회귀 결과



(b) 계산된 색조 재현 곡선

(그림 7) 곡선 회귀 결과 및 색조 재현 곡선

2.3.2. 컬러 공간 변환 과정

본 논문에서 제안된 알고리즘은 PCS 및 CMS의 개념을 이용하며, 따라서 컬러 보정을 위해서는 먼저 영상의 RGB 컬러 값이 장치 독립적인 컬러 공간(device independent color space)의 컬러 값으로 변환되어야 한다. 장치 독립적인 컬러 공간을 위하여 일반적으로 $L^*a^*b^*$ 컬러 공간, 또는 XYZ 컬러 공간이 고려되며, 본 논문에서는 XYZ 컬러 공간을 장치 독립적인 컬러 공간으로 이용하였다. 장치 의존적인 컬러 공간(device dependent color space)과 장치 독립적인 컬러 공간 사이의 변환 관계는 다음의 조건들을 고려하여 결정된다 [14], [16].

- 1) PCS 상의 기준 백색 값 (reference white): ICC 표준 ICC.1:2004-1에 기술된 PCS는 D50의 조명(illuminant)를 기준으로 정의되어 있다. 따라서 PCS 상의 기준 백색 값은 D50,

즉 XYZ 컬러 공간에서 $X=0.9642$, $Y=1.0$, $Z=0.824$ 의 값을 갖는다.

2) 장치 컬러 공간 (device color space): 본 논문에서는 sRGB 컬러 공간을 장치 컬러 공간으로 고려한다. sRGB 컬러 공간은 현재 대부분의 디지털 영상 장치에서의 표준 컬러 공간이다. sRGB 컬러 공간은 D65을 기준으로 정의된다.

3) 채도 적응 변환 (chromatic adaptation transformation): 본 논문에서 고려한 PCS와 장치 컬러 공간의 기준 백색 값이 다르기 때문에 채도 적응 변환 과정이 필요하다. 하지만 PCS의 기준 백색 값과 장치 컬러 공간의 기준 백색 값은 이미 알고 있으므로 채도 적응 변환에 대한 변환 행렬을 구할 수 있다. 이를 위해서 본 논문에서는 ICC 표준 ICC.1:2004-1에서 채도 적응 변환을 위해 권장하고 있는 선형 Bradford 모델을 이용하였다.

위의 조건 1), 2)로부터 장치 의존적 컬러 공간과 장치 독립적인 컬러 공간 사이의 변환 관계를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \mathbf{M}_{CRS} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412424 & 0.357579 & 0.180464 \\ 0.212656 & 0.715158 & 0.072186 \\ 0.019332 & 0.119193 & 0.950444 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3)$$

그리고 조건 3)에 의해서 채도 적응 변환 관계를 다음의 식 (4)와 같이 구한다.

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \mathbf{M}_{adapt} \begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.047835 & 0.022897 & -0.050147 \\ 0.029556 & 0.990481 & -0.017056 \\ -0.009238 & 0.015050 & 0.752034 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.3.3. PCS 상에서의 컬러 보정 과정

식 (3) 및 식 (4)에 의해서 XYZ 컬러 공간상의 컬러 값으로 변환된 영상의 컬러는 다음의 식을 통하여 원래의 컬러 값으로 보정된다.

$$\mathbf{M}_{XYZ} = \mathbf{M}_{Crr} \mathbf{M}'_{XYZ} = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_N \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_N \\ Z_1 & Z_2 & \dots & Z_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X'_1 & X'_2 & \dots & X'_N \\ Y'_1 & Y'_2 & \dots & Y'_N \\ Z'_1 & Z'_2 & \dots & Z'_N \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 (5)에서 X_i, Y_i, Z_i 는 내부 기준 컬러 값을 나타내며, X'_i, Y'_i, Z'_i 는 식 (6), 식 (7)을 통하여 변환된 영상의 컬러 값이다. 그리고 \mathbf{M}_{Crr} 은 영상 컬러를 기준 컬러 값으로 변환하는 색 보정 행렬이다. 식 (7)을 다음과 같이 재배열 한 후 SVD(singular value decomposition)를 이용하여 행렬 \mathbf{M}_{Crr} 을 구한다.

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'_1 & Y'_1 & Z'_1 \\ X'_2 & Y'_2 & Z'_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X'_N & Y'_N & Z'_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{11} \\ m_{12} \\ m_{13} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'_1 & Y'_1 & Z'_1 \\ X'_2 & Y'_2 & Z'_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X'_N & Y'_N & Z'_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{21} \\ m_{22} \\ m_{23} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'_1 & Y'_1 & Z'_1 \\ X'_2 & Y'_2 & Z'_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X'_N & Y'_N & Z'_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{31} \\ m_{32} \\ m_{33} \end{bmatrix} \quad (8)$$

2.3.4. ICC 프로파일 생성

위의 과정들을 통하여 계산된 결과를 ICC 컬러 프로파일에 저장하고, 이를 차트영상과 동일한 조건에서 촬영된 영상의 컬러 보정에 이용한다. 표 1에 제안된 알고리즘에서 사용된 프로파일 태그(tag)를 보인다 [14]. <표 1>에서 가장 좌측 열은 태그 이름을 나타내며, 가운데 열은 ICC 표준 ICC.1:2004-1에 정의된 태그의 서명 기호(signature)를 나타낸다. 그리고 가장 우측 열은 각 태그의 값이 ICC 컬러 프로파일에 저장될 때의 자료형(data type)을 나타낸다. 위의 과정들을 통하여 계산된 결과를 ICC 컬러 프로파일에 저장하고, 이를 차트영상과 동일한 조건에서 촬영된 영상의 컬러 보정에 이용한다. <표 1>에 제안된 알고리즘에서 사용된 프로파일 태그(tag)를 보인다 [14]. <표 1>에서 가장 좌측 열은 태그 이름을 나타내며, 가운데 열은 ICC 표준 ICC.1:2004-1에 정의된 태그의 서명 기호(signature)를 나타낸다. 그리고 가장 우측 열은 각 태그

의 값이 ICC 컬러 프로파일에 저장될 때의 자료형(data type)을 나타낸다. 본 논문에서 제안된 알고리즘에서는 컬러 값 변환 행렬과 식 (8)의 컬러 보정행렬 MCrr을 곱한 결과를 redMatrixColumnTag, greenMatrixColumnTag, blueMatrixColumnTag의 태그에 각각 3 x 1 벡터의 형태로 저장한다.

<표 1> 제안된 알고리즘에서 사용된 프로파일

Tag	Signature	Data Type
mediaWhitePointTag	wtpt	XYZ Type
mediaBlackPointTag	bkpt	XYZ Type
CopyrightTag	cppt	multi Localized Unicode Tag
profileDescriptionTag	desc	multi Localized Unicode Tag
redMatrixColumnTag	rXYZ	XYZ Type
greenMatrixColumnTag	gXYZ	XYZ Type
blueMatrixColumnTag	bXYZ	XYZ Type
redTRCTag	rTRC	curve Type
greenTRCTag	gTRC	curve Type
blueTRCTag	bTRC	curve Type

또한 rTRCTag, gTRCTag, 및 bTRCTag에 R, G, B 각 컬러 값에 대한 색조 재현 곡선이 curveType의 구조로 저장된다. curveType은 다음과 같이 1차원 참조 테이블(look-up table)을 이용하여 색조 재현 곡선을 저장하는 방법이다.

$$M_T = M_{Crr} M_{adapt} M_{CYS} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} redMatrixColumn_x \\ redMatrixColumn_y \\ redMatrixColumn_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} \\ t_{21} \\ t_{31} \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} greenMatrixColumn_x \\ greenMatrixColumn_y \\ greenMatrixColumn_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{12} \\ t_{22} \\ t_{32} \end{bmatrix},$$

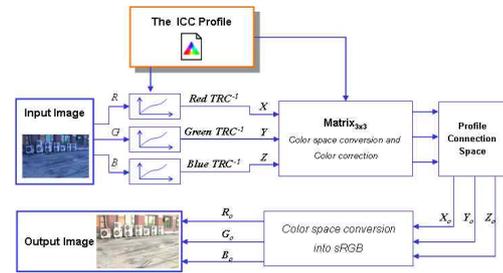
$$\begin{bmatrix} blueMatrixColumn_x \\ blueMatrixColumn_y \\ blueMatrixColumn_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{13} \\ t_{23} \\ t_{33} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

식 (9)에서 Ns는 식 (2)에서 계산된 색조 재현 곡선 g(x)의 표본(sampling)의 개수이다. 본 논문에서는 0.0에서 1.0 사이의 값으로 정규화된 컬러값에서 계산된 g(x)에 대해서 1024 개의 표본 값을 구하여 색조 재현 곡선을 저장한다.

$$\begin{aligned} redTRC[i] &= g_R(x_i), \\ greenTRC[i] &= g_G(x_i), \\ blueTRC[i] &= g_B(x_i), i = 0, 1, 2, \dots, N_s, x_i = \frac{i}{N_s}. \end{aligned} \quad (11)$$

2.4. 프로파일 적용 과정

프로파일 적용 과정은 프로파일 생성 과정의 반대의 과정으로 진행된다. 먼저 차트 영상과 동일한 조건 하에서 촬영된 입력 영상의 컬러 값이 프로파일 생성 과정에서 생성된 ICC 컬러 프로파일 내에 저장 되어있는 색조 재현 곡선을 이용하여 조정 된다. 그리고 프로파일에 저장 되어 있는 식 (9), 식(10)의 행렬 MT를 이용하여 컬러 공간 변환 및 컬러 보정 과정이 수행된다. 컬러 보정 행렬을 이용하여 컬러 공간 변환 및 컬러 보정 과정이 수행된다. 컬러 보정된 컬러 값은 sRGB 컬러 공간의 컬러 값으로 변환되어 최종 출력 영상을 얻는다. 프로파일 적용 과정에 대한 블록도를 (그림 8)에 보인다 [14].



(그림 8) 프로파일 적용 과정

3. 실험결과

제안된 알고리즘의 성능 평가를 위하여, 영상 취득 시의 조명의 영향에 대한 실험과 영상의 화이트 밸런스의 영향에 대한 실험을 수행한다. 영상 취득 시의 조명의 영향에 대한 성능을 평가하기 위해서 GretagMacbeth의 SpectraLight III를 이용하여 CIE 표준 조명을 생성하였으며, 각 조명 모델에 대한 컬러 보정 성능을 평가하였다. 그리고 화이트 밸런스의 영향에 대한 실험을 위해서 실험에 사용된 카메라에 내장된 기본 화이트 밸런스 값들을 이용하여 촬영되는 영상의 화이트 밸런스 값을 왜곡시켰다. 실험 결과에

대한 평가를 위해서 본 논문에서는 일반적으로 가장 보편적으로 사용되고 있는 일반적인 상용 프로그램인 GretagMacbeth의 ProfileMaker5, i1, 그리고 QPCard의 QP Color Kit의 컬러 보정 성능과 제안된 알고리즘의 성능을 비교 하였다. 이들 각각의 상용 프로그램들은 고유의 컬러 보정 차트 및 컬러 프로파일 형식을 가지고 있다. 따라서 제안된 알고리즘 및 이들 상용 프로그램에서 사용하지 않는 컬러 차트인 GretagMacbeth의 ColorChecker 컬러 차트를 실험 차트로 이용하여 실험 결과 값을 구하고, 비교 평가하였다. 컬러 재현 성능은 실험 차트의 모든 패치에 대한 컬러 값의 차분 값의 평균값으로 구하였다. 각 패치에 대한 색차 값은 다음의 식을 이용하여 구한다.

$$\Delta E^*_{ab} = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}, \quad (12)$$

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_2, \Delta a^* = a^*_1 - a^*_2, \Delta b^* = b^*_1 - b^*_2. \quad (13)$$

실험은 다음과 같은 과정으로 진행된다. 먼저 각 프로그램의 고유한 컬러 차트의 영상을 실험 조건으로 주어진 환경에서 취득하고, 각 프로그램의 컬러 프로파일을 생성한다. 그 다음 동일한 환경에서 실험 차트에 대한 영상을 취득한다. 그리고 각각의 프로그램 고유의 컬러 차트 영상으로부터 생성된 프로그램 고유의 컬러 프로파일을 적용하여 실험 차트 영상의 컬러를 보정한다. 다음 이에 대한 색차 값을 식 (12), 식 (13)을 이용하여 구하고 이에 대한 평균 값을 취하여 비교한다. 실험 영상 취득을 위해서 Canon EOS-10D 디지털 카메라를 이용하였다.

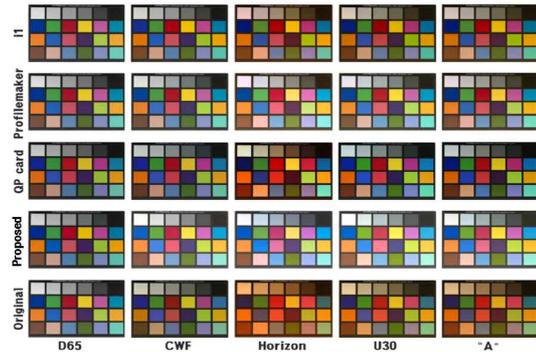
3.1. 광원 변화에 대한 컬러 보정 성능

실험을 위하여 CIE 표준 광원인 D65 (6500K), CWF(4150K), Horizon(2300K), U30(3100K), Standard light "A"(2856K)를 이용하였다. 이들 광원 모델 하에서 취득된 영상에 대한 각 프로그램의 컬러 보정 결과를 <표 2>에 보인다. <표 2>로부터 광원의 영향에 대한 컬러 보정 성능은 ProfileMaker5가 가장 우수하다는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 제안된 알고리즘에 의한 결과와 다른 상용 프로그램들의 결과 사이에는 큰 차이가 존재하지 않으며, 가장 우수한 성능을 보이고

있는 ProfileMaker5와도 큰 차이가 없는 것을 확인 할 수 있다. (그림 9)에서 이에 대한 실험 결과를 보인다.

<표 2> 다양한 광원 모델에 대한 컬러 보정 결과의 평균 색차

	D65	CWF	Horizon	U30	A
Original	4.24	8.1	28.4	17.6	21.9
Proposed	5.82	6.91	11.7	8.01	8.15
QP card	4.32	5.38	17.6	7.32	7.92
Profile M aker 5	3.44	4.42	9.57	6.23	6.88
i1	3.86	4.77	12.4	8.75	9.05



(그림 9) 다양한 광원 모델에 대한 컬러 보정 결과

3.2. 광원 변화에 대한 컬러 보정 성능

실험을 위하여 실험에 사용된 디지털 카메라에 내장된 화이트 밸런스 모드인 "Sunlight (5200K)", "Shadow(7000K)", "Cloud(6000K)", "Tungsten(3200K)", "Florescent(4000K)" 등을 이용하여 촬영되는 영상의 화이트 밸런스를 왜곡 시켰다. 실험은 5.1절과 동일한 방법으로 진행 되었으나 조명 모델 대신 화이트 밸런스 왜곡이 적용 되었다. 표 3에 이에 대한 실험 결과를 보인다. <표 3>으로부터 제안된 알고리즘을 통한 컬러 재현 결과는 일정한 오차 값이 존재하기는 하지만 화이트 밸런스 왜곡에 큰 영향을 받지 않는 것을 볼 수 있다. 반면에 다른 상용 프로그램의 경우 화이트 밸런스 왜곡의 영향을 심각하게 받는 것을 확인 할 수 있다. 또한 제안된 알고리즘은 일부 화이트 밸런스 왜곡에서 다른 상용 프로그램보다 우수한 컬러 보정 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다. 이에 대한 실험 영상의 예를 (그림 10)에 보인다. 한편 앞서 언급된 실험 과정에서 각 프로그램이 하나의 영상을 처리

하는데 소요되는 수행 시간의 경우, Profile Maker5가 가장 긴 처리 시간을 필요로 함을 확인하였다. 그리고 QP Card, i1 및 제안된 시스템의 경우 수행 시간 측면에서 주목할 만한 차이를 발견할 수 없었으며, 하나의 영상을 처리하는데 약 100ms 정도의 시간이 소요됨을 확인하였다.

<표 3> 화이트 밸런스 왜곡에 대한 컬러 보정 결과의 평균 색차

	Sim:ogjt	Shadow	Cloud	Tungsten	Fluorescent
Original	6.94	16.82	9.39	31.2	22.41
Proposed	5.87	5.95	6.12	5.99	6.21
QP card	8.44	8.72	8.57	11.71	11.62
Profile Maker 5	5.95	6.44	7.68	15.53	14.21
i1	6.13	6.89	7.55	16.29	15.82



(그림 10) 화이트 밸런스 왜곡에 대한 컬러 보정 결과 영상

3.3. 시각적 평가

임의의 환경 하에서 임의의 카메라를 이용하였을 경우 제안된 알고리즘의 컬러 보정 결과에 대한 실험을 수행한다. 이는 사용자에게 제공되는 결과에 대한 시각적 측면의 성능을 평가함으로써 제안된 알고리즘의 실용성에 대한 가능성을 확인하기 위함이다. 이에 대한 실험 결과를 (그림 11), (그림 12), (그림 13)에 보인다. 그림 11은 임의의 조명 하에서 임의의 화이트 밸런스 값으로 왜곡된 영상에 대한 결과이며, 제안된 알고리즘의 왜곡된 화이트 밸런스에 대한 컬러 보정 성능을 보여준다. (그림 12) 역시 왜곡된 컬러에 대한 컬러 보정 성능을 보인다. 컬러 보정 성능은 그림 내에 존재하는 벽면의 백색에서 더욱 분명히 확인된다. (그림 13)은 다른 조건의

태양광에 대한 실험 결과이며, 다소의 오차가 발생하기는 하지만 컬러 값이 보정된 결과 영상으로부터 제안된 알고리즘의 컬러 보정 성능을 확인할 수 있다.



(그림 11) 임의의 환경에 대한 적용 결과 (1)



(그림 12) 임의의 환경에 대한 적용 결과 (2)



(그림 13) 임의의 환경에 대한 적용 결과 (3)

4. 결론

본 논문에서는 디지털 컬러 영상을 위한 컬러 보정 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 위하여 별도로 제작된 컬러 차트를 이용하였으며, 컬러 차트를 촬영한 영상으로부터 기준 컬러 값과 촬영된 영상으로부터 취득된 컬러 값 사이의 변환 관계를 계산하였다. 그리고 차트 영상과 동일한 환경 하에서 촬영된 영상에 대한 컬러 보정을 수행하였다. 실험은 촬영되는 영상에 대한 조명 조건의 영향 및 영상에 대한 화이트 밸런스 왜곡에 대해서 수행되었다. 조명 조건에 대한 실험 결과로부터 제안된 알고리즘이 기존에 널리 사용되는 상용 프로그램과 거의 동일한 수준의 컬러 재현 성능을 제공한다는 것을 확인하였다. 화이트 밸런스 왜곡에 대한 실험 결과는 화이트 밸런스 왜곡에 대해서 제안된 알고리즘의 컬러 보정 성능이 더욱 우수하다는 것을 보여주었다. 또한 임의의 사용자에게 제공되는 가시성 평가를 위하여 임의의 환경 및 조건에 대한 적용 결과를 보임으로써 제안된 알고리즘의 실용성에 대한 가능성을 제공하였다. 향후 연구에서는 실험을 통해서 확인된 오차값을 최소화하기 위한 오차 보정 과정이 추가될 것이다. 그리고 보다 다양한 조건에서의 실험을 통하여 보다 신뢰도 높은 결과 영상을 구현하기 위한 연구가 진행 될 것이다. 본 논문에서는 디지털 카메라만을 이용하여 실험이 진행 되었으나, 제안된 알고리즘은 디지털 스캐너, 컬러 복사기 등과 같은 다른 종류의 영상 취득 장비에도 적용 될 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 디지털 카메라가 아닌 다른 영상 취득 장비를 위한 알고리즘의 수정 및 보완이 지속적으로 이루어 질 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] G. Finlayson, "Color in Perspective," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 18, No. 10, pp. 1034-1038, Oct. 1996
- [2] K. Barnard, V. Cardai, and B. Funt, "A Comparison of Computational Color Consistency Algorithm-Part-I: Methodology and Experiments with Synthesized Data," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 11, No. 9, pp. 972-984, Sep. 2002
- [3] P. C. Hung, "Colorimetric Calibration in Electronic Imaging Devices using a look-up-table Model and Interpolation," Journal of Electronic Imaging, Vol.36, No.1, pp. 53-61, Jan. 1993.
- [4] H. S. Chen and H. Kotera, "Three-dimensional Gamut Mapping Method Based on the Concept of Image Dependence," Journal of Image Science and Technology, Vol.46, No.1, pp.44-52, Jan. /Feb. 2002.
- [5] C. Mnzenmayer, D. Paulus, T. Wittenberg, "A Spectral Color Correction Framework for Medical Applications," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol.53, No.2, pp. 254-265, Feb. 2006.
- [6] Y. Komia, K. Ohsawa, Y. Ohya, T. Obi, M. Yamaguchi, and N. Ohyama, "Natural color reproduction system for telemedicine and its application to digital camera," IEEE International Conference on Image Processing 1999, pp.50-54, Oct., 1999.
- [7] A. Wenger, T. Hawkins, P. Debevec, "Optimizing Color Matching in a Light Representation System for Complex Subject and Illumination Spectra," Eurographics Symposium on Rendering 2003, pp. 249-259, June 2003
- [8] E. J. Lee, "Favorite Color Correction for Reference Color," IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.44, No.1, Feb., 1998.
- [9] D.H. Kim, H.C. Do, S.I. Chien, "Preferred Skin Color Reproduction Based On Adaptive Affine Transformation," IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.51, No.1, Feb., 2005.
- [10] H.C. Do, S. I. Chien, K. D. Cho, H. S. Tae, "Color Reproduction Error Correction for Color Temperature Conversion in PDP-TV," IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 49, No. 3, pp. 473-478, Aug. 2003
- [11] D. I. Han, "Real-Time Color Gamut Mapping Method for Digital TV Display Quality Enhancement," IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 50, No. 2, pp. 691-699, May 2004
- [12] B. Pham and G. Pringle, "Color Correction for an Image Sequence," IEEE Computer Graphics and Applications, pp.38-42, 1995.
- [13] R. Bala, G. Sharma, V. Monga, J.P. Van de Capelle, "Two-Dimensional Transforms for Device Color Correction and Calibration," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 14, No. 8, pp. 1172-1186, Aug. 2005.
- [14] Specification ICC.1:2004-10 (Profile version 4.2.0.0), International Color Consortium, 2004.

[15] B. T. Ahn, E. B. Moon, and K. S. Song, "Study of Skin Colors of Korean Women," Proceedings of SPIE, Vol.4421, pp705-708, June 2002.

[16] H. C. Lee, "Introduction to Color Imaging Science," Cambridge University Press, Cambridge, 2005.

[17] S. Nakamura, "Applied Numerical Methods in C," Prentice Hall, London, 1995.

[18] 전정숙, "디지털 이미지 색채 분석을 이용한 도시경관 색채 배색에 관한 연구," 석사학위 졸업 논문, 연세대학교 환경대학원, 2002년

1999년~현재 : 중앙대학교 첨단영상대학원 교수
 관심분야 : 영상인식, 3D computer vision, 증강현실



이 석 한

1999년: 중앙대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 2001년: 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 (공학석사)
 2009년: 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 (공학박사)

2001년~2004년: (주)LG전자 주임연구원
 2009년~현재: 중앙대학교 첨단영상대학원 CT연구소 전임연구원 (post-Doc.)
 관심분야: 3D computer vision, real-time camera tracking, image processing



김 태 은

1989년 :중앙대학교 (전기공학과 공학사)
 1992년 :중앙대학교 대학원 (전자공학과 공학석사)
 1997년 :중앙대학교 대학원 (전자공학과 공학박사)

1995년 : 삼성전자 휴먼테크 논문대상 은상수상
 1997년~현재 : 남서울대학교 멀티미디어학과 교수
 관심분야 : 3D computer vision, 영상인식, 증강현실 컴퓨팅(AR)



최 중 수

1975년 :인하대학교 (전기공학과 공학사)
 1977년 :서울대학교 대학원 (전자공학과 공학석사)
 1981년 :Keio University (전기공학과 공학박사)

1981년 : Aloka Co. Ltd. 연구소 연구원
 1981년~1999년 : 중앙대학교 전자공학과 교수