

촬영 조건에서의 HVS 를 고려한 등색감 재현 알고리즘

김성수, 최성호, 김은수, 한찬호*, 장중국**, 송규익
경북대학교 대학원 전자공학과
*경운대학교 멀티미디어 공학부
**영동대학교 IT 기반전자공학부

Equivalent Color Sense Reproduction Algorithm based on HVS in Photographing Conditions

Sung-Su Kim, Sung-Ho Choi, Chan-Ho Han*, Jong-Kook Jang**, Kyu-Ik Sohng
Dept. of Electronics Engineering, Kyungpook National University
*School of Multimedia Engineering, Kyungwoon University
**School of IT Electronics Engineering, Youngdong University
E-mail : kss8085@palgong.knu.ac.kr

Abstract

주위 광원에 화이트 밸런스된 카메라로 촬영한 피사체의 RGB 신호를 D_{65} 광원하의 표준 디스플레이 상에서 느끼는 자극치 $L_1M_1S_1$ 값과, 실제 촬영 장소에서 눈이 충분히 주위 조건에 색순응 된 후 피사체에 대해서 느끼는 자극치 $L_2M_2S_2$ 값은 다르게 느껴진다. 이는 LMS 시세포의 파장별 감도특성과 카메라의 RGB 칼라 필터의 파장별 감도특성이 다르기 때문이다. 또한 주위 광원의 종류와 밝기에 따른 물리적인 자극 변화에 대해서 카메라의 경우는 RGB 각 채널의 이득이 선형적 변화를 가진다. 그리고 눈의 경우는 LMS 시세포의 감도가 비선형적 특성을 가지기 때문에 색감의 차이를 발생시킨다.

본 논문에서는 촬영시의 주위 조건에서 원 피사체를 직접 볼 때 느끼는 색감을 표준 시환경인 D_{65} 광원하에서 화이트밸런스가 D_{65} 인 디스플레이를 통해 피사체 이미지를 볼 경우에 동일한 색감을 느끼도록 하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘을 이용하여 표준 조건하에서 디스플레이 하였을 때 촬영 조건에서의 등색감을 재현할 수 있다.

I. 서론

카메라 시스템은 RGB 칼라 필터에 의해서 피사체의 색 자극치 XYZ 를 RGB 신호로 변환시키고, 주위 조건에 대한 카메라의 화이트 밸런스는 RGB 각 채널의 선형적인 이득 조절을 통해 맞추어진다.^[1] 또한 표준 카메라의 경우 기준 화이트는 D_{65} 로 정해져 있다. 일반적으로 방송국의 스튜디오 환경, 일출, 및 일몰 시에서 촬영에 사용되는 화이트 밸런스는 3100K 3200K 를 기본으로 하고 있다. 이와 같이 카메라로 일반적인 주광(daylight)의 광원에 대해서 화이트 밸런스를 맞

춘 후 피사체를 촬영할 경우, 출력 RGB 신호는 주위 광원의 종류에 관계없이 항상 D_{65} 광원하에서 피사체를 촬영할 때와 거의 동일한 RGB 신호로 변환된다. 그러나 인간의 시각은 카메라의 RGB 칼라 필터와는 다른 파장별 감도 특성을 지닌 LMS 시세포^[2]에 의해 색을 인식한다. 그리고 주위 광원에 대한 색순응의 경우, 눈의 LMS 파장별 감도 변화는 비선형적인 변화를 통해 이루어진다. 그러므로 주위 조명이 D_{65} 가 아닌 경우에는 카메라와 인간 시각의 화이트 밸런스 점이 달라진다.

본 논문에서는 인간 시각계 (Human visual system, HVS) 를 고려하여 촬영당시의 주위 조건에서 피사체를 직접 보는 것과 동일한 색감을 재현하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘을 적용하면 표준 시환경^[3]인 D_{65} 광원하에서 표준 디스플레이 장치인 화이트 밸런스가 D_{65} 인 디스플레이를 통해 피사체를 볼 경우, 실제 촬영 장소에서 직접 피사체를 보는 것과 거의 동일한 색감을 느끼게 된다.

II. 현행 카메라 시스템에서의 색재현

현행 카메라에서는 촬영 조건에 따라 RGB 각 채널의 선형적인 이득 변화를 통해서 화이트 밸런스를 맞추는 주위 광원의 종류와 밝기에 따른 HVS 특성은 고려되지 않고 있다. 즉, 카메라는 사람이 촬영장소에서 피사체를 직접 볼 때 느끼는 RGB 신호로 변환시키기보다는 주위 광원에 상관없이 D_{65} 광원하에서 피사체를 촬영하였을 경우와 동일한 RGB 신호로 변환하고 있다.

카메라에서 피사체의 XYZ 자극치 값으로부터 RGB 신호로의 변환과정을 나타내면 그림 1 에서와 같다. 주위 광원에 화이트 밸런스가 맞춰진 카메라로 테스트 이미지인, Macbeth colorchecker colors 를 촬영하였을 때의 출력신호를 rgb 좌표로 나타내면 그림 2 에서와 같다.

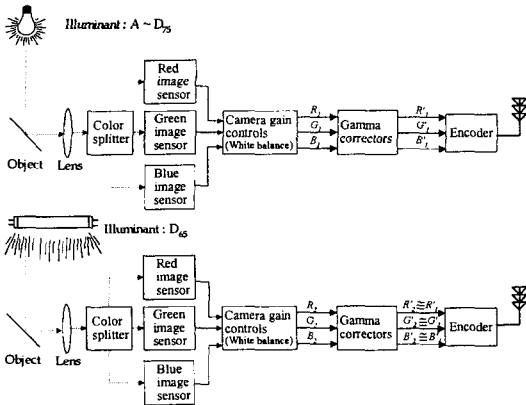


그림 1. 주위 광원에 대해 피사체의 XYZ 자극치 값으로부터 RGB 신호로의 변환과정

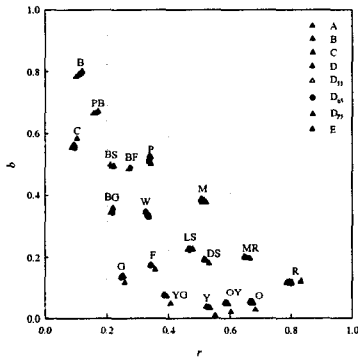


그림 2. 주위 광원에 화이트 밸런스가 맞춰진 카메라로 Macbeth colorchecker colors 를 촬영하였을 때의 출력신호의 rgb 좌표

이 그림에서 Macbeth colorchecker colors 에 대한 카메라의 출력 RGB 신호는 주위 광원의 변화에 관계없이 거의 동일함을 알 수 있다. 그러나 촬영 장소에서 피사체를 직접 볼 경우에는 촬영 조건에 따라 피사체의 색감이 다르게 보인다.

III. 촬영 조건에서의 HVS를 고려한 등색감 재현

카메라의 화이트 밸런스를 주위 광원에 맞춘 후 촬영한 피사체의 RGB 신호를 D65 광원하의 표준 디스플레이 상에서 볼 경우 느끼는 시각적인 자극치 $L_1M_1S_1$ 값과, 실제 촬영 장소에서 눈이 충분히 주위 조건에 색순응 된 후 피사체를 볼 경우 피사체에 대해서 느끼는 시각적인 자극치 $L_2M_2S_2$ 값은 다르게 느껴진다. 이는 LMS 시세포의 파장별 감도특성과 카메라의 RGB 칼라 필터의 파장별 감도특성이 다르기 때문이다. 또한 주위 광원의 종류와 밝기에 따른 물리적인 자극 변화에 대해서 카메라의 경우는 RGB 각 채널의 이득이 선형적 변화를

가진다. 그리고 눈의 경우는 LMS 시세포의 감도가 비선형적 특성을 가지기 때문에 색감의 차이를 발생시킨다. 따라서 촬영 장소에서 느끼는 색감과 동일한 색감을 D65 광원하의 표준 디스플레이 상에서 느끼기 위해서는 촬영 조건에서의 대응되는 색광이 재현되어야 한다.

한편, 인간 시각계의 색 순응 현상을 고려하여 대응색을 예측하기 위한 여러 가지 모델이 제안되어 있다. 대응색 재현 모델에는 크게 선형 변환 모델인 von Kries 모델과 비선형 변환 모델인 Bartleson, Breneman, Fairchild 모델^[4], 및 Modified von Kries 모델^[5] 등이 있다. 본 논문에서는 가장 오차가 작은 비선형 변환을 이용한 Modified von Kries 모델을 사용하였다. Modified von Kries 모델은 다음과 같이 주어진다^[6].

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} 0.4002 & 0.7076 & -0.0808 \\ -0.2263 & 1.1653 & 0.0457 \\ 0 & 0 & 0.9182 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$k_1 = \frac{L_{\max 2}}{L_{\max 1}}, k_2 = \frac{M_{\max 2}}{M_{\max 1}}, k_3 = \left(\frac{S_{\max 2}}{S_{\max 1}} \right)^p \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = M^{-1} \begin{bmatrix} k_1 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 & 0 \\ 0 & 0 & k_3 \end{bmatrix} M \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

본 논문에서 제안하는 촬영 조건에서의 HVS 를 고려한 등색감 재현 알고리즘의 흐름도는 그림 3 에서와 같다. 이 그림에서 자극치 변환 과정은 다음과 같다. 촬영 장소에서의 원 피사체로부터의 자극치 $X_1Y_1Z_1$ 에 대한 시각적인 자극치 LMS 를 상기의 Modified von Kries 모델을 사용하여 구한다. 다음에 구해진 자극치 LMS 가 D65 광원하에서 동일한 자극치 LMS 로 느껴지는 자극치 $X_2Y_2Z_2$ 를 구한다. 화이트 밸런스가 D65 로 맞춰진 카메라의 전달특성을 이용하여 자극치 $X_1Y_1Z_2$ 를 카메라의 출력신호 RGB 로 변환한다. 이 알고리즘을 카메라내의 신호처리 부분에 적용시키면 촬영 조건에서 원 피사체를 직접 볼 때 느끼는 색감을 표준 시환경인 D65 광원하의 표준 디스플레이 상에서도 동일한 색감을 느낄 수 있는 카메라의 출력 신호를 얻을 수 있다.

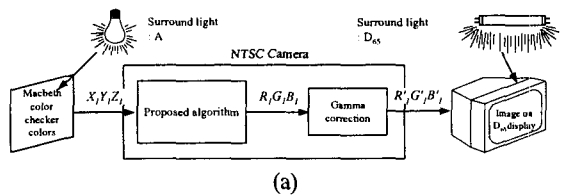
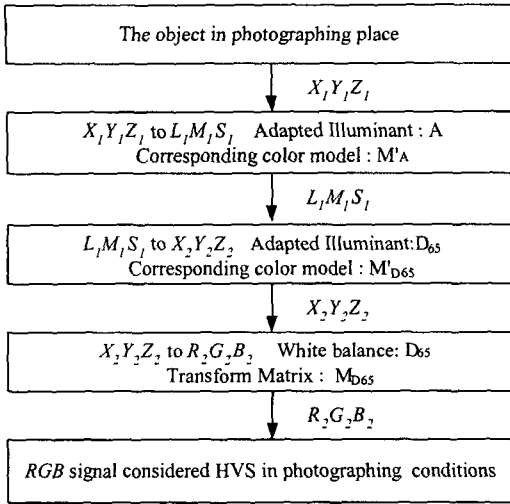


그림 3. 촬영 조건에서의 HVS를 고려한 등색감 재현 알고리즘의 흐름도 : (a) 카메라내에 알고리즘 적용, (b) 알고리즘 블록도



(b)

그림 3. (계속)

표 1. 제안 알고리즘에서 이용된 변환 매트릭스

	내 용
M'_A	$\begin{bmatrix} K_1 & 0 & 0 \\ 0 & K_2 & 0 \\ 0 & 0 & K_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.4002 & 0.7076 & -0.0808 \\ -0.2263 & 1.1653 & 0.0457 \\ 0 & 0 & 0.9182 \end{bmatrix}$ <p>주위 광원에 시각이 순응되었을 때 XYZ 자극치로부터 LMS 자극치로의 변환 Matrix</p>
M'_{D65}	$\begin{bmatrix} 0.4002 & 0.7076 & -0.0808 \\ -0.2263 & 1.1653 & 0.0457 \\ 0 & 0 & 0.9182 \end{bmatrix}^{-1}$ <p>D65 광원에서 시각적인 LMS로부터 XYZ 자극치로의 변환 Matrix</p>
M_{D65}	$\begin{bmatrix} K_{Camera} & 0 & 0 \\ 0 & K_{Camera} & 0 \\ 0 & 0 & K_{Camera} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_{Rd} & x_{Gd} & x_{Bd} \\ y_{Rd} & y_{Gd} & y_{Bd} \\ z_{Rd} & z_{Gd} & z_{Bd} \end{bmatrix}^{-1}$ <p>카메라의 RGB channel gain 의 역행렬과 RGB 인광체의 역행렬의 곱</p>

IV. 실험 및 고찰

Modified von Kries 모델을 이용하여 주위 광원에 화이트 밸런스를 맞춘 카메라에서 출력된 Macbeth colorchecker colors의 RGB 신호를 D65 광원하의 표준 디스플레이 상에서 볼 경우의 자극치 $L_1M_1S_1$ 와 촬영장소에서 직접 피사체를 볼 경우의 자

극치 $L_2M_2S_2$ 를 비교하기 위하여 Macbeth colorchecker colors를 lms 좌표계로 나타내었다. 실험 조건은 주위 광원이 A 광원에서 D75 광원까지 변화하며, 밝기가 350cd/m²인 환경이다.

본 실험에서 사용된 프로그램은 visual C++로 작성되었으며, 촬영 장소에서의 광원의 종류, 주위 밝기, 테스트 디스플레이의 인광체 좌표값, 및 감마값 등을 고려해 테스트 이미지를 시뮬레이션 해 볼 수 있게 하였다. 이미지 시뮬레이션을 위한 프로그램의 신호 변환 과정은 다음과 같다. 임의의 광원하에서 피사체로부터의 자극치 XYZ 값은 주위 광원에 화이트 밸런스가 맞춰진 카메라를 통해 변환되면 D65 광원하에서 카메라를 통해 변환된 RGB 신호와 거의 동일하다. 촬영 장소에서의 주위 조건과 카메라의 전달특성 알고리즘을 알고 있다면, 촬영 장소에서의 피사체에 대한 실제 XYZ 자극치를 구할 수 있다. 촬영 조건에서의 자극치 XYZ에 대한 시각적인 자극치 LMS는 Modified von Kries 모델을 이용하여 구한다. 촬영 장소에서 피사체에 대해서 느끼는 자극치 LMS와 동일한 자극치 LMS가 D65 광원하에서 느껴지게 하는 자극치 XYZ를 구한다. 변환된 자극치 XYZ가 표준 디스플레이 상에서 재현되도록 표준 디스플레이의 색 재현 특성을 고려하여 RGB 신호로 변환시킨다. 테스트 플레이어의 동작 화면은 그림 6에서와 같다. 이미지 테스트를 위한 환경 조건은 그림 7에서와 같다.

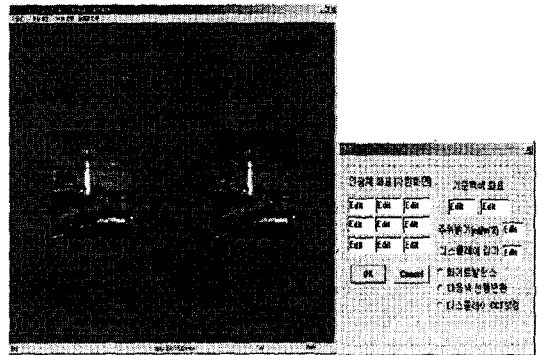


그림 6. 테스트 플레이어 동작 화면

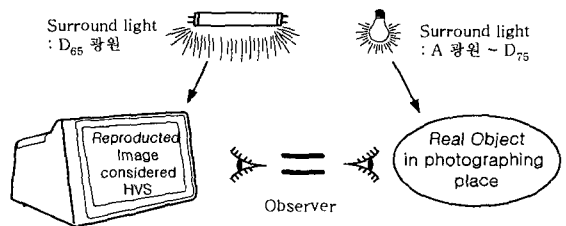


그림 7. 테스트 환경

그림 4 는 주위 광원에 화이트 밸런스가 맞춰진 카메라로 테스트 이미지인, Macbeth colorchecker colors 를 촬영하였을 때의 출력 신호를 D_{65} 광원하의 표준 디스플레이 상에서 볼 경우 느끼는 LMS 자극치의 lms 좌표를 나타내고, 그림 5 는 촬영 장소에서 Macbeth colorchecker colors 를 직접 볼 경우 느끼는 자극치 LMS 의 lms 좌표를 나타낸 것이다. lms 좌표계상에서 실제 촬영 장소에서 직접 본 Macbeth colorchecker colors 에 대한 lms 좌표와 화이트 밸런스가 맞춰진 카메라로 변환된 Macbeth colorchecker colors 의 lms 좌표가 동일하지 않다.

화이트 밸런스가 W_A 로 맞춰진 카메라로 변환된 Macbeth colorchecker colors 의 재현 이미지 (a)와 A 광원하에서 Macbeth colorchecker colors 를 직접 볼 때 느끼는 색감을 제안된 알고리즘을 이용하여 D_{65} 광원하의 표준 디스플레이 상에서 느끼도록 한 재현 이미지 (b) 를 그림 8 에 나타내었다.

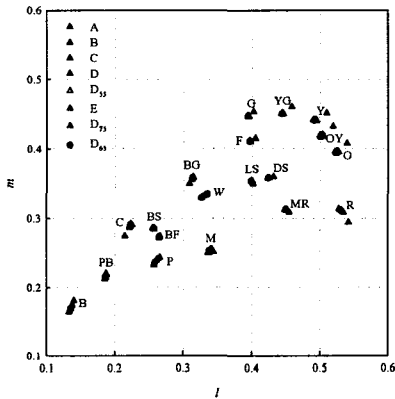


그림 4. 화이트 밸런스된 카메라로 Macbeth colorchecker colors 를 촬영하였을 때의 출력신호를 D_{65} 광원하의 표준 디스플레이 상에서 볼 경우 느끼는 lms 좌표

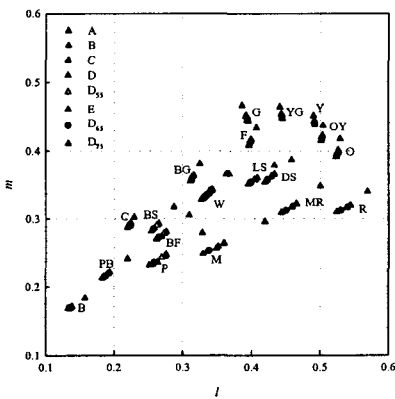
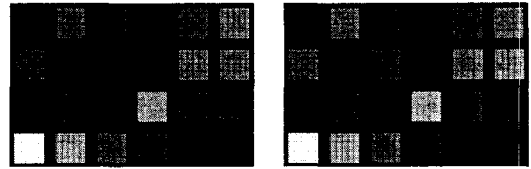


그림 5. 촬영 장소에서 Macbeth colorchecker colors 를 직접 볼 경우 느끼는 자극치 LMS 의 lms 좌표

D_{65} 광원하의 테스트 디스플레이 상에서 제안한 알고리즘을

이용하여 변환된 Macbeth colorchecker colors 를 5 명의 관찰자들에게 비교평가를 실시하였다. 제안한 알고리즘을 이용하여 변환된 Macbeth colorchecker colors 가 주위 광원에 화이트 밸런스가 맞춰진 카메라로 촬영된 Macbeth colorchecker colors 보다 실제 것과 더욱 동일한 색감으로 느껴짐을 알 수 있었다.



(a) (b)

그림 8. (a) 화이트 밸런스가 W_A 로 맞춰진 카메라로 구한 재현 이미지와 (b) A 광원하에서의 피사체에 대해 HVS 를 고려한 재현 이미지의 비교

V. 결 론

본 논문에서는 촬영 당시의 주위 조건에서 원 피사체를 직접 볼 때 느끼는 색감을 표준 시환경인 D_{65} 광원하에서 화이트 밸런스가 D_{65} 인 디스플레이를 통해 피사체 이미지를 볼 경우에 동일한 색감을 느끼도록 하는 알고리즘을 제안하였다. 촬영 장소에서의 주위조건과 카메라의 전달특성을 안다면 제안한 알고리즘을 이용하여 표준 시청조건과 표준 디스플레이 상에서 촬영 장소의 원 피사체를 직접 보는 것과 같은 느낌을 재현할 수 있는 카메라의 출력 신호를 만들 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 송규익, *색채 디스플레이 공학*, 도서출판 화성, 대구, 2001.
- [2] G. Wyszecki and W. S. Stiles, *Color Science*, John Wiley & Sons, New York, 1982.
- [3] M. Stokes and M. Anderson, "A standard default color space for the internet-sRGB," www.w3.org/Graphics/Color/sRGB.html, 1996.
- [4] M. D. Fairchild, *Color Appearance Models*, Addison-Wesley, New York, 1998.
- [5] E.-S. Kim, S.-W. Jang, Y.-D. Kwon, C.-H. Han, and K.-I. Sohng, "Corresponding-color reproduction model according to surround viewing conditions," *ITC-CSCC2003*, July 2003. To be published.
- [6] 권용대, "조명에 따른 디스플레이 대응색 재현 모델," *경북대학교 전자공학과 박사학위논문*, 2001년 12월.
- [7] 박종선, 김대원, 장수욱, 김은수, 송규익, "White balance 를 고려한 디지털 비디오 카메라 characterization," *대한전자공학회 하계 종합학술대회 논문집*, vol. 25, no. 1, pp. 299-302, June 2002.