

Munsell 계의 등색상을 고려한 색재현 알고리즘

김희철*, 김성수, 이동하*, 김은수, 송규익

* LG 전자 DND 사업부 영상제품 연구소

경북 대학교 대학원 전자공학과

Color reproduction algorithm based on constant Munsell hue

Hee-Chul Kim*, Sung-Su Kim, Dong-Ha Lee*, Eun-Su Kim, Kyu-Ik Sohng

*Display Product Research Lab. Digital Network Display Company LG Electronics

Department of Electronics Engineering, Kyungpook National University, Korea

E-mail : hchul@lge.com

Abstract

본 논문에서는 디스플레이 장치의 색 재현에 있어서 인간의 시각 특성에 의해 얻어진 Munsell 계의 등색상 및 등채도 궤적을 고려한 색 재현 방법을 제시 하였다. 이 방법에서는 먼저 TV 신호 상에서 등위상의 색에 대한 궤적과 인간의 시각 특성에 의해 얻어진 Munsell 계의 등색상 궤적을 비교 분석하였다. 그리고 비표준 디스플레이의 색 재현 영역이 표준 디스플레이의 것과 다를 때도 TV 표준 신호와 동일한 색상을 갖는 색 좌표를 Munsell 계의 등색상 궤적상에서 구하여 이 색이 재현될 수 있도록 하였다. 따라서 표준 디스플레이와 다른 색 재현 영역을 가지는 일반 디스플레이에서도 표준의 것과 같은 느낌을 가지는 등색상 재현이 가능하다. 색 재현 성능을 평가를 위해 Macbeth colorchecker colors 의 18 종류의 컬러를 사용한 결과, 색 재현 오차 $\Delta E'_{uv}$ 가 기존 방법의 오차보다 작아짐을 확인 하였다. 또한, 주관적인 평가에서도 보다 자연스런 색 재현이 되고 있음을 확인 하였다.

I. 서론

최근 TV 시스템에 적용되고있는 디스플레이 소자는 CRT 외에 LCD, 유기 EL, PDP, 및 DLP 등과 같은 다양한 디스플레이 소자가 이용되고 있다. 이 중에서, 특히 텍사스 인스트루먼트(Texas Instrument)사에서 개발된 DMD (digital micro-mirror device)를 이용한 DLP (digital light processing) 디스플레이 시스템은 밝기, 명암, 해상

도 (resolution), 색 충실도 (color fidelity) 측면에서 원리적으로 매우 우수한 디스플레이 장치이다.^[1] DLP 디스플레이 시스템은 전기, 기계, 및 광학계로 결합된 디지털로 신호처리를 하는 디스플레이 장치로써, 광학 시스템은 램프, 렌즈, 칼라 필터 및 DMD 로 구성이 된다. 칼라 필터의 경우는 일반 LCD (liquid crystal display) 프로젝션 TV 에 적용되는 3 개의 독립적인 칼라 필터와는 달리 R (red), G (green), 및 B (blue)의 칼라 필터가 하나의 휠 (wheel) 형태로 구성 되어 있다. 이러한 DLP 디스플레이 장치는 램프, 및 컬러 필터 등의 영향으로 TV 시스템의 표준의 것과 다른 색 재현 특성을 갖는다. 따라서, TV 시스템에서 정확한 색 재현을 위해서는 기존 백색뿐만 아니라 색 재현 영역이 표준의 것과 다르므로 보정 되어야 한다.

본 논문에서는 먼저 TV 신호상에서 등위상의 색에 대한 궤적과 인간의 시각 특성에 의해 얻어진 Munsell 계의 등색상 궤적을 비교 분석하였다. 그리고 표준 디스플레이와 색 재현 영역이 다른 일반 디스플레이의 경우에도 표준의 것과 동일한 색상이 재현 되도록 보정하는 방법을 제안하였다. 이 보정 방법에서는 디스플레이의 색 재현 영역 내에서 표준신호에 대응하는 동일한 색상을 갖는 색 좌표를 구하여 이 색이 재현될 수 있도록 하였다. 색 재현 성능을 평가하기 위해서 Macbeth colorchecker colors 의 18 종류의 컬러를 사용하였다. 평가한 결과 색 재현 오차 $\Delta E'_{uv}$ 가 0.0225 로 기존방법의 오차 0.0233 보다 오차가 작아짐을 확인하였고, 주관적인 평가에서도 보다 자연스런 색이 재현 되고 있음을 확인하였다.

II. Munsell 계의 등색상을 고려한 색 재현

NTSC 표준 칼라 바 (color bar) 신호를 벡터스코프로 관찰하면 각각의 색들이 일정한 크기와 위상을 갖는 것을 볼 수 있다. 그림 1 은 벡터스코프 상에서 동일 위상을 갖는 색들을 찾아 xy 좌표상에 표현한 것이다. 그림 1 에 나타난 바와 같이 벡터스코프상의 동일 위상의 색을 색 농도만 증가 시켰을 경우, 감마의 영향으로 인해서 R, G, 및 B 의 비가 달라지므로 xy 색 좌표 상에서는 직선상으로 변하지 않고 곡선으로 변한다는 것을 알 수 있다.

그림 2 는 Munsell 계의 등색상 및 등채도 궤적을 나타낸 것이다.^[2] 이것은 임의의 색에 대해서 색상을 동일하게 느껴지게 하면서 색 농도만을 점차 짙게 가변하여 측정된 색을 xy 색 좌표로 나타낸 것이다. 그림 2 에서 등색상 궤적이 직선으로 변화되지 않고 곡선으로 변화하는데 이는 인간 시각 특성에 의한 것이다.

그림 1 과 2 를 비교해보면 TV 신호상에서 등위상의 색은 시각의 등색상과는 다름을 알 수 있다. 따라서, 디스플레이 장치의 색 재현 영역이 표준과 다를 경우의 색 재현은 색을 재현할 수 있는 영역 내에서 표준신호와 동일한 색상에 해당하는 색을 디스플레이 하도록 하여야 한다.

한편, 표준 칼라 바 신호의 yellow, cyan, 및 magenta 색의 경우 휘도 레벨이 각각 다르다. 따라서 NTSC 표준 신호에 있어서 yellow, cyan, 및 magenta 색의 휘도를 구할 필요가 있다. NTSC 휘도 방정식은 다음의 식 (1)로부터 주어진다.^[2]

$$Y = 0.2989R'_c + 0.5860G'_c + 0.1144B'_c \quad (1)$$

상기 수식 (1)로부터 휘도를 구하면 yellow 는 약 88.5%, cyan 은 70.0%, 및 magenta 는 41.3%의 휘도를 가진다. 따라서 NTSC 표준 칼라 바의 yellow, cyan, 및 magenta 색의 휘도는 Munsell value 9.5, 8.6, 및 7 에 해당된다.^[3] 그림 3 에 Munsell value 9 및 7 에 대한 등색상 궤적을 각각 보였다. 그림 3 (a)의 Munsell value 9 에 대한 등색상 궤적에서 ㉑는 비표준 디스플레이 장치의 색 재현 영역

을, ㉒는 NTSC 신호 표준의 색 재현 영역을 나타낸다. 그리고 ㉓는 디스플레이 장치에서 R 과 B 신호의 비가 1:1 일 경우에 재현되는 yellow 의 좌표를 나타낸다. 그리고 ㉔는 NTSC 신호표준의 yellow 좌표를 나타낸다. 그러므로 비표준 디스플레이 장치에서 표준신호의 yellow 와 동일한 색상을 갖는 색 좌표를 Munsell 의 등색상 선상에서 구하면 ㉕의 좌표에 대응된다. 따라서 비표준 색 재현 영역을 갖는 디스플레이 장치에서 표준신호의 것과 동일한 색상을 재현하기 위해서는 yellow 색의 경우 ㉕의 좌표에 해당하는 좌표가 되도록 하여야 한다. 이를 위해서는 표준 카메라로 현재 디스플레이 되고 있는 yellow 컬러의 위상을 벡터스코프를 사용하여 모니터링 하면서 yellow 신호 벡터의 위상이 표준이 되도록 조정한다. 이 조정은 디스플레이 내부 비디오 프로세서부의 컬러 스페이스 컨버터를 이용하여 컬러의 위상을 조정할 수 있다.

같은 방법으로 그림 3 (a)에서 cyan 색과 그림 3 (b)에서의 magenta 색에 대해서도 동일한 방법으로 디스플레이 컬러를 설정 한다.

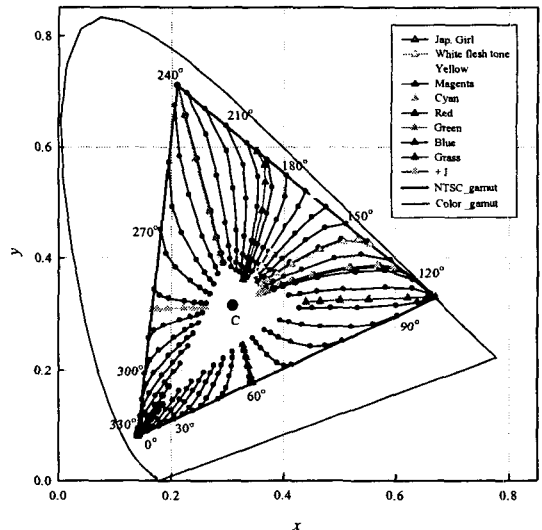


그림 1. 벡터스코프 상의 동일 위상을 갖는 색들의 xy 좌표상의 궤적

Fig. 1. Trace of xy coordinates of colors having same phase on vectorscope.

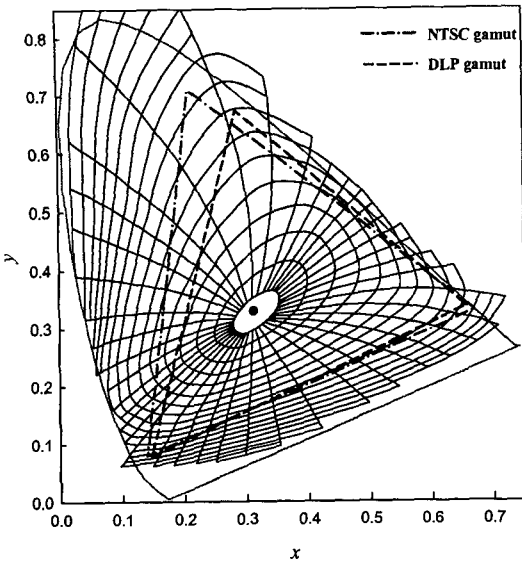
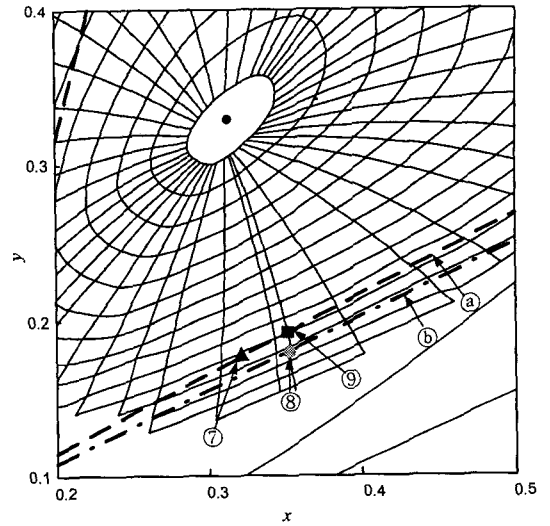


그림 2. xy 색 좌표상에 있어서의 Munsell value 5에 대한 Munsell 계의 등색상 및 등채도 궤적

Fig. 2. Contours of constant hue and chroma at value 5/ of the Munsell renotation system in xy coordinates.



(b)

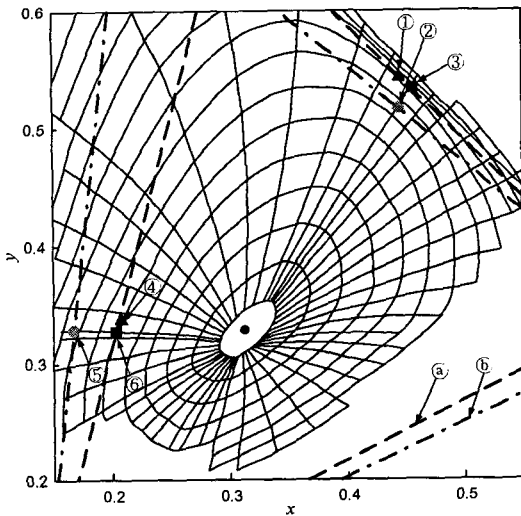
그림 3. (계속)

Fig. 3. (Continued).

III. 실험 및 평가

제안된 알고리즘의 구성도는 그림 4에서와 같다. 먼저 앞 절에서 구한 색 좌표 즉, 비표준 디스플레이 장치의 색 재현 영역에 적합한 yellow, cyan, 및 magenta의 색 좌표로부터 R, G, 및 B 신호의 값을 NTSC 표준 인 광채와 기준백색의 좌표를 기준으로 계산한다. 이 계산된 R, G, 및 B 신호의 값을 이용하여 PC 상에서 색표 (Color Patch)를 제작한다. PC 상에서 제작된 RGB 신호를 NTSC의 복합신호로 변경하는 스캔 컨버터인 엑스트론 (Extron)사의 VSC200을 사용하여 DLP 프로젝션 TV의 외부입력단자로 영상을 인가하여 디스플레이하였다. TV에 디스플레이된 영상 신호를 표준 카메라를 사용하여 촬영하고, 이 신호를 벡터스코프에 인가하여 현재 DLP 프로젝션 TV에서 재현되고 있는 색 재현 특성을 모니터링 하였다. DLP 프로젝션 TV의 내부에 있는 비디오 프로세서부의 CSC (color space converter) 계수를 조정하여 색 설정을 하였다.

이 실험에서 사용된 카메라로는 SONY DSR-200을 D_{65} 의 기준백색에 화이트 밸런스를 맞춘 후 사용하였다. 이 카메라는 CIE XYZ 자극치 입력에 대한 RGB 출력 신호간의 전달특성이 표준에 매우 근접한 카메라이다.^{[4],[5]} 색재현 성능평가를 위한 시험색은 Macbeth colorchecker



(a)

그림 3. xy 좌표상에서 Munsell 계의 등색상 및 등채도 궤적 상세도 : (a) Munsell value 9에 대한 등색상 궤적; (b) Munsell value 7에 대한 등색상 궤적

Fig. 3. Magnified diagram about contours of constant Munsell hue and chroma in xy coordinates. : (a) value 9/ of the Munsell renotation system; (b) value 7/ of the Munsell renotation system.

colors 를 사용하였다. Macbeth colorchecker 의 색좌표는 D_{65} 광원 하에서 380nm 에서 730nm 까지 10nm 간격으로 각 파장을 모두 적분하여 구하였다. 그리고 이들의 XYZ 3 자극치에 대한 NTSC 표준 카메라에서의 $R, G,$ 및 B 의 출력 신호를 계산하여 디스플레이의 입력 신호로 사용하였다. 색도 측정장비로는 미놀타 (Minolta)사의 CS-1000 을 사용하였다. 측정 시 주위 조도가 약 1 룩스 (Lux)이하의 암 상태에서 DLP 프로젝션 TV 에 디스플레이 되는 색도를 측정하였다.

실험 결과, 기존 방법인 Munsell 계의 등색상을 고려하지 않고 색 재현을 한 경우, 색도오차 $\Delta E'_{uv}$ 가 0.0233 이고, 제안 방법인 Munsell 계의 등색상을 고려하여 색 재현을 한 경우는 색도오차 $\Delta E'_{uv}$ 가 0.0225 이었다. 또한, 주관적인 비교 평가에서도 더욱 자연스런 색 재현이 되고 있음을 확인 할 수 있었다.

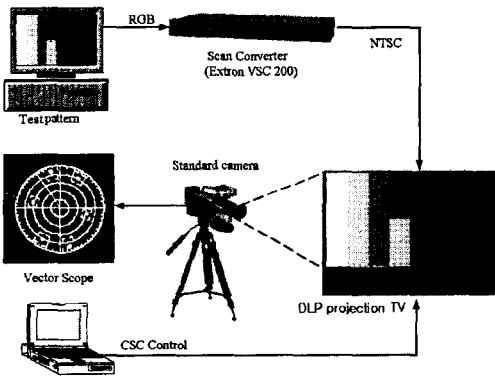


그림 4. 제안 알고리즘의 실험 구성도
Fig. 4. Schematic diagram of proposed algorithm.

IV. 결론

본 논문에서는 Munsell 계의 등색상 궤적과 TV 신호상의 등위상 궤적과의 차이점을 고려하여 표준 신호의 색 재현 영역과 디스플레이 장치의 색 재현 영역이 다르더라도 인간 시각상에서 동일한 색감을 느끼도록 색 재현을 하는 방법을 제안 하였다.

제안한 방법에서는 디스플레이 장치의 색 재현 영역 상에서 표준신호의 yellow, cyan, 및 magenta 의 위상과 동일한 색상을 가지는 색 좌표를 구하여 이 색 좌표가 재현 되도록 색 재현 설정을 하였다. 본 연구에서 실험

에 사용한 디스플레이 장치로는 LG 전자사의 DLP 프로젝션 TV 인 RE-44SZ20RD 모델을 사용하였다. 색 재현 성능평가를 위한 시험색은 Macbeth colorchecker colors 를 사용하였고, 그 결과 색 재현 오차가 기존방법의 색 재현 오차보다 상대적으로 작았다. 따라서, 비표준 색 재현 영역을 갖는 디스플레이 장치에서 색 재현 설정을 할 경우 인간 시각 특성인 Munsell 계의 등색상 궤적을 고려한 색 재현이 유효함을 확인하였다.

인간 시각의 경우는 디스플레이 장치가 디스플레이 되는 주위 조건에 따라 매우 민감한 영향을 받으므로 향후 주위 조명 및 배경 조건에 따른 인간 시각 특성을 고려한 더욱 심도 있는 연구가 뒤따라야 할 것이다.

참고문헌

- [1] G. Pettitt, A. DeLong, and A. Harriman, "Colorimetric Performance Analysis for a Sequential Color DLP Projection System," SID SYM, vol. 27, pp. 510, May 1996.
- [2] 송규익, 색채 디스플레이 공학 강의 자료, <http://avala.b.knu.ac.kr>, 2003.
- [3] G. Wyszecki and W. S. Stiles, *Color Science*, John Wiley & Sons, 1982.
- [4] 박종선, 김대원, 장수옥, 김은수, 송규익, "White balance 를 고려한 디지털 비디오 카메라 characterization," *대한전자공학회 하계 종합학술대회 논문집*, vol. 25, no. 1, pp. 299-302, June 2002.
- [5] 박종선, "기준 백색 선택에 따른 비디오 카메라의 전달 특성," *경북대학교 전자공학과 석사학위 논문*, 2002년 12월.