

주위 광원의 영향을 고려한 모니터 상의 색 재현

김 용 기, 김 정 엽, 김 희 수, 하 영 호
경북대학교 전자 전기 공학부

Color Reproduction in CRT Monitor Considered Effect of Ambient Light

Yong Gi Kim, Jeong Yeop Kim, Hee Soo Kim, and Yeong Ho Ha
School of Electronic and Electrical Eng., Kyungpook National University
E-mail : yha@ee.knu.ac.kr

요 약

우리가 일반적으로 모니터에서 작업을 하는 경우 주로 백열등이나 형광등의 조명을 켜 상태에서 하게된다. 이런 경우 모니터 상의 동일한 색도는 주위 조명이 바뀔에 따라 다르게 느껴지며 특히 주위 조명의 색도와 모니터의 색도가 틀린 경우는 더욱더 다르게 느껴진다[1]~[3]. 이 논문에서는 우리가 생활하는 일반 환경인 백열등이나 형광등 아래의 모니터 상에 영상을 재현 시 주위 조명의 영향을 고려한 색 재현 알고리즘을 제안한다. 임의의 환경에서 사람의 색 인식에 영향을 미치는 요소는 장면에 존재하는 조명의 색 특성과 물체의 색 특성에 의존한다. 단순한 물체의 표면 반사가 아닌 모니터 등의 조명 역할을 하는 표면이 존재하는 경우는 두 개 이상의 조명이 있는 형태이다. 두 개 이상의 조명이 존재하는 경우, 사람들이 느끼는 백색점(white point)은 각 조명의 색도 벡터(chromaticity vector)의 조합으로 표현된다. 본 논문에서는 임의의 환경에서 사람이 인식하는 백색점을 모델링하기 위하여 주위 환경이 백색점의 인식에 미치는 영향을 분석하였으며 모니터 상의 색 재현시 주위 조명의 영향을 주위 조명에 의해 생성되는 모니터 표면의 경면 반사(specular reflection)에 의한 영향과 인간 시각의 색 순응(color adaptation) 백색점의 변화 두 가지로 나누어 분석하였다.

I. 서 론

최근 인터넷의 급속한 보급과 전자 화상 기술의 발전에 의해 우리가 가지고 있는 원 영상을 인터넷과 같은 통신 수단에 의해 다른 곳에서 재현 할 수 있게 되었다. 그리고, 기존의 칼라 조종 시스템(color management systems: CMSs)의 폭 넓은 사용으로, 사용자들은 다른 매체간의 장치에 독립적인 색을 얻어낼 수 있었다. 그러나 대부분의 CMSs는 관찰자들이 같은 관찰 조건하에서 보았을 때만 같은 색을 표현할 수 있다[4]. 만약 다른 관찰 조건하의 색을 재현할 경우 재생된 색은 원 영상의 색과는 아주 다르게 보이게 된다. 우리가 같은 매체를 통하거나 또는 다른 매체간일 경우 CMSs를 사용했을 경우에도 주위 조명의

색도와 휘도가 변함에 따라서 원 영상의 색과 재생된 영상의 색은 아주 다르게 보이게 된다.

이와 같이 임의의 조명광 아래서 물체를 관찰하는 경우 인간의 시각은 주위 조명에 완전 순응하는 것이 아니라 부분적 순응에 의해 흰색 패치를 백열등 아래에서 관찰 할 경우 백열등의 고유색처럼 완전히 붉게 보이지 않고 흰색 패치의 고유색처럼 완전히 희게 보이지 않고 약간의 붉게 보인다. 이런 특성은 인간 시각의 주위 조명에 대한 색 순응 현상에 기인하는 것이다.

특히 발광체가 두 개 이상의 경우 인간 시각 시스템은 각 발광체의 백색점에 부분적으로 순응하게 된다.

이 논문에서는 주위 조명이 바뀔에 따라 주위 조명의 영향을 고려하여 원 영상과 가장 유사한 영상 재현에 예 목적을 둔다. 본 연구에서는 일반적으로 우리가 작업하는 환경인 백열등과 형광등을 주위 조명으로 하고, 우리가 주로 사용하는 6500K와 9300K의 색온도를 가진 모니터를 사용하여 인간 시각의 순응 백색점의 변화를 모델링하였다.

본 논문에서는 모니터의 색 재현 시 주위 조명의 영향을 두 가지로 나누어 설명한다. 첫째는 주위 조명에 의해 생성되는 모니터 표면의 경면 반사(specular reflection)에 의한 영향이다. 둘째로 인간 시각의 색 순응 백색점의 변화이다. 주위 조명 하에서 모니터에 영상이 있을 경우, 인간 시각의 색 순응 백색점은 모니터의 백색점에만 의존하는 것이 아니라 주위 조명 백색점의 영향을 받게되므로 주위 광원의 휘도와 색도의 변화에 따른 백색점의 변화를 설명한다.

본 논문에서는 II 장에서 기존의 주위 조명의 영향을 고려한 모니터 상의 색 재현 알고리즘을 설명하고, III 장에서는 이 논문에서 제안한 알고리즘을 설명한다.

II. 기존의 주위 조명의 영향을 고려한 모니터 상의 색 재현 알고리즘

1. Hunt의 주위 광원의 영향을 고려한 텔레비전 실험 시청자가 일반 가정에서 텔레비전을 시청할 때 주로 형

광등이나 백열등을 켜 상태에서 텔레비전을 시청하게 되므로 텔레비전 수상기에 재현된 색에 대한 시청자의 느낌은 텔레비전 자체의 디스플레이 색뿐만 아니라 주위 조명의 색에 순응하게 된다[5].

Hunt[6]는 관찰자 전면의 스크린에 약 2900K의 상관 색온도를 가진 백열등을 조명으로 하고, 암실에 있는 관찰자의 시각을 30° 정도로 하여 순응시킨 후, 기준 백색 6500K의 상관 색온도로 조정된 텔레비전 모니터에 임의의 화상을 디스플레이한다. 이때 백열등의 여러 가지 조도에 따른 눈의 순응 백색점의 변화를 조사하는 실험을 하였다.

이 실험의 결과는 그림 1에 보여진다. 그림 1에서 ●는 텔레비전 디스플레이의 기준 백색점을 나타내고 ■는 백열등의 백색점, ◆는 순응 백색점을 나타낸다. 그림 1로부터 인간 시각의 순응 백색점의 좌표는 텔레비전 모니터의 디스플레이 기준 백색좌표와 조명광 좌표를 잇는 직선상에 존재하고 주위 조명이 조도가 높을수록 주위 조명의 영향을 많이 받음을 알 수 있다.

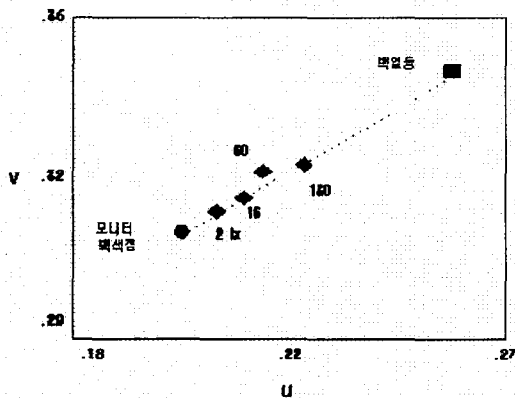


그림 1. 백열등 조명하에서 TV 시청시의 주위 조도에 따른 눈의 순응 백색점

2. Naoya Katoh의 주위 광원의 영향을 고려한 모니터 상의 색 재현 실험

Naoya Katoh는 전형적인 사무실 환경인 4100 K인 상관 색온도를 가진 형광등 아래에서 9300 K의 상관 색온도를 가진 컴퓨터 그래픽 모니터를 가지고 소프트 커피 영상의 색 재현에 있어서 주위 광원의 영향에 대해 설명하기 위한 실험을 하였다. Naoya Katoh[7]의 실험에 의하면 인간 시각은 모니터의 백색점에 부분적으로 순응하고 주위 광원에 부분적으로 순응하게 된다. Naoya Katoh의 논문에서는 이런 인간 시각의 부분적인 색순응 현상을 설명하기 위하여 S-LMS라는 혼합된 색 순응 모델을 제안하였다.

그 과정을 살펴보면, 첫째로 모니터 표면의 반사 영향을 고려한다. 둘째로, XYZ 삼자극치를 LMS 값으로 바꾼다. 셋째로, 색순응을 위한 보상을 제공한다. 마지막으로 혼합된 색 순응 모델인 S-LMS를 적용한다.

혼합된 색 순응 모델인 S-LMS 모델의 실험 결과는 인간 시각은 주위 조명의 밝기에 관계없이 모니터의 기준 백색점에 60% 순응하고 주위 조명의 백색점에 40% 순응함을 알 수 있다.

3. Brainard의 주위 광원의 영향을 고려한 모니터 상의 색 재현 실험

Brainard[8]는 주위 광원의 영향을 고려하여 모니터 상의 색 재현을 위해 무채색 매칭 실험(achromatic matching experiment)을 하였다. 한 쪽 눈은 암실의 모니터 상의 원래의 무채색 패치를 보고, 다른 한 눈은 주위 조명 하의 모니터 상의 패치를 변화시키면서 가장 유사한 패치를 찾는 실험을 했다[9]. 이 실험에서 Brainard는 이 실험으로부터 우리 시각의 순응 백색점은 모니터의 기준 백색점과 주위 조명의 백색점 사이에 있음을 실험을 통하여 얻었다.

III. 제안한 주위 조명의 영향을 고려한 모니터 상의 색 재현 알고리즘

주위 조명의 영향으로, 모니터 상의 동일한 색을 가지는 영상이 주위 조명의 변화에 따라 다르게 느껴지는 현상을 고려하기 위하여 본 논문에서는 색 재현시 주위 조명의 영향을 주위 조명에 의해 생성되는 모니터 표면의 경면 반사에 의한 것과 인간 시각의 색 순응 백색점의 변화 즉 모니터와 주위 조명의 백색점의 부분적인 순응현상으로 나누어 설명하겠다.

1. 모니터 표면의 경면 반사 영향

주위 조명에 의한 모니터의 반사 영향은 주위 조명에 대한 모니터 반사 실험에 의해 분석 할 수 있다. 주위 조명에 의해 생성되는 모니터 표면의 반사로 인하여 모니터 표면의 검정은 더 이상 어둡지 않게 되고 모니터의 백색점의 색도는 주위 광원이 없을 때의 색도와 차이가 생기게 된다. 주위 조명에 의한 모니터 표면의 반사량은 Minolta의 CS-100 chroma-meter를 사용하여 측정할 수 있다. 여기서 사용한 모니터는 6500 K와 9300 K의 상관 색온도를 가진 삼성 SyncMaster 700p이며 주위 조명으로는 일반 생활에서 사용하는 다양한 조도를 가지는 백열등과 형광등을 사용하였다. 여기서 주위 조명의 X, Y 및 Z 삼자극치 값은 모니터를 끈 상태의 암실 하에서 조명을 켜 상태에서 모니터 중심에 흰색 패치를 놓은 후 회색 패치의 X, Y 및 Z 삼자극치를 측정하였다.

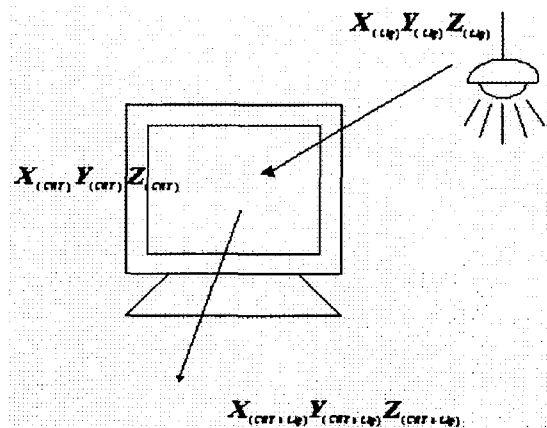


그림 2. 모니터 표면의 경면 반사

경면 반사의 영향을 그림 2에서 보여 주고 있다. 실험 결과에 따르면 모니터 표면의 경면 반사값인 X, Y 및 Z 삼자극치 값은 주위 조명의 X, Y 및 Z 삼자극치 값에 각각 상수배임을 식 (1)에서 보는 것과 같이 실험을 통하여 알 수 있었다.

$$\begin{bmatrix} X_{(CRT+Lig)} \\ Y_{(CRT+Lig)} \\ Z_{(CRT+Lig)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{(CRT)} \\ Y_{(CRT)} \\ Z_{(CRT)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_r & 0 & 0 \\ 0 & K_g & 0 \\ 0 & 0 & K_b \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_{(Lig)} \\ Y_{(Lig)} \\ Z_{(Lig)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 $X_{(CRT)}$ 는 모니터의 X 자극값이고 $X_{(Lig)}$ 는 주위 광원의 X 자극값이고 $X_{(CRT+Lig)}$ 우리 시각에 들어오는 실제 영상의 X 자극값을 예기한다.

2. 인간 시각의 색 순응 백색점의 모니터와 주위 조명의 백색점의 부분적인 순응현상

두 번째 고려 항목은 인간 시각의 색 순응 백색점의 변화이다. 우리가 모니터 상에서 작업을 할 경우 우리는 모니터뿐만 아니라 주위 환경도 동시에 보면서 작업을 하게 된다. 이럴 경우 인간 시각의 순응 백색점은 모니터의 기준 백색에 순응 할 뿐만 아니라 주위 조명의 백색에 또한 순응하게 된다. 인간 시각의 순응 백색점은 그림 3에서 보는 것과 같이 균등 색 좌표 $u' - v'$ 상의 주위 조명에 의한 경면 반사량을 고려한 수정된 모니터의 기준 백색점(모니터의 기준 백색의 X, Y 및 Z 삼자극치 값과 경면 반사에 의한 양 X, Y 및 Z 삼자극치의 합을 u', v' 로 바꾼 값)과 주위 조명의 백색점을 연결한 직선 상에 존재하게 된다. 여기서 ■는 주위 광원의 색도, ●는 모니터의 백색점의 색도이고 *는 경면 반사 영향을 고려한 모니터 백색점의 색도이고 ▲는 순응 백색점의 색도이다.

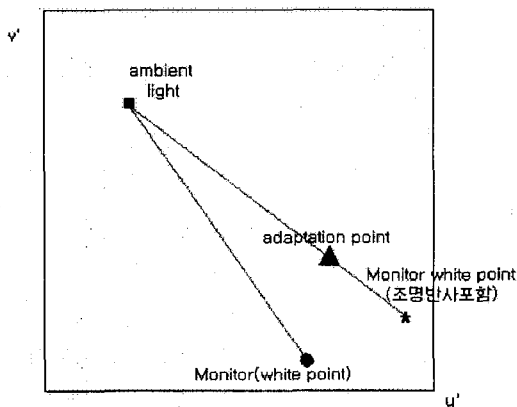


그림 3. 주위 조명의 영향을 고려한 인간 시각의 순응 백색점의 색도 좌표

본 논문에서는 주위 조명의 휘도와 색도가 변함에 따라 인간 시각의 순응 백색점이 어떻게 변하는지를 실험하기 위하여 삼성 SyncMaster 700p 모니터와 일반적으로 사용하는 백열등과 형광등을 사용하였다. 백열등과 형광등의

휘도를 바꾸어 가며 모니터가 각각 6500 K와 9300 K일 때 실험하였다. 주어진 조건은 우리가 일반적으로 컴퓨터 작업하는 환경을 적용시키기 위해서 모니터와 관찰자 사이의 거리는 80 cm 만큼 떨어진 상태에서 관찰자가 의자에 앉아 실험을 하였다. 여기서 실험한 방법은 메모리 매칭 방법(memory matching method)[8, 9]와 크기 예측 방법(magnitude estimation method)[10]을 사용하였다. 메모리 매칭 방법은 먼저 실험자가 환경조건 1에서의 영상을 보고 그 영상을 기억시켜놓는다. 그리고 다른 환경조건 2의 영상을 바꾸어 가면서 유사도를 측정하여 가장 좋은 것을 선택하게 된다. 크기 예측 방법은 환경 조건 1에는 변화하지 않는 영상을 두고 환경 조건 2에서는 색상, 채도, 명도 등을 변화시켜 가장 유사한 것을 판별하는 방법을 예기한다. 그리고 다른 환경조건 2의 영상을 보고 유사도를 측정하여 가장 좋은 것을 선택하게 된다.

관찰자는 주위 조명 하의 모니터 상의 패치의 색을 변화시키면서 주위 조명이 없을 때의 색과 가장 일치하는 패치를 찾게 된다. 제안한 방법으로 실험한 결과, 칼라 패치의 색도는 모니터에 대한 주위 조명의 휘도의 비가 커짐에 따라 주위 조명의 색도 쪽으로 순응 백색점이 변함을 알 수 있었다. 그리고 주위 조명의 색도와 모니터의 색도의 차가 커짐에 따라 주위 조명의 색도 쪽으로 순응 백색점이 변함을 알 수 있었다. 주위 조명과 모니터의 색도 차의 변화와 주위 조명과 모니터의 휘도의 비에 따른 적응률을 실험을 통해 얻은 결과는 표 1을 통해 알 수 있다.

D	Y_r	주위 광원에 대한 순응률(%)
0.0195	0.4652	7
0.0438	0.4832	12
0.0442	0.3493	10
0.0820	0.4375	15
0.0829	0.2369	10
0.0825	0.3371	12
0.1074	0.4544	17
0.1088	0.2462	12
0.0443	0.6024	15
0.0198	0.5803	10
0.0198	0.4563	7
0.0198	0.3362	5

표 1. 색도 차와 휘도비에 따른 모니터에 대한 적응률

표 1을 토대로 이 결과를 수식화 하면 다음과 같다..

$$\begin{bmatrix} u'_{(Adapt)} \\ v'_{(Adapt)} \end{bmatrix} = (1 - R_{(Adapt)}) \begin{bmatrix} u'_{(Mon+Lig)} \\ v'_{(Mon+Lig)} \end{bmatrix} + R_{(Adapt)} \begin{bmatrix} u'_{(Lig)} \\ v'_{(Lig)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 $u'_{(Mon+Lig)}$, $v'_{(Mon+Lig)}$ 는 경면 반사를 고려한 모니터의 백색점의 색도이고 $u'_{(Lig)}$, $v'_{(Lig)}$ 는 주변 조명의 백색점의 색도이고, $u'_{(Adapt)}$, $v'_{(Adapt)}$ 는 인간 시각의 순응 백색점의 색도 값이다. $R_{(Adapt)}$ 는 주위 조명에 대한 적응률을 예기한다.

인간 시각의 적응 백색점의 휘도값 $Y_{(Adapt)}$ 은 다음

$$Y_{(Adapt)} = (1 - R_{(Adapt)}) Y_{(Mon+Lig)} + R_{(Adapt)} Y_{(Lig)} \quad (3)$$

와 같고 여기서 $Y_{(Mon+Lig)}$ 는 경면 반사를 고려한 모니터의 최대 휘도 값이고 $Y_{(Lig)}$ 는 주위 조명의 최대 휘도 값이다. 여기서 주위 조명에 대한 적응률 $R_{(Adapt)}$ 은 다음과 같다.

$$R_{(Adapt)} = (1.8 Y_r + 0.37) D + 0.124 \times Y_r \quad (4)$$

여기서

$$Y_r = \frac{Y_{(Lig)}}{Y_{(Mon+Lig)}}$$

$$D = \sqrt{((u'_{(Mon+Lig)} - u'_{(Lig)})^2 + (v'_{(Mon+Lig)} - v'_{(Lig)})^2)}$$

이다.

V. 결론

모니터 상에 재현되는 영상은 모니터의 백색점뿐만 아니라 주위 조명의 백색점에서도 영향을 받게 된다. 만약 이를 무시하고 영상을 재현 할 경우 원 영상과 다른 색이 재현된다. 여기서 우리는 재현 영상을 원 영상과 같게 하기 위하여 주위 조명의 영향을 고려해 주었다. 이 실험에서 우리는 주위 조명의 영향은 크게 두 가지로 설명할 수 있었다.

첫째로 주위 조명에 의해 생성되는 모니터 표면의 경면 반사에 의한 영향이다. 이 영향은 요약하면 모니터 표면의 경면 반사에 의한 양은 주위 조명의 삼자극치 X, Y, Z의 값에 각각 일차 비례하는 X, Y, Z 만큼 주어지게 된다.

둘째로 인간 시각의 색순응 백색점의 이동이다. 인간 시각의 색순응 백색점은 주위 조명의 휘도가 커짐에 따라 그리고 주위 조명과 모니터의 색도 차가 커짐에 따라 주위 조명에 대한 적응률이 커짐을 우리는 알 수 있었다.

이 실험을 통하여 우리는 보다 원 영상에 가깝게 색 재현하기 위한 파라미터들을 구할 수 있었으며 임의의 환경에서 모니터 상의 색을 표현할 때, 정확하게 예측하여 처리할 수 있는 장점이 있다.

참고 문헌

- [1] K. Blair Benson and Jerry C. Whitaker, *Television Engineering Handbook*, McGraw-Hill, 1992.
- [2] C. Bailey Neal, "Television Colorimetry for Receiver Engineers," *IEEE Trans. BTR*, vol. BTR-19, pp. 149-162, Aug. 1973.
- [3] L. E. DeMarsh and J. E. Pinney, "Studies of Some Colorimetric Problems in Color Television," *J. of SMPTE*, vol. 79, pp. 338-342, April 1970.

- [4] L. MacDonald, "Colour management and display calibration," in Proc. CIE Expert Symposium '96: Colour Standards for Image Technology, pp. 63-69, 1996.
- [5] G. Wyszecki and W. S. Stiles, *Color Science*, John Wiley & Sons, 1982.
- [6] R. W. G. Hunt and Miss L. M. Winter, "Colour Adaptation in Picture-Viewing Situations" *J. of Photo. Sci.*, vol. 23, pp. 112-115, 1975.
- [7] Nayoya Kato, "Effect of ambient light on the color appearance of softcopy images: Mixed chromatic adaptation for self luminous displays," *Journal of Electronic Imaging*, Vol.7(4), pp 794-806, 1998.
- [8] D. H. Brainard and K. Ishigami, Factor influencing the appearance of CRT colors, Proceedings of the IS&T/SID 1995 Color Imaging Conference, pp. 62-66, 1995.
- [9] Mark D. Fairchild, E. Pirrotta, and T. G. Kim, "Successive-Ganzfeld haploscopic viewing technique for color-appearance research," *Color Res. Apl.*19, pp. 214-221, 1994.
- [10] L. MacDonald, "Colour management and display calibration," in Proc. CIE Expert Symposium '96: Colour Standards for Image Technology, pp. 63-69, 1996.