

LCD의 Gray Scale 상관 색온도 보정*

구병준, 이상훈, 정재영, 한찬호, 이건일, 송규익
경북대학교 전자공학과

Compensation of Correlated Color Temperature of Gray Scale in LCD

Byung-Joon Goo, Sang-Hoon Lee, Jae-Young jung, Chan-Ho Han, Kuhn-Il Lee, Kyu-Ik Sohng
Dept. of Electronics, Kyungpook National University
E-Mail : undine@palgong.knu.ac.kr

요 약

일반적인 LCD의 색 재현 특성은 입력 디지털 값이 낮을수록 gray scale의 상관색온도가 상승하여 정확한 색 재현이 불가능하다. 본 논문에서는 LCD의 입력 디지털 값의 변화에 따른 특성을 조사하고, luminance, contrast 비 등의 특성에 열화없이 gray scale의 입력 값 변화에 따른 상관색온도의 변화를 보정하기 위해서 입력 디지털 값을 조정하는 새로운 LUT를 제안하였다.

I. 서 론

액정 디스플레이(liquid crystal display; LCD)는 얇고 가벼우며 고화질과 고해상도, 저소비 전력 등의 우수한 특성 때문에 개인용 컴퓨터의 모니터나 TV와 같은 각종 디스플레이 장치로 채용되고 있다.

LCD는 시야각, 반응 속도 등의 기술적 분야에서는 상당한 발전을 하였으나, 색 재현력은 액정의 물리, 전기-광학적 특성 때문에 아직 기존의 CRT의 성능에 못미치고 있다.^{[1][2]}

일반적으로 CRT는 RGB 삼원색 입력 값의 변화에 따라 삼원색의 색도 좌표 및 gray scale의 상관색온도(correlated color temperature; CCT) 변화가 거의 없어 정확한 색 재현이 가능하지만, LCD는 특성상 입력 값에 따라 그 변화가 크게 발생하여 정확한 색 재현이 불가능하다.^{[1][3]}

일반적인 LCD의 색 재현 특성은 입력 디지털 값이 낮을수록 gray scale의 상관색온도가 상승하므로 영상의 색조는 어두울수록 약간 푸른색을 띤다. Okano^[4]는 LCD의 입력 R, G, B 디지털 값에 따른 blue 데이터만을 보정한 LUT(look-up table)를 이용하여 gray scale을 개선하였다. 그러나 blue 데이터만을 보정했기 때문에 gray

scale에서 상관색온도와 좌표의 변화가 남아있고, 단순히 blue 입력 디지털 값만 줄임으로써 luminance 특성에 열화를 가져온다

본 논문에서는 LCD의 입력 값의 변화에 따른 상관색온도 특성, 감마 특성을 조사하고, luminance, contrast 비 등의 특성에 열화없이 gray scale의 입력 값 변화에 따른 상관색온도의 변화를 보정하기 위해서 RGB 삼원색 각각의 입력 디지털 값을 조정하는 새로운 LUT를 제안하였다.

제안된 LUT를 적용한 LCD는 상관색온도가 6500K 근처에 유지되었으며 LCD에 표시되는 색을 더 정확히 재현함을 실험을 통하여 확인하였다.

II. LCD의 색 재현 특성

1. LCD의 상관색 온도 특성

어떤 광원과 동일한 색도를 가지는 완전 방사체(흑체, black body)의 절대 온도를 그 광원의 색온도(color temperature)라 정의하며, 흑체의 궤적에 근접하는 색온도를 상관 색온도(correlated color temperature)라 한다.^[5]

xy 색도도 상에서 등색온도선 및 C 광원과 D₆₅ 광원의 기준 백색좌표는 그림 1에서와 같다. 그림 1에서 C와 D₆₅는 국제조명위원회(Commission Internationale de l'Eclairage; CIE)가 정한 표준 광원 중의 하나로서 C광원의 절대온도는 6774K($x_w=0.3101, y_w=0.3162$) 이고 D₆₅광원의 절대온도는 6500K($x_w=0.3127, y_w=0.3290$) 이다.^[6]

실은에서 LCD color analyzer(MINOLTA CA-110)을 이용하여 TFT-LCD의 특성을 조사하였다. 측정된 LCD panel의 크기는 15.1 inch (1024 × 768 pixels) 이고, CA-110의 측정각을 고려하여 gray (128, 128, 128)를 배경으로 한 200 × 200 pixels 크기의 정사각형 test patch를 LCD panel의 중앙에 표시하여 LCD의 특성을 조사하였다.^{[1][7]} Test patch는 0부터 255의 디지털 값을 15 간격씩 나눈 18개조로 구성하였다.

* 본 연구는 LG Philips LCD와의 산학 연구 과제 결과물입니다.

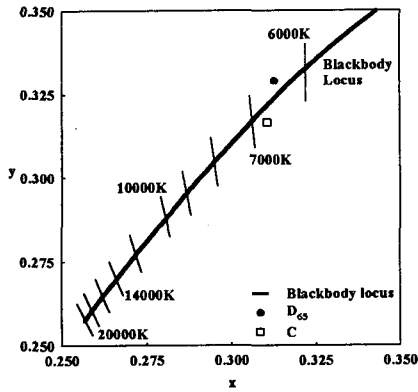


그림 1. xy 색도도 상에서 등 색온도선 및 C 광원과 D₆₅ 광원의 기준 백색 좌표

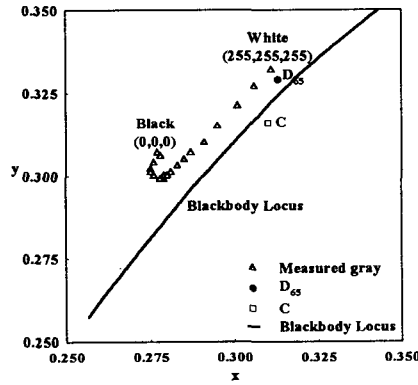


그림 2. 입력 디지털 값의 변화에 따른 gray scale의 색도 좌표 변화

White(R{255}, G{255}, B{255})에서 black(R{0}, G{0}, B{0})까지의 입력 디지털 값의 변화에 따른 gray scale의 색도 좌표 변화를 그림 2에 나타내었다. 이 그림으로부터 본 연구에서 측정된 결과는 Okano가 측정하여 표시한 상관색온도 궤적과 유사함을 알 수 있다.

그림 2에서 white 255 level의 좌표는 $x=0.311, y=0.332$ 로써 D₆₅ 광원의 기준 백색좌표($x_w=0.3127, y_w=0.3290$)와 거의 일치한다. 그러나 입력 디지털 값이 감소하여 gray level이 낮아질수록 색도 좌표는 상관색온도의 변화가 심하다. 즉 6500K로부터 점점 상승하여 black 좌표에서는 10000K 정도의 상관 색온도를 나타낸다. 어둡거나 중간 색조의 영상은 LCD에서 상관색온도가 상당히 높으며, 그 결과로 실제 영상은 푸르게 느껴진다.

2. LCD gray scale tracking 특성

Gamma는 입출력 신호에 대한 비선형적인 관계를 표시하는 수치이다. 입력 디지털 값의 변화에 따른 R, G, B 삼원색과 gray scale 각각의 gamma 특성을 조사하여

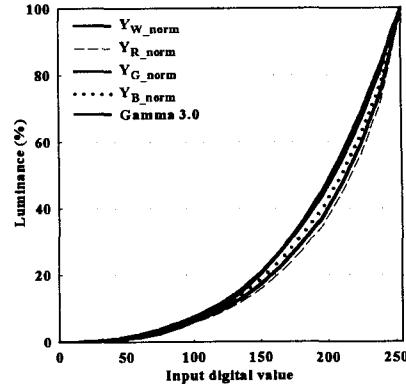


그림 3. 삼원색과 gray scale의 정규화된 gamma 곡선

그림 3에 나타내었다.

Gray scale에서 gamma는 3.0 정도의 값을 가지며 R, G, B 각각의 gamma 특성은 완전히 일치하지 않는다. 정규화된 gamma 특성 곡선에서는 특히 blue의 gamma 값이 다른 두개의 gamma 값보다 동일 입력 디지털 값에 대해 높은 값을 가진다. 이는 Okano가 측정하여 분석한 삼원색의 gamma 특성과 비슷한 경향을 가진다.

3. LCD 와 CRT display 의 비교

입력 디지털 값의 변화에 대한 CRT에서의 gray scale 색도 좌표 변화를 측정하여 LCD와 그 차이를 비교하였다.

실은에서 CRT color analyzer(MINOLTA CA-100)을 이용하여 완전평면 브라운관 모니터의 특성을 조사하였다. 측정된 CRT 크기는 17 inch, 해상도는 1024 × 768 pixels 이고, gray (128, 128, 128)를 배경으로 한 200 × 200 pixels 크기의 정사각형 test patch를 CRT의 중앙에 display하여 측정 probe를 CRT 표면에 접촉하여 측정하였다. LCD 측정시와 마찬가지로 0부터 255를 15 간격씩 나눈 18개 조의 입력 디지털 값으로 측정하였다.

측정된 LCD와 CRT의 gray 색도 좌표 변화는 그림 4에서와 같다. CRT는 입력 디지털 값의 변화에 따라 gray scale 색도 좌표가 일정하지만 LCD는 일정하지 않다. 즉 CRT는 입력 디지털 값의 변화에 따라 상관 색온도가 거의 일정하게 유지되지만 LCD는 상관색온도의 변화가 CRT에 비하여 심하다.

III. LCD의 gray scale 상관 색온도 보정

1. 제안한 LCD gray scale CCT 보정 방법

Okano는 gray scale의 상관색온도를 단순히 blue 입력 디지털 값을 낮춤으로써 white의 상관색온도 7180K 근처에 맞추었다. 상관색온도는 어느 정도 white의 상관색온도에 맞추어졌을지라도 blue 입력 디지털 값을 변

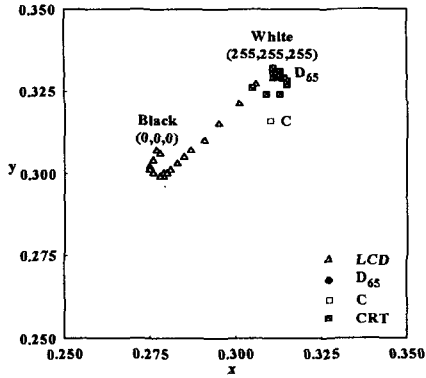


그림 4. 입력 디지털 값의 변화에 의한 LCD와 CRT에서의 gray scale 색도 좌표 변화

화시킴으로써 당연히 LCD의 luminance 특성에 열화를 가져온다.

본 논문에서는 디스플레이 시스템의 표준인 D_{65} 를 기준으로 gray scale의 상관색온도를 $6500K \pm 100K$ 의 범위에 들도록 입력 R, G, B 디지털 값을 조정하여 gray scale의 luminance 값은 보정 전과 보정 후가 동일하도록 조정하였다.

예를 들면, 입력 디지털 값이 $R=195, G=195, B=195$ 인 gray가 111 cd/m^2 의 luminance 값을 가지고 있다면 이 luminance 값을 동일하게 유지하면서 $6500K$ 근처가 되도록 $R=204, G=195, B=180$ 으로 조정한다. 따라서 보정 전에 동일했던 R, G, B 입력 값은 보정 후에 G 입력 값을 기준으로 R 입력 값은 증가 하며 B 입력 값은 감소한다. 18개조 측정값의 사이값들은 선형 보간법을 이용하여 입력 값을 얻었다.

또한 LCD의 최대 contrast 비를 그대로 유지하기 위하여 R, G, B 디지털 값이 최대인 255와 최소인 0부근의 값들은 변화시키지 않았다. 이유는 상관색온도의 차이가 큰 어두운 영역을 보정하지 않는 것은 시각 특성상 밝기가 줄어들면 색 인지 능력이 떨어지므로 색 변화를 거의 인지하지 못하기 때문이다.^[6]

LCD의 gray scale CCT 보정에 사용한 LUT는 그림 5에서와 같다.

2. 제안한 LCD CCT 보정 결과

Okano가 제시한 LUT를 적용한 경우의 gray scale 색도 좌표 변화와 본 논문에서 제시한 LUT를 적용한 경우의 gray scale 색도 좌표 변화를 그림 6에 보였다.

그림 6에서 본 논문에서 제시한 LUT 보정 결과가 Okano가 제시한 LUT 보정 결과보다 우수함을 알 수 있다.

상관 색온도 보정 후 gray scale의 색도 좌표 변화와 보정후의 LCD와 CRT와의 상관색온도 변화 비교를 그림 7에 나타내었다. 이 그림에서 입력 디지털 값에 따

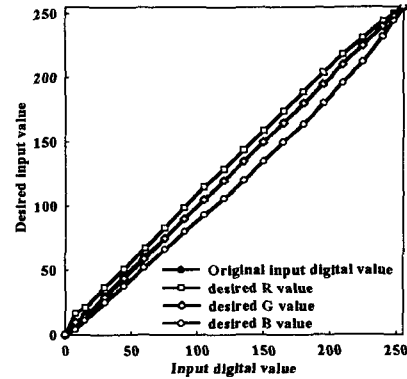
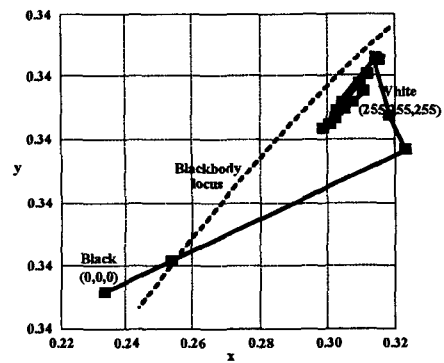
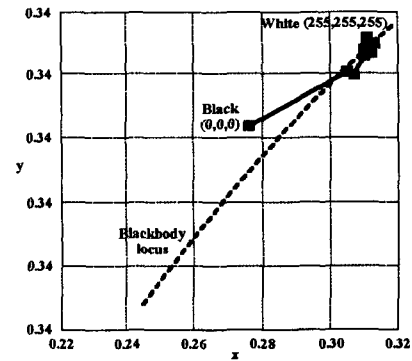


그림 5. Gray scale CCT 보정에 사용한 LUT 곡선



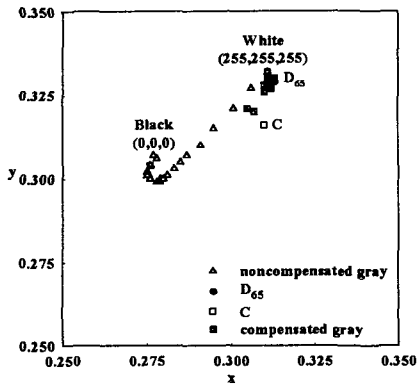
(a)



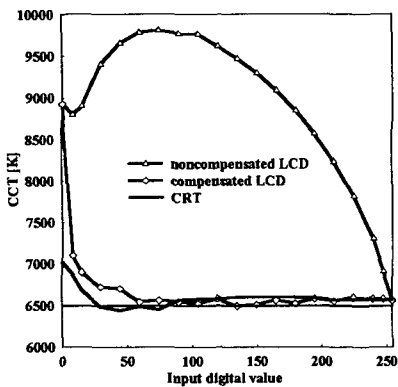
(b)

그림 6. Gray scale 색도 좌표 변화: (a) Okano가 제시한 LUT를 적용한 경우; (b) 본 논문에서 제시한 LUT를 적용한 경우

라 상당히 변화를 보였던 gray scale의 색도 좌표가 상관 색온도 보정 후 거의 일정함을 알 수 있다. 또한 상관 색온도도 기대했던 $6500K$ 근처를 유지하고 있다. 더욱이 보정 후의 상관색온도 특성은 CRT 특성과 거의 유사함을 보인다.



(a)



(b)

그림 7. Gray scale CCT 보정 결과 (a) gray scale의 색도 좌표 보정 결과 (b) 보정후 CRT와의 CCT 비교

3. 제안한 LCD CCT 보정에 의한 색좌표 보정효과

본 논문에서 제시한 방법으로 구성된 LUT를 이용하면 일정한 색 좌표와 색온도를 유지함으로써 LCD의 정확한 색 재현이 가능하게 된다. 색 재현성을 확인하기 위하여 Macbeth Color Check의 18가지 색을 이용하여 uniform color space 인 CIE 1976 $u'v'$ 좌표계로 나타내었다. Macbeth Color checker 에 대한 색도 보정 효과는 그림 8에서와 같다.

그림 8에서 빈 삼각형은 Macbeth Color Checker 색의 원래 좌표, 흰은 보정 전 LCD에 나타난 색 좌표이며, 검은 삼각형은 제안한 방법에 의해서 보정된 후 LCD에 표시되는 색 좌표이다. 화살표는 기존의 색 좌표와 LUT에 의하여 보정된 색 좌표와의 변동량을 나타낸 것이다. 그림으로부터 white의 색 보정 뿐만이 아니라 Macbeth chart 대부분의 색좌표 보정도 우수함을 알 수 있다.

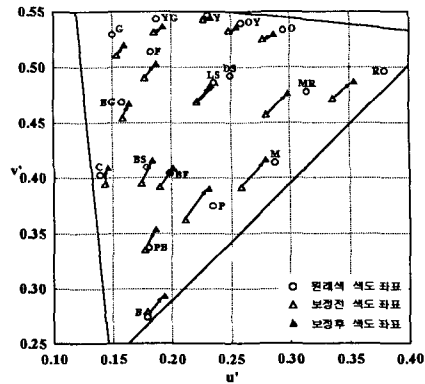


그림 8. CIE 1976 $u'v'$ 좌표계에서 여러 색에 대한 색도 보정 효과

IV. 결 론

본 논문에서는 luminance, contrast 비 등의 특성에 열화없이 gray scale의 입력 값 변화에 따른 상관색온도의 변화를 보정하기 위해서 RGB 삼원색 각각의 입력 디지털 값을 조정하는 새로운 LUT 보정법을 제안하였다.

제안한 LUT를 사용하여 상관색온도를 보정한 결과, luminance, contrast 비에 열화없이 gray scale의 색도 좌표와 상관색온도가 거의 일정하게 유지되었다. 이는 Okano의 방법보다 우수할 뿐만 아니라, Macbeth chart의 색좌표 보정 효과도 우수하다.

참 고 문 헌

- [1] Mark D. Fairchild, David R. Wyble, "Colorimetric Characterization of the Apple Studio Display (Flat Panel LCD)," *Munsell Color Science laboratory Technical Report*, July 1998.
- [2] Jason E. Gibson, Mark D. Fairchild, "Colorimetric Characterization of Three Computer Displays (LCD and CRT)," *Munsell Color Science laboratory Technical Report*, January 2000.
- [3] Albert Cazes *et al.*, "On the color calibration of liquid crystal displays," *Part of the IS&T/SPIE Conference on Display Metrology*, pp. 154-161, January 1999.
- [4] Yukio Okano, "Color reproduction varying the input level on a liquid crystal display panel," *The Seventh Color Imaging Conference*, pp. 233-236, November 1999.
- [5] Gunter Wyszecki, W.S. Stiles, *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*, John Wiley & Sons, 1982.
- [6] 송규익 강의자료, *색채 디스플레이 공학*, 도서출판 화성, August 1999.