

# 개선된 S-curve 모델과 RGB 칼라 참조표를 이용한 모니터와 모바일 디스플레이 장치간 색 정합

박기현,\* 이명영,\* 이철희,\*\* 하영호\*  
\*경북대학교 전자전기컴퓨터학부, \*\*안동대학교 컴퓨터공학과

## Color matching between monitor and mobile display device using improved S-curve model and RGB color LUT

Kee-Hyon Park,\* Myong-Young Lee,\* Cheol-Hee Lee,\*\* and Yeong-Ho Ha\*  
\*School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University,  
\*\*Department of Computer Engineering, Andong National University  
E-mail : yha@ee.knu.ac.kr

### Abstract

This paper proposes a color matching 3D look-up table simplifying the complex color matching procedure between a monitor and a mobile display device. In order to perform color matching, it is necessary to process color of image in the device independent color space like CIEXYZ or CIELAB. We improved the S-curve model to have smaller characterization error than tolerance error. Also, as a result of the experiments, we concluded that the color matching look-up table with 64(4×4×4) is the smallest size allowing characterization error to be acceptable.

### I. 서론

최근에 디스플레이 장치의 기술이 놀라울 정도로 발전하여 CRT 이외에도 LCD, PDP 등의 여러 기술들이 개발되고 상용화 되고 있다. 특히, 디스플레이의 소형화 및 경량화 추세에 맞추어 컬러 디스플레이 장치가 일반적인 TV나 컴퓨터 모니터에서 사용될 뿐 아니라, 휴대폰과 PDA 등의 모바일 장치에도 보편적으로 사용되기 시작하였다. 하지만 색의 충실도(color fidelity) 면에서 보았을 때 모바일 디스플레이 장치는 아직 개선되어야

할 부분이 많다. 모바일 디스플레이 장치는 CRT 모니터에 비해서 색 표현이 가능한 영역, 즉 색역(color gamut)이 좁고 휘도 또한 상대적으로 낮거나 밝게 편향되어 있는 등 디스플레이의 특성이 상대적으로 좋지 못하다. 이러한 현상 때문에 동일한 RGB 디지털 입력값이 모니터와 모바일 디스플레이에 주어졌을 때 각각의 출력 색에 큰 차이가 생긴다. 따라서 비교적 색역의 차이가 많이 나는 모니터와 모바일 디스플레이 장치 사이에 색 정합을 위해서는 장치 독립적인 색 공간에서의 처리는 물론 두 장치 사이의 색역 차이를 보상하기 위한 색역 사상을 수행하여야 한다.

본 논문에서는 모니터와 모바일 디스플레이간의 색 정합 과정을 단순화하기 위한 색 정합 참조표(look-up table)를 제안한다. 또한 허용 가능한 최소 참조표 크기를 결정하였다. 그리고 장치 의존적인 색 좌표를 장치 독립적인 색 좌표로 변환하는 장치 특성화 과정 중 LCD 패널에 적합한 개선된 S-curve 모델을 제안하여 그 성능을 평가한다.

### II. 모니터와 모바일 디스플레이간 색 정합

모니터와 모바일 디스플레이 사이의 색 정합 과정은 연산량이 많은 여러 복잡한 과정으로 이루어져 있다.

본 연구는 과학기술부 NRL 사업 (M10203000102-03J0000-04810) 지원에 의해서 수행되었습니다.

RGB에서 CIEXYZ로의 변환을 위해서는 모니터 특성화 과정에서 구한 관계를 이용하여 RGB에 대한 CIEXYZ 값을 추정하여야 하고, 색역 사상(gamut mapping)과정에서는 모니터와 모바일 디스플레이 색역 사이의 기하학적인 위치 관계를 계산하여 색 좌표를 이동시키는 비교적 연산의 복잡도가 큰 과정을 거쳐야 한다. 그리고 X'Y'Z'에서 R'G'B'로의 변환 과정에서는 LCD를 특성화 하면서 구한 RGB와 CIEXYZ의 관계를 이용하여 만들어 낸 R'G'B'와 X'Y'Z' 값의 쌍을 3차원적인 참조표 형태로 만들어 사면체 보간을 수행하는 과정이 필요하다. 하지만 모바일 디스플레이에서 이러한 복잡한 연산 과정을 수행하는 데에는 한계가 있으므로, 모바일 디스플레이 장치에서 수행이 가능한 간단한 색 정합 과정이 필요하다. 그림 1은 이러한 모니터와 모바일 디스플레이간의 색 정합 전 과정을 보여주고 있다.

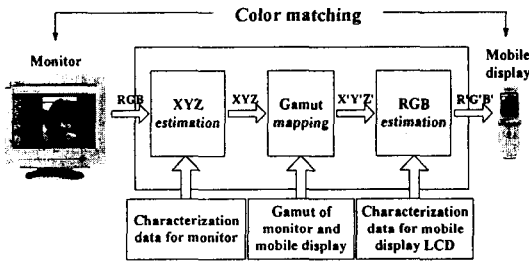


그림 1. 모니터와 모바일 디스플레이간 색 정합 과정

### III. 디스플레이 특성화

디스플레이의 특성화란 특정 디스플레이 장치에 대하여 입력으로 들어가는 RGB값과 출력으로 나오는 표준 색 자극 사이의 관계를 도출하는 것이다. 따라서 특성화가 잘 이루어져 있으면 장치마다 동일한 색 자극을 표현하기 위한 입력 RGB 값을 찾을 수 있게 된다.

CRT를 특성화하기 위한 방법으로는 CRT의 전기-빛 입출력 곡선의 지수적인 특징을 모델링 한 GOG 모델[1]-[3]이 있으며, LCD를 특성화하기 위한 방법으로는 LCD의 S자 형태의 전기-빛 입출력 곡선을 모델링 한 S-curve 모델[4],[6]이 있다.

### IV. 제안한 방법

#### 4.1 제안한 LCD 특성화 방법

그림 2에서 보는 바와 같이 X, Y, Z 값에 대한 LCD

의 전기-빛 입출력 특성을 실제 측정을 통해 그래프로 비교해 보면 X, Y, Z 값마다 서로 다른 전기-빛 입출력 특성이 나타나는 것을 알 수 있다. 하지만 기존의 S-curve 모델은 X, Y, Z의 전기-빛 입출력 곡선이 모두 동일하다고 가정하고 휘도값 (luminance, Y)의 전기-빛 입출력 곡선만을 모델링하여 X, Z를 구할 때에도 사용하기 때문에 특성화 수행시 큰 오차가 나타나게 된다. 따라서 X, Y, Z 값을 각각 모델링 하여 특성화에 이용하는 것이 특성화의 정확도를 높일 수 있는 방법이다.

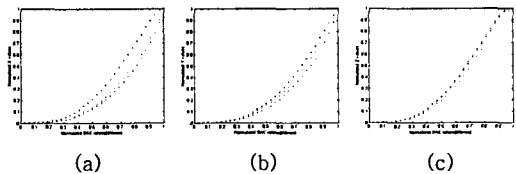


그림 2. LCD 패널의 X, Y, Z 값에 대한 전기-빛 입출력 특성 (a) X의 전기-빛 입출력 특성 (b) Y의 전기-빛 입출력 특성 (c) Z의 전기-빛 입출력 특성

제안하는 LCD 모니터의 특성화에서는 LCD의 X, Y, Z 값에 대한 전기-빛 입출력 곡선이 각기 다름을 고려하여 RGB 채널별로 전기-빛 입출력 곡선을 다음의 세 식과 같이 X, Y, Z 값에 대하여 각기 모델링 한다.

$$R_x = A_x \frac{(d_r / (2^N - 1))^{\beta_x}}{(d_r / (2^N - 1))^{\beta_x} + C_x}$$

$$R_y = A_y \frac{(d_r / (2^N - 1))^{\beta_y}}{(d_r / (2^N - 1))^{\beta_y} + C_y} \tag{1}$$

$$R_z = A_z \frac{(d_r / (2^N - 1))^{\beta_z}}{(d_r / (2^N - 1))^{\beta_z} + C_z}$$

Analogous equations for G, and B

여기서  $d_r$ ,  $d_g$ ,  $d_b$ 는 입력 디지털 값이고,  $N$ 은 디스플레이 장치의 입력 디지털 값의 비트수이다. 즉  $2^N-1$ 을 하면 입력 디지털 값의 최대값이 되고, 입력 디지털 값을 0에서 1까지 정규화 하기 위하여 나누는 데 사용된다.  $R$ ,  $G$ ,  $B$ 는 각각 Red, Green, Blue 채널에서의 입력 디지털 값에 따른 휘도 값을 0에서 1까지 정규화 했을 때의 값이다. 최적의 파라미터  $A$ ,  $a$ ,  $\beta$ ,  $C$  값을 구하기 위해 RGB 채널별로 등간격의 디지털 값으로 32개의 패치를 만들고, 각각의 XYZ값을 측정하여 입력 디지털 값과

그에 따른 측정치를 위의 식 (1)에 대입한다. 최적화 알고리즘을 사용하여 가장 최적화된 파라미터  $A$ ,  $a$ ,  $\beta$ ,  $C$  값을 계산함으로써 XYZ값의 전기-빛 입출력 곡선을 모델링하고 추정한다. 모델링한 결과값을 다음 식과 같은 행렬 연산에 대입하여 CIEXYZ 값을 구한다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \text{diag} \begin{pmatrix} X_{r,\max} & X_{g,\max} & X_{b,\max} \\ Y_{r,\max} & Y_{g,\max} & Y_{b,\max} \\ Z_{r,\max} & Z_{g,\max} & Z_{b,\max} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} R_x & R_y & R_z \\ G_x & G_y & G_z \\ B_x & B_y & B_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기에서  $X_{\max}$ ,  $Y_{\max}$ ,  $Z_{\max}$ 는 각 채널별로 가장 큰 디지털 값을 입력으로 주었을 때 출력되는 빛의 CIEXYZ 값이고  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$  값은 식 (1)에서 모델링 한 Red 채널의 정규화 된  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  값의 추정치이다.

#### 4.1 제안한 색 정합 참조표

본 논문에서는 모바일 디스플레이에 적합한 3차원적인 색 정합 참조표를 제안하였다. 색 정합 참조표를 이용하면 단순히 3차원 사면체 보간 과정만으로 모니터와 모바일 디스플레이 사이의 색 정합을 수행할 수 있다.

모니터와 모바일 디스플레이간의 색 정합을 위한 참조표를 작성하기 위해서는 먼저 모니터와 모바일 디스플레이의 색역을 구해야 한다. 216(6×6×6)개의 RGB 공간에서 균등하게 샘플링한 패치를 차례로 디스플레이에 띄운 후 각 패치의 CIEXYZ 값을 분광방사휘도계(spectroradiometer)로 측정한다. 측정된 CIEXYZ 값은 색역 사상을 위해 인간시각에 균일한 CIELAB 색 좌표계의 값으로 변환한다[6]. 모바일 디스플레이의 색역에 비해 모니터의 색역 차이를 보상하기 위해 앞에서 구한 모니터의 216개 CIELAB 값을 모바일 디스플레이의 색역 내부에 전부 위치시키도록 하는 색역 사상을 수행한다[7]. 그리고 색역 사상 후의 모바일 디스플레이 색역 내부로 모인 216개의 CIELAB 값을 앞에서 구한 모바일 디스플레이의 216개 RGB와 CIELAB 값의 쌍을 이용하여 모바일 디스플레이의 R'G'B'값으로 변화시킨다. 마지막으로 모니터의 RGB 값과 그에 대응하는 모바일 디스플레이의 R'G'B' 값의 순서쌍을 나열함으로써 색 정합 참조표 작성을 완성하게 된다.

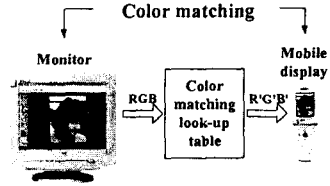


그림 2. 색 정합 참조표를 이용한 모니터와 모바일 디스플레이 사이의 색 정합

### V. 실험 및 결과

표 1은 노트북(삼보 드림북 H6600)의 LCD 패널을 S-curve 모델과 개선된 S-curve 모델을 이용하여 특성화 하였을 때의 특성화 오차 나타낸 것이다. S-curve 모델로 추정된 216개의 평균 오차는 허용 오차보다 큰 반면 개선된 S-curve 모델로 추정된 216개 패치에 대한 평균 오차는 허용 오차보다 적음을 알 수 있다. 허용 오차는 표 2를 참고로 하여 판단하였다. 표 2는 인접한 두 칼라 패치에 대해서 인간이 인지할 수 있는 차이를 그에 해당하는 정량적인 CIELAB 공간에서의 색차와 비교한 것이다[8].

표 1. S-curve 모델과 개선된 S-curve 모델을 이용한 LCD 패널의 특성화 오차

Patches	S-curve model		Improved S-curve model	
	$\Delta E_{\text{avg}}$	$\Delta E_{\text{max}}$	$\Delta E_{\text{avg}}$	$\Delta E_{\text{max}}$
32 Red	5.421	9.609	0.664	3.458
32 Green	4.335	7.134	0.4654	2.342
32 Blue	10.33	17.57	1.909	4.256
216	8.679	18.80	3.427	7.944

표 2. 인접한 두 패치 사이의 측정된 색차에 대한 대략적인 실제적 해석

$\Delta E_{\text{ab}}$	Effect
$\Delta E_{\text{ab}} < 3$	Hardly perceptible
$3 < \Delta E_{\text{ab}} < 6$	Perceptible, but acceptable
$\Delta E_{\text{ab}} > 6$	Not acceptable

그림 3은 CRT 모니터와 휴대폰, 그림 4는 CRT 모니터와 PDA 상에서 색 정합 전과 후의 영상을 디지털 카메라로 캡처하여 비교한 영상이다. 모니터와 정확히 동일한 색을 보이지는 않지만 모바일 디스플레이의 색 정합 후의 영상이 색 정합을 하지 않은 영상에 비해 색 표현 능력이 향상됨을 알 수 있다

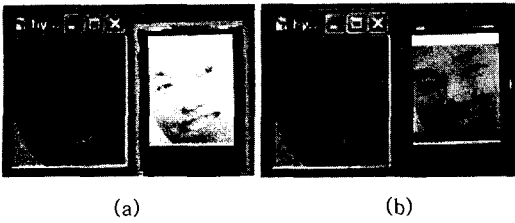


그림 3. 카메라로 촬영한 CRT 모니터와 휴대폰 상의 얼굴 영상 비교 (a) 색 정합 전 (b) 색 정합 후

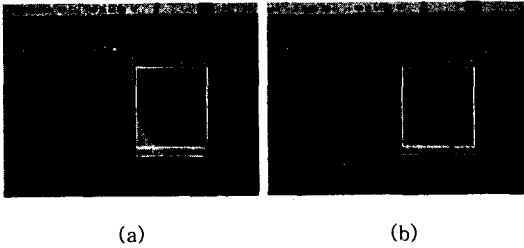


그림 4. 카메라로 촬영한 CRT 모니터와 PDA 상의 얼굴 영상 비교 (a) 색 정합 전 (b) 색 정합 후

색 정합 참조표의 크기가 참조표의 성능과 어떤 관계가 있는지 실험을 통해 알아보았다. 성능평가 기준은 색 정합 참조표를 사용하여 색 정합을 수행한 영상과 모든 복잡한 과정을 정식으로 거친 색 정합 결과 영상과의 CIELAB색차이다. 참조표의 크기는 729(9×9×9), 216(6×6×6), 125(5×5×5), 64(4×4×4), 27(3×3×3)로 다섯 경우에 대해서 실험하였다. 인위적으로 RGB 공간에서 4096(16×16×16)개의 균일하게 분포한 값을 가지는 영상으로 실험을 하여 수치적인 결과를 얻었다. 표 3에서 보는 바와 같이 참조표의 크기가 64(4×4×4) 이상이면 허용 오차( $\Delta E_{ab} < 6$ ) 안으로 들어오는 결과 영상을 얻을 수 있음을 볼 수 있다.

표 3. 색 정합 과정을 정식으로 거친 영상과 다양한 크기의 색 정합 참조표를 이용한 영상간의 CIELAB 색차

LUT size	$\Delta E_{ab}$	
	$\Delta E_{avg}$	$\Delta E_{max}$
729	1.474	13.08
216	2.586	18.02
125	3.773	22.26
64	5.472	27.07
27	9.239	40.93

## VI. 결론

본 논문에서는 모니터와 모바일 디스플레이 장치 사이의 복잡한 색 정합 방법을 단순화 시키는 색 정합 참조표를 제안하였다. 또한 색 정합을 위한 데이터를 얻기 위해 디스플레이의 장치를 특성화 하였고 이를 바탕으로 장치 독립적인 색 공간에서 색 정합을 할 수 있었다. 그 가운데 LCD 디스플레이의 정확한 장치 특성화를 위해 개선된 S-curve 모델을 제안하였다. 또한 여러 크기의 색 정합 look-up table을 만들어 실험한 결과 색 정합 look-up table의 크기가 64(4×4×4) 이상인 색 정합 look-up table을 사용하면, 복잡한 색 정합 과정을 거친 영상과 비교해 볼 때, 색차가 허용 오차( $\Delta E_{ab} < 6$ ) 안으로 들어오는 영상을 얻을 수 있음을 확인하였다.

## 참고문헌

- [1] R. S. Berns, R. J. Motta, and M. E. Gorzynski, "CRT Colorimetry. Part I: Theory and Practice," *Color Research and Application*, vol. 18, no. 5, pp. 299-314, Oct. 1993.
- [2] R. S. Berns, M. E. Gorzynski, and R. J. Motta, "CRT Colorimetry. Part II: Metrology," *Color Research and Application*, vol. 18, no. 5, pp. 315-325, Oct. 1993.
- [3] R. S. Berns, "Methods for characterizing CRT displays," *Displays*, vol. 16, no. 4, pp. 173-182, May 1996.
- [4] Y. S. Kwak and L. W. MacDonald, "Characterisation of a desktop LCD projector," *Displays*, vol. 21, no. 5, pp. 179-194, Dec. 2000.
- [5] Y. S. Kwak and L. W. MacDonald, "Accurate prediction of color liquid crystal displays," *Ninth Color Imaging Conference: Color Science and Engineering*, Scottsdale, U.S.A., pp. 355-359, Nov. 2001.
- [6] M. D. Fairchild, *Color Appearance Models*, Addison-Wesley, 1998.
- [7] C. S. Lee, Y. W. Park, S. J. Cho, and Y. H. Ha, "Gamut mapping algorithm using lightness mapping and multiple anchor points for linear tone and maximum chroma reproduction," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 45, no. 3, pp. 209-223, May/June 2001.
- [8] J. Y. Hardeberg, *Acquisition and reproduction of color Images: Colorimetric and multispectral approaches*, Dissertation.com, 2001.