논문 2004-41SP-6-5

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

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

박 기 현*, 이 명 영*, 이 철 희***, 하 영 호**

(Kee-Hyon Park, Myong-Young Lee, Cheol-Hee Lee, and Yeong-Ho Ha)

요 약

본 논문에서는 모니터와 모바일 디스플레이간의 복잡한 색 정합 과정을 단순화시키는 3차원의 색 정합 look-up table(LUT)을 설계하였다. 색 정합을 위해서는 우선 영상의 색을 CIEXYZ 혹은 CIELAB 등의 장치 독립적인 색 공간에서 처리하여야 한다. 장치 의존적인 RGB 색 공간의 데이터에서 장치 독립적인 색 공간의 데이터를 얻기 위해서는 디스플레이 특성화 과정이 필요하다. 기존의 S-curve 모델을 이용하여 LCD를 특성화 하면 LCD의 비선형적인 계조 특성으로 인해 특성화 오차가 허용 오차보다 커지게 된다. 본 논문에서는 X, Y, Z의 전기-빛 입출력 특성을 이용하여 S-curve 모델의 특성화 오차를 줄였다. 또한 모니터와 모바일 디스플레이간의 색 정합을 수행함으로써 색 표현력이 향상된 영상을 모바일 디스플레이에서 획득할 수 있었으며, 실험을 통하여 허용오차 내의 색 정합 LUT의 최소 크기가 64(4×4×4)라는 것을 확인하였다.

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 other to perform color matching, it is necessary to process color of image in the device independent color space like CIEXYZ or CIELAB. To obtain the data of the device independent color space from that of the device dependent RGB color space, we must perform display characterizations. LCD characterization error using S-curve model is larger than tolerance error since LCD is more nonlinear than CRT. This paper improves the S-curve model to have smaller characterization error than tolerance error using the electro-optical transfer functions of X, Y, and Z value. We obtained images having higher color fidelity on mobile display devices through color matching experiments between monitor and mobile display devices. As a result of this 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.

Keywords : 색 정합, 디스플레이 특성화, look-up table

I. 서 론

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 편

* 학생회원, ** 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National Univ.)
*** 정회원, 안동대학교 컴퓨터공학전공
(Major of Computer Engineering, Andong National Univ)

※ 본 연구는 과학기술부 NRL 사업(M10412000102-04J0000-03910) 지원에 의해서 수행되었습니다.
접수일자: 2003년12월26일, 수정완료일: 2004년11월4일

향되어 있는 등 디스플레이의 특성이 상대적으로 좋지 못하다. 이는 모바일 장치의 특성상 소전력으로 디스플레이를 구동해야 하는 상황에서 생기는 전자 회로적인 한계이다. 이러한 현상 때문에 동일한 RGB 디지털 입력값이 모니터와 모바일 디스플레이에 주어졌을 때 각각의 출력 색에 큰 차이가 생긴다. 이로 인하여 모바일 컨텐츠 디자이너가 모니터 상에서 영상 컨텐츠를 제작하거나 휴대폰 사용자가 모니터 상에서 영상 컨텐츠를 선택한 후 다운로드한 영상을 휴대폰으로 볼 경우 디자이너 혹은 사용자에게 있어서 모니터와 휴대폰간에 색이 달라 보임으로 인해 혼란을 초래할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 모니터와 모바일 디스플레이 장치 간의 색차를 줄이기 위한 색 정합 과정이 필요하다. 비교적 색역의 차이가 많이 나는 모니터와 모바일 디스플레이 장치간의 색 정합을 위해서는 장치 독립적인 색 공간에서의 처리는 물론 두 장치 사이의 색역 차이를 보상하기 위한 색역 사상을 수행하여야 한다[1-9].

RGB 색 공간에서 CIEXYZ 혹은 CIELAB 등의 장치 독립적인 색 공간으로의 변환은 디스플레이 장치의 특성화 과정을 통해서 이루어진다[11-14]. 디스플레이의 특성화란 특정 디스플레이 장치에 대하여 입력으로 들어가는 RGB 값과 출력으로 나오는 표준 색 자극 사이의 관계를 도출하는 것이다. 이러한 디스플레이의 특성화를 수행한 후 얻어진 디스플레이의 장치 독립적인 색 공간에서의 데이터를 이용하여 모니터와 모바일 디스플레이간의 큰 색역 차이를 보상하기 위한 색역 사상을 수행한다. 색역 사상 후 정합된 장치 독립적인 색 공간에서의 데이터를 장치 의존적인 RGB 색 공간으로 변형하여 모바일 디스플레이의 입력 디지털 값으로 인가함으로써 색 정합이 가능하다. 그러나 이러한 일련의 과정들은 모바일 장치에서 처리하기에는 연산 과정이 너무 복잡하므로 모바일 장치에 적합하도록 단순화하여야 한다.

본 논문에서는 모니터와 모바일 디스플레이간의 색 정합 과정을 단순화하기 위한 색 정합 look-up table (LUT)을 제안하였다. 또한, 장치 의존적인 색 좌표를 장치 독립적인 색 좌표로 변환하는 장치 특성화 과정 중 LCD 패널에 적합한 개선된 S-curve 모델을 제안하여 그 성능을 평가하였다. 실제 LCD 패널을 이용한 특성화 실험을 통해 개선된 S-curve 모델의 특성화 오차가 기존의 S-curve 모델의 특성화 오차에 비해 많이 줄어듦을 알 수 있었으며, 모니터와 모바일 디스플레이간의 색 정합 실험을 통해 색 정합 후의 모바일 디스플레이의 색 표현력이 색 정합 전보다 더욱 우수함을 볼 수 있었다. 나아가 모바일 디스플레이 장치에 적합한 단순한 색 정합 과정을 위해 LUT를 만들고 LUT의 크기에 따른 색재현성을 평가하여 허용 가능한 최소 LUT 크기를 결정하였다.

Ⅱ. 디스플레이 특성화

디스플레이의 특성화란 특정 디스플레이 장치에 대하여 입력으로 들어가는 RGB 값과 출력으로 나오는 표준 색 자극 사이의 관계를 도출하는 것이다. 따라서 특성화가 잘 이루어져 있으면 입력 RGB 값에 따른 출력되는 색 자극 값을 정확히 추정할 수 있고, 역으로 출력 색 자극 값에 따른 입력 RGB 값도 정확하게 추정할 수 있게 된다. 즉, 임의의 입력 RGB 값에 대하여 표현되는 출력 색 자극 값과, 임의의 색 자극 값을 표현하기 위한 장치의 입력 RGB 값을 추정할 수 있게 된다. 이를 이용하여 각 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[10-12]이 있으며, LCD를 특성화하기 위한 방법으로는 LCD의 S자 형태의 전기-빛 입출력 곡선을 모델링 한 S-curve 모델[13,14]이 있다.

LCD의 특성화를 위한 기존의 S-curve 모델은 GOG 모델과 유사하지만 모델링을 위한 함수에서 차이가 있다. 즉, S-curve 모델에서는 GOG 모델에서의 지수 형태의 함수 대신 S자 모양의 함수를 모델링한다. 입력 디지털 값과 출력되는 영상의 휘도 값을 각 Red, Green, Blue 채널별로 다음의 식을 이용하여 모델링 한다.

$$R = A_r \frac{[d_r/(2^N-1)]^{\alpha_r}}{[d_r/(2^N-1)]^{\beta_r} + C_r} \tag{1}$$

$$G = A_g \frac{[d_g/(2^N-1)]^{\alpha_g}}{[d_g/(2^N-1)]^{\beta_g} + C_g} \tag{2}$$

$$B = A_b \frac{[d_b/(2^N-1)]^{\alpha_b}}{[d_b/(2^N-1)]^{\beta_b} + C_b} \tag{3}$$

여기서 d_r, d_g, d_b는 입력 디지털 값이고, N은 디스플레이 장치의 입력 디지털 값의 bit 수 이다. 즉 2^N-1을 하면 입력 디지털 값의 최대값이 되고, 입력 디지털

값을 0에서 1까지 정규화 하기 위하여 나누는 데 사용된다. R, G, B는 각각 Red, Green, Blue 채널에서의 입력 디지털 값에 따른 휘도 값을 0에서 1까지 정규화 했을 때의 값이다. 최적의 파라미터 A, α, β, C 값을 구하기 위해 RGB 채널별로 등간격의 디지털 값으로 32개의 패치를 만들고, 각각의 휘도 값을 측정하여 입력 디지털 값과 그에 따른 휘도 값을 위의 식 1, 2, 3에 대입한다. 최적화 알고리즘을 사용하여 가장 최적화 된 파라미터 A, α, β, C 값을 계산함으로써 전기-빛 입출력 곡선을 모델링하고 정규화된 휘도 값을 추정한다. 채널별로 추정한 정규화된 휘도 값을 다음과 같은 행렬 연산을 이용해 CIEXYZ 값으로 변환한다.

$$\begin{matrix} X \\ Y \\ Z \end{matrix} = \begin{matrix} X_{r,max} & X_{g,max} & X_{b,max} \\ Y_{r,max} & Y_{g,max} & Y_{b,max} \\ Z_{r,max} & Z_{g,max} & Z_{b,max} \end{matrix} \begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix} \quad (4)$$

행렬 내부에 각 열의 값은 각 채널별로 가장 큰 디지털 값을 입력으로 주었을 때 출력되는 빛의 CIEXYZ 값이다. R, G, B 는 식 1, 2, 3에서 구한 RGB 세 채널에서의 정규화된 휘도의 추정값이다. 이러한 행렬 연산 과정을 통하여 입력 디지털 값에 대한 출력 되는 색의 X, Y, Z 값의 관계를 구할 수 있다[13,14].

III. 디스플레이간 색 정합

1. 장치 독립적인 색 정합

디스플레이 장치마다 구동원리와 색 재현 특성이 다르기 때문에 동일한 영상의 RGB 값을 여러 종류의 디스플레이 장치에 인가하여 영상을 출력하였을 경우 각 장치마다 출력되는 영상의 색은 동일하지 않게 된다.

따라서, 장치 사이의 색을 일치시키기 위해서는 장치 독립적인 색 정합이 필요하다. 장치 독립적인 색 정합이란 CIEXYZ, CIELAB 등의 국제조명기구에서 제정한 장치 독립적인 색 공간에서 동일 좌표의 색을 장치에 따른 입력 RGB 값으로 변환 후 디스플레이 장치에 인가하여 장치 사이의 색을 일치시키는 것을 말한다.

2. 모니터와 모바일 디스플레이 장치간 색 정합

모니터와 모바일 디스플레이 장치 사이의 색역은 그림 1과 2에서 보는 것처럼 매우 큰 차이를 보인다. 따라서 모니터와 모바일 디스플레이 사이의 색 정합을 위해서는 장치 독립적인 색 공간에서 색 정합을 하여야 할 뿐만 아니라 모바일 디스플레이의 색역 외부의 색을 색

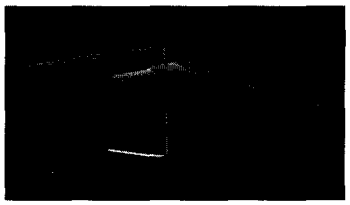


그림 1. CRT 모니터(그물망)와 휴대폰(입방체)의 색역
Fig. 1. Gamuts of CRT monitor(mesh) and mobile phone(solid).

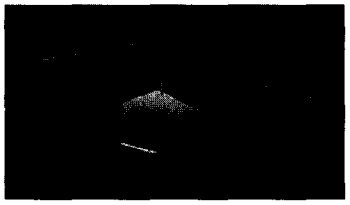


그림 2. CRT 모니터(그물망)와 PDA(입방체)의 색역
Fig. 2. Gamuts of CRT monitor(mesh) and PDA(solid).

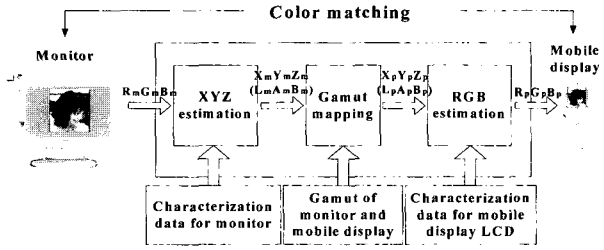


그림 3. 모니터와 모바일 디스플레이 사이의 색 정합 과정
Fig. 3. Color matching procedure between monitor and mobile display.

역 내부의 유사색으로 표현하는 색역 사상(gamut mapping) 과정이 필요하다.

본 논문에서는 다음 그림에서와 같이 가변 다중 닻점 기법의 색역 사상 방법을 이용한다[8]. 이 방법은 기존의 하나의 닻점을 사용하던 방법과 달리 여러 개의 닻점을 영역에 따라서 가변적으로 설정해 사용함으로써, 사상 후 색역의 전 범위에서 거의 일정한 색의 변화를 이룰 수 있게 하였다. 이 과정을 거치면 모바일 디스플레이 색역 밖의 색이 모바일 디스플레이 색역 안으로 사상이 되어, 임의의 모니터 색을 모바일 디스플레이 색역 안의 색으로 바꾸어 표현할 수 있게 된다.

모니터와 모바일 디스플레이간의 색 정합 과정은 우선, 모니터의 RGB 값을 모니터 특성화 데이터를 이용하여 장치 독립적인 색 좌표인 CIEXYZ 값으로 바꾸어 주고, 색역의 차이를 보상하기 위하여 색역 사상 과정을 거쳐 모바일 디스플레이의 색역 안에 포함되는 CIEXYZ 값으로 사상한 후, 모바일 디스플레이의 특성화 데이터를 이용하여 그에 상응하는 모바일 디스플레이의 RGB 값으로 바꾸어 주는 과정을 거친다. 그림 3

은 이러한 모니터와 모바일 디스플레이간의 색 정합 전 과정을 보여주고 있다.

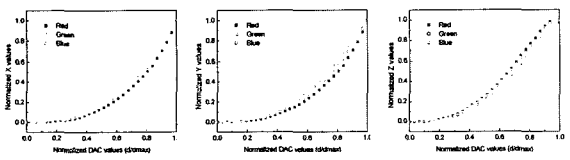
Ⅳ. 제안한 개선된 S-curve 모델

그림 4에서 보는 바와 같이 X, Y, Z 값에 대한 LCD의 전기-빛 입출력 특성을 실제 측정을 통해 그래프로 비교해 보면 X, Y, Z 값 마다 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. 따라서, 본 논문에서는 LCD의 전기-빛 입출력 곡선을 X, Y, Z 값에 대해 각기 모델링하여 특성화를 수행하는 알고리즘을 제안함으로써 단일 Y 값의 전기-빛 입출력 곡선만을 모델링하는 방법에 비해 특성화의 정확도를 높이고자 하였다.

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 모델링한다.

$$R_I = A_{r_I}\frac{[d_r/(2^N-1)]^{\alpha_{r_I}}}{[d_r/(2^N-1)]^{\beta_{r_I}}+C_{r_I}} \tag{5}$$

$$G_I = A_{g_I}\frac{[d_r/(2^N-1)]^{\alpha_{g_I}}}{[d_r/(2^N-1)]^{\beta_{g_I}}+C_{g_I}} \tag{6}$$



(a) (b) (c)

그림 4. 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

Fig. 4. Electro-optical transfer function of X, Y, Z value for LCD panel; (a) electro-optical transfer function of X value, (b) electro-optical transfer function of Y value, and (c) electro-optical transfer function of Z value.

$$B_I = A_{b_I}\frac{[d_r/(2^N-1)]^{\alpha_{b_I}}}{[d_r/(2^N-1)]^{\beta_{b_I}}+C_{b_I}} \tag{7}$$

여기서 $I = X, Y, Z$ 이다. 그리고 Y 값을 추정할 때는 각 채널에서 구한 Y의 전기-빛 입출력 곡선을 사용하고, X와 Z 값을 추정할 때는 Y의 전기-빛 입출력 곡선을 사용하지 않고 X는 각 채널에서 구한 X의 전기-빛 입출력 곡선을, Z는 각 채널에서 구한 Z의 전기-빛 입출력 곡선을 이용한다. 즉, 모델링한 결과값을 다음 식과 같은 행렬 연산에 대입하여 CIEXYZ 값을 구한다.

$$\begin{matrix} X \\ Y \\ Z \end{matrix} = diag\begin{pmatrix} X_{r,max} & X_{g,max} & X_{b,max} & R_X\ R_Y\ R_Z \\ Y_{r,max} & Y_{g,max} & Y_{b,max} & G_X\ G_Y\ G_Z \\ Z_{r,max} & Z_{g,max} & Z_{b,max} & B_X\ B_Y\ B_Z \end{pmatrix} \tag{8}$$

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 5에서 모델링 한 Red 채널의 정규화 된 X, Y, Z 값의 추정치 이고 G_X, G_Y, G_Z 및 B_X, B_Y, B_Z 는 식 6와 7에서 모델링 한 Green과 Blue 채널에서의 정규화 된 X, Y, Z 값의 추정치이다.

Ⅴ. 제안한 색 정합 LUT

모니터와 모바일 디스플레이 사이의 색 정합 과정은 연산량이 많은 여러 복잡한 과정으로 이루어져 있다. $R_mG_mB_m$에서 $X_mY_mZ_m$으로의 변환을 위해서는 모니터 특성화 과정에서 구한 관계를 이용하여 RGB에 대한 CIEXYZ 값을 추정하여야 하고, 색역 사상 과정에서는 모니터와 모바일 디스플레이 색역 사이의 기하학적인 위치 관계를 계산하여 색 좌표를 이동시키는 비교적 연산의 복잡도가 큰 과정을 거쳐야 한다. 그리고, 마지막 단계인 $X_pY_pZ_p$에서 $R_pG_pB_p$로의 변환 과정에서는 LCD를 특성화하면서 구한 RGB와 CIEXYZ의 관계를 이용하여 만들어 낸 $R_pG_pB_p$와 $X_pY_pZ_p$ 값의 쌍을 3차원적인 LUT 형태로 만들어 사면체 보간을 수행하는 과정이 필요하다[15-16]. 모바일 디스플레이에서 이러한 복잡한 연산 과정을 수행하는 데에는 한계가 있으므로, 모바일 디스플레이 장치에서 수행이 가능한 간단한 색 정합 과정이 필요하다.

본 논문에서는 모바일 디스플레이에 적합한 3차원적

인 색 정합 LUT를 제안하였다. 색 정합 LUT를 이용하면 단순히 3차원 사면체 보간 과정만으로 모니터와 모바일 디스플레이 사이의 색 정합을 수행할 수 있다.

1. 색 정합 LUT 작성

모니터와 모바일 디스플레이간의 색 정합을 위한 LUT를 작성하기 위해서는 먼저 모니터와 모바일 디스플레이의 색역을 구해야 한다. 디스플레이의 색역은 디스플레이가 표현할 수 있는 색의 범위를 나타내는 것이므로 색역을 구하기 위해서는 디스플레이에 모든 종류의 패치를 띄운 후 측색하여 색역을 정해야 하지만 256×256×256 개의 모든 패치를 측정하기는 많은 시간이 소요되어 사실상 불가능하므로 패치를 샘플링하여 측정한다. 본 논문에서는 216(6×6×6)개의 RGB 공간에서 균등하게 샘플링한 패치를 차례로 디스플레이에 띄운 후 각 패치의 CIEXYZ 값을 분광방사휘도계(spectroradiometer)로 측정한다. 측정한 CIEXYZ 값은 색역 사상을 위해 인간시각에 균일한 CIELAB 색 좌표계의 값으로 변환한다[17].

모니터와 모바일 디스플레이의 색역을 CIELAB 공간상에서 표시할 경우 모바일 디스플레이의 색역에 비해 모니터의 색역이 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 이를 보상하기 위해 앞에서 구한 모니터의 216개 CIELAB 값을 모바일 디스플레이의 색역 내부에 전부 위치시키도록 하는 색역 사상을 수행한다.

그리고 색역 사상 후의 모바일 디스플레이 색역 내부로 모인 216개의 CIELAB 값을 앞에서 구한 모바일 디스플레이의 216개 $R_mG_mB_m$과 CIELAB 값의 쌍을 이용하여 모바일 디스플레이의 $R_pG_pB_p$ 값으로 변화시킨다. 마지막으로 모니터의 $R_mG_mB_m$ 값과 그에 대응하는 모바일 디스플레이의 $R_pG_pB_p$ 값의 순서쌍을 나열함으로써 색 정합 LUT 작성을 완성하게 된다. 그림 5에서는 색 정합 LUT를 작성하는 과정에 대한 흐름도를 간략하게 보여주고 있다.

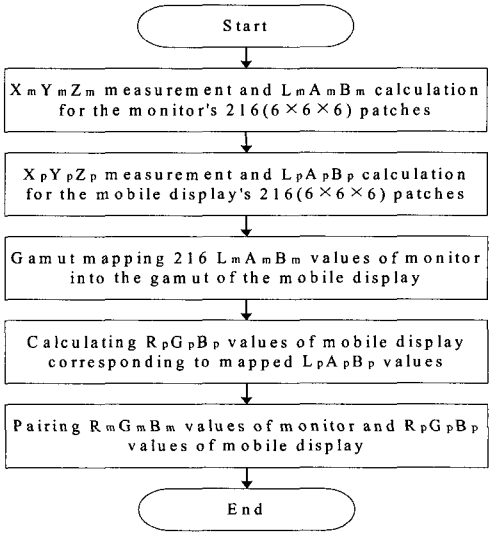


그림 5. 216(6×6×6) 크기의 색 정합 LUT 작성 과정

Fig. 5. The procedure of design for color matching LUT with 216(6×6×6) size.

VI. 실험 및 결과

LCD에 대해서 특성화 실험을 하여 LCD 특성화를 위한 기존의 S-curve 모델과 제안한 개선된 S-curve 모델의 성능을 평가하였고, 모니터와 모바일 디스플레이에 대한 색 정합 실험을 하였다. 또한 색 정합 LUT를 만들고 그 성능을 평가하기 위해 다양한 크기의 LUT를 만들어 실험함으로써 색 정합 LUT의 최소 크기를 정하였다. 실험에 사용된 LCD는 삼보 드림북 H6600 노트북의 LCD 패널을 사용하였다. 모바일 디스플레이는 휴대폰(삼성)과 PDA(삼성)의 LCD 패널을 사용하였으며 디스플레이의 CIEXYZ 값을 측정하기 위해 분광방사휘도계(spectroradiometer, Minolta CS-1000)를 사용하였다.

1. LCD 특성화 실험

LCD 특성화를 위해 기존의 S-curve 모델과 본 논문에서 제안한 개선된 S-curve 모델을 사용하였고 제안한 모델의 특성화 성능이 어느 정도 향상되었는지 알아보기 위하여 특성화 오차를 비교하였다. S-curve 모델을 적용하기 위해 우선 Red, Green, Blue 채널별로 32개의 패치를 측정하여 휘도 값을 구하고 이를 이용하여 그림 6과 같은 전기-빛 입출력 곡선을 모델링 하였다. 그림 6에서 가로축은 정규화된 디지털 입력 값이며 세로축은 정규화된 휘도 값이다. 각 R, G, B 당 32개의 점은 채널별 등간격의 디지털 입력 값에 대한 휘도의 측정치를 정규화 한 값이고, R, G, B 세 곡선은 채널별로 모델링으로써 예측된 세 채널의 정규화된 휘도 값 즉, 전기-빛 입출력 곡선을 나타낸다. 개선된 S-curve 모델은 그림 7, 8과 같이 휘도뿐만 아니라 X와 Z의 전기-빛 입출력 곡선을 모두 추정한다. 휘도를 측정할 때와 동일한 32개의 패치의 X, Y, Z 값을 측정하고 모델링 한다.

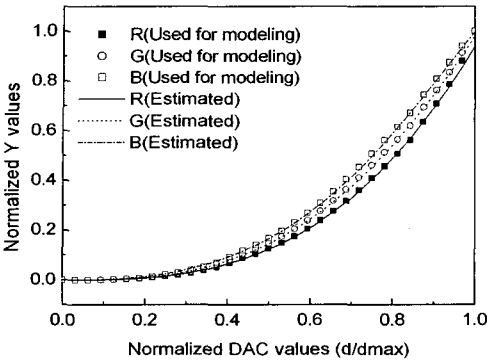


그림 6. S-curve 모델로 예측한 LCD 모니터의 Y 값에 대한 전기-빛 입출력 곡선

Fig. 6. Estimated electro-optical transfer function of luminance for the LCD monitor using the S-curve model.

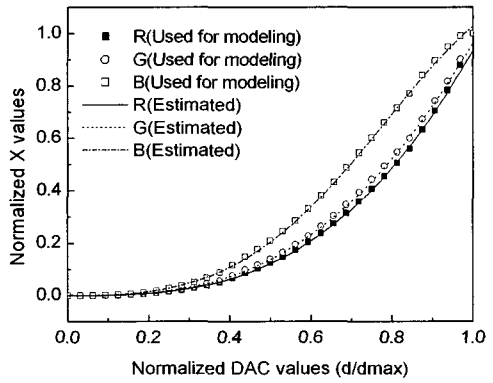


그림 7. 개선된 S-curve 모델에서 예측한 LCD 패널의 X 값의 전기-빛 입출력 곡선

Fig. 7. Estimated electro-optical transfer function of X value for the LCD panel by the improved S-curve model.

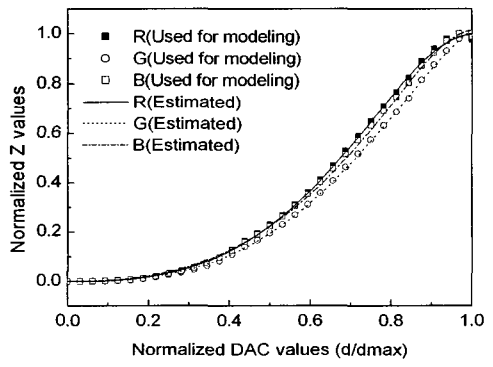


그림 8. 개선된 S-curve 모델에서 예측한 LCD 패널의 Z 값의 전기-빛 입출력 곡선

Fig. 8. Estimated electro-optical transfer function of Z value for the LCD panel by the improved S-curve model.

표 1. S-cruve 모델을 이용한 LCD 패널의 특성화 오차

Table 1. Characterization error of the LCD panel using the S-curve model.

CIELAB error	ΔE_{avg}	$\Delta E_{\max}$
32 Red patches	5.421	9.609
32 Green patches	4.335	7.134
32 Blue patches	10.33	17.57
216 patches	8.679	18.8

표 2. 개선된 S-cruve 모델을 이용한 LCD 패널의 특성화 오차

Table 2. Characterization error of the LCD panel using the improved S-curve model.

CIELAB error	ΔE_{avg}	$\Delta E_{\max}$
32 Red patches	0.664	3.458
32 Green patches	0.465	2.342
32 Blue patches	1.909	4.256
216 patches	3.427	7.944

표 3. 인접한 두 패치 사이의 측정된 색차에 대한 대략적인 실제 해석

Table 3. Rule of thumb for the practical interpretation of measuring the color difference between two color patches viewed side by side.

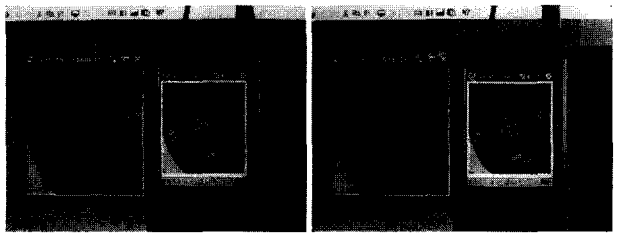
ΔE_{ab}	Effect
$\Delta E_{ab} < 3$	Hardly perceptible
$3 < \Delta E_{ab} < 6$	Perceptible, but acceptable
$\Delta E_{ab} > 6$	Not acceptable

표 1은 노트북(삼보 드림북 H6600)의 LCD 패널을 S-curve 모델로 특성화 하였을 때의 측정한 값과의 오차를 나타낸 것이고, 표 2는 개선된 S-curve 모델을 이용하여 특성화 하였을 때의 특성화 오차 나타낸 것이다. 각 Red, Green, Blue 채널에서 샘플링한 등간격의 32개의 패치와 216(6×6×6)개의 RGB 공간에서 균등하게 샘플링한 패치에 대한 측정치와 추정치 간의 CIELAB 좌표계에서의 평균 색차와 최대 색차를 보여주고 있다. 각 Red, Green, Blue 채널에서 샘플링한 등간격의 32개의 패치는 특성화 파라미터를 최적화할 때 사용한 패치이고 216(6×6×6)개의 RGB 공간에서 균등하게 샘플링한 패치는 특성화 파라미터를 최적화할 때 사용하지 않은 패치이다. S-curve 모델로 추정한 216개의 평균 오차는 허용 오차보다 큰 반면 개선된 S-curve 모델로 추정한 216개 패치에 대한 평균 오차는 허용 오차보다 적음을 알 수 있다. 허용 오차는 표 4를 참고로

(a) (b)

그림 9. 카메라로 촬영한 CRT 모니터와 휴대폰 상의 얼굴 영상 비교 (a) 색 정합 전 (b) 색 정합 후

Fig. 9. Comparison of the photographed facial image on the CRT monitor and mobile phone; (a) before color matching and (b) after color matching.



(a) (b)

그림 10. 카메라로 촬영한 CRT 모니터와 PDA 상의 얼굴 영상 비교 (a) 색 정합 전 (b) 색 정합 후

Fig. 10. Comparison of the photographed facial image on the CRT monitor and PDA; (a) before color matching and (b) after color matching.

하여 판단하였다. 표 3은 인접한 두 칼라 패치에 대해서 인간이 인지할 수 있는 차이를 그에 해당하는 정량적인 CIELAB 공간에서의 색차와 비교한 것이다[18].

2. 모니터와 모바일 디스플레이간 색 정합 실험

CRT 모니터와 휴대폰, CRT 모니터와 PDA간의 색 정합 실험을 하였다. 그림 9는 CRT 모니터와 휴대폰, 그림 10은 CRT 모니터와 PDA 상에서 색 정합 전과 후의 영상을 디지털 카메라로 촬영하여 비교한 영상이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 모니터와 색 정합 전의 모바일 디스플레이의 영상을 비교해 보면 두 영상의 색이 상당히 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이는 각 디스플레이마다 색 재현 특성이 다를 뿐만 아니라 색을 표현할 수 있는 범위 즉, 색역의 차이로 인한 것이라 할 수 있다. 하지만 색 정합 후의 모바일 디스플레이와 모니터의 영상을 비교해 보면 두 영상이 정확히 동일한 색을 보이지는 않지만 색 정합을 하지 않은 모바일 디스플레이의 영상에 비해 색 정합을 수행한 모바일 디스플레이의 영상이 모니터의 영상과 좀더 유사한 색을 보이고 있으며 색 표현 능력 또한 좀더 향상됨을 알 수 있다.

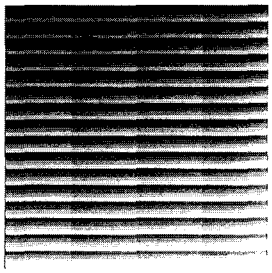


그림 11. RGB 공간에서 4096(16×16×16)개의 균일하게 분포한 값을 가지는 영상

Fig. 11. An image having equally spaced 4096(16×16×16) values in RGB space.

표 4. 색 정합 과정을 정식으로 거친 영상과 다양한 크기의 색 정합 LUT를 이용한 영상간의 R, G, B 값의 RMS오차

Table 4. RMS errors between the image processed by regular color matching algorithm and that using the color matching LUT with various size.

RMSE			
LUT size	Red	Green	Blue
729(9×9×9)	7.358	4.548	5.141
216(6×6×6)	13.65	6.909	9.429
125(5×5×5)	17.28	10.34	14.42
64(4×4×4)	22.68	14.18	19.04
27(3×3×3)	31.20	23.34	30.16

표 5. 색 정합 과정을 정식으로 거친 영상과 다양한 크기의 색 정합 LUT를 이용한 영상간의 CIELAB 색차

Table 5. CIELAB color differences between the image processed by regular color matching algorithm and that using the color matching LUT with various size.

ΔE_{ab}		
LUT size	ΔE_{avg}	$\Delta E_{\max}$
729(9×9×9)	1.474	13.08
216(6×6×6)	2.586	18.02
125(5×5×5)	3.773	22.26
64(4×4×4)	5.472	27.07
27(3×3×3)	9.239	40.93

3. 색 정합 LUT의 크기에 대한 실험

색 정합 LUT의 크기가 LUT의 성능과 어떤 관계가 있는지 실험을 통해 알아보았다. 성능평가 기준은 색정합 LUT를 사용하여 색 정합을 수행한 영상과 색 정합 LUT를 사용하지 않고 그림 3에서처럼 모든 복잡한 과

정을 정식으로 거친 색 정합 결과 영상과의 색차이다. 즉, 색 정합 LUT를 사용한 결과 영상이 복잡한 색 정합 과정을 정식으로 거친 결과 영상과 얼마나 동일한가를 평가한다. LUT의 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. 이러한 다양한 크기의 색 정합 LUT를 이용하여 나온 결과 영상과 정식으로 색 정합 과정을 거쳐 나온 결과 영상에 대해 RGB 값의 RMS오차와 CIELAB 공간에서의 색차를 비교하였다. 실험에 쓰인 영상은 좀더 객관적인 실험을 위하여 RGB 공간에서 4096(16×16×16)개의 균일하게 분포한 값을 가지는 그림 11과 같은 영상이 사용되었다. 표 5에서 보는 바와 같이 LUT의 크기가 64(4×4×4) 이상이면 허용 오차 ($\Delta E_{ab} < 6$) 안으로 들어오는 결과 영상을 얻을 수 있음을 볼 수 있다.

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 모니터와 모바일 디스플레이 장치 사이의 복잡한 색 정합 과정을 단순화시켜 실시간 처리하기 위한 색 정합 LUT를 제안하였다. 색 정합 LUT를 얻기 위해 디스플레이 장치 특성화, 색역 사상을 수행하였고 이를 바탕으로 장치 독립적인 색 공간에서 색 정합을 할 수 있었다. 또한 디스플레이 특성화 과정에서 LCD 디스플레이의 정확한 장치 특성화를 위해 개선된 S-curve 모델을 제안하였다.

디스플레이 특성화 실험을 통해 제안한 개선된 S-curve 모델이 기존의 S-curve 모델에 비해서 적은 특성화 오차를 보임을 확인하였고 색 정합 실험을 통해서는 색 정합 후 모바일 디스플레이의 색 표현 능력이 색 정합 이전보다 향상됨을 확인할 수 있었다. 색 정합 LUT 크기에 대한 색재현성 비교를 위해 다양한 크기의 색 정합 LUT를 만들어 실험한 결과 색 정합 LUT의 크기가 64(4×4×4) 이상인 색 정합 LUT를 사용하면, 복잡한 색 정합 과정을 거친 영상과 비교해 볼 때, 색차가 실험에 의해 제시된 인간 시각의 주관적 허용 오차 ($\Delta E_{ab} < 6$) 안으로 들어오는 영상을 얻을 수 있음을 확인하였다.

본 논문에서는 특정 모니터를 대상으로 하여 모바일 디스플레이의 색 정합을 수행하였지만, 모니터를 일반화시키기 위해 표준 sRGB 모니터를 대상으로 모바일 디스플레이의 색 정합을 수행하는 것 또한 가능할 것이다. 또한 색역 사상 과정에서 모니터와 모바일 디스플레이의 색역 특성에 맞는 좀더 특수화된 색역 사상 방법을 찾아 적용함을 목표로 앞으로의 연구를 수행하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] K. E. Spaulding, R. N. Ellson, and J. R. Sullivan, "UltraColor: A new gamut mapping strategy," *Device-independent Color Imaging II*, vol. 2414, pp. 61-68, 1995.

[2] E. D. Montag and M. D. Fairchild, "Psychophy-sical evaluation of gamut mapping techniques using simple rendered images and artificial gamut boundaries," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 6, no. 7, pp. 977-989, July 1997.

[3] J. Morovic, "To develop a universal colour gamut mapping algorithm," *Ph.D. Thesis*, University of Dervy, U. K., Oct. 1998.

[4] N. Katoh, M. Ito, and S. Ohno, "Three-dimensional gamut mapping using various color difference formulae and color spaces," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 8, pp. 365-379, Oct. 1999.

[5] P. G. Herzog and H. Buring, "Optimizing gamut mapping: Lightness and hue adjustment," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 44, no. 4, pp. 334-342, July/Aug. 2000.

[6] C. S. Lee, C. H. Lee, and Y. H. Ha, "Parametric gamut mapping algorithms using variable anchor points," *Journal of Imaging Science and Techno-logy*, vol. 44, no. 1, pp. 68-73, Jan./Feb. 2000.

[7] J. Morovic and M. R. Luo, "Evaluation gamut mapping algorithms for universal applicability," *Color Research and Application*, vol. 26, no. 1, pp. 85-102, Feb. 2001.

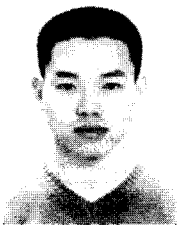
[8] C. S. Lee, Y. W. Park, S. J. Cho, and Y. H. Ha, "Gamut mapping algorithm using lightness mapping and multiple anchor points for linear tone and maximum chroma reproduction," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 45, no. 3, pp. 209-223, May/June 2001.

[9] H. S. Chen and H. Kotera, "Three-dimensional gamut mapping method based on the concept of image dependence," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 46, no. 1, Jan./Feb. 2002.

[10] 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.

[11] 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.
[12] R. S. Berns, "Methods for characterizing CRT displays," *Displays*, vol. 16, no. 4, pp. 173-182, May 1996.
[13] Y. S. Kwak and L. W. MacDonald, "Characteri-sation of a desktop LCD projector," *Displays*, vol. 21, no. 5, pp. 179-194, Dec. 2000.
[14] 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.
[15] H. R. Kang, *Color Technology for Electronic Image Device*, SPIE Optical Engineering Press, 1996.
[16] P. C. Hung, "Colorimetric calibration in electro-nic imaging devices using a look-up-table model and interpolation," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 36, no. 1, pp. 53-61, Jan. 1993.
[17] M. D. Fairchild, *Color Appearance Models*, Addison-Wesley, 1998.
[18] J. Y. Hardeberg, *Acquisition and reproduction of color Images: Colorimetric and multispectral approaches*, Dissertation.com, 2001.

저 자 소 개



박 기 현(학생회원)
2002년 2월 경북대학교 전자전기 공학부 학사 졸업.
2004년 2월 경북대학교 전자공학과 석사 졸업.
2004년 3월～현재 경북대학교 전자공학과 박사과정 재학중.
<주관심분야: 칼라 영상처리, 디스플레이 특성화, 디스플레이 색 향상, 멀티스펙트랄 영상처리>

이 명 영(학생회원)
대한전자공학회논문지
제41권 SP편 제1호 참조

이 철 희(정회원)
대한전자공학회논문지
제41권 SP편 제1호 참조

하 영 호(정회원)
대한전자공학회논문지
제38권 SP편 제3호 참조