

모바일 디스플레이를 위한 특성화 방법과 색 정합 기술

박기현[†], 하영호^{**}, 이철희^{***}

요 약

본 논문에서는 모니터와 모바일 디스플레이간의 복잡한 색 정합 과정을 단순화시키는 3차원의 색 정합 look-up table(LUT)을 설계하였다. 여기에서 영상의 색은 CIEXYZ 혹은 CIELAB 등의 장치 독립적인 색 공간에서 처리되며, 색역의 차이를 보상하기 위해 색역 사상이 수행된다. 장치 의존적인 RGB 색 공간에서 장치 독립적인 색 공간으로의 변환은 디스플레이 특성화 과정을 수행함으로써 이루어진다. 기존의 S-curve 모델을 이용하여 모바일 LCD를 특성화 하면 모바일 LCD의 채널 색도 변화와 채널 의존 특성으로 인해 특성화 오차가 허용 오차보다 커지게 된다. 본 논문에서는 R, G, B, C, M, Y, K 성분의 X, Y, Z의 전기-빛 입출력 곡선을 모두 이용하여 특성화 오차를 줄였다. 제한한 색 정합 LUT와 복잡하고 단계적인 색 정합 절차 사이의 색 정합 결과 영상 비교 실험을 통해 허용오차 내의 영상을 재현할 수 있는 색 정합 LUT의 최소 크기가 64(4×4×4)라는 것을 확인하였다.

Characterization Method and Color Matching Technology for Mobile Display

Kee-Hyon Park[†], Yeong-Ho Ha^{**}, Cheol-Hee Lee^{***}

ABSTRACT

This paper proposes a color-matching 3D look-up table that simplifies the complex color-matching procedure between a monitor and a mobile display device, where the image colors are processed in a device-independent color space, such as CIEXYZ or CIELAB, and gamut mapping performed to compensate the gamut difference. The transform from a device-dependent RGB color space to a device-independent color space is implemented by performing display characterization. The mobile LCD characterization error using the S-curve model is larger than the tolerance error since the mobile LCD has the channel-chromaticity-inconstancy and channel-dependence characteristics. In this paper we reduced the characterization error using the electro-optical transfer functions of X, Y, and Z value for R, G, B, C, M, Y, K components. Experimental results demonstrated that 64 (4×4×4) was the smallest size of color-matching look-up table that could produce an image with an acceptable reproduction error, based on a comparison of color-matched images resulting from the proposed color-matching look-up table and complex step-by-step color-matching procedures.

Key words: Color Matching(색 정합), Display Characterization(디스플레이 특성화), Gamut Mapping(색역 사상), Look-Up Table(참조표)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 이철희, 주소 : 경북 안동시 송천동 388번지(760-749), 전화 : 054)820-6190, FAX : 054)820-6164, E-mail : chlee@andong.ac.kr
접수일 : 2005년 9월 5일, 완료일 : 2006년 1월 3일

[†] 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(E-mail : simba@cc.knu.ac.kr)

^{**} 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(E-mail : yha@ee.knu.ac.kr)

^{***} 정회원, 안동대학교 컴퓨터공학전공

※ 이 논문은 2004학년도 안동대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

1. 서 론

최근에 디스플레이 장치의 기술이 놀라울 정도로 발전하여 CRT 이외에도 LCD, PDP, OLED 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. 이는 모바일 장치의 특성상 소전력으로 디스플레이를 구동해야 하는 상황에서 생기는 전자 회로적인 한계이다. 이러한 현상 때문에 동일한 RGB 디지털 입력 값이 모니터와 모바일 디스플레이에 주어졌을 때 각각의 출력 색에 큰 차이가 생긴다. 이로 인하여 모바일 콘텐츠 디자이너가 모니터 상에서 영상 콘텐츠를 제작하거나 휴대폰 사용자가 모니터 상에서 영상 콘텐츠를 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 사상[1]을 수행하여야 한다.

RGB 색 공간에서 CIEXYZ 혹은 CIELAB 등의 장치 독립적인 색 공간으로의 변환은 디스플레이 장치의 특성화 과정을 통해서 이루어진다[2-8]. 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 채널의 색도가 디지털 입력 값에 따라 변하고 채널 사이의 독립성이 보장되지 않는 모바일 LCD 패널 특성을 고려하여 각 red, green, blue 채널과 cyan, magenta, yellow 및 gray 성분의 전기-빛 입출력 곡선을 모델링 하는 특성화 방법을 제안하여 그 성능을 평가하였다. 실제 모바일 LCD 패널을 이용한 특성화 실험을 통해 제안한 방법의 특성화 오차가 기존의 S-curve 모델의 특성화 오차에 비해 많이 줄어들음을 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.

2. 디스플레이 특성화

디스플레이의 특성화(characterization)란 특정 디스플레이 장치에 대하여 입력으로 들어가는 RGB 값과 출력으로 나오는 표준 색 자극 사이에서의 입출력 전달 특성을 도출하는 것을 말한다. 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.

일반적인 디스플레이를 특성화하기 위한 방법으로는 디스플레이의 전기-빛 입출력 곡선의 지수적인

특성을 모델링 한 gain-offset-gamma(GOG) 모델 [2-4]이 있으며, 특히 LCD를 특성화하기 위한 방법으로는 LCD의 S자 형태의 전기-빛 입출력 곡선을 모델링 한 S-curve 모델[5,6]과 9개의 전기-빛 입출력 곡선을 모델링한 모델이 있으며[7] Masking 모델 [8]이 있다. 이러한 방법들은 (그림 1)에서 보는 바와 같이 크게 두 가지 단계, 즉, 입력 디지털 값과 휘도 레벨 사이의 비선형 모델링 단계, 휘도 레벨과 출력 색 자극 사이의 선형 변환 단계로 나뉘어 진다.

3. 모니터와 모바일 디스플레이 장치간 색 정합

(그림 2)와 (그림 3)은 모니터(삼성 싱크마스터 907DF)와 모바일 디스플레이 장치(개발용 휴대폰, PDA) 사이의 색역을 CIELAB 색공간에 나타낸 것이다. 여기서 수직축은 CIELAB 색공간에서의 L^* 축을 나타내고 적-녹색 축은 a^* 축을, 황-청색 축은 b^* 축을 나타낸다. 본 그림은 직접 디스플레이에 패치를 띄운 후 측정을 통하여 구한 색 자극치를 이용한 결과이다. (그림 2)와 (그림 3)에서 보는 바와 같이 모니터와 모바일 디스플레이 장치 사이의 색역은 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 색역 내부의 유사색으로 표현하는 색역 사상(gamut mapping) 과정이 필요하다.

본 논문에서는 가변 다중 닷점 기법의 색역 사상

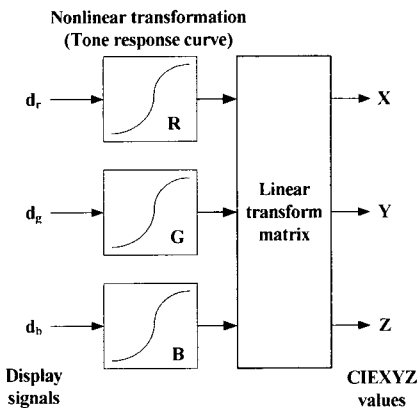


그림 1. 디스플레이 특성화 과정

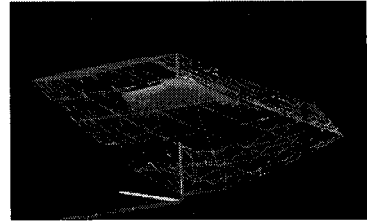


그림 2. CRT 모니터(그물망)와 휴대폰(입방체)의 색역

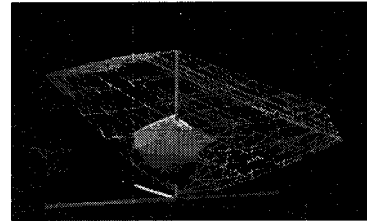


그림 3. CRT 모니터(그물망)와 PDA(입방체)의 색역

방법을 이용한다[1]. 이 방법은 기존의 하나의 닷점을 사용하던 방법과 달리 여러 개의 닷점을 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 입력 디지털 값 R_m, G_m, B_m 을 모니터 특성화 데이터를 이용하여 장치 독립적인 색 좌표인 X_m, Y_m, Z_m 값으로 바꾸어 주고, 색역의 차이를 보상하기 위하여 색역 사상 과정을 거쳐 모바일 디스플레이의 색역 안에 포함되는 모바일 디스플레이의 색 좌표인 X_p, Y_p, Z_p 값으로 사상한 후, 모바일 디스플레이의 특성화 데이터를 이용하여 그에 상응하는 모바일 디스플레이의 입력 디지털 값 R_p, G_p, B_p 로 바꾸어 주는 과정을 거친다. (그림 4)는 이러한 모니터와 모바일 디스플레이간의 색 정합 전 과정을 보여주고 있다.

4. 모바일 LCD를 위한 제안한 특성화 방법

기존의 S-curve 모델[5,6]은 각 채널에 대해서 휘도 레벨 값을 채널 자신의 휘도 레벨 성분과 채널 색도의 변화로 인해 나타나는 다른 채널의 휘도 레벨

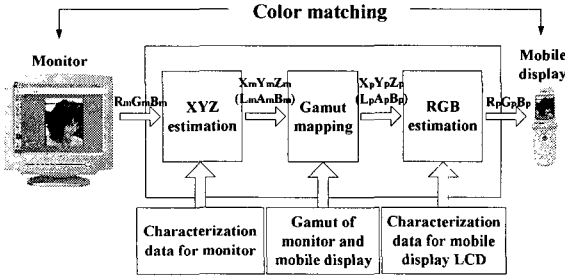


그림 4. 모니터와 모바일 디스플레이 사이의 색 정합 과정

성분으로 나눈다. 여기서 만일 디지털 입력 값의 변화에 따른 채널 색도 값의 변화가 없다면 다른 채널의 휘도 레벨 성분은 나타나지 않게 되고, 그와는 달리 채널의 기준 색도 값에 대해 디지털 입력 값의 변화에 따른 채널 색도 값의 변화가 생기면 그 차이가 다른 채널의 휘도 레벨 성분으로 나타나게 된다. 이러한 다른 채널의 휘도 레벨 성분을 S-curve 모델에서는 채널 자신의 전기-빛 입출력 곡선의 미분치를 이용해 모델링 하였다. 하지만, (그림 5)에서 보는 바와 같이 각 채널에서 채널 자신의 전기-빛 입출력 곡선의 미분치를 이용한 다른 채널의 휘도 레벨 성분의 모델링 결과는 좋지 않다. 더구나, S-curve 모델은 LCD에서 채널 사이의 상호작용으로 인한 채널 가산성의 위배는 고려하지 않는다. 따라서 본 논문은 각 채널에 대해서 X, Y, Z 값의 전기-빛 입출력 곡선을 각각 직접 모델링 하여 채널의 색도 변화를 고려하는 방법을 제안한다. (그림 5)에서 가로축 Normalized DAC는 디지털 입력 값의 아날로그로의 변환 값을 정규화한 것을 의미한다.

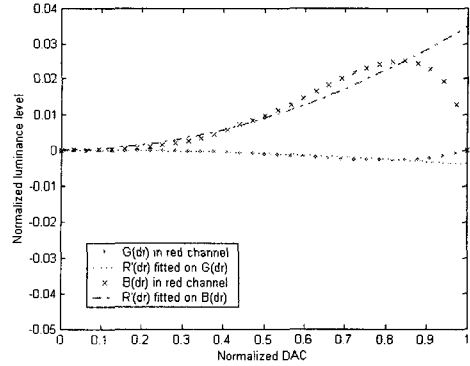
제안하는 특성화 방법에서는 서로 다른 형태의 X, Y, Z 값의 전기-빛 입출력 곡선을 다음과 같이 red, green, blue 채널에 대해서 모델링한다.

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

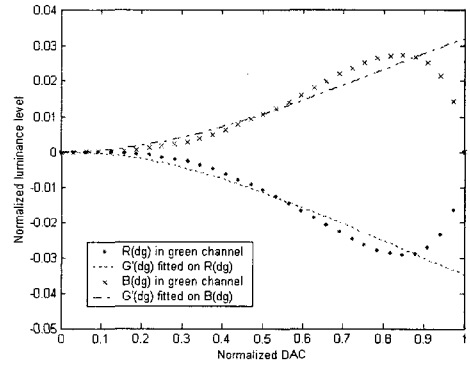
$$G_I(d_g) = A_{g_I} \frac{[d_g / (2^N - 1)]^{\alpha_{g_I}}}{[d_g / (2^N - 1)]^{\beta_{g_I}} + E_{g_I}} \quad (2)$$

$$B_I(d_b) = A_{b_I} \frac{[d_b / (2^N - 1)]^{\alpha_{b_I}}}{[d_b / (2^N - 1)]^{\beta_{b_I}} + E_{b_I}} \quad (3)$$

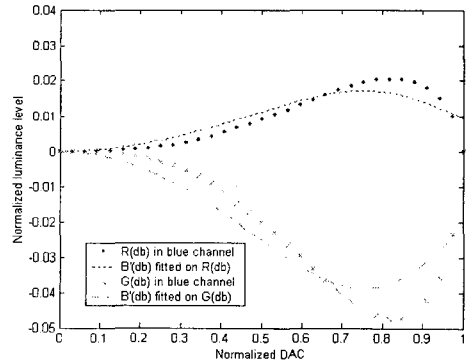
여기서 $R_I(d_r)$, $G_I(d_g)$, $B_I(d_b)$ 는 각각 red, green,



(a)



(b)



(c)

그림 5. 한 채널에서 채널 자신의 전기-빛 입출력 곡선의 미분치로 다른 채널의 휘도 레벨 성분 모델링 (a) red 채널 (b) green 채널 (c) blue 채널

blue 채널에 대하여 임의의 디지털 입력 값 d_r , d_g , d_b 에 상응하는 정규화된 I 값($I = X, Y, Z$)이다. A_{p_I} , α_{p_I} , β_{p_I} , E_{p_I} ($p = r, g, b$ 이고 $I = X, Y, Z$)는 계산되

어야 하는 모델 파라미터이다. 최적의 파라미터 A_p , α_p , β_p , E_p 를 추정하기 위해서 기존의 S-curve 모델과 같이 각 채널에서 등간격의 디지털 입력 값에 대한 32개의 패치를 만들어 CIEXYZ 값을 측정하고 정규화하였다. 그 후에 최적의 파라미터 A_p , α_p , β_p , E_p 를 계산하기 위해 최적화 과정이 수행되는 동안 패치에 대한 정규화된 CIEXYZ 값과 그에 따른 디지털 입력 값이 이용된다.

또한, 채널 상호작용에 기인한 채널 사이의 가산성 위배를 고려하기 위하여 두 채널 혹은 세 채널의 색이 섞여 있는 혼색 성분인 cyan(green+blue), magenta(red+blue), yellow(red+green), gray(red+green+blue)에 대해서 X, Y, Z 값의 전기-빛 입출력 곡선을 다음과 같이 모델링한다.

$$C_I(d_c) = A_{c_i} \frac{[d_c / (2^N - 1)]^{\beta_{c_i}}}{[d_c / (2^N - 1)]^{\beta_{c_i}} + E_{c_i}} \quad (4)$$

$$M_I(d_m) = A_{m_i} \frac{[d_m / (2^N - 1)]^{\beta_{m_i}}}{[d_m / (2^N - 1)]^{\beta_{m_i}} + E_{m_i}} \quad (5)$$

$$Y_I(d_y) = A_{y_i} \frac{[d_y / (2^N - 1)]^{\beta_{y_i}}}{[d_y / (2^N - 1)]^{\beta_{y_i}} + E_{y_i}} \quad (6)$$

$$K_I(d_k) = A_{k_i} \frac{[d_k / (2^N - 1)]^{\beta_{k_i}}}{[d_k / (2^N - 1)]^{\beta_{k_i}} + E_{k_i}} \quad (7)$$

여기서 d_c, d_m, d_y, d_k 는 각각 $(0, d_c, d_c), (d_m, 0, d_m), (d_y, d_y, 0), (d_k, d_k, d_k)$ 와 같이 둘 혹은 세 채널의 디지털 입력 값을 나타낸다. C_I, M_I, Y_I, K_I 는 각각 혼색 성분인 cyan, magenta, yellow, gray에 대한 정규화된 I 값($I = X, Y, Z$)이다.

전기-빛 입출력 곡선이 모델링된 후에, 각 채널과 혼색성분에 대해서 임의의 디지털 입력 값에 대응되는 정규화된 CIEXYZ 값은 최적의 파라미터로 구성된 모델링된 함수를 이용해서 추정할 수 있다. 마지막으로, 추정된 $R(d_r), G(d_g), B(d_b), C(d_c), M(d_m), Y(d_y), K(d_k)$ 는 다음과 같이 CIEXYZ 값을 추정하기 위하여 사용된다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \text{diag} \begin{bmatrix} X_{p,\max} & X_{s,\max} & X_{k,\max} \\ Y_{p,\max} & Y_{s,\max} & Y_{k,\max} \\ Z_{p,\max} & Z_{s,\max} & Z_{k,\max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_X(d_1) - P_X(d_2) & P_Y(d_1) - P_Y(d_2) & P_Z(d_1) - P_Z(d_2) \\ S_X(d_2) - S_X(d_3) & S_Y(d_2) - S_Y(d_3) & S_Z(d_2) - S_Z(d_3) \\ K_X(d_3) & K_Y(d_3) & K_Z(d_3) \end{bmatrix} \begin{matrix} R, d_1 = d_r \\ G, d_1 = d_g \\ B, d_1 = d_b \end{matrix} \quad (8)$$

$$S = \begin{matrix} C, d_3 = d_c \\ M, d_3 = d_m \\ Y, d_3 = d_y \end{matrix}$$

여기서 d_1 은 d_r, d_g, d_b 중에서 가장 큰 디지털 입력 값, d_2 는 두 번째로 큰 디지털 입력 값, d_3 는 가장 작은 디지털 입력 값을 나타낸다. $I_{p,\max}, I_{s,\max}, I_{k,\max}$ ($I = X, Y, Z$)는 각각 채널, 혼색, gray 성분에 대한 최대 CIEXYZ 값에 해당한다.

5. 색 정합 LUT

모니터와 모바일 디스플레이 사이의 색 정합 과정은 연산량이 많은 여러 복잡한 과정으로 이루어져 있다. 모니터의 디지털 입력 값 $R_m G_m B_m$ 에서 모니터의 출력 색 자극 $X_m Y_m Z_m$ 으로의 변환을 위해서는 모니터 특성화 과정에서 구한 관계를 이용하여 $R_m G_m B_m$ 에 대한 $X_m Y_m Z_m$ 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 $X_p Y_p Z_p$ 에서 $R_p G_p B_p$ 로의 변환 과정에서는 LCD를 특성화하면서 구한 RGB와 CIEXYZ의 관계를 이용하여 만들어 낸 $R_p G_p B_p$ 와 $X_p Y_p Z_p$ 값의 쌍을 3차원적인 LUT 형태로 만들어 사면체 보간을 수행하는 과정이 필요하다 [9,10]. 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 3차원적인 색 정합 look-up table(LUT)를 제안하였다. 색 정합 LUT를 이용하면 단순히 3차원 사면체 보간 과정 [9,10]만으로 모니터와 모바일 디스플레이 사이의

색 정합을 수행할 수 있다.

5.1 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 측정하여 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 지각 균등성이 고려된 CIELAB 색 좌표계의 값으로 변환한다[11].

모니터와 모바일 디스플레이의 색역을 CIELAB 공간상에서 표시할 경우 3장에서 보았던 것처럼 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 RGB와 CIELAB 값의 쌍을 이용하여 모바일 디스플레이의 R_p, G_p, B_p 값으로 변화시킨다. 마지막으로 모니터의 R_m, G_m, B_m 값과 그에 대응하는 모바일 디스플레이의 R_p, G_p, B_p 값의 순서쌍을 나열함으로써 색 정합 LUT 작성을 완성하게 된다. (그림 6)에서는 앞에서 설명한 색 정합 LUT를 작성하는 전 과정에 대한 흐름도를 간략하게 보여주고 있다.

6. 실험 및 결과

6.1 모바일 LCD 특성화 실험

본 실험에 사용된 모바일 LCD는 삼성 휴대폰 SCH-S200의 LCD이다. 분광방사휘도계 Minolta CS-1000은 디스플레이상의 패치의 CIEXYZ 값을 얻기 위해 사용하였다. 각 채널과 혼색 성분인 red,

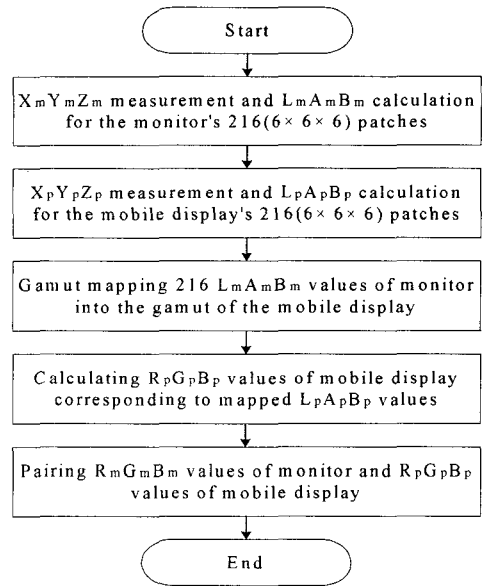


그림 6. 216(6×6×6) 크기의 색 정합 LUT 작성 과정

green, blue, cyan, magenta, yellow, gray의 전기-빛 입출력 곡선을 추정하기 위해서 224(32×7)개의 패치가 이용되었다. 또한 임의의 색 값을 예측하는 특성화 방법의 성능을 평가하기 위하여 RGB 육면체에 균일하게 분포한 216(6×6×6)개의 패치가 이용되었다.

기존의 S-curve 모델[5,6]과 제안한 특성화 방법을 이용한 LC 기반의 모바일 디스플레이에 대한 순방향 특성화 오차를 비교하였다. (표 1)은 각 채널의 32개의 패치와 모든 RGB 색 공간으로부터 균일하게 샘플링된 216(6×6×6)개의 패치에 대한 측정값과 추정값의 CIELAB 색 공간에서의 평균과 최대 색차로 보여주고 있다. 제안한 특성화 방법에 대한 전반적인 오차가 S-curve 모델을 이용한 특성화의 오차보다 더 적은 것을 볼 수 있다.

표 1. 기존의 S-curve 모델과 제안한 방법을 이용한 모바일 LCD의 특성화 오차

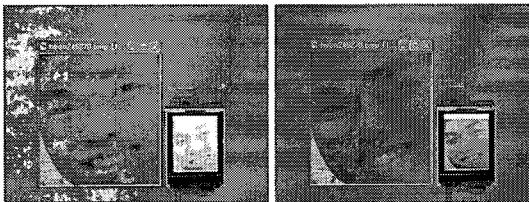
방법	패치	red 32개	green 32개	blue 32개	임의의 216개
S-curve 모델	ΔE_{avg}	1.284	1.176	3.331	4.225
	ΔE_{max}	10.39	5.984	8.612	10.47
제안한 방법	ΔE_{avg}	0.639	0.607	0.851	2.241
	ΔE_{max}	3.806	2.334	3.018	5.483

6.2 모니터와 모바일 디스플레이간 색 정합 실험

CRT 모니터(삼성싱크마스터 907DF)와 휴대폰(개발용), CRT 모니터(동종)와 PDA(개발용)간의 색 정합 실험을 하였다. (그림 7)은 CRT 모니터와 휴대폰, (그림 8)은 CRT 모니터와 PDA 상에서 색 정합 전과 후의 얼굴 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.

6.3 색 정합 LUT 크기에 대한 실험

색 정합 LUT의 크기가 LUT의 성능과 어떤 관계



(a) (b)

그림 7. 카메라로 촬영한 CRT 모니터와 휴대폰 상의 얼굴 영상 비교 (a) 색 정합 전 (b) 색 정합 후



(a) (b)

그림 8. 카메라로 촬영한 CRT 모니터와 PDA 상의 얼굴 영상 비교 (a) 색 정합 전 (b) 색 정합 후

가 있는지 실험을 통해 알아보았다. 성능평가 기준은 색 정합 LUT를 사용하여 색 정합을 수행한 영상과 색 정합 LUT를 사용하지 않고 (그림 4)에서처럼 모든 복잡한 과정을 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. 객관적인 실험을 위하여 RGB 공간에서 4096(16×16×16)개의 균일하게 분포한 값을 가지는 (그림 9)와 같은 영상이 사용되었다. (표 3)에서 보는 바와 같이 LUT의 크기가 64(4×4×4) 이상이면 허용 오차($\Delta E_{cb} < 6$) 안으로 들어오는 결과 영상을 얻을 수 있음을 볼 수 있다.

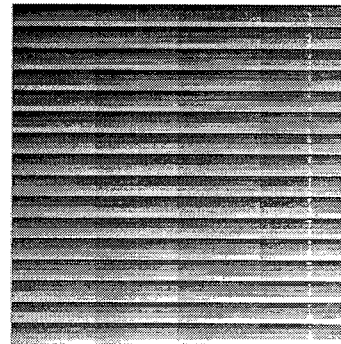


그림 9. RGB 공간에서 4096(16×16×16)개의 균일하게 분포한 값을 가지는 영상

표 2. 색 정합 과정을 정식으로 거친 영상과 다양한 크기의 색 정합 LUT를 이용한 영상간의 R, G, B 값의 RMS 오차

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

LUT size	ΔE_{ab}	
	ΔE_{avg}	ΔE_{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

7. 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 특성화 방법을 제안하였다.

디스플레이 특성화 실험을 통해 제안한 특성화 방법이 기존의 특성화 방법에 비해서 적은 특성화 오차를 보임을 확인하였고 색 정합 실험을 통해서 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, 실제 적용에 있어서는 sRGB와 같은 표준 특성을 가진 기준 모니터를 대상으로 색 정합이 수행되어야 할 것이다. 왜냐하면 일반 사용자가 이용하는 모니터의 경우 각각의 특성이 동일하지 않아 특정 모니터에 대해 색 정합을 수행할 경우 다른 모니터에 대해서 색 정합 성능을 보장할 수 없기 때문이다. 따라서 모든 모니터가 표준 특성을 가지도록 조정이 되었다는 가정

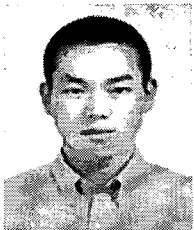
하에 표준 특성을 가진 모니터를 대상으로 색 정합을 수행한다면, 어느 모니터에서든 모니터를 표준 특성을 가지도록 조정만 한다면 색 정합이 이루어질 수 있게 된다. 또한 본 연구에서는 색역 사상 과정에서 상대적으로 모바일 디스플레이의 색역이 작다는 특성이 고려되지 않은 일반적인 색역 사상 방법을 이용하였지만 앞으로는 모니터와 모바일 디스플레이의 색역 특성에 맞는 좀더 효율적인 색역 사상 방법을 적용함을 목표로 연구를 수행하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] R. S. Berns, "Methods for characterizing CRT displays," *Displays*, Vol. 16, No. 4, pp. 173-182, May 1996.
- [5] Y. S. Kwak and L. W. MacDonald, "Characterisation of a desktop LCD projector," *Displays*, Vol. 21, No. 5, pp. 179-194, Dec. 2000.
- [6] 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.
- [7] G. Sharma, "LCDs versus CRTs Color-calibration and gamut considerations," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 90, No. 4, pp. 605-622, Apr.

2002.

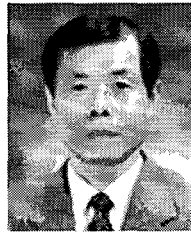
- [8] N. Tamura, N. Tsumura, and Y. Miyake, "Masking model for accurate colorimetric characterization of LCD," *Tenth Color Imaging Conference: Color Science and Engineering*, Scottsdale, U.S.A., pp. 312-316, Nov. 2002.
- [9] H. R. Kang, *Color Technology for Electronic Image Device*, SPIE Optical Engineering Press, 1996.
- [10] P. C. Hung, "Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look-up-table model and interpolation," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 36, No. 1, pp. 53-61, Jan. 1993.
- [11] M. D. Fairchild, *Color Appearance Models*, Addison-Wesley, 1998.



절평가

박 기 현

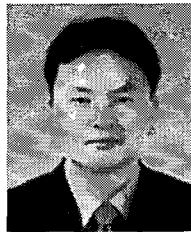
2002년 2월 경북대학교 전자전기공학부(공학사)
 2004년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 2004년 3월~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정
 관심분야: 칼라 영상처리, 디스플레이 색 향상, 카메라 화



하 영 호

1976년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1978년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1985년 8월 University of Texas at Austin 공학박사
 1985년 9월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수

관심분야: 칼라 영상처리, 컴퓨터 비전, 영상 코딩



이 철 희

1995년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1997년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 2000년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 2000년 3월~2003년8월 경운대학교 컴퓨터공학과 전임강사

2003년 9월~현재 안동대학교 컴퓨터공학전공 조교수
 관심분야: 칼라영상처리, 색채학, 칼라 프린팅 등