

논문 2006-43SP-3-4

# 모바일 폰의 카메라와 LCD 모듈간의 RGB 참조표에 기반한 색 정합의 구현

(Implementation of the Color Matching Between  
Mobile Camera and Mobile LCD Based on RGB LUT)

손 창 환\*, 박 기 현\*, 이 철 희\*\*, 하 영 호\*\*\*

(Chang-Hwan Son, Kee-Hyon Park, Cheol-Hee Lee, and Yeong-Ho Ha)

## 요 약

본 논문에서는 모바일 카메라와 모바일 LCD 간의 컬러 충실도를 높이기 위한 3차원 RGB 참조표에 기반한 장치 독립적인 색 정합 방법을 제안하였다. 제안한 색 정합 방법은 크게 모바일 디스플레이(LCD) 및 카메라의 장치 특성화, 색역 사상, 대표 색에 기반한 3차원 참조표 설계로 구성된다. 먼저, 모바일 디스플레이의 장치 특성화 과정은 전기-빛 입출력의 특성으로부터 기존의 CRT 모니터에 적용된 GOG(Gain Offset Gamma) 모델이나 LCD 모니터에 적용된 S-curve 모델과는 다른, Sigmoidal 함수를 사용해서 모델링되었고, 모바일 카메라의 장치 특성화는 표준(D65)환경하에서 촬영된 컬러 차트의 디지털 값(RGB)과 표준 색 자극치 데이터(CIELAB, CIEXYZ)를 다항 회귀 방정식에 대입해서 모델링되었다. 그리고 다항 회귀 방정식으로부터 획득된 표준 색 자극치 데이터는 카메라 장치 특성화 모델링의 특성으로 인해 표준 색 공간의 최대 값을 초과할 수 있기 때문에, 선형적인 채도와 밝기 압축 과정을 통하여 보정되었다. 마지막으로, 표준 환경하에서의 모바일 카메라의 색역과 모바일 디스플레이 장치의 색역의 차이를 보상하기 위해, 경계면 설정과 다중-닷 점 색역 사상 기법이 수행되었다. 이러한 장치 독립적인 색 정합 처리 과정을 실시간으로 구현하기 위해 대표색에 기반한 3차원 참조표를 설계하여, 참조표에 기반한 장치 독립적인 색 재현의 정량적인 화질을 평가하고, 기존의 장치 의존적인 방법과 성능을 비교 분석하였다.

## Abstract

This paper proposed device-independent color matching algorithm based on the 3D RGB lookup table (LUT) between mobile camera and mobile LCD (Liquid Crystal Display) to improve the color-fidelity. Proposed algorithm is composed of three steps, which is device characterization, gamut mapping, 3D RGB-LUT design. First, the characterization of mobile LCD is executed using the sigmoidal function, different from conventional method such as GOG (Gain Offset Gamma) and S-curve modeling, based on the observation of electro-optical transfer function of mobile LCD. Next, mobile camera characterization is conducted by fitting the digital value of GretagColor chart captured under the daylight environment (D65) and tristimulus values (CIELAB) using the polynomial regression. However, the CIELAB values estimated by polynomial regression exceed the maximum boundary of the CIELAB color space. Therefore, these values are corrected by linear compression of the lightness and chroma. Finally, gamut mapping is used to overcome the gamut difference between mobile camera and mobile LCD. To implement the real-time processing, 3D RGB-LUT is designed based on the 3D RGB-LUT and its performance is evaluated and compared with conventional method.

**Keywords:** Mobile characterization, Gamut mapping, Color matching, Independent color space

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부  
(School of Electrical Engineering and Computer  
Science, Kyungpook National Univ.)

\*\* 정회원, 안동대학교 컴퓨터공학전공  
(Major of Computer Engineering, Andong National  
Univ.)

접수일자: 2005년10월13일, 수정완료일: 2006년3월29일

## I. 서 론

모바일 폰의 멀티미디어 콘텐츠의 대표적인 산물인  
모바일 카메라가 보편화되면서, 모바일 카메라로 촬영  
된 입력 영상이 LCD 디스플레이에서 정확하게 색 재현

되는 능력이 제품의 화질 평가에 중요한 요소로 부각되고 있다. 모바일 폰에 탑재된 두 모듈간의 정확한 색 재현을 위해서는 입력 카메라 모듈과 출력 LCD 출력 디스플레이 모듈의 우수한 색 재현성과 장치가 갖는 입출력 특성을 고려한 장치 독립적인 색 정합 기술이 요구된다. 모바일 LCD 디스플레이는 일반적으로 저 전력으로 구동되기 때문에, 일반 CRT나 LCD 모니터에 비해 최대로 표현할 수 있는 휘도와 색도가 상대적으로 낮아서 디스플레이의 화질이 떨어진다. 또한 제한된 비트수, 일반적으로 RGB 각 채널당 6비트가 할당되기 때문에, 채널당 8비트로 구현되는 모니터보다 full-color의 색 재현이 어렵다.<sup>[1]</sup> 한편, 모바일 카메라의 경우도 일반 디지털 카메라에 비해서 작은 렌즈를 사용함으로써 입사되는 빛의 양이 상대적으로 적어 양자화 및 디지털 후처리 과정에서 발생하는 잡음 및 왜곡이 일반 카메라에 비해 매우 크다.<sup>[2]</sup> 더 나아가 서로 다른 색 재현성을 갖는 두 장치를 결합하는 과정에서 장치 독립적인 색 재현이 이루어지지 않고, 감마보정과 같은 단순한 변환을 통한 색 재현이 이루어지므로 모바일 단말기의 색 재현성은 개선의 여지가 매우 많다.

따라서 본 논문에서는 모바일 단말기의 색 재현성을 향상시키기 위해서 카메라 모듈과 디스플레이 모듈에 대한 정확한 특성화, 색채과학에 기초한 두 모듈간의 시스템 통합, 그리고 모바일 디스플레이의 좁은 색역을 보상할 수 있는 색역 사상을 통해, 사진 촬영시의 색의 충실도와 현실감을 높이고자 한다. 이를 위해, 각 장치간의 색 정합을 개선하기 위한 장치 독립적인 색 정합을 수행하였으며, 제품화를 위해 LUT(lookup table)형태로 알고리즘을 구현하였다. 마지막으로, 표준 칼라 차트를 사용하여 장치 의존적인 색 재현과 장치 독립적인 색재현의 정량적인 성능평가를 수행하였다.

## II. 모바일 디스플레이의 장치 특성화

디스플레이의 장치 특성화란 특정 디스플레이 장치에 인가되는 RGB 디지털 신호와 LCD의 출력으로 나오는 표준 색 자극치 사이의 관계를 도출하는 것이다. 장치 특성화의 수행 과정은 많은 양의 데이터의 측정에 기반해서 구현된 3차원 참조표를 이용하거나, GOG나 S-curve와 같은 함수로 모델링 될 수도 있다.<sup>[3-5]</sup> 3차원 참조표를 이용하여 전기-빛 입출력 관계를 추정하는 방법은 측정된 CIEXYZ나 CIELAB 값을 3차원 보간법을 사용해서 장치의 색 자극치를 추정하기 때문에 추정

된 데이터가 가장 신뢰성이 높다. 그러나 많은 양의 데이터를 측정해야 하기 때문에 많은 시간이 소요되며, 측정 장비의 반복적인 실험이 요구된다. 반면에 GOG나 S-curve와 같이 함수를 이용한 모델링 방법은 비교적 적은 양의 측정데이터만을 사용해서도 각 장치의 특성을 고려해서 신뢰성 있는 데이터를 추정할 수가 있다. 특히, GOG 모델은 CRT의 전기-빛 입출력 곡선의 지수적인 특징을 잘 표현할 수 있으며, 반면에 S-curve 모델은 LCD의 S자 형태의 전기-빛 입출력 곡선을 모델링하기에 적합하다.

첫째, GOG 모델은 입력 디지털 값과 출력되는 영상의 휘도 값(luminance, Y)을 각 red, green, blue 채널별로 다음과 같이 모델링 한다.<sup>[3]</sup>

$$Y_{ch} = \left[ k_{g,ch} \left( \frac{d_{ch}}{2^N - 1} \right) + k_{o,ch} \right]^{\gamma, ch} \quad (1)$$

여기서  $ch$ 는 Red, Green, Blue 3채널을 대표하고,  $d_{ch}$ 는 각 채널의 입력 디지털 값이고,  $N$ 은 디스플레이 장치의 입력 디지털 값의 비트수이다.  $Y_{ch}$ 는 각 채널에서의 입력 디지털 값에 따른 휘도 값을 0에서 1까지 정규화 했을 때의 값이다. 최적의 파라미터  $k_{g,ch}$  (gain),  $k_{o,ch}$  (offset),  $\gamma_{ch}$  (gamma)를 구하기 위해, RGB 채널별로 등간격의 디지털 값으로 5개의 패치를 만들고, 각각의 휘도를 측정하여 입력 디지털 값과 그에 따른 휘도 값의 측정치를 위의 식 (1)에 대입한다. 최적화 알고리즘을 사용하여 가장 최적화된 파라미터  $k_{g,ch}$ ,  $k_{o,ch}$ ,  $\gamma_{ch}$  값을 계산함으로써 전기-빛 입출력 곡선을 모델링하고 정규화된 휘도 값을 추정한다. 채널별로 추정한 정규화된 휘도 값을 다음과 같은 행렬 연산을 이용해 CIEXYZ 값으로 변환한다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{r,max} & X_{g,max} & X_{b,max} \\ Y_{r,max} & Y_{g,max} & Y_{b,max} \\ Z_{r,max} & Z_{g,max} & Z_{b,max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

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

둘째, LCD의 특성화를 위한 기존의 S-curve 모델은 GOG 모델과 유사하지만, 모델링을 위한 함수에서 차이가 있다.<sup>[4]</sup> 즉, S-curve 모델에서는 GOG 모델에서의

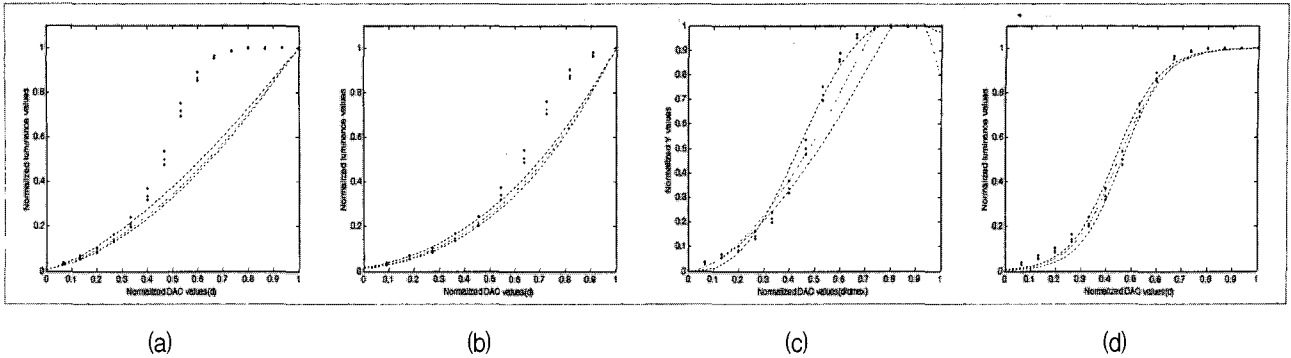


그림 1. 모바일 LCD의 전기-빛 입출력 특성; (a) GOG 모델 (b) 포화영역을 제외한 GOG 모델 (c) S-curve 모델 (d) Sigmoidal 함수를 이용한 모델

Fig. 1. Elector-optical transfer function for mobile LCD; (a) GOG model (b) GOG model except the saturation region (c) S-curve model, and (d) Sigmoidal model.

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.

$$Y_{ch} = A_{ch} \frac{(d_{ch}/(2^N - 1))^{\alpha_{ch}}}{(d_{ch}/(2^N - 1))^{\beta_{ch}} + C_{ch}} \quad (3)$$

최적의 파라미터  $A_{ch}$ ,  $\alpha_{ch}$ ,  $\beta_{ch}$ ,  $C_{ch}$  값을 구하기 위해 RGB 채널별로 등간격의 디지털 값으로 32개의 패치를 만들고, 각각의 휘도 값을 측정하여 입력 디지털 값과 그에 따른 휘도 값을 위의 식 (3)에 대입한다. 최적화 알고리즘을 사용하여 가장 최적화 된 파라미터 값을 계산함으로써 전기-빛 입출력 곡선을 모델링하고 정규화된 휘도 값을 추정한다. 채널별로 추정한 정규화 된 휘도 값을 GOG 모델과 동일하게 식 (2)에 대입하여 CIEXYZ 값으로 변환한다.

기존의 GOG 모델과 S-curve 모델을 이용해서 모바일 디스플레이의 장치 특성화 과정을 수행하였다. 사용된 모바일 폰은 '가로 본능'이라는 제품으로 알려진 Samsung SCH-500이고, 최대 영상의 사이즈는 240X320, RGB 채널당 6bit로 표현된다. 그림 1(a)-(c)는 GOG 모델, 포화 영역을 제외한 GOG 모델, S-curve 모델을 사용한 모바일 LCD의 전기-빛 입출력 곡선을 보여주고 있다. 그림에서 점들은 각 채널당 입력 디지털 값에 해당하는 휘도 측정치 값이고, 점선은 기존의 모델링 방법을 사용해서 추정된 값이다. 그림에서 보듯이, 모바일 LCD의 휘도 값은 일반 모니터와는 달리 디지털 값을 증가했을 때, 감마나 S-자형의 특성을 가지지 않음을 볼 수 있다. 디지털 값이 아주 크거나 작은 영역에서는 휘도 값이 거의 변화가 없으나, 디지털 값이 중간

표 1. Sigmoidal 함수로 추정된 파라미터의 값

Table 1. Estimated parameters using the sigmoidal function.

	$a$	$c$
R-channel	11.9194	0.4647
G-channel	11.1892	0.4508
B-channel	11.3273	0.4359

값 정도가 될 때에는 휘도 값의 변화율이 상당히 급격하다는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 모바일 LCD의 전기-빛 입출력 특성이 Sigmoidal 함수와 유사하다는 점에 착안해서, Sigmoidal 함수를 이용하여 모바일 LCD의 장치 특성화를 수행하였다. Sigmoidal 함수는 다음과 같이 표현된다.

$$Sig(x, a, c) = \frac{1}{1 + \exp(-a(x - c))} \quad (4)$$

Sigmoidal 함수는  $c$ 를 기준으로 해서 좌우 대칭이고,  $|a|$ 의 값이 '0'일 때는 Sigmoidal 함수가 상수가 되고,  $|a|$ 의 값이 클수록  $c$ 를 기준으로 해서 기울기가 급격해진다. 그림 1(d)는 Sigmoidal 함수를 사용해서 모델링된 전기-빛 입출력 특성이다. 모바일 LCD의 디지털 값에 대한 휘도의 특성이 추정된 Sigmoidal 함수의 그래프와 어느 정도 유사하다는 것을 알 수 있으며, 각 채널의 추정된 파라미터는 표 1과 같다.

표 2는 GOG 모델, S-curve 모델, 포화영역을 제외한 GOG 모델, Sigmoidal 모델의 장치 특성화 오차를 보여준다. 장치 특성화 오차는 RGB 채널별로 4단계로 나눈 64개의 패치를 모니터에 인가한 후, 분광광도계를 사용해서 측정된 CIELAB 값과, 모델링을 통해서 추정된 CIELAB 값과의 색차를 평균한 값이다.

GOG 모델은 특성화 오차가 너무 크기 때문에 모바

표 2. 모바일 LCD의 장치 특성화 오차  
Table 2. Characterization error of the mobile LCD.

	평균오차( $\Delta E_{ab}$ )	최대오차( $\Delta E_{ab}$ )
GOG 모델	15.6557	32.4424
포화 영역을 제외한 GOG 모델	8.7619	17.5898
S-curve 모델	6.9801	13.2279
Sigmoidal 모델	3.9683	14.6831

일 LCD의 전기-빛 휘도의 특성을 모델링 할 수 없고, 포화 영역을 제외한 후, GOG 모델로 장치 특성화를 수행할지라도 특성화 오차가 여전히 큰 것을 알 수 있다. 그리고, S-curve 모델은 평균 색차가 6보다 조금 크기 때문에 그렇게 만족할 만한 결과를 얻지 못했고, 특히 밝은 영역에서 추정된 함수의 모양이 급격히 줄어드는 것을 볼 수 있다. 반면에, 제안한 Sigmoidal 함수를 이용한 모델링 방법은 장치 특성화 평균 오차가 6미만으로 인각 시각이 구별하기 어려운 오차 범위에 속하며, 다른 GOG 모델이나 S-curve 모델이 비해서 비교적 우수한 특성화 과정을 수행하였다고 볼 수 있다.<sup>[2]</sup>

### III. 모바일 카메라의 장치 특성화

모바일 카메라의 장치 특성화란 RGB 출력 신호와 표준 색 자극치 데이터와의 관계를 설정하는 과정이다. 일반적으로 카메라의 장치 특성화 과정은 그림 2와 같이 먼저, Gretag ColorChecker와 같은 표준 컬러 차트를 광원과 카메라의 기하학적인 위치가 0/45 설정한 후, D65광원하에서 모바일 카메라로 촬영한다.<sup>[6]</sup> 촬영된 영상은 카메라의 잡음과 광원의 불균일성을 포함하기 때문에, 각 샘플의 90%에 해당하는 화소의 평균값을 RGB 대표값으로 사용한다. 이 RGB 값과 표준 컬러 차트가 제공하는 색 자극치인 CIELAB 값을 다항 회귀 방정식을 사용하여 변환 관계를 추정한다.<sup>[7-8]</sup> 일반적으로, 다항 회귀 방정식의 차수가 증가할수록 장치 특성화 성능의 오차가 감소하는 것이 원칙이나, 임의의 테스트 값에 대해서는 추정된 CIELAB의 밝기 값 등이 음의 값이 획득되어 실제적으로 색 정합을 구현 할 때에는 사용될 수 없다. 따라서, 다항 회귀 방정식의 차수를 결정하기 위해, 모바일 카메라의 특성을 살펴보고, 그림 3과 4는 휴대폰 카메라와 PDA 카메라로 촬영된 컬러 표준차트의 그레이 샘플의 디지털 값과  $L^*$ 과의 관계, (R-B)와  $a^*$ 와의 관계, (G-B)와  $b^*$ 와의 관계를 보여준

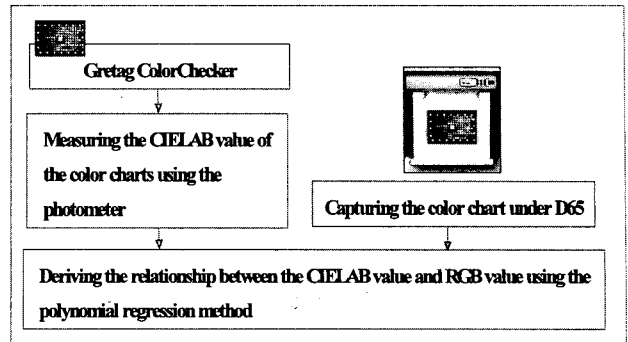


그림 2. 모바일 카메라의 장치 특성화의 블록도  
Fig. 2. The flowchart of mobile camera characterization.

다. (R-B)와 (G-B)의 값과 CIELAB의 값과의 상관관계를 분석하는 이유는 CIELAB 좌표가 Opponent-color 좌표계이기 때문이다. Opponent-color 좌표계는 시세포에서 획득된 LMS 자극치를 뇌로 전달할 때, 밝기 값과 두 신호의 차이를 전송하는 인간 시각 시스템에서 유래되었다.<sup>[6]</sup> 그림으로부터 모바일 카메라의 밝기값과 두 신호의 차가 CIELAB 값과 선형적인 비례 관계에 있음을 알 수 있다.

$$\left(\frac{R+G+B}{3}\right) \propto L^* \tag{5}$$

$$(R-B) \propto a^*, (G-B) \propto b^*$$

따라서, 다항 회귀 방정식의 차수는 1차로 결정되고, 모바일 카메라의 장치 특성화 함수는 다음과 같이 입력 RGB 값에 대해 선형적으로 CIELAB 값을 추정한다.

$$L^* = 1 + \alpha_{L,R}R + \alpha_{L,G}G + \alpha_{L,B}B$$

$$a^* = 1 + \alpha_{a,R}R + \alpha_{a,G}G + \alpha_{a,B}B \tag{6}$$

$$b^* = 1 + \alpha_{b,R}R + \alpha_{b,G}G + \alpha_{b,B}B$$

위의 식을 동일하게 벡터로 표현하면,

$$P = V^T \alpha \tag{7}$$

여기서,

$$V = \begin{bmatrix} 1_1 & \dots & 1_n \\ R_1 & \dots & R_n \\ G_1 & \dots & G_n \\ B_1 & \dots & B_n \end{bmatrix}, \alpha = \begin{bmatrix} \alpha_{L1} & \alpha_{a,1} & \alpha_{b,1} \\ \alpha_{L2} & \alpha_{a,2} & \alpha_{b,2} \\ \alpha_{L3} & \alpha_{a,3} & \alpha_{b,3} \\ \alpha_{L4} & \alpha_{a,4} & \alpha_{b,4} \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} L_1^* & a_1^* & b_1^* \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ L_n^* & a_n^* & b_n^* \end{bmatrix} \tag{8}$$

n은 사용된 컬러 차트의 샘플 패치의 개수이고, 다항 회귀 방정식의 계수는 다음과 같이 계산된다.

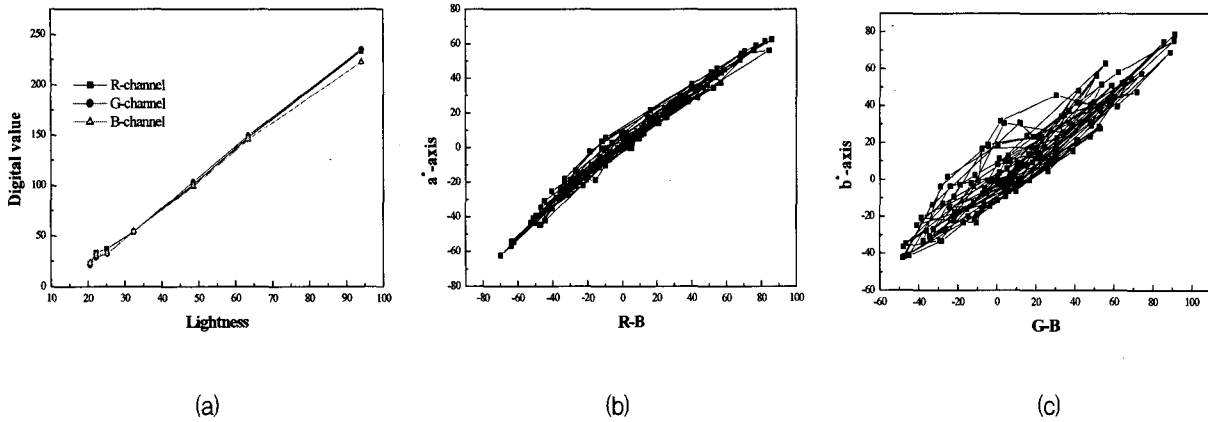


그림 3. 휴대폰 카메라의 특성; (a)  $L^*$ 와 그레이 샘플 값과의 관계 (b)  $a^*$ 와 (R-B)와의 관계 (c)  $b^*$ 와 (G-B)와의 관계  
 Fig. 3. The characteristic of the cellular camera; (a)  $L^*$  vs. RGB value of the gray sample (b)  $a^*$  vs. (R-B) (c)  $b^*$  vs. (G-B).

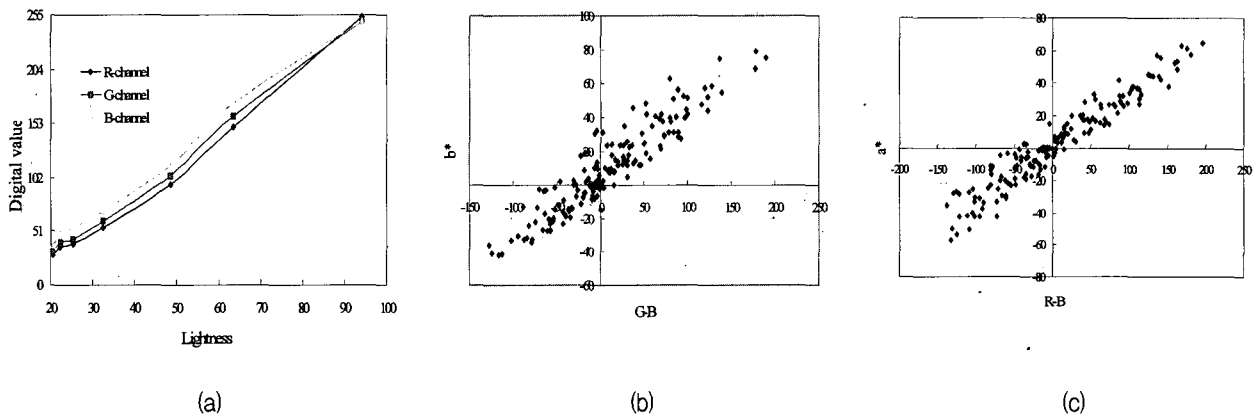


그림 4. PDA 카메라의 특성; (a)  $L^*$ 와 그레이 샘플 값과의 관계 (b)  $b^*$ 와 (G-B)와의 관계 (c)  $a^*$ 와 (R-B)와의 관계  
 Fig. 4. The characteristic of the PDA camera; (a)  $L^*$  vs. RGB value of the gray sample (b)  $b^*$  vs. (G-B) (c)  $a^*$  vs. (R-B).

$$\alpha = (VV^T)^{-1}VP \tag{9}$$

위에서 구한 계수를 다항 회귀 방정식에 대입해서 입력 디지털 RGB에 해당하는 CIELAB값을 획득했을 때, 특히 입력 RGB 값이 큰 경우, 선형적인 모델링의 특성으로 인해 추정된 CIELAB 값이 색 공간이 가지는 최대 허용범위를 초과하는 문제가 발생한다. 이를 극복하기 위해  $L^*$  값은 최대값의 오차만큼 줄여주었고,  $a^*$ 와  $b^*$  값은 색상을 유지하면서, 채도를 선형적인 압축 과정으로 보정해주었다.

$$L^* = L^* - (L^*_{max} - 100) \tag{10}$$

$$a^* = k \times a^* / a^*_{max}, \quad b^* = b^* / a^* \times a^* \tag{11}$$

여기서,  $k$ 는 색상을 선형압축하기 위해 사용된 상수 값이고,  $L^*_{max}$ 와  $a^*_{max}$ 는 추정된  $L^*$ 과  $a^*$ 의 최대값이다. 이러한 후처리 과정을 거친 후, D65광원하에서 표준 칼라 차트인 Gretag ColorChecker를 사용해서 휴대폰과 PDA폰의 카메라에 대한 특성화 함수의 성능을 실험했고, 표 3은 장치 특성화 오차를 보여주고 있다.

표 3. 모바일 카메라의 장치 특성화 오차  
 Table 3. Characterization error of the mobile camera.

	평균오차( $\Delta E_{ab}$ )	최대오차( $\Delta E_{ab}$ )
삼성 휴대폰 카메라	4.3605	12.0298
삼성 PDA 카메라	6.2638	16.8829

#### IV. 모바일 카메라와 모바일 LCD간의 장치 독립적인 색 정합

장치 독립적인 색 정합이란 장치에 따라 의존적인 RGB공간에서 색을 정합하는 것이 아니라, 국제조명기구에서 제정한 CIEXYZ, CIELAB 공간에서 색을 일치시키는 것을 말한다.<sup>[9]</sup> 이러한 장치 독립적인 색 정합은 입출력 장치의 장치 특성화 과정뿐만 아니라, 입출력 장치가 갖는 색역을 고려해주어야 한다. 그림 5는 특정 환경하에서의(D65) 카메라의 색역(그물망)과 모바일의 색역(입방체)을 보여주고 있다. CIELAB 좌표계에서 카메라가 표현할 수 있는 색도의 범위가 모바일 LCD보다 넓은 것을 보여주고 있으며, 최대 밝기 값도 높은 것을 볼 수 있다. 따라서 모바일 카메라와 모바일 LCD 사이의 색 정합을 위해서는 모바일 LCD가 표현할 수 없는 색역 내부의 유사색으로 표현하는 색역 사상(gamut-mapping) 과정이 필요하다. 본 연구에서는 가변 다중 닷점 기법의 색역 사상 방법을 이용했다.<sup>[10]</sup> 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 LCD 색역 밖의 색이 모바일 LCD 색역 안으로 사상이 되어, 임의의 카메라가 표현할 수 있는 색을 모바일 LCD 색역 안의 색으로 바꾸어 표현할 수 있게 된다.

그림 6은 모바일 카메라와 모바일 LCD의 장치 독립적인 색 정합의 블록도이다. 먼저, 모바일 카메라를 사용하여 촬영된 RGB 영상을 모바일 카메라 장치 특성화 과정을 사용해서 CIELAB 값으로 변환한 후, 가변 다중 닷점 기법의 색역 사상 방법을 통해 모바일 LCD가 표현할 수 있는 새로운 CIEL'A'B' 값으로 사상한다. 이 사상된 CIEL'A'B' 값은 모바일 LCD 장치 특성화를 통해서 R'G'B' 값으로 변환된다. 그러나 이러한 색 정합 과정은 연산량이 많기 때문에 LUT에 기반한 간단한 과정이 필요하다. 모바일 카메라와 모바일 LCD 사이의 LUT 구현은 먼저, 모바일 카메라의 RGB 값을 각 채널 당 균등하게 6등분하여 LUT에 들어갈 대표색 216개의 데이터를 만든다. 이 RGB 값은 카메라 장치 특성화를 통해서 CIELAB 값으로 변환되고, 색역 사상을 통해 새로운 CIEL'A'B' 값으로 사상된다. 이 CIEL'A'B' 값은 모바일 LCD의 장치 특성화 과정을 통해서 입력 RGB에 대응하는 216개의 R'G'B 값이 생성된다. 이렇게 획

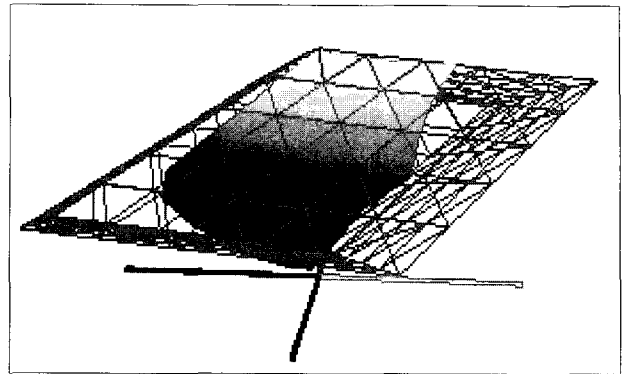


그림 5. D65환경에서의 모바일 카메라의 색역과 모바일 LCD 색역의 비교

Fig. 5. The comparison of the gamuts between mobile camera and mobile LCD.

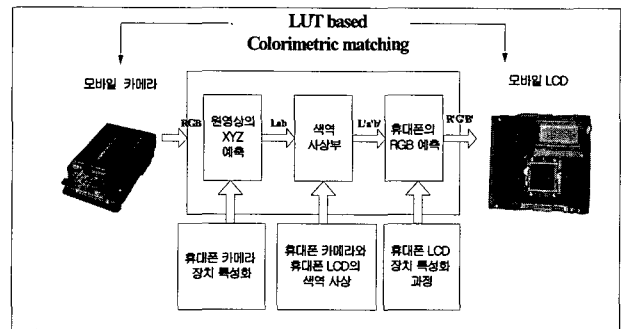


그림 6. 장치 독립적인 색 정합의 블록도

Fig. 6. The block-diagram of the device-independent color matching system.

득된 입력 RGB 데이터와 출력 R'G'B' 데이터를 1에서 216의 인덱스로 같은 순서쌍으로 나열함으로써 대표색 216개에 대한 3차원 LUT를 구현할 수 있다.

#### V. 실험 및 결과

##### 가. LUT에 기반한 장치 독립적인 색 정합의 실험

모바일 카메라와 모바일 LCD의 색 정합 실험을 하기 위해서, 먼저 모바일 카메라로 영상을 촬영하는 것이 필요하다. 그림 7은 모바일 카메라로 촬영된 영상으로, 얼굴 영상, D65광원하에서 촬영된 영상이 실험에 사용되었다. D65 광원하에서 촬영된 영상이 포함된 이유는 모바일 카메라가 D65 광원하에서 특성화되었기 때문에 실제로 촬영된 영상과 모바일 LCD에 디스플레이되는 영상이 똑같다면, 피사체의 색 자극치를 동일하게 표현하기 위해 사용된 색 정합 알고리즘이 성공적으로 수행했다고 볼 수 있기 때문이다. 얼굴 영상이 포함된 이유는 모바일 카메라로 가장 많이 촬영되기 때문이며, 특히 얼굴의 피부색을 그대로 재현하는 것이 모바

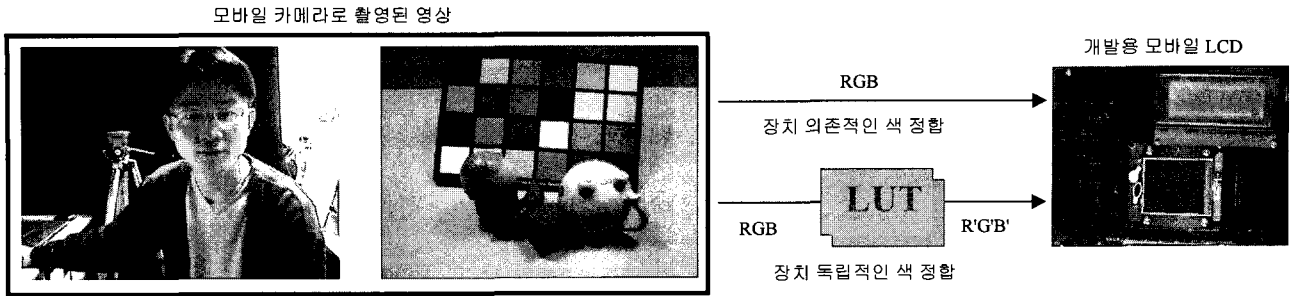


그림 7. 장치 의존적인 색 정합과 장치 독립적인 색 정합 실험 과정  
 Fig. 7. The procedure of the device-dependent color matching and LUT based device-independent color matching.

일 카메라와 모바일 LCD 색 정합의 중요한 요소이기 때문이다. 한편, 본 연구에서 수행된 장치 독립적인 색 재현의 정량적인 성능을 평가하기 위해 기존의 장치 의존적인 색 재현 방법과 비교하였다. 그림 7과 같이 장치 의존적인 색 재현은 모바일 카메라로 촬영된 영상을 그대로 모바일 LCD로 전송하는 것이고, 장치 독립적인 색 재현은 모바일 카메라로 촬영된 영상을 색 정합 LUT를 통해서 계산된 새로운 R'G'B' 값을 모바일 LCD에 전송하게 된다. 표 4는 제안한 LUT 설계 과정을 통해서 획득된 3차원 LUT에 저장된 데이터의 일부분을 보여주고 있다. 이 3차원 LUT를 사용해서 임의의 RGB 값이 입력으로 들어오게 되면, 각 채널의 RGB의 인덱스를 LUT에서 찾은 다음, 사면체 보간법으로 새로운 R'G'B' 값을 계산함으로써 색 정합을 실시간으로 구현할 수 있다.

표 4. 제안된 3D RGB LUT의 예제  
 Table 4. The example of proposed 3D RGB LUT.

R	G	B	R'	G'	B'
51	204	204	0	129	111
102	204	204	0	137	117
153	204	204	86	139	126
204	204	204	137	137	137
255	204	204	204	136	129
0	255	204	0	148	116
51	255	204	0	151	115
102	255	204	0	155	115
153	255	204	0	201	116
204	255	204	124	205	118
255	255	204	205	167	151
0	0	255	0	55	91
51	0	255	0	42	102
102	0	255	0	10	140
153	0	255	97	0	133
204	0	255	124	0	128
255	0	255	145	0	127
0	51	255	0	81	101
51	51	255	0	65	102
102	51	255	0	50	138
153	51	255	96	13	205
204	51	255	132	0	155
255	51	255	158	0	147
0	102	255	0	98	108
51	102	255	0	91	111
102	102	255	0	84	128
153	102	255	100	79	205
204	102	255	141	65	205
255	102	255	205	65	160
0	153	255	0	114	116
51	153	255	0	110	117

그림 8은 모바일 LCD에 디스플레이된 영상을 디지털 카메라로 촬영된 영상이다. 그림 8의 (a)와 (b)는 장치 의존적인 색 정합의 결과이고, 그림 8의 (c)와 (d)는 장치 독립적인 색 정합의 결과이다. 그림 8(a)에서 주위 광원이 역광으로 비추고 있을 지라도, 전반적인 얼굴은 밝은 것을 볼 수 있는데, 이는 모바일 LCD의 전기-빛 입출력 특성이 밝은 영역을 포화 상태로 만들기 때문이다. 반면에, 그림 8(c)의 얼굴 영상의 피부색이 LUT에 기반한 장치 독립적인 색 정합의 결과가 장치 의존적인 색 정합의 결과보다 좀더 자연스러운 것을 볼 수 있고, 피사체의 색 자극치를 잘 반영하고 있는 것을 볼 수 있다. 그림 8(b)의 Macbeth Color Chart의 경우에도 피사체의 색을 그대로 반영하지 못하고 있다. 특히 붉은 색 영역에서 갈색으로 표현되는 등, 전반적인 채도가 떨어지는 단점이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이는 장치 의존적인 색 정합은 각 장치의 특성화를 하지 않고, 단지 물리적인 신호를 전달하기 때문이다. 이에 반해, LUT에 기반한 장치 독립적인 색 정합의 결과는 실제로 D65 환경하에서 Macbeth Color Chart가 인간 시각에 감지되는 채도에 거의 근접하게 표현된 것을 알 수 있으며, 장치 의존적인 색 정합에서는 표현하지 못한 채도가 높은 붉은 색, 노란색 등을 표현한 것을 볼 수 있다. 따라서 LUT에 기반한 장치 독립적인 색 재현은 각 장치의 디지털 RGB 신호에 대한 색 자극치를 반영함으로써 피사체가 촬영된 당시의 색을 그대로 재현하여 색의 충실도를 높이는 것을 알 수 있다.

나. LUT에 기반한 장치 독립적인 색 정합의 성능 평가  
 모바일 카메라와 모바일 LCD의 장치 독립적인 색 정합과 장치 의존적인 색 정합의 정량적인 화질을 평가하기 위해서 24개의 패치로 구성된 Macbeth Color Chart를 사용하였다. 장치 의존적인 색 정합의 화질을 평가

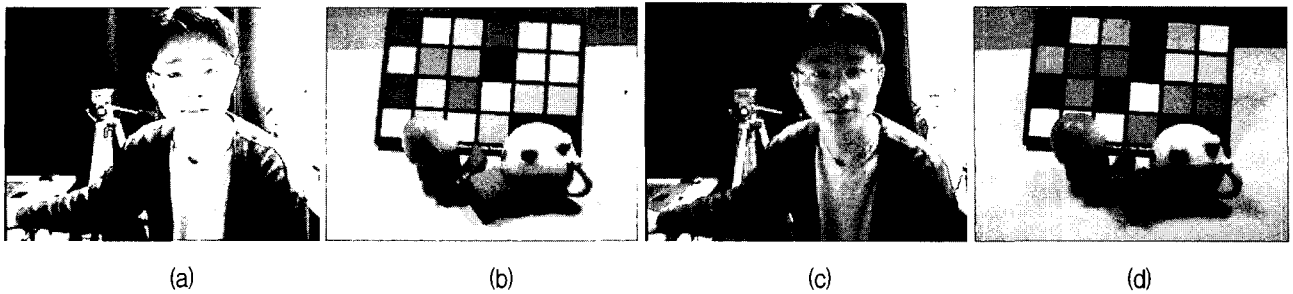


그림 8. 실험 결과; (a)-(b) 장치 독립적인 색 정합, (c)-(d) LUT에 기반한 장치 의존적인 색 정합  
 Fig. 8. The experimental result; (a)-(b) device-dependent color matching, (c)-(d) LUT based device-independent color matching.

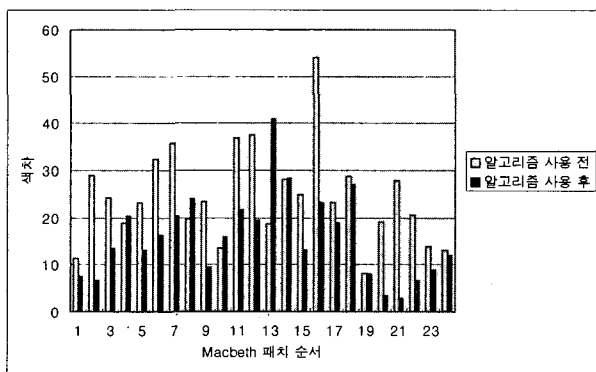


그림 9. LUT에 기반한 장치 독립적인 색 정합의 정량적인 평가  
 Fig. 9. Quality evaluation of device-independent color matching based LUT.

하기 위해서, D65 환경하에서 모바일 카메라로 24개의 Macbeth Color Chart의 패치를 촬영한 후, 모바일 LCD에 출력한다. 그리고 분광 광도계를 사용하여 각 패치의 CIELAB 값을 측정한다. 이 값을 D65환경하에서 분광 광도계를 사용해서 측정된 24개의 Macbeth Color Chart의 패치에 해당하는 CIELAB 값과 색차를 구한다. 장치 독립적인 색 정합의 화질을 평가하기 위해서 D65 환경하에서 모바일 카메라로 24개의 Macbeth Color Chart의 패치를 촬영한 후, 색 정합 LUT를 거친 새로운 R'G'B' 값을 모바일 LCD에 출력한다. 그리고 분광 광도계를 사용하여 각 패치의 CIELAB 값을 측정 후, D65 환경하에서 측정된 24개의 패치에 대한 CIELAB값과의 색차를 구한다. 그림 9는 24개 패치에 대한 색차를 보여주고 있다. 장치 의존적인 색 정합 방법은 24개의 패치에 대한 평균 색차가 24.395이고, 장치 독립적인 색 정합 방법은 15.562이다. 따라서 장치 독립적인 색 정합 방법이 장치 의존적인 색 정합 방법보다 더 좋은 성능을 가진다고 말할 수 있다.

### VI. 결 론

본 연구에서는 모바일 카메라와 모바일 LCD의 장치 독립적인 색 정합 기술을 구현하였다. 모바일 카메라가 촬영될 때의 피사체가 가지고 있는 색 자극치를 모바일 LCD에 표현하기 위해서 카메라 장치 특성화 과정을 수행하였다. 출력 장치인 모바일 LCD도 입력 장치인 모바일 카메라에서 전송된 색 자극치를 그대로 디스플레이 하기 위해서 장치 특성화 과정을 수행되었다. 그리고 모바일 카메라와 모바일 LCD를 장치 독립적인 색 공간에서 색 정합을 할 때, 모바일 카메라와 모바일 LCD 장치의 색역의 차이를 색역 사상을 통해서 극복하였다. 그러나 장치 독립적인 색 정합을 구성하는 각각의 모듈들은 연산량이 너무 많기 때문에 실시간 처리가 어렵게 된다. 따라서 하드웨어 구현을 용이하기 위해 모바일 카메라와 모바일 LCD의 직접적인 매핑인 3차원 LUT를 설계하였다. 최종적으로 구현된 장치 독립적인 색 정합 LUT를 이용하여 모바일 카메라로 촬영한 영상을 모바일 LCD에 디스플레이 한 결과, 카메라로 촬영될 당시의 피사체가 가지고 있는 색을 그대로 표현하였고, 좀 더 현실감 있는 결과 영상을 얻을 수 있었다. 정량적인 화질 평가에 있어서도 장치 의존적인 색 정합보다 더 나은 결과를 얻었다. 따라서 LUT에 기반한 장치 독립적인 색 정합 기술은 각 장치의 특성을 파악하여 색의 충실도를 향상시킬 수 있으며, 더 나아가 모바일 휴대폰, 인터넷 화상 회의, WCDMA까지 확장될 수 있다.

### 참 고 문 헌

[1] J. Luo, "Displaying images on mobile device: capabilities, issues, and solutions," *Wirel.*



- Commun. Mob. Comput.*, pp. 585-594, 2002.
- [2] J. Y. Hardeberg, *Acquisition and reproduction of color Images: Colorimetric and multispectral approaches*, Dissertation.com, 2001.
- [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] 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.
- [6] M. D. Fairchild, *Color Appearance Models*, Addison-Wesley, 1998.
- [7] G. Hong, M. R. Luo, and P. A. Ronnier, "A study of digital camera colorimetric characterization based on polynomial modeling," *Color Research and Application*, vol. 26, no. 1, pp. 76-84, Feb. 2001.
- [8] M. R. Pointer, G. G. Attridge, and R. E. Jacobson, "Practical camera characterization for colour measurement," *The Imaging Science Journal*, vol. 49, no. 2, pp. 63-80, July 2001.
- [9] H. R. Kang, *Color Technology for Electronic Image Device*, SPIE Optical Engineering Press, 1996.
- [10] 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.

저 자 소 개



손 창 환(정회원)  
 2002년 경북대학교 전자전기공학  
 부 학사 졸업.  
 2004년 경북대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 2006년 경북대학교 전자공학과  
 박사과정 수료

<주관심분야 : 디스플레이 및 디지털 프린팅 색  
 재현>

이 철 희(정회원)  
 제 41권 SP편 제 1호 참조

하 영 호(평생회원)  
 제 38권 SP편 제 3호 참조

박 기 현(정회원)  
 제 41권 SP편 제 6호 참조