

논문 2004-41SP-2-1

색역 사상과 색공간 변환을 위한 칼라 참조표 설계

(Color Look-Up Table Design for Gamut Mapping and Color Space Conversion)

김 윤 태*, 조 양 호*, 이 호 근*, 하 영 호*

(Yun-Tae Kim, Yang-Ho Cho, Ho-Keun Lee, and Yeong-Ho Ha)

요 약

본 논문에서는 복잡한 연산을 거치지 않고 칼라 참조표만으로 색역 사상과 색공간 변환을 동시에 처리하는 칼라 참조표를 설계하였다. 스캐너와 프린터의 색역을 구성하는 참조표를 만들고 스캐너에서 계산된 색역 데이터를 색역 확장하여 칼라 참조표의 입력 $CIEL^*a^*b^*$ 값으로 사용한다. 칼라 참조표 생성을 위한 입력 $CIEL^*a^*b^*$ 값들은 가변 다중 닷점 색역 사상 방법을 사용하여 색역 사상된 CMY 값으로 계산된다. 제안한 칼라 참조표는 칼라 운영 시스템에 적용하여 스캐너 RGB 입력 영상을 다항 회귀 방정식을 이용하여 $CIEL^*a^*b^*$ 색공간으로 변환한 후에 제안한 칼라 참조표를 이용하여 색역 사상과 동시에 색공간 변환을 처리하게 된다. 실험에서는 제안한 방법이 직접 계산에 의한 색역 사상 방법에 비해서 색차는 유사하면서 연산의 복잡도는 줄이는 결과를 얻었다.

Abstract

This paper proposes the method that design CLUT(color look-up table) simultaneously processing gamut mapping and color space conversion using only CLUT without complex computation. After CLUT is constructed using scanner gamut and printer gamut, the scanner gamut is extended to include original scanner gamut. This extended scanner gamut is used as input $CIEL^*a^*b^*$ values for CLUT. Then CMY values are computed by using gamut mapping. Input RGB image of scanner is converted into $CIEL^*a^*b^*$ by using regression function. $CIEL^*a^*b^*$ values of scanner are converted into CMY values without computation of additional gamut mapping using the proposed CLUT. In the experiments, the proposed method resulted in the similar color difference, but reduced the complexity computation than the direct computing method to process gamut mapping and color space conversion respectively.

Keywords: 칼라 참조표, 가변 다중 닷점 색역 사상, 색공간 변환, 다항 회귀 방정식

I. 서 론

디지털 칼라 운영 기술은 영상의 입력 단계부터 출력까지의 통합적인 칼라 운영을 통하여 각 미디어에서 재현된 칼라의 신뢰성을 얻기 위한 기술이다. 본 논문에서는 이와 같은 통합적인 칼라 운영 기술을 개발하기 위해서 색역 사상과 색공간 변환을 동시에 적용하기 위한 칼

라 참조표(color look-up table)를 설계하였다. 칼라 장치들은 그 장치의 특성 때문에 그것이 입력 장치인지 출력 장치인지에 따라 색을 표현할 수 있는 색역이 다르다. 따라서 두 입출력 장치 사이의 측색적인 색차를 최대한 줄일 뿐만 아니라 인간 시각에 의해 인지된 영상에서의 색차 역시 최소로 할 필요가 있다.

기존의 색공간 변환을 하는 방법으로는 다항 회귀 방정식을 이용하는 방법,^[1,2] 신경망을 이용한 방법,^[3,4] 참조표를 이용한 3차원 보간 방법^[5] 등이 있다. 다항 회귀 방정식을 이용하는 방법은 미리 목적치로 정해놓은 입출력 데이터 쌍을 이용하여 다항 회귀 방정식의 계수를 구한다. 이렇게 구해놓은 계수를 이용하여 임의의 입력값이 들어오면 이 계수와의 곱으로 출력값을 구하게 된다.

* 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

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

접수일자: 2003년1월28일, 수정완료일: 2004년3월1일

이 방법은 입력과 출력의 관계를 다항 함수로 정의하기 때문에 입력과 출력의 관계가 선형적일 경우에 적합한 색공간 변환 방법이다. 신경망을 이용하는 방법은 입력과 출력의 비선형적인 관계를 찾기 위한 방법으로 적합하나 오차의 표준편차가 커서 안정적이지 못한 결과가 나타나는 단점이 있다. 보간 방법으로는 육면체 보간 방법, 프리즘 보간 방법, 그리고 사면체 보간 방법 등이 있다. 그 중 사면체 보간 방법은 수행이 다른 방법보다 쉽고, 4개의 사면체 평면이 평평해서 임의의 칼라 값이 그 사면체에 속하는 지의 유무를 쉽게 알 수 있는 장점이 있다.

색역 사상은 입력 장치와 출력 장치간의 색역의 차이로 인해서 출력 장치에서 입력 장치의 색역 밖의 색을 색역의 안쪽으로 처리하여 색차를 줄이는 방법이다. Morovic이나 Hezog, Lee 등이 사용한 색역 사상 방법은 색상 성분을 고정하고 휘도나 채도 성분을 동시에 변화하여 사상하므로 2차원 색역 사상 방법이 된다.^[6-9] 최근에는 휘도, 채도, 색상을 동시에 고려하여 색역 사상을 수행하는 Spaulding이나 Katoh 등의 3차원 색역 사상 방법도 제안되었다.^[10,11]

본 논문에서는 칼라 운영 체계에 사용되는 이 두 가지를 동시에 처리하는 칼라 참조표를 설계하는 방법을 제안한다. 스캐너의 입력 RGB와 균등 색공간인 $CIEL^*a^*b^*$ 색공간의 데이터쌍의 관계가 거의 선형적이기 때문에 입력 RGB 색공간에서 변환할 때에는 다항 회귀 방정식 방법을 사용하였다. 스캐너와 $CIEL^*a^*b^*$ 색공간의 데이터쌍의 관계에 비해서 프린터와 $CIEL^*a^*b^*$ 색공간의 관계가 훨씬 더 비선형적이기 때문에 $CIEL^*a^*b^*$ 색공간에서 프린터의 CMY 색공간으로 변환을 할 때는 3차원 사면체 보간 방식을 사용하였다. 또한 색역 사상 방법으로는 색상 성분을 고정시키고 휘도 성분과 채도 성분을 동시에 사상시키는 2차원 사상 방법인 가변 다중 닷점을 이용한 색역 사상 방법을 적용하였다.^[8] 스캐너와 프린터의 색역을 구성하는 참조표를 만들고 스캐너에서 계산된 색역 데이터를 색역 확장하여 칼라 참조표의 입력 $CIEL^*a^*b^*$ 값으로 사용한다. 칼라 참조표 생성을 위한 입력 $CIEL^*a^*b^*$ 값들은 가변 다중 닷점 색역 사상 방법을 사용하여 색역 사상된 CMY 값을 계산한다. 색역 사상된 $CIEL^*a^*b^*$ -CMY 칼라 참조표가 얻어지면, 스캐너의 RGB 입력 영상이 들어오면 미리 정해놓은 다항 회귀 방정식을 이용하여 $CIEL^*a^*b^*$ 값으로 변환을 한다. 마침내 이 변환된 $CIEL^*a^*b^*$ 값은 제안한 칼라 참조표에 의해서 색역 사상된 CMY 값으로 출력하게 된다. 실험에서

는 제안한 방법이 기존의 색역 사상과 색공간 변환을 각각 처리하였을 때에 비해서 색차는 유사하면서 연산의 복잡도는 줄이는 결과를 얻었다.

II. 스캐너 특성화

본 연구에서는 스캐너를 특성화하기 위해서 스캐너의 측색적 색재현 방법을 사용하였다. 스캐너를 특성화하기 위해서 선형화 작업을 수행하고 다항 회귀 방정식을 이용하여 입력과 출력의 관계를 정의하는 행렬식을 계산한다.

1. 스캐너 선형화

스캐너의 RGB 값은 입력 신호의 분광 에너지에 비례하지 않는 특성을 가진다. 이러한 비선형성으로 인해서 다음과 같은 문제를 발생시킨다. 즉 각 스캐너 장치마다 다른 감마 보정 값의 적용으로 스캐너의 정확한 입출력 특성을 알 수가 없다. 따라서 이러한 감마값을 제거하기 위해서 아래 식을 이용하여 스캐너를 선형화 한다.

$$\begin{aligned} R_L &= k_R R^{\gamma_R} \\ G_L &= k_G G^{\gamma_G} \\ B_L &= k_B B^{\gamma_B} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 R_L, G_L, B_L 은 선형화된 RGB 값이고, k_R, k_G, k_B 는 스케일링 상수, $\gamma_R, \gamma_G, \gamma_B$ 는 지수값이다. 감마값을 추정하기 위해서 N_g 개의 그레이 스케일 칼라 차트의 측정된 반사율 값 $r_i, i=1, \dots, N_g$ 를 사용한다. 이는 N_g 개의 차트의 측정된 반사율 값을 선형화된 값으로 사용하기 위해서이다.

$$\begin{aligned} r_i &= k_R R_i^{\gamma_R} \\ r_i &= k_G G_i^{\gamma_G} \\ r_i &= k_B B_i^{\gamma_B}, \quad \text{for } i=1, \dots, N_g \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)를 사용하여 N_g 개의 식은 LMS(least mean square) 방법에 의해서 구해진다. 그림 1은 G 채널에 대한 측정된 반사율 값과 LMS 방법에 의해서 계산된 선형화 곡선을 보여주고 있다. 그래프에서 세로축은 N_g 개의 그레이 패치에 대한 측정된 밝기값이고 가로축은 RGB 각 채널의 그레이 값을 정규한 값이다. 선형화 곡선이 측정된 반사율 값과 거의 일치함을 알 수 있다.

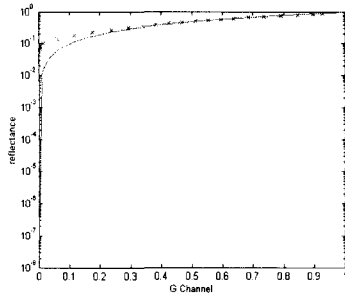


그림 1. G 채널에 대한 측정된 반사율 값과 LMS 방법에 의해서 계산된 선형화 곡선
Fig. 1. Linearized curves computed by reflectance measured for G channel and LMS method.

2. 다항 회귀 방정식에 의한 스캐너 특성화

선형화된 스캐너의 RGB 값을 이용하여 RGB 값과 CIEL*a*b* 값 사이의 다항 회귀 방정식의 계수를 계산한다. 본 연구에서는 시스템 구현의 복잡도 등을 고려하여 3×6 행렬식을 사용하였다.

$$\begin{aligned}
 L^{(c)} &= \alpha_0 R + \alpha_1 G + \alpha_2 B + \alpha_3 RG + \alpha_4 GB + \alpha_5 BR \\
 a^{(c)} &= \beta_0 R + \beta_1 G + \beta_2 B + \beta_3 RG + \beta_4 GB + \beta_5 BR \\
 b^{(c)} &= \gamma_0 R + \gamma_1 G + \gamma_2 B + \gamma_3 RG + \gamma_4 GB + \gamma_5 BR
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

여기서 $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$ 는 다항 회귀 방정식의 계수, $L^{(c)}, a^{(c)}, b^{(c)}$ 는 다항 회귀 방정식을 적용하여 계산된 CIEL*a*b* 값이다. 표 1은 식 (3)을 이용하여 구해진 다항 회귀 방정식의 계수를 보여주고 있다. 이 다항 회귀 방정식의 계수를 이용하여 3×6 행렬식을 구성한 뒤, 이 행렬식을 이용하여 임의의 RGB 입력값이 들어오면 CIEL*a*b* 값으로 변환한다. 이 행렬식은 본 연구에서 스캐너의 색역을 구성하기 위한 참조 테이블을 구성할 뿐만 아니라 입력 스캐너 RGB 값을 CIEL*a*b* 값으로 변환할 때 사용된다.

표 1. 스캐너 특성화의 다항 회귀 방정식 계수
Table 1. Regression coefficient of scanner characterization

	j	α_j	β_j	γ_j
R	0	0.1039	0.5341	0.2512
G	1	0.2506	-0.8700	0.6210
B	2	-0.0264	0.2619	-0.7812
RG	3	-0.0001	0.0012	-0.0005
GB	4	0.0002	-0.0002	0.0003
BR	5	0.0002	-0.0007	-0.0001

III. 색역 사상과 색공간 변환

1. 색역 사상

본 논문에서는 가변 다중 닷점을 이용한 색역 사상 방법을 사용하였다.^[8] 이 방법은 연속 계조 칼라를 재현하기 위해서 색역을 여러 영역으로 구분하여 각각의 영역에서 다른 닷점을 사용한다. 또한 스캐너와 프린터의 휘도가 다르기 때문에 스캐너의 휘도 범위를 프린터의 휘도 범위에 맞추기 위해서 선형적인 압축을 한다. 휘도 사상을 한 후에 연속 계조의 칼라를 재현하기 위해서 휘도에 따라서 여러 영역으로 나누어 다중 닷점을 설정하여 일정한 기울기를 이루도록 한다.

그림 2는 가변 다중 닷점을 이용한 색역 사상 방법을 도식적으로 보여준다. 그림에서 실선은 스캐너의 색역이고 점선은 프린터의 색역을 나타내고 있다. 스캐너와 프린터의 최대 휘도값의 가운데 점을 닷점으로 잡고, 스캐너와 프린터의 최대 휘도의 가운데에 있는 점들은 가운데 닷점으로 사상을 하고, 나머지 점들은 일정한 기울기를 갖는 직선을 연결하여 여러 개의 닷점으로 사상을 한다. 그림 2(a)는 스캐너와 프린터의 두 색역이 완전한 포함 관계에 있을 때, 그림 2(b)는 스캐너와 프린터의 두 색역이 불완전한 포함 관계에 있을 때의 그림을 나타낸다. 밝은 영역과 어두운 영역에서의 닷점은 아래의 식을 이용해서 구한다.

$$L'_a = \begin{cases} L'_{lp} - \frac{(L'_{c,max} - L'_{cr,max})/2}{C'_{c,max}} \times C'_{lp}, & \text{if } L'_{c,max} \geq L'_{cr,max} \text{ and } L'_{lp} \geq L'_{c,max} \\ L'_{lp} + \frac{(L'_{c,max} - L'_{cr,max})/2}{C'_{c,max}} \times C'_{lp}, & \text{if } L'_{c,max} \geq L'_{cr,max} \text{ and } L'_{lp} < L'_{c,max} \\ L'_{lp} - \frac{(L'_{cr,max} - L'_{c,max})/2}{C'_{c,max}} \times C'_{lp}, & \text{if } L'_{c,max} < L'_{cr,max} \text{ and } L'_{lp} \geq L'_{cr,max} \\ L'_{lp} + \frac{(L'_{cr,max} - L'_{c,max})/2}{C'_{c,max}} \times C'_{lp}, & \text{if } L'_{c,max} < L'_{cr,max} \text{ and } L'_{lp} < L'_{c,max} \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
 a'_a &= 0, \\
 b'_a &= 0,
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

여기서 $L'_{c,max}$ 는 스캐너 색역의 최대 채도의 밝기, $L'_{cr,max}$ 는 프린터 색역의 최대 채도의 밝기, L'_{lp} 와 C'_{lp} 는 입력 영상의 밝기를 매핑한 결과이고 $C'_{c,max}$ 는 스캐너 색역의 최대 채도이다. 중간 밝기 영역에서 닷점을 설정하는 방법은 아래의 수식의 의해서 이루어진다. 닷점은 두개의 최대 채도 점들의 중심 밝기값에 따라 정해진다.

$$L_a^* = L_{co\max}^* - \frac{(L_{co\max}^* - L_{cr\max}^*)/2}{C_{o\max}^*} \times C_{o\max}^*,$$

$$a_a^* = 0,$$

$$b_a^* = 0,$$
(5)

스캐너와 프린터의 포함관계가 각 색상 평면에서 다르기 때문에 그림 2(a)와 같이 완전한 포함관계에 있을 때는 스캐너의 모든 색역 밖의 점들이 프린터의 색역으로 사상되고 그림 2(b)와 같이 불완전한 포함관계에 있을 때는 프린터 색역 밖의 점들만 프린터의 색역으로 사상된다. 스캐너와 프린터의 두 색역이 완전한 포함 관계에 있을 때와 스캐너와 프린터의 두 색역이 불완전한 포함 관계에 있을 때의 경우 모두 식 (4), (5)를 이용하여 맞점을 설정한다. 본 논문에서는 이 가변 다중 맞점을 이용한 색역 사상을 이용하여 기존의 한 개의 맞점을 이용한 방법에 비해서 대조도 감소와 경계 부분에서 색이 급격하게 변하는 것을 줄일 수 있었으며 모든 색역에 대해서 일정한 색차를 유지할 수 있었다.

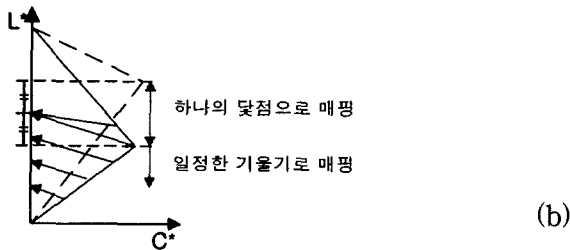
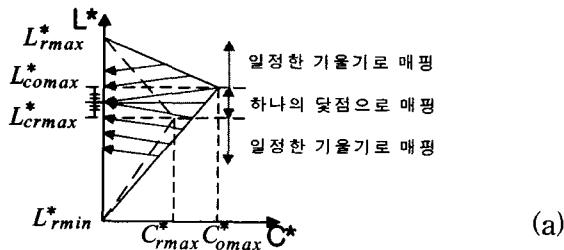


그림 2. 가변 다중 맞점을 이용한 색역 사상 (a)스캐너와 프린터의 두 색역이 완전한 포함 관계에 있을 때 (b)스캐너와 프린터의 두 색역이 불완전한 포함 관계에 있을 때

Fig. 2. Gamut mapping using variable multiple anchor points: (a) In case that the two gamut of scanner and printer are included completely and (b) In case that the two gamut of scanner and printer are included partially.

2. 색공간 변환

CIEL*a*b* 색공간에서 프린터의 CMY 색공간으로 변환하기 위해서 사면체 보간 방법을 사용하였다. 그림 3은

서로 다른 두 색공간에서의 사면체 보간 방법을 보여준다. 먼저 CIEL*a*b* 색공간 상에서 보간할 점을 포함하는 사면체를 찾고 이 사면체에서 각 꼭지점 벡터간의 가중치를 구한다. 이는 보간 방법이 한 색공간에서 구한 가중치만큼 다른 색공간에 적용함으로써 보간된 점을 구하기 때문이다. CIEL*a*b* 공간에서 임의의 입력값 (L_p^*, a_p^*, b_p^*) 는 사면체 각 꼭지점들로 가중치를 구하고 구해진 가중치를 CMY 색공간에 적용함으로써 (c_p, m_p, y_p) 를 구할 수 있다. 참조표에 저장된 알고 있는 CMY값들인 $(c_0, m_0, y_0), (c_1, m_1, y_1), (c_2, m_2, y_2), (c_3, m_3, y_3)$ 에 대해서 측정된 값은 $(L_0^*, a_0^*, b_0^*), (L_1^*, a_1^*, b_1^*), (L_2^*, a_2^*, b_2^*), (L_3^*, a_3^*, b_3^*)$ 이다.

(L_p^*, a_p^*, b_p^*) 를 포함한 사면체의 네 꼭지점의 좌표를 각각 $(L_0^*, a_0^*, b_0^*), (L_1^*, a_1^*, b_1^*), (L_2^*, a_2^*, b_2^*), (L_3^*, a_3^*, b_3^*)$ 로 정의하면 가중치를 구하기 위해서 아래의 식

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1^* - L_0^* & L_2^* - L_0^* & L_3^* - L_0^* \\ a_1^* - a_0^* & a_2^* - a_0^* & a_3^* - a_0^* \\ b_1^* - b_0^* & b_2^* - b_0^* & b_3^* - b_0^* \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} L_p^* - L_0^* \\ a_p^* - a_0^* \\ b_p^* - b_0^* \end{bmatrix} \quad (6)$$

을 이용한다. 이 때의 α, β, γ 는 가중치 값이다. 보간할 점이 그 사면체에 속하기 위해 가중치는 다음의 조건을 만족해야 한다.

$$\alpha \geq 0, \beta \geq 0, \gamma \geq 0, \text{ and } \alpha + \beta + \gamma \leq 1 \quad (7)$$

(L_p^*, a_p^*, b_p^*) 의 사면체의 포함 관계를 찾기 위해서 포함이 안되면 포함된 사면체로의 방향을 결정한다. 결정된 방향으로 이웃한 사면체로 이동한 후 다시 포함여부를 결정한다. 만약 계산된 가중치가 모두 양수이면 이 사면체는 (L_p^*, a_p^*, b_p^*) 를 포함하고 있고 어느 하나라도 음수이면 (L_p^*, a_p^*, b_p^*) 는 이 사면체 외부에 존재한다. 만약 (L_p^*, a_p^*, b_p^*) 가 외부에 존재하면 절대치가 가장 큰 음수의 가중치에 대응되는 부사면체의 면을 공유한 사면체로 이동한다. 이 과정을 계속 반복하여 (L_p^*, a_p^*, b_p^*) 가 포함된 사면체를 찾는다.

조건을 만족하는 가중치는 사면체의 각 꼭지점에 일치하는 측정값을 이용하는 아래 식으로 인해 보간된 점의 값을 구한다.

$$\begin{bmatrix} c_p \\ m_p \\ y_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 - c_0 & c_2 - c_0 & c_3 - c_0 \\ m_1 - m_0 & m_2 - m_0 & m_3 - m_0 \\ y_1 - y_0 & y_1 - y_0 & y_1 - y_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_0 \\ m_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

여기서 $(c_0, m_0, y_0), (c_1, m_1, y_1), (c_2, m_2, y_2), (c_3, m_3, y_3)$ 는 참조표에 저장된 알고 있는 CMY 값이고 (c_p, m_p, y_p) 는 (L^*, a^*, b^*) 에 대응되는 최종 사면체 보간된 결과값이다.

IV. 제안한 칼라 참조표 설계 방법

1. 칼라 참조표의 입력 $L^*a^*b^*$ 생성을 위한 방법

$CIEL^*a^*b^*$ -CMY 칼라 참조표를 만들기 위해서 칼라 참조표의 입력값이 되는 $L^*a^*b^*$ 값을 선택하는 방법이 중요하다. 임의의 스캐너 RGB가 $L^*a^*b^*$ 값으로 변환되고 칼라 참조표에서 포함 관계를 찾아야 한다. 따라서 미리 만들어 놓은 칼라 참조표에서의 $L^*a^*b^*$ 값이 스캐너의 색역 데이터를 완전히 포함해야만 사면체 보간이 완벽하게 수행된다.

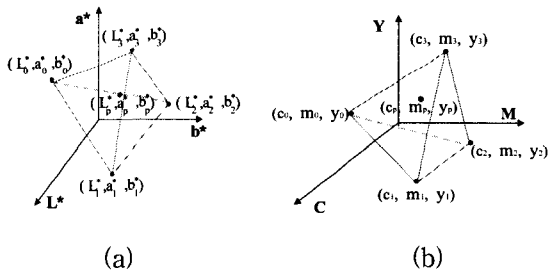


그림 3. 서로 다른 두 색공간에서 일치하는 사면체 (a) $CIEL^*a^*b^*$ 색공간, (b) CMY 색공간

Fig. 3. Tetrahedrons corresponding in two different color spaces: (a) $CIEL^*a^*b^*$ color space and (b) CMY color space.

그림 4는 색역 참조표를 설계했을 때의 색역 경계면에서 문제점을 보여주고 있다. 스캐너의 색역 데이터를 나타내는 L^*-b^* 영역상의 그래프에서 MacbethColor Checker에서 빨강과 오렌지색에 해당하는 $L^*a^*b^*$ 좌표는 그림에서 원으로 표시한 곳에서처럼 스캐너 색역의 경계면에 위치하고 있다. 만약 칼라 참조표의 $L^*a^*b^*$ 색역이 그림 4의 색역과 같이 구성되어 있다면 빨강과 오렌지색에 대응되는 CMY값은 주위의 사면체 포인트를 찾지 못해서 변환이 되지 않을 것이다. 따라서 본 논문에서는 스캐너의 $L^*a^*b^*$ 색역을 완전히 포함할 수 있도록 색역을 확장하는 방법을 제안한다. 그림 5에서와 같이 스캐너 $L^*a^*b^*$ 색역 값을 전체적으로 확장시켜서 칼라

참조표의 입력 $L^*a^*b^*$ 값들을 얻는다. 생성된 칼라 참조표의 $L^*a^*b^*$ 색역은 스캐너 RGB 영상에서 어떠한 $L^*a^*b^*$ 값들이 변환되더라도 사면체 보간시에 주위 사면체 점들을 찾을 수 있다.

그림 6은 칼라 참조표의 입력값들을 결정하기 위한 흐름도이다. 스캐너의 다항 회귀 방정식으로부터 RGB를 산술적으로 1331개로 나눈 점들에 대응하는 $L^*a^*b^*$ 값인 L^*_i, a^*_i, b^*_i 가 입력으로 사용된다. 이 값은 L^*_i 과 a^*_i, b^*_i 로 나뉘어져서 L^*_i 값은 아래의 식

$$SL^*_{min} < L^*_i < SL^*_{min} + \frac{SL^*_{max} - SL^*_{min}}{2} \quad (9)$$

과 같이 전체 색역의 밝기값이 50%보다 어두운 영역에서는 a^*_L 만큼 빼주고 밝은 영역에서는 a^*_L 만큼 더해줘서 밝기값에 대해서 확장을 한다. SL^*_{min} 와 SL^*_{max} 은 각각 스캐너 색역의 최대값과 최소값이다.

a^*_i, b^*_i 값은 양수와 음수로 나누어서 양수면 a^*_a, a^*_b 만큼 더해주고, 음수면 반대로 빼준 후에 확장된 a^*_i, b^*_i 값을 얻는다. 입력 L^*_i, a^*_i, b^*_i 에 대한 최종 확장된 칼라 참조표의 입력 데이터에 사용될 $L^*_{CLUT}, a^*_{CLUT}, b^*_{CLUT}$ 값들을 얻는다.

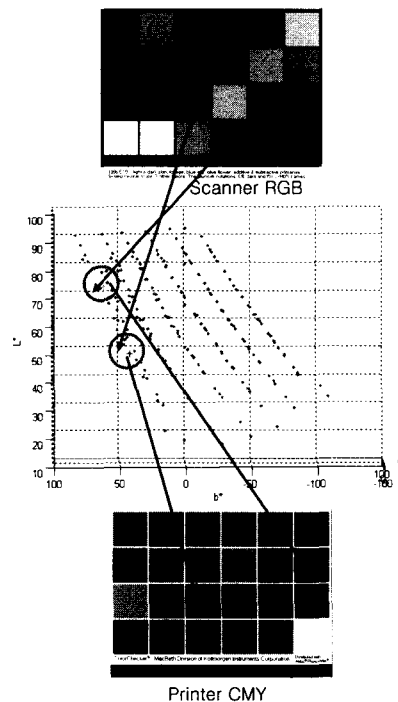


그림 4. 색역 경계 문제가 발생하는 예
Fig. 4. Example for problem of gamut boundary

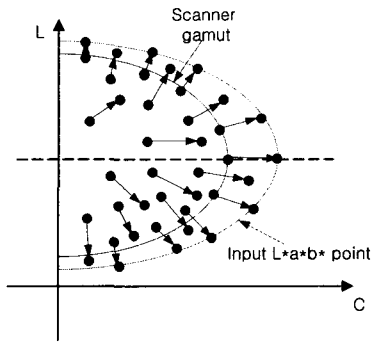


그림 5. 모든 칼라 참조표 입력 점들이 스캐너의 색역을 포함하도록 전체적으로 확장하기 위한 입력 점들의 결정

Fig. 5. Decision of CLUT input points so that all of the points may be extended totally to include scanner gamut

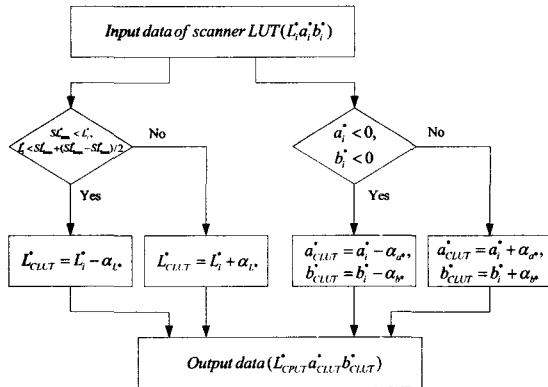


그림 6. CLUT 입력 값들을 결정하기 위한 흐름도
Fig. 6. Flow chart for decision of CLUT input points.

2. 제안한 칼라 참조표 설계 방법

본 연구에서는 복잡한 연산을 거치지 않고 칼라 참조표만으로 색역 사상과 색공간 변환을 동시에 처리하는 칼라 참조표를 설계하는 방법을 제안하였다. 스캐너의 입력 RGB 값을 스캐너의 특성화로 $CIEL^*a^*b^*$ 값으로 변환한 후에 이 스캐너의 $CIEL^*a^*b^*$ 값을 프린터의 $CIEL^*a^*b^*$ 값으로 색역 사상을 한다. 이렇게 모든 스캐너의 RGB 값에 대해서 다항 회귀 함수를 계산하고 직접 색역 사상 과정을 계산한다면 연산 시간이 증가할 뿐만 아니라 연산량이 증가하기 때문에 시스템을 구현하기 힘들다. 따라서 색역 사상과 색공간 변환을 동시에 처리하기 위한 효율적인 칼라 참조표 설계가 필요하다.

그림 7은 제안한 칼라 참조 표 테이블을 만드는 블록 다이어그램을 보여주고 있다. 먼저 프린터의 색역을 구성하기 위해서 프린터의 CMY 색공간에서 1331(11×11×11)

개의 샘플을 프린터로 직접 출력한 후에 분광 측정기(Spectrolino)로 $CIEL^*a^*b^*$ 값을 측정한다. 이때 출력에 사용한 하프토닝 방법은 MJBNM(modified-jointly blue noise mask)^[12] 방법이다. 이 MJBNM 방법은 CMY 3개의 칼라 채널의 상관관계를 고려하여 최대한 CMY의 중첩이 되지 않도록 만들어진 마스크이다. 이 마스크 값을 이용하여 단지 입력 영상과의 문턱치 비교만으로 하프토닝 출력을 할 수 있다.

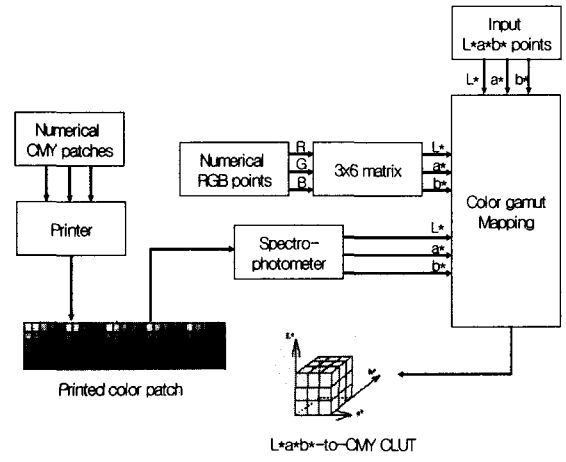


그림 7. 칼라 참조 테이블을 만드는 블록 다이어그램
Fig. 7. Block diagram generating CLUT

이 방법을 이용하여 1331개의 샘플에 대한 프린터의 CMY와 $CIEL^*a^*b^*$ 의 참조표가 만들어진다. 또한 스캐너 입력에 대한 색역의 참조표를 구하기 위해서 1331개의 RGB 샘플을 수치적으로 계산한 후에 미리 구해놓은 다항 회귀 방정식에 의한 행렬식을 이용하여 $CIEL^*a^*b^*$ 값을 계산한다. 여기서 1331개의 샘플에 대한 스캐너의 RGB와 $CIEL^*a^*b^*$ 의 참조표가 만들어진다. 각 장치에 대한 샘플의 참조표가 만들어진 후에 제안한 칼라 참조표를 만들기 위한 1331개의 입력 $L^*a^*b^*$ 데이터는 4.1절에서 설명한 것과 같이 생성한다. 칼라 참조표의 입력 $L^*a^*b^*$ 값은 가변 다중 닷점을 이용한 색역 사상 방법으로 계산한다. 마침내 이 데이터들은 색역 사상된 후의 $CIEL^*a^*b^*$ 값으로 변환이 된다. 이렇게 변환된 $CIEL^*a^*b^*$ 값을 사면체 보간 방법을 이용하여 계산하면 대응되는 CMY 값을 찾을 수 있다. 즉 제안된 칼라 참조표에는 스캐너 색역의 $CIEL^*a^*b^*$ 값들로부터 색역 확장된 값들과 이 값들이 색역 사상된 후의 CMY 값으로 구성되어 있다.

3. 칼라 참조표를 이용한 칼라 운영 시스템의 적용

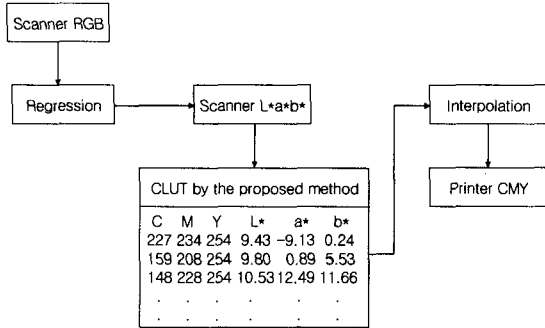


그림 8. 제안한 칼라 참조표에 의한 CMS의 블록 다이어그램

Fig. 8. Block diagram of CMS for scanner RGB-to-printer CMY by the proposed CLUT

색역 사상과 색공간 변환을 동시에 처리하기 위한 칼라 참조표는 입력 RGB값으로부터 출력 CMY 값을 얻는 칼라 운영 시스템에 적용된다. 그림 8는 제안한 칼라 참조표에 의한 칼라 운영 시스템의 블록 다이어그램을 나타내고 있다. 임의의 스캐너 RGB 영상이 입력으로 들어오면 다항 회귀 방정식의 행렬식을 이용하여 $L^*a^*b^*$ 값으로 변환하고 이 값을 4.2절에서 만들어 놓은 칼라 참조 테이블을 이용하여 사면체 보간을 수행하면 원하는 CMY 출력값을 얻을 수 있다. 이 방법은 스캐너와 프린터의 참조 테이블의 정확성만 보장이 된다면 제안한 칼라 참조 테이블의 크기를 임의로 생성할 수 있는 장점이 있다.

V. 실험 및 고찰

실험에서 사용된 스캐너는 삼성 SIS-3800, 프린터는 HP-948c 잉크젯 프린터를 사용하였다. 종이는 EPSON의 잉크젯 전용지를 사용하였으며, 프린터 패치의 $CIEL^*a^*b^*$ 값을 측정하기 위해서 GretagMacbeth Spectrolino를 사용하였다. 실험 영상은 Woman RGB 영상, IT8.7/2 칼라 차트의 RGB 영상을 사용하였다. 결과 영상은 프린터 드라이버를 직접 제어해서 프린터로 출력한 영상을 다시 스캔한 영상이다.

1. 장치의 색역 측정

먼저 스캐너와 프린터의 색역을 나타내기 위하여 본 논문에서는 RGB와 CMY를 각 25간격으로 11단계로 구

분한 다음 $11 \times 11 \times 11$ 의 1331개의 색 샘플을 만들어 참조표를 작성하였다. 표준 광원은 D65를 적용하였다. 스캐너의 색역은 IT8.7/2 칼라 차트의 264개의 샘플 패치를 사용하여 차트를 스캔한 후에 RGB 값을 얻는다. 차트의 264개의 원래의 $CIEL^*a^*b^*$ 값과 스캔된 차트의 RGB 값을 다항 회귀 방정식을 이용하여 행렬식을 구한다. RGB 색공간에서 균등하게 선택된 값에 대한 $CIEL^*a^*b^*$ 값을 계산하여 스캐너의 색역을 구한다. 프린터의 색역은 CMY 색공간에서 나누어진 샘플 패치를 블루 노이즈 마스크(MJBNM)를 이용한 중간조 처리 방법을 이용하여 분광 광도계로 측정하여 $CIEL^*a^*b^*$ 값을 얻었다.

2. 화질의 객관적 평가를 위한 색차 비교

제안한 방법의 성능을 평가하기 위해서 색역 사상을 직접 하였을 때와 제안한 칼라 참조 테이블을 사용했을 때의 ΔE^*_{ab} 색차를 비교하였다. ΔE^*_{ab} 색차를 비교하기 위한 수식은 다음과 같다.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_o - L^*_p)^2 + (a^*_o - a^*_p)^2 + (b^*_o - b^*_p)^2} \tag{10}$$

여기서 $L^*_o a^*_o b^*_o$ 는 IT8.7/2 칼라 차트의 원래의 $CIEL^*a^*b^*$ 값이며, $L^*_p a^*_p b^*_p$ 는 프린터에서 측정으로 얻어진 $CIEL^*a^*b^*$ 값이다. ΔE^*_{ab} 색차는 IT8.7/2 칼라 차트의 원래의 $CIEL^*a^*b^*$ 값을 이용하여 직접 연산에 의한 방법과 칼라 참조표를 이용한 방법 각각에 대해서 색차를 구하였다. 표 2에서 보듯이 제안한 방법이 직접 연산에 의한 방법에 비해서 색차가 거의 차이가 없다는 것을 보여 주고 있다.

표 2. IT8.7/2 칼라 차트에 대한 색차 비교
Table 2. Comparison of color difference for IT8.7/2 color chart

	직접 연산에 의한 방법	제안한 칼라 참조표를 이용한 방법
ΔE^*_{ab}	10.63	12.11

3. 연산 시간의 비교

제안한 방법의 성능을 평가하기 위해서 색역 사상을 직접 계산한 것과 제안한 칼라 참조 테이블을 사용했을

때의 연산 시간을 비교하였다. 연산 시간은 Pentium IV 1.9G 컴퓨터를 사용하여 시뮬레이션 시에 걸린 시간을 비교하였다. 표 3에서 보듯이 제안한 방법이 직접 연산에 의한 방법에 비해서 연산시간이 상당히 줄었다는 것을 보여주고 있다. 이것은 제안한 방법이 실제 칼라 잉크젯 프린터나 복합기를 만드는데 유용하다는 것을 보여준다. 또한 하드웨어를 구현할 경우에도 직접 색역 사상에 의한 연산과정이 생략되고 원래 구현하여야만 하는 색공간 변환 과정에 색역 사상 과정이 포함되기 때문에 비용을 절감하는 효과가 있다.

표 3. 연산 시간에 대한 비교

Table 3. The comparison of the computation time.

실험영상	직접 연산에 의한 방법	제안한 칼라 참조표를 이용한 방법
Woman 영상(RGB)	2분 25초	1분 36초
IT8.7/2 (RGB)	1분 54초	1분 15초

4. 주관적 화질 비교

제안한 칼라 참조표를 이용한 결과 영상을 그림 9-10 은 보여주고 있다. 그림 9의 Woman 영상에서는 직접 연산에 의한 방법과 제안한 방법에 의한 결과가 거의 유사한 결과를 나타내고 있다. 그림 10의 칼라 차트에서는 제안한 칼라 참조표를 사용한 방법이 직접 연산에 의한 방법과 전체적으로 거의 유사한 결과를 보여주고 있다. 그러나 노란색 바가 있는 영역에서는 제안한 방법이 직접 연산에 의한 방법에 비해서 색차가 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 노란색 영역은 $CIEL^*a^*b^*$ 색공간에서 노란색에 해당하는 밝은 영역에 샘플 수가 부족하기 때문에 칼라 참조표를 이용했을 경우에 색차가 좀 더 커지는 결과가 나타났다. 이것을 해결하기 위해서는 노란색에 해당하는 점들은 밝은 영역에서 더욱더 많은 샘플 점들을 선택해야 할 것이다.

또한 피실험자 10명을 선택해서 주관적 화질 평가를 실시하였다. 실험 방법은 프린터 출력 영상을 놓고 10명의 실험자에게 화질이 가장 좋은 것부터 좋지 않은 순서대로 점수를 매기게 했다. 가장 좋은 것은 5점, 좋은 것은 4점, 보통은 3점, 좋지 않으면 2점, 가장 좋지 않은 것

은 1점이다. 표 4는 Woman 영상과 IT8.7/2 칼라 차트의 RGB 영상에 대해서 실험을 한 후에 평균을 계산한 결과 값이다. 표 4의 결과에서도 나타나듯이 제안한 칼라 참조표를 이용한 방법이 직접 연산에 의해서 수행한 방법과 비교할 때 주관적 화질면에서도 거의 유사한 결과가 나타남을 알 수 있다.

표 4. 주관적 화질 평가에 대한 결과

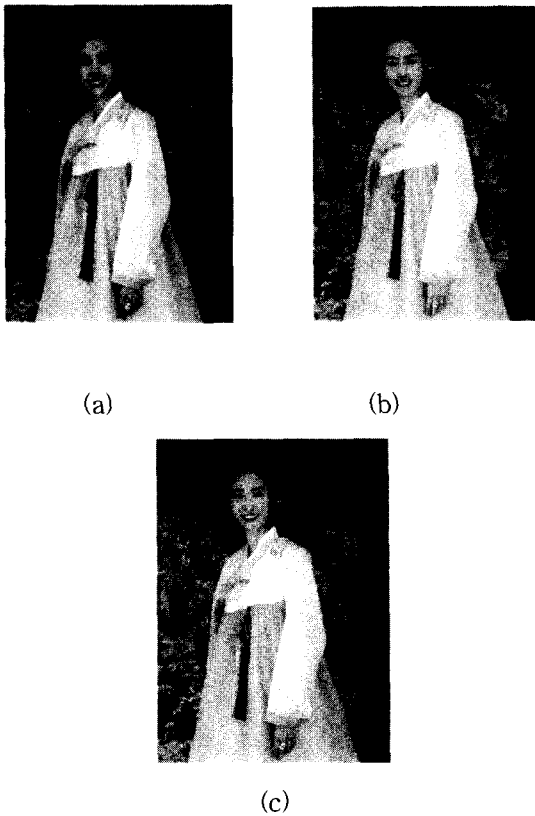
Table 4. The result of psychophysical test.

실험영상	직접 연산에 의한 방법	제안한 칼라 참조표를 이용한 방법
Woman (RGB)	4.3	4.2
IT8.7/2 (RGB)	4.5	4.3

VI. 결 론

본 연구에서는 복잡한 연산을 거치지 않고 칼라 참조표만으로 색역 사상과 색공간 변환을 동시에 처리하는 칼라 참조표를 설계하였다. 스캐너와 프린터의 색역을 구성하는 참조표를 만들고 스캐너에서 계산된 색역 데이터를 색역 확장하여 칼라 참조표의 입력 $CIEL^*a^*b^*$ 값으로 사용한다. 칼라 참조표 생성을 위한 입력 $CIEL^*a^*b^*$ 값들은 가변 다중 닷점 색역 사상 방법을 사용하여 색역 사상된 CMY 값을 계산한다. 마침내 색역 사상에 의해서 수정된 CMY와 $CIEL^*a^*b^*$ 으로 구성된 칼라 참조표를 얻게 된다. 먼저 스캐너의 입력 영상을 $CIEL^*a^*b^*$ 색공간 변환을 수행한 후에 제안한 칼라 참조표만으로 색역 사상과 동시에 $CIEL^*a^*b^*$ 색공간에서 CMY 색공간으로 색공간 변환을 처리하게 된다.

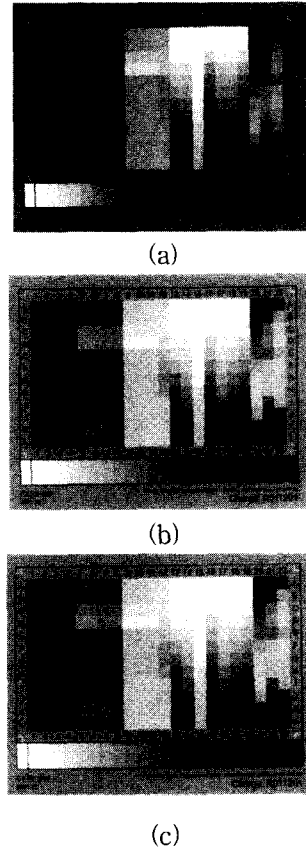
실험에서는 제안한 방법이 실제 연산에 의해서 처리된 방법에 비해서 색차는 유사하면서 연산의 복잡도는 줄어든 결과를 얻었다. 하지만 제안한 방법은 노란색에 해당하는 영역에서는 좀 더 큰 색차가 발생하는데 이것은 $CIEL^*a^*b^*$ 색공간에서 노란색에 해당하는 밝은 영역에 샘플 수가 부족하기 때문에 발생한다. 따라서 앞으로 $CIEL^*a^*b^*$ 색공간에서 균등하게 샘플을 선택하는 연구가 진행되어야 할 것이다.



(a)

(b)

(c)



(a)

(b)

(c)

그림 9. Woman 영상의 RGB값을 출력한 결과 영상 (a) 스캔된 원영상, (b) 직접 연산에 의한 방법, (c) 제안한 칼라 참조표를 이용한 방법
Fig. 9. Resulted images printing RGB values for Woman image: (a) Scanned original image, (b) Direct computing method, and (c) Proposed CLUT method.

그림 10. IT8.7/2 칼라 차트의 RGB값을 출력한 결과 영상 (a) 스캔된 원영상, (b) 직접 연산에 의한 방법, (c) 제안한 칼라 참조표를 이용한 방법
Fig. 10. Resulted images printing RGB values for IT8.7/2 color chart: (a) Scanned original image, (b) Direct computing method, and (c) Proposed CLUT method

참고 문헌

[1] Y. Arai, Y. Nakano, and T. Iga, "A method of transformation from CIE-L*a*b* to CMY value by a three-layered neural network," Proc. 1st IS&T/SID Color Imaging Conf., Scottsdale, AR, U.S.A., pp. 173-177, Nov. 1993.

[2] H. R. Kang, "Color scanner calibration," Journal of Imaging Science and Technology, vol. 36, no. 2, pp. 162-170, Mar./April 1992.

[3] S. Tominaga, "Color notation conversion by neural networks," Color Research and Application, vol. 18, no. 4, pp.253-259, August, 1993.

[4] 이철희, 김희수, 안석출, 하영호, "프린터 색역에 균등한 분포를 갖는 색표본 생성 및 재현," 대한 전자공학회 논문지, 제 37권, SP편, 제 5호, 2000년 9월.

[5] K. Knamori, "Fast color processor with programmable interpolation by small memory(PRISM)," Journal of Electronic Imaging, vol. 2, no. 3, pp. 213-224, July 1993.

[6] 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.

[7] 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.

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

[9] 조양호, 김윤태, 이철희, 하영호, "휘도 대비와 채도 향상을 위한 색 공간 분할 색역 사상," 대한 전자공학회 논문지, 제 39권, SP편, 제 5호, 2002년 9월.

[10] 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, Jan. 1995.

[11] 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, no.4, pp. 365-379, Oct. 1999.

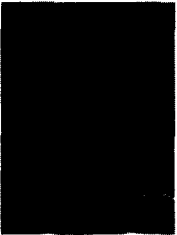
[12] Y. S. Kwon, Y. T. Kim, C. H. Lee, and Y. H. Ha, "Modified Jointly Blue Noise Mask Approach Using S-CIELAB Color Difference," Journal of Imaging Science and Technology, vol. 46, no. 6, pp. 543-549, Nov./Dec. 2002.

저 자 소 개



김 윤 태(정회원)
 1999년 경북대학교 전자전기공학부(공학사)
 2001년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 2001년~현재 경북대 전자공학과 박사과정 재학중
 <주관심분야: 광원 추정, 색관리 시스템, 디지털 칼라 프린팅 등임>

이 호 근(정회원)
 제 38권 SP편 제 4호 참조



조 양 호(정회원)
 2000년 경북대학교 전자전기공학부(공학사).
 2002년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 2002년~현재 경북대 전자공학과 박사과정 재학중,
 <주관심분야: 장치간 색 일치, 디지털 칼라 프린팅 등임>

하 영 호(정회원)
 제 38권 SP편 제 3호 참조