

## 잉크젯 복합기를 위한 칼라 참조 테이블 설계

김 윤 태, 조 양 호, 이 호 근, 하 영 호

경북대학교 전자전기컴퓨터학부

전화 : 053-940-8635 / 핸드폰 : 017-513-9695

### Color Look-Up Table for Multi-Function Printer

Yun Tae Kim, Yang Ho Cho, Ho Keun Lee, Yeong Ho Ha

School of Electrical Engineering and Computer Science

E-mail : yha@ee.knu.ac.kr

#### Abstract

This paper proposes the method that design CLUT(color look-up table) simultaneously processing gamut mapping and color space conversion using only LUT without complex computation. After we construct LUT composed of scanner gamut and printer gamut, we extend  $L^*a^*b^*$  points based on input  $L^*a^*b^*$  to include input scanner  $L^*a^*b^*$ . Input RGB image of scanner is converted into  $CIEL^*a^*b^*$  using regression function. CIELAB values of scanner are converted into CMY values including gamut mapping processing without additional gamut mapping using the proposed CLUT. In the experiments, the proposed method resulted in the similar color difference, but reduced the complexity computation compared with processing gamut mapping and color space conversion respectively.

#### I. 서론

디지털 칼라 운영 기술은 영상의 입력 단계부터 출력까지의 통합적인 칼라 운영을 통하여 각 미디어에서 재현된 칼라의 신뢰성을 얻기 위한 기술이다. 본 연구에서는 이와 같은 통합적인 칼라 운영 기술을 개발하

기 위해서 색역 사상과 색공간 변환을 동시에 적용하기 위한 칼라 참조표(color look-up table)를 설계하였다.

기존의 색공간 변환을 하는 방법으로는 다항 회귀 방정식을 이용하는 방법, 신경망을 이용한 방법, 참조표를 이용한 3차원 보간 방법 등이 있다[1]. 색역 사상은 입력 장치와 출력 장치간의 색역의 차이로 인해서 출력 장치에서 입력 장치의 색역 밖의 색을 색역의 안쪽으로 처리하여 색차를 줄이는 방법이다. Morovic이나 Hezog, Lee등이 사용한 색역 사상 방법은 색상 성분을 고정하고 휘도나 채도 성분을 동시에 변화하여 사상하므로 2차원 색역 사상 방법이 된다[2-4].

따라서 본 연구에서는 칼라 운영 체계에 사용되는 이 두 가지를 동시에 처리하는 칼라 참조표를 설계하는 방법을 제안한다. 스캐너 RGB에서 CIELAB 색공간으로 변환할 때에는 다항 회귀 방정식 방법을 사용하였다. 스캐너와  $CIEL^*a^*b^*$  색공간의 데이터쌍의 관계에 비해서 프린터와 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 방법[4]을 적용하였다. 미리 만들어 놓은

스캐너와 프린터의 참조표를 사용하여  $CIEL^*a^*b^*$  색공간에서 입력 스캐너의  $L^*a^*b^*$  값을 선택하여 이 값을 전체적으로 확장한 뒤에 색역 사상을 수행하면 색역 사상된 CMY값이 얻어진다. 칼라 참조표만으로 색역 사상을 할 경우에 경계 영역의 문제를 해결하기 위해서 스캐너의 확장된 값을 사용하였다. 실험에서는 제안한 방법이 기존의 색역 사상과 색공간 변환을 각각 처리하였을 때에 비해서, 색차는 유사하면서도 연산의 복잡도는 상당히 줄이는 결과를 얻었다.

## II. 스캐너 특성화와 색역 사상

### 2.1 다항 회귀 방정식에 의한 스캐너 특성화

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

$$\begin{aligned}
 L^{(c)} &= \alpha_0 R + \alpha_1 G + \alpha_2 B + \alpha_3 RG + \alpha_4 GB + \alpha_5 BR \\
 a^{(c)} &= \beta_0 R + \beta_1 G + \beta_2 B + \beta_3 RG + \beta_4 GB + \beta_5 BR \\
 b^{(c)} &= \gamma_0 R + \gamma_1 G + \gamma_2 B + \gamma_3 RG + \gamma_4 GB + \gamma_5 BR
 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$ 는 다항 회귀 방정식의 계수이다. 표 1은 식 (1)을 이용하여 구해진 다항 회귀 방정식의 계수를 보여주고 있다.

표 1. 스캐너 특성화의 다항 회귀 방정식 계수

	$j$	$\alpha_j$	$\beta_j$	$\gamma_j$
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

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.

### 2.2 가변 다중 닷점을 이용한 색역 사상

본 논문에서는 가변 다중 닷점을 이용한 색역 사상 방법을 사용하였다[4]. 이 방법은 연속 계조 칼라를 재현하기 위해서 색역을 여러 영역으로 구분하여 각각의 영역에서 다른 닷점을 사용하였다. 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 1은 스캐너와 프린터의 두 색역이 완전한 포함 관계에 있을 때 가변 다중 닷점을 이용한 색역 사상 방법을 도식적으로 보여준다. 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.

본 논문에서는 이 가변 다중 닷점을 이용한 색역 사상을 이용하여 기존의 한 개의 닷점을 이용한 방법에 비해서 대조도 감소와 경계 부분에서 색이 급격하게 변하는 것을 줄일 수 있었으며, 모든 색역에 대해서 일정한 색차를 유지할 수 있었다.

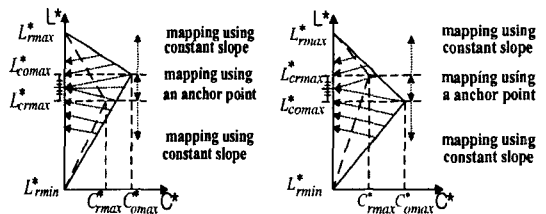


그림 1. 스캐너와 프린터의 두 색역이 완전한 포함 관계에 있을 때 가변 다중 닷점을 이용한 색역 사상

## III. 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 시

시스템을 구현하기 힘들다. 따라서 색역 사상과 색공간 변환을 동시에 처리하기 위한 효율적인 칼라 참조표 설계가 필요하다.

먼저 프린터의 색역을 구성하기 위해서 프린터의 CMY 색공간에서 1331(11×11×11)개의 샘플을 프린터로 직접 출력한 후에 CIELAB 값을 측정한다. 이때 출력에 사용한 하프토닝 방법은 MJBNM(modified-jointly blue noise mask)[5] 방법이다. 이 MJBNM 방법은 CMY 3개의 칼라 채널의 상관관계를 고려하여 최대한 CMY의 중첩이 되지않도록 만들어진 마스크이다. 이 마스크 값을 이용하여 단지 입력 영상과의 문턱치 비교만으로 하프토닝 출력을 할 수 있다.

이 방법을 이용하여 1331개의 샘플에 대한 프린터의 CMY와 CIELAB의 참조표가 만들어진다. 또한 스캐너 입력에 대한 색역의 참조표를 구하기 위해서 1331개의 RGB 샘플을 수치적으로 계산한 후에 미리 구해놓은 다항 회귀 방정식에 의한 행렬식을 이용하여 CIELAB 값을 계산한다. 여기서 1331개의 샘플에 대한 스캐너의 RGB와 CIELAB의 참조표가 만들어진다.

스캐너의  $L^*a^*b^*$  값을 기반으로 CLUT의 입력값을 생성한다. 그림 2는 스캐너 색역을 포함하도록 확장된 CLUT의 입력 값을 보여주고 있다. 임의의 스캐너 RGB가  $L^*a^*b^*$ 로 변환된 값이 CLUT로 모두 처리되기 위해서는  $CIEL^*a^*b^*$  색공간에서 모든 점들이 포함되어야 한다. 이를 위해서 입력 스캐너 색역을 기반으로 색역을 확장한 샘플점들을 CLUT의 입력값으로 사용하게 된다.

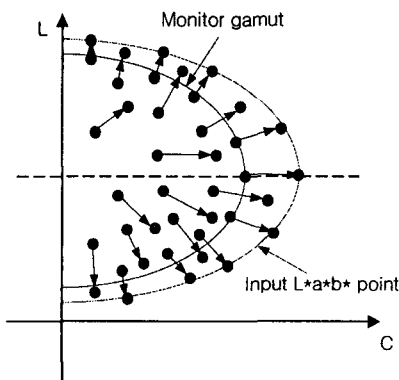


그림 2. 스캐너 색역을 포함하도록 확장된 CLUT의 입력  $L^*a^*b^*$

이 데이터를 가변 다중 닷점을 이용한 색역 사상 방법으로 계산을 한다. 마침내 이 데이터들은 색역 사상된 후의  $CIEL^*a^*b^*$  값으로 변환이 된다. 이

$CIEL^*a^*b^*$  값을 사면체 보간 방법을 이용하여 계산을 하면 대응되는 CMY 값을 찾을 수 있다. 즉 제안된 칼라 참조 테이블에는  $CIEL^*a^*b^*$  색공간 상에서 균등하게 선택된 데이터들과 이 데이터들이 색역 사상된 후의 CMY 값들로 구성이 된다.

따라서 임의의 스캐너 RGB 영상이 입력으로 들어오면 다항 회귀 방정식의 행렬식을 이용하여  $CIEL^*a^*b^*$  값으로 변환하고 이 값을 미리 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.

#### IV. 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.

##### 4.1 장치의 색역 측정

먼저 스캐너와 프린터의 색역을 나타내기 위하여 논문에서는 RGB와 CMY를 각 25단계로 11단계로 구분한 다음 11×11×11의 1331개의 색 샘플을 만들어 LUT을 작성하였다. 표준 광원은 D65를 적용하였다. 스캐너의 색역은 IT8.7/2 칼라 차트의 264개의 샘플 패치를 사용하여 차트를 스캔한 후, RGB 값을 읽는다. 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 광도계(GretagMacbeth Spectrolino)로 측정하여  $CIEL^*a^*b^*$  값을 얻었다.

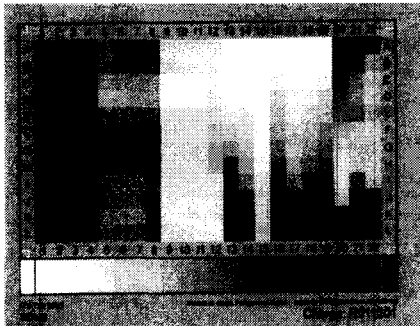
##### 4.2 색차 비교

제안한 방법의 성능을 평가하기 위해서 색역 사상을 직접 하였을 때와 제안한 칼라 참조 테이블을 사용했을 때의  $\Delta E^*_{ab}$  색차를 비교하였다.

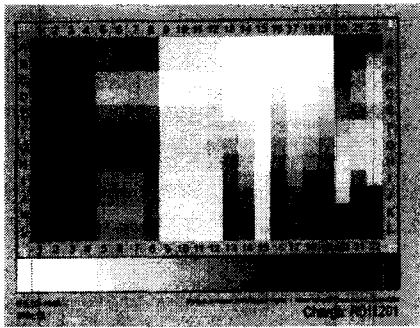
$\Delta E^*_{ab}$  색차는 IT8.7/2 칼라 차트의 원래의  $CIEL^*a^*b^*$  값을 이용하여 직접 연산에 의한 방법과 칼라 참조표를 이용한 방법 각각에 대해서 색차를 구하였다. 표 2에서 보듯이 제안한 방법이 직접 연산에 의한 방법에 비해서 색차가 거의 차이가 없다는 것을 보여 주고 있다.

표 2. IT8.7/2 칼라 차트에 대한 색차 비교

	직접 연산에 의한 방법	제안한 칼라 참조표를 이용한 방법
$\Delta E^*_{ab}$	10.13	11.24



(a)



(b)

그림 3. IT8.7/2 칼라 차트의 RGB값을 출력한 결과 영상: (a) 직접 연산에 의한 방법, (b) 제안한 칼라 참조표를 이용한 방법

## V. 결론

본 연구에서는 복잡한 연산을 거치지 않고 칼라 참조표만으로 색역 사상과 색공간 변환을 동시에 처리하는

칼라 참조표를 설계하였다. 스캐너와 프린터의 색역을 구성하는 참조표를 만든 후에  $CIEL^*a^*b^*$  색공간 상에서 균등한 분포를 갖는 가상의 샘플 점들을 선택한 후에 색역 사상 방법을 사용하여 색역 사상된 CMY 값을 얻는다. 마침내 색역 사상에 의해서 수정된 CMY와  $CIEL^*a^*b^*$ 으로 구성된 칼라 참조표를 얻게 된다. 먼저 스캐너 입력 영상의 색공간 변환을 수행한 후에 제안한 칼라 참조표만으로 색역 사상과 동시에  $CIEL^*a^*b^*$  색공간에서 CMY 색공간으로 색공간 변환을 처리하게 된다.

제안한 칼라 참조표는 색역 사상과 색공간 변환을 동시에 필요로 하는 칼라 잉크젯 프린터나 복합기 등에 적용이 가능하다. 또한 하드웨어를 구현하기에도 직접 색역 사상에 의한 연산과정이 생략되고, 원래 구현하여야만 하는 색공간 변환 과정에 색역 사상 과정이 포함되기 때문에 비용을 절감하는 효과가 있다.

## 참고문헌

- [1] H. R. Kang, "Color scanner calibration," Journal of Imaging Science and Technology, vol. 36, pp. 162-170, 1992.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.