

스캐너 입력원고의 색변환을 위한 룩업테이블의 확장방법에 관한 연구

신춘범, 강상훈*

부경대학교 대학원 인쇄공학과, *부경대학교 화상정보공학부

A Study on the Extending Method of LUT for Color Transformation in Scanned Original Copy

*Chun-Beom Shin, Sang-Hoon Kang**

Dept. of Graphic Arts Engineering, Graduate School of Pukyong National University

*Division of Image and Information Engineering, Pukyong National University

I. 서 론

최근 우리 주위에서는 평판스캐너와 디지털 카메라와 같이 다양한 입/출력장치의 사용이 보편화됨에 따라 컬러의 정보를 정확히 표현하고 관리하는 시스템에 대한 요구가 점차 증가하고 있다. ICC(International color consortium)에서는 컬러 관리시스템(color management system, CMS)에 관한 표준을 제시하고 있으며, 이러한 컬러 관리시스템은 다양한 입/출력장치를 연결하고 장치의 특성에 의존하지 않기 위해서 장치독립 컬러시스템이 사용된다. 스캐너와 프린터의 장치신호(R, G, B 또는 C, M, Y, K)는 각 장치의 특성에 의존하므로 장치 의존적 색신호라 하고, CIEL*a*b*, CIEXYZ등은 장치와 독립적으로 컬러를 표현하기 때문에 장치 독립적 색신호라 한다. 이러한 색신호를 각 장치에 연결시켜 주는 공간을 장치연결공간(profile connection space, PCS)라고 하는데, 각각 다른 장치를 연결하는 과정에서 입/출력장치 색신호 사이에서 선형적으로 변환되어야 하는 조건을 만족하지 않기 때문에 색재현 품질에 많은 영향을 주게 된다. 따라서, 색신호 사이에서의 비선형성을 해결하기 위해 입력된 신호에 대한 색보정 과정을 거쳐 장치독립 색공간 CIEXYZ 또는 L*a*b* 공간 사이의 관계를 이용하여 색변환을 하게 된다.

입·출력장치의 측색적 색보정에 사용되는 색변환 방식에는 다중회귀분석법(polynomial regression), 신경회로망(neural network), 룩업테이블(Look-up Table, LUT) 등이 많이 사용되고 있다. 회귀분석법은 가장 간단한 방법으로 색변환을 할 수 있지만 색변환 에러가 크다는 단점을 가지며, 신경회로망을 이용한 색변환 방식은 프로세싱 속도가 빠른 반면 하드웨어에 적용하는 것이 어려운 점이 있다. 이에 비하여, LUT는 색변환 결과가 비교적 정확하며 컴퓨터 시스템의 사양이 개선됨으로서 많은 양의 계산을 수행하기에 적합한 프로세싱 속도 이루어진다. 이러한 방법들은 장치에 대한 일정량의 기초 측정 데이터를 가지고 임의의 입력값에 대한 출력값을 예측하게 된다. 그러나 이러한 과정에서 입/출

력 사이의 오차가 나타나게 되는데 색변환을 할때 발생하는 오차를 최소화하기 위해서 색표본의 선택이 매우 중요하다고 볼 수 있다. 색표본을 선택하기 위해서 장치가 지원하는 색역(color gamut)에서 RGB나 CMYK와 같은 장치 의존적인 색공간에서 등간격으로 색표본을 만들게 된다.

본 연구는 4면체 보간법(interpolation)과 룩업테이블(Look-up Table, LUT)을 이용한 스캐너 캘리브레이션에 관한 선행연구를 통하여 LUT를 이용하여 색변환을 하였을 때, 출력장치 색역 밖의 샘플이 발생하는 문제점에 대하여 이를 보완하기 위해서 외삽법(extrapolation)이라고 하는 개념을 도입하여 스캐너의 RGB 색공간을 확장시켜서 색변환이 이루어지는 방식에 대하여 연구하였다.

II. 실 험

2-1 LUT를 이용한 색변환 방식의 결과

선행연구에서 실험에 사용된 LUT는 1,331개의 패치로부터 제작되었고, 스캐너 LUT1과 디지털 교정기 LUT2 및 4면체 보간법을 사용하여 RGB- $L^*a^*b^*$ 및 $L^*a^*b^*$ -CMY 변환을 하였다. 그 결과, Fig 1.과 같이 스캐너를 통해 입력된 RGB값이 출력장치가 출력할 수 있는 색역 밖에 위치하기 때문에 CMY로의 색변환이 이루어질 수 없었다.

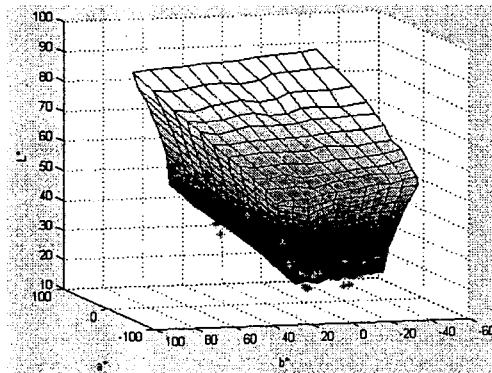
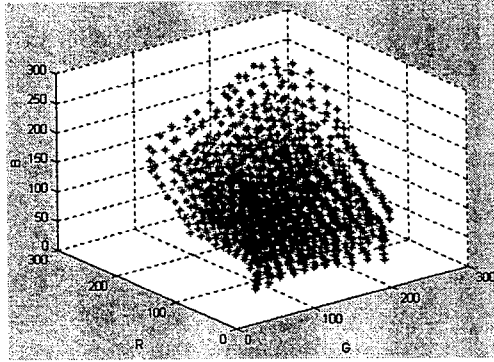
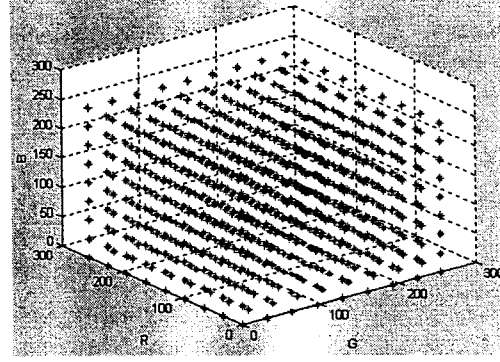


Fig. 1. samples out of gamut.

이것은 LUT 제작에 있어서 RGB- $L^*a^*b^*$ 색변환이 이루어지지 않는다고 볼 수 있다. 즉, Fig. 2. (a)와 같이 제작된 LUT의 RGB 영역이 작기 때문에 이 영역 밖의 RGB 값이 스캐너를 통해 입력이 되면 $L^*a^*b^*$ 로의 변환이 이루어지기 어렵고, 변환이 되더라도 그 오차는 증가하여 정확한 색변환이 될 수 없기 때문이다. 따라서, 입력되는 원고의 종류에 상관없이 어떠한 RGB 값이 입력장치를 통해 입력되더라도 $L^*a^*b^*$ 변환이 이루어질 수 있도록 (b)와 같이 RGB 영역을 균등한 간격으로 확장해 줄 필요가 있다.



(a) RGB signals of 1,331 patch



(b) RGB signals of 729 patch

Fig. 2. Color samples in RGB space

2-2 회귀분석법을 이용한 룩업테이블의 확장

기존의 LUT 방식은 $11^3(=1,331)$ 개의 패치를 제작하여 4면체 보간법을 사용하여 색변환 계산을 하였다. 그러나, 위에서 언급한 바와 같이 RGB 색공간의 영역이 작기 때문에 영역 밖의 RGB 입력신호가 들어오게 되면 색변환이 어렵게 되어 색영역 밖의 샘플이 발생하게 된다. 따라서, RGB 색공간상에서 샘플링을 할 때 모든 RGB 레벨값을 받아들일 수 있도록 색역 경계를 최대로 확장시키는 방법이 있는데 이를 외삽법(extrapolation)이라고 한다.

본 연구에서는 RGB 색영역을 확장시키기 위해서 다중회귀분석법을 이용하여 Fig. 2. (b)와 같이 32레벨 단계로 $9^3(=729)$ 개의 샘플링을 하여 다시 4면체 보간법을 사용하여 LUTIE(Look-up table + interpolation + extrapolation) 색변환을 시도하였다. 다중회귀분석법은 입력값과 출력값 사이의 관계에 있어서 통계적인 접근방식으로 추정행렬(matrix)을 만들어 이를 이용하여 색보정을 하는 비교적 간단한 방식이다. Henry R. Kang의 연구에 따르면 다중회귀분석의 다항식의 차수가 증가할수록 색변환 결과가 우수하다는 결과를 보고하였다. 따라서, 본 연구에서 다중회귀분석의 매트릭스 3×20 의 3차 다항식을 이용하여 색변환 매트릭스를 구했으며, 이를 기초로 RGB 색공간이 확장된 LUTIE을 제작하였다.

2-3 실험 방법

본 연구의 실험 과정을 요약하여 도시하면 Fig. 3과 같다.

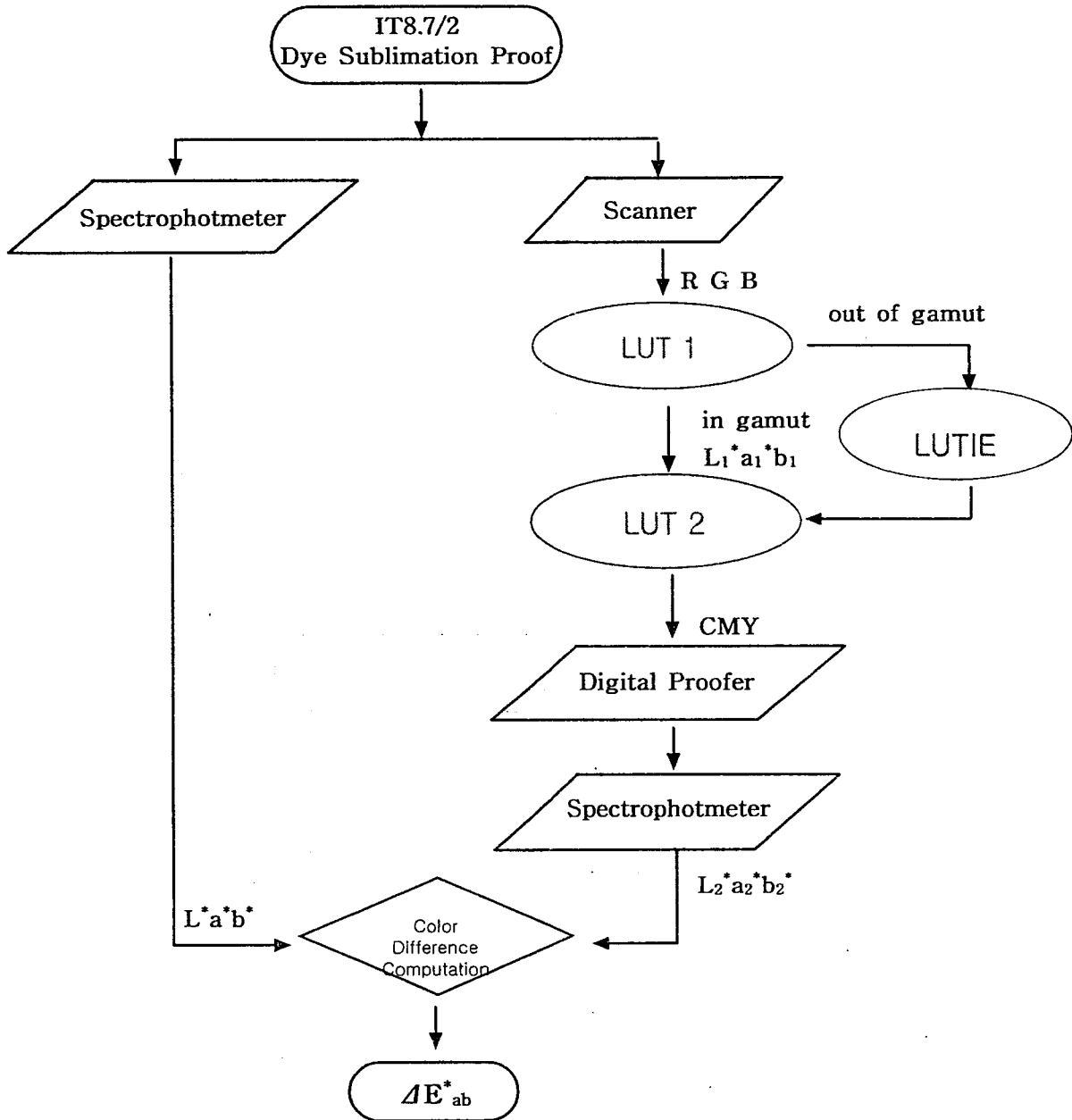


Fig. 3. Schematic diagram for scanner calibration using 3D-LUT and LUTIE.

기존에 적용된 LUT1에서 RGB 영역을 확장하기 위해서 RGB 32레벨 단계로 균등하게 $9 \times 9 \times 9$ 의 729개 샘플을 적용하여 $L^*a^*b^*$ 값으로 변환하고, 변환된 $L^*a^*b^*$ 와 RGB 사이의 관계를 20차 다항식으로 접근하여 색변환 매트릭스를 구한다. 변환함수는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \times [M] = \begin{bmatrix} L^* \\ a^* \\ b^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, M은 회귀분석에 의해 구해진 회귀계수로서 RGB와 L*a*b*의 상관관계를 정의하는 함수이다. 이렇게 구해진 매트릭스를 이용하여 입력장치인 스캐너를 통해 어떠한 RGB값이 입력되더라도 L*a*b*로의 색변환이 이루어질 수 있게 되었다.

본 연구에서는 선행연구에서 수행되었던 LUT와 4면체 보간법을 통하여 발생하는 색역 밖의 샘플에 대하여 다중회귀분석을 이용하여 입력장치의 색공간인 RGB 영역을 외삽함으로써 RGB-to-L*a*b* 변환의 결과에 대해서 검토하였다.

III. 결과 및 고찰

기존의 LUT를 이용하여 RGB-to-L*a*b* 색변환을 하였을 때 샘플링 수는 많지만 전체 RGB 영역을 커버하지 못하여 L*a*b*로의 변환이 되지 않는 샘플이 발생하였다. 이를 보완하기 위하여 회귀분석을 통한 외삽법을 적용하여 LUTIE를 제작하고 RGB-to-L*a*b* 색변환 결과에 대해 검토하였다.

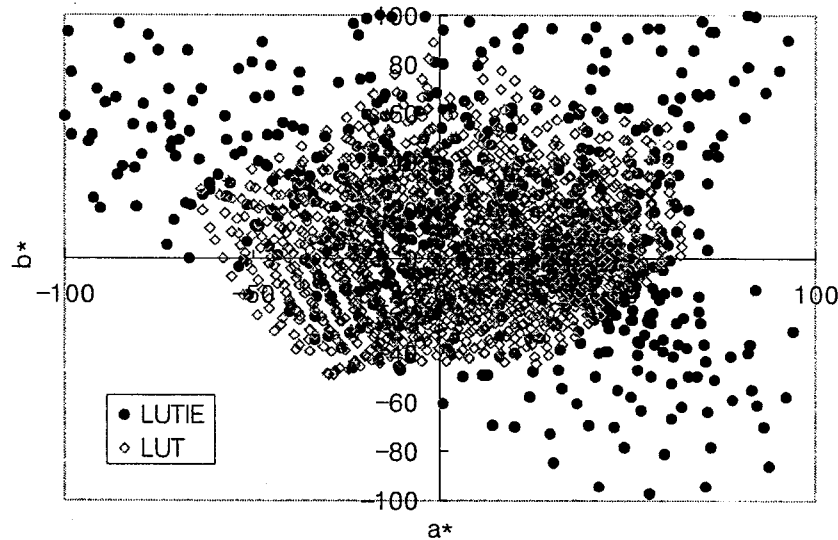


Fig. 4. Comparison of color gamut between LUT and LUTIE in a*-b* plane.

Fig. 4.는 선행연구에서 사용되었던 4면체 보간법을 통한 LUT와 본 연구에서 수행된 외삽법을 통한 LUTIE를 적용하였을 때, 입력 RGB 값에 대한 L*a*b*로 변환한 결과를 a*-b* 평면상에 나타낸 것이다. LUT와 LUTIE의 샘플링 수는 각각 1,331개와 729개로 차이가 있지만 RGB 공간을 확장해줌으로써 L*a*b*색공간이 전체적으로 넓어진 것을 알 수 있었다. 이러한 RGB 색공간을 최대한 확장시켜 LUT를 제작하여 입력장치를 통해 원고를 입력하면 어떠한 RGB가 입력되더라도 L*a*b*로의 색변환이 가능하게 될 것으로 생각

된다. 그러나, Fig. 4.에서 나타낸 것과 같이 전체적으로 색역은 넓어졌지만 한쪽 a^* , b^* 가 음수인 값을 가지는 부분의 색역(Cyan에서 Blue영역까지의 색상)에서는 그 샘플링의 수가 적은 경향을 보이고 있다. 따라서 이 부분에서의 색변환 에러가 크게 발생할 것으로 보이며, 이와 같은 부분을 보완하기 위해서 RGB 색공간 확장방법에 있어서 현재 32레벨 단계의 9^3 개 샘플링을 하였지만 보다 더 작은 단계인 16레벨 단계 17^3 개의 샘플링을 하게 되면 샘플수가 부족한 부분을 보충해 줄것이라 생각된다.

V. 결 론

본 연구의 선행연구에서는 원고의 입력장치로 널리 이용되는 평판스캐너를 사용하여 4면체 보간법과 함께 LUT 방식을 적용하여 색변환을 수행하였다. 동일한 미디어의 입력 타겟을 색변환하여 원고의 측색값과 재현된 출력물의 측색값으로 색차를 분석한 결과 정확한 색변환이 이루어지지 않고 출력장치의 색역을 벗어나는 샘플이 발생하였다. 이러한 문제가 발생하는 이유는 스캐닝을 통하여 얻은 이미지의 RGB값이 제작된 LUT의 RGB 색공간을 벗어나므로 $L^*a^*b^*$ 값으로 변환이 되지 않았기 때문이다. 이 부분을 보완하기 위해서 RGB 색공간을 확장해 주는 외삽법의 개념을 도입하여 회귀분석법을 통하여 RGB 32레벨 단계로 균등하게 색공간을 확장하였다. 이렇게 확장된 RGB 공간을 $L^*a^*b^*$ 색공간으로 LUT를 제작하여 선행연구에서 색역을 벗어나는 샘플에 대해 색변환을 수행한 결과 색변환이 이루어짐을 알 수 있었다. 그러나, RGB 색공간을 확장함으로써 $L^*a^*b^*$ 색공간이 넓어지긴 하였지만 a^* , b^* 가 음수 값을 가지는 Cyan에서 Blue 영역까지의 색상에서는 그 샘플링의 수가 적어서 이 부분에 해당하는 RGB 값이 스캐너를 통해 입력되면 양호한 색변환이 이루어지지 않을 것으로 생각된다. 따라서, 이 부분의 샘플링 수를 증가시키기 위해서 RGB 색공간을 확장할 때 32레벨 단계로 샘플링 한 것을 보다 더 작은 단계인 16레벨 단계로 샘플링을 하여 RGB 색공간을 확장해 줄 필요가 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- (1) H. R. Kang, "Color Technology for Electronic Imaging Devices", SPIE Optical Engineering Press, (1997)
- (2) H. R. Kang, "Color scanner calibration", IS&T, pp. 162~170 (1992)
- (3) P. C. Hung, "Colorimetric calibration for scanners and media", Proc. SPIE 1448, pp. 164~174 (1991)
- (4) ICC Profile Format Specification Version 3.4, International Color Consortium,

(1998)

- (5) Murooka, "The color target for color input scanner calibration", *Electronic Imaging*, pp. 205~211 (1993)
- (6) H. R. Kang, "Comparison of three-dimensional interpolation techniques by simulatons", *Proc. SPIE 2414*, pp. 104~114 (1995)
- (7) K. J. Heuberger, Z. M. Jing, and S. Persiev, "Color transformation and Look-up tables", *Proc. TAGA*, vol 2, pp. 863~881 (1992)
- (8) R. E. Groff, D. E. Koditschek, and P. P. Khargonekar, " Representation of Color Space Transformations for Effective Calibration and Control", *IS&T NIP16*, pp. 255~260 (2000)
- (9) R. Balasubramanian, "Color Transformations for Printer Color Correction", *IS&T and SID's 2nd Color Imaging Conference*, pp. 62~65 (1994)
- (10) P. C. Hung, "Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look,-up table model and interpolations", *Journal of Electronic Imaging*, vol 2, No. 1, pp. 53~61 (1993)
- (11) P. C. Hung, "A Smooth Colorimetric Calibration Technique Utilizing the Entire Color Gamut of CMYK Printers", *Journal of Electronic Imaging*, 3(4), pp. 415~424 (1994)
- (12) K. Kanamori, H. Kotera, "Color Correction Technique for Hard Copies by 4-Neighbors Interpolation Method", *IS&T*, vol. 36, No. 1, pp. 73~80 (1992)