

論文2002-39SP-5-5

# 휘도 대비와 채도 향상을 위한 색 공간 분할 색역 사상

## (Gamut Mapping Based on Color Space Division for Enhancement of Lightness Contrast and Chrominance)

趙良鎬\*, 金允泰\*, 李澈熙\*\*, 河永浩\*

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

## 요약

본 논문에서는 칼라 장치들간에 색을 일치시키기 위하여 색 공간 분할에 기반한 색역 사상 방법을 제안하였다. 각각의 칼라 장치들이 표현할 수 있는 색은 제한되어 있기 때문에, 동일한 칼라 영상들을 서로 다른 매체에서 재현하게 되면 많은 차이를 보인다. 이러한 색 오차를 줄이기 위해, 제안한 방법은 장치의 색역을 휘도 성분의 just noticeable difference(JND)와 색역의 경계선과의 교차점을 기준으로 포물선의 형태로 분할한다. 이렇게 나뉜 색역은 사상의 방향성을 결정하는 기본 단위로 사용되어, 이들 영역을 기점으로 영역 대 영역별 사상 방법을 적용함으로써 색역의 형태학적인 특성에 대한 고려와 사상의 균일성을 획득할 수 있다. 또한 인간 시각에 상대적으로 민감한 특성을 가지는 휘도 성분의 JND를 색역 사상에 사용함으로써 휘도 성분의 변화폭을 인지되지 않는 범위로 제한하여 휘도 대비와 채도 향상의 결과를 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 저가의 칼라 출력 장치에서 고품질의 칼라를 재현할 수 있게 한다.

## Abstract

This paper proposes a gamut mapping algorithm based on color space division for cross media color reproduction. As each color device has a limited range of producible colors, reproduced colors on a destination device are different from those of the original device. In order to reduce the color difference, the proposed method divides the whole gamut into parabolic shapes based on intersecting lightness by the just noticeable difference (JND) and the original device gamut boundary. Dividing the gamut with parabolic shapes and piecewise mapping of each region not only considers gamut characteristics but also provides for mapping uniformity. Also the lightness variations are more sensitive to the human visual system and by using lightness JND it can restrict lightness mapping variations that are unperceivable to enhance lightness contrast and chrominance. As a result, the proposed algorithm is able to reproduce high quality images using low-cost color devices.

**Key Words** : 색역 사상, 균등 색 공간, JND(just noticeable difference), 사면체 보간, 휘도 대비

\* 正會員, 學生會員, 慶北大學校 電子電氣컴퓨터學部  
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National Univ.)

\* 正會員, 慶雲大學校 컴퓨터工學科  
(Department of Computer Engineering, Kyungwoon Unive.)

接受日字:2002年2月25日, 수정완료일:2002年8月12日

## I. 서론

디지털 칼라 처리 및 표현 기술은 영상의 입력 단계부터 출력까지의 통합적인 칼라 운영을 통하여 각 미디어에서 재현된 칼라의 신뢰성을 얻기 위한 기술이다. 본 연구에서는 이와 같은 통합적인 칼라 처리 기술을 개발하기 위한 기본 단계로, 각각의 칼라 장치에서 출

력되는 영상의 색차를 줄이기 위한 색역 사상에 관한 연구를 수행하였다. 일반적으로 사용되는 칼라 출력 장치들은 제한된 범위의 색만을 표현할 수 있고, 주위 조명에 의한 영향과, 장치가 가지는 비 선형적인 특성들로 인해 동일한 영상이 서로 다른 색으로 재현되게 된다. 그 중 가장 큰 영향을 미치는 것이 장치간에 색을 지원하는 범위, 즉 색역(color gamut)의 차이이다. 그러므로 두 장치간에 필연적으로 발생하는 색의 차이를 최대한 줄이고, 동시에 인간 시각에 의해 인지된 전체 영상에서의 색차도 최소화 할 필요가 있다. 이와 같이 표현할 수 없는 색역 밖의 색을 색역의 안쪽으로 처리하여 색차를 줄이는 과정을 색역 사상이라 하고,<sup>[1]</sup> 본 논문에서는 대표적인 칼라 장치인 모니터와 프린터에 색역 사상을 적용한 연구를 수행하였다.

색역 사상은 크게 사상 방향과 사상 방법으로 결정된다. 사상 방향은 영역 밖의 색을 어떤 기준으로 사상할 것인가를 의미하고, 사상 방법은 결정된 방향으로 어떤 방식으로 사상할 것인가를 나타낸다. 먼저 사상 방향은 인간 시각이 색을 인지하는 세 가지 기본 요소인 색상, 휘도, 채도 성분 중에서 어느 요소를 변환하여 사상하게 되는가에 따라 1차원, 2차원 3차원의 색역 사상으로 구분된다. 휘도나 채도 중 한 성분만을 변화시켜 사상하게 된다면 이는 1차원 색역 사상 방법으로 분류된다. Morovic, Hezog, 또는 Lee 등이 사용한 색역 사상 방법은 색상 성분을 고정하고 휘도나 채도 성분을 동시에 변화하여 사상하므로 2차원 색역 사상 방법이 된다.<sup>[2~4]</sup> 최근에는 색상, 휘도, 채도를 동시에 고려하여 색역 사상을 수행하는 Spaulding이나 Katoh 등의 3차원 색역 사상 방법도 제안되었다.<sup>[5,6]</sup> 사상 방법은 일반적으로 색역 절단, 선형 압축, 비 선형 압축 방법 등으로 나눌 수 있다.<sup>[7]</sup> 절단 방법은 영역 밖의 색을 대상 색역의 경계값으로 변환하는 방법이다. 색역 내부의 값들은 변화를 주지 않아 색역의 차이가 크지 않을 경우에는 전체 색 오차가 줄어드는 장점이 있지만, 색이 중첩되는 문제가 있다. 반면 선형 압축 방법은 원 색역의 휘도나 채도값의 최대, 최소를 사상될 색역의 휘도나 채도값의 최대, 최소로 맞추어 선형으로 변환하는 방법이고, 비 선형 압축 방법은 색역 사상에 가장 적당한 비 선형 함수를 찾아서 그 함수에 따라 사상하는 방법이다. 선형 압축 방법과 비 선형 압축 방법의 경우 색의 분별력은 유지되지만 색역 안의 값들도 변화시킴으로써 오히려 색 오차가 증가하고, 입력 영상

의 색이 고려되지 않을 경우에는 불필요한 왜곡을 발생시키게 되는 단점이 있다. 따라서 기존의 색역 사상의 연구에서는 절단 방법으로 색역 사상을 수행하는 것이 압축 방법에 비해 보다 향상된 결과를 도출하고 있다.<sup>[2~4]</sup>

본 논문에서는 모니터와 프린터의 색 재현 일치치를 위하여 인간 시각에 민감한 색상 성분은 고정하고, 휘도와 채도 성분을 변환하여 프린터의 경계값으로 사상하는 2차원 절단 방법으로 색역 사상을 수행하였다. 전반적인 색역의 특성과 각 색역에서의 균일한 색 오차를 유지하기 위해 먼저 색역을 분할하고, 분할된 영역에 따라 색역 사상이 수행되는 방법을 제안하였다. 또한 인간 시각에 상대적으로 민감한 특성을 가지는 휘도 성분의 변화폭을 줄이기 위해, 휘도 성분의 JND를 색역 분할에 도입하였다. 설정된 휘도 JND와 모니터 색역이 만나는 점을 기준으로 포물선의 형태로 색역을 나눈다. 이렇게 나뉜 색역은 사상의 방향성을 결정하는 기본 단위로 사용되어, 이들 영역을 기점으로 영역 대 영역별 사상 방법을 사용하였다.

본 논문에서는 II장에서 기존의 색역 사상 방법과 이들의 문제점을 분석하고, III장에서는 장치 독립적인 색 공간 변환 과정에 대해 설명한다. IV장에서는 영역을 분할하는 방법과, 분할된 영역에서의 영역 대 영역별 사상 과정을 제안한다. 또한 제안한 방법과 기존의 색역 사상 방법 중 가장 대표적인 CUSP방법과 비교하고, 마지막으로 V장과 VI장에서는 실험 및 고찰과 결론을 서술한다.

## II. 기존의 색역 사상 방법

일정한 색상 평면상에서 휘도 성분은 그대로 유지하고 채도 성분만을 변환하여 대상 색역으로 절단 혹은 압축하는 방법이 1차원 색역 사상 방법이다. 그림 1의 (a)와 (b)에 나타낸 것은 채도 성분의 1차원 사상을 나타내었다. 이러한 방법은 채도 방향으로 색역의 차이가 큰 경우, 사상되는 폭이 커지게 되어 좋지 않은 결과가 발생하는 단점이 있다.<sup>[6]</sup> 1차원 색역 사상의 단점을 극복하기 위한 방법으로 동일한 색상 평면상에서 휘도와 채도 성분을 동시에 변화시키는 방법을 2차원 색역 사상 방법이라 한다. 그림 1의 (c)와 (d)는 닷점(anchor point)을 설정하여 휘도와 채도를 동시에 변화시키는 방법을 나타내고 있다. 그림 1의 (c)는 최대 채

도지점에서 휘도 값을 닳점으로 색역 사상을 수행하는 방법을 보여주고 있다(CUSP 방법<sup>[1]</sup>). 이 경우에는 재현할 색역간의 휘도나 채도의 상관 관계가 고려되지 않아, 넓은 색역 상에서 휘도와 채도값의 정도를 좁은 색역 상에서 알맞은 정도로 나타낼 수 없는 문제점이 생긴다. 그림 1의 (d)는 색역 밖의 색이 재현될 장치 색역의 휘도 중심값을 향해 사상하는 방법이다. 이와 같은 방법은 사상 후 재현된 영상의 색 대비가 낮아지는 문제점을 야기한다. 일반적으로 색역 사상의 경우, 색상 성분이 인간 시각에 가장 민감하기 때문에 색상 성분은 고정 시켜 색역 사상을 수행하게 된다.<sup>[3]</sup> 하지만 색상 성분을 포함해 휘도와 채도 모두를 변화 시켜 색역 사상을 수행하는 것을 3차원 색역 사상으로 분류할 수 있고, 최근 Spaulding이나 Katoh에 3차원 색역 사상 방법 이 제안되었다,<sup>[5,6]</sup> 이러한 방법은 색역을 구성하는 요소를 통합적으로 사용해 색역 사상을 수행하려는 장점은 있으나, 색상의 많은 변화는 인간 시각에 쉽게 인지되는 특성이 있어, 효과적인 색역 사상의 수행이 어렵다.

압축 방법 등으로 나눌 수 있다.<sup>[7]</sup> 그림 2에서 절단 방법과 압축 방법에 대한 설명을 보여 주고 있다.<sup>[9]</sup> 영역 밖의 값을 색역의 경계값으로 사상하는 절단 방법이 그림 2의 영역 (A)에서 보여지고, 영역 밖의 값을 색역의 내부값으로 압축하는 것이 그림 2의 영역 (B)에서 설명되어 진다. 색역의 차이가 크지 않을 경우에는 절단 방법이 우수한 결과를 도출하지만, 영역 밖의 색이 많을 경우에는 압축 방법을 사용하는 것이 좋은 결과를 유도한다.

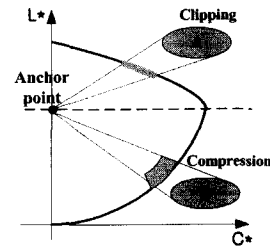


그림 2. 절단 방법과 압축 방법  
Fig. 2. Clipping and compression method.

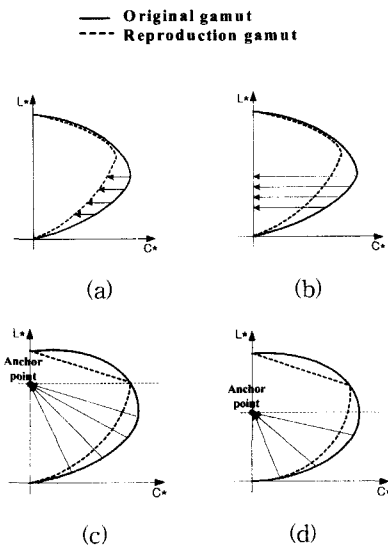


그림 1. 1차원, 2차원 색역 사상 방법 (a) 1차원 채도 절단 (b) 1차원 채도압축 (c) CUSP (d) 닳점:  $L^*=50$

Fig. 1. 1-d, 2-d gamut mapping methods. (a) 1-d chrominance clipping. (b) 1-d chrominance compression. (c) CUSP. (d) Anchor point:  $L^*=50$ .

## II. 색 공간 변환

색역 사상을 수행하기 위해서는 장치 의존적인 색 공간들을 장치 독립적인 색 공간인 균등 색 공간 영역으로 변환하고, 다시 출력 장치의 색 공간으로 역 변환을 하여야 한다. 이러한 균등 색 공간에서의 색역 사상은 인간의 지각적인 측면에서 색 오차를 최소화하기 위해 널리 사용되는 방법이다.

색 공간 변환을 위한 방법에는 크게 변환 방정식을 이용한 방법과 LUT(look-up table)을 이용한 보간 방법으로 구분된다. 하지만 변환 방정식을 이용한 해석적인 색 공간 변환은 장치의 특성을 충분히 고려할 수 없는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 구현이 용이하고 정확도도 높은 보간 방법으로 색 공간 변환을 수행한다.<sup>[10,11]</sup>

보간 방법은 색 공간 변환이나 색 교정 등에 널리 사용된다. 이는 적은 수의 측정값을 이용해 색 공간 변환이나 색 교정이 가능하고, 결과 또한 정확도가 높은 것으로 알려져 있다. 보간 방법으로는 육면체 보간, 프리즘 보간, 그리고 사면체 보간 방법 등이 있다. 그 중 사면체 보간 방법은 수행이 다른 방법보다 쉽고, 4개의 사면체 평면이 평평해서 임의의 칼라 값이 그 사면체

사상 방법은 크게 절단, 선형 압축, 그리고 비 선형

에 속하는 지의 유무를 쉽게 판단할 수 있다. 또한 기존의 다른 보간 방법들에 비해 네 개의 꼭지점값만으로 보간이 수행됨으로써, 보간의 정확도를 유지하면서 계산량이 감소하는 장점 때문에, 본 논문에서는 사면체 보간 방식을 이용하여 색 공간 변환을 하였다.<sup>[10]</sup>

색 공간을 사면체로 나누는 방법에는 여러 가지가 있다. 사면체의 대칭과 단순함 때문에 Po-Chieh Hung이 인용한 방법으로 색 공간을 나누었다.<sup>[11]</sup> 모니터와 프린터의 색역은 각각의 장치로 출력된 색 샘플을 측정하여 육면체의 LUT로 나타내고, 이를 사면체 보간을 위해 6개의 사면체로 분할한 것이 그림 3의 (a)와 (b)에 나타나 있다.

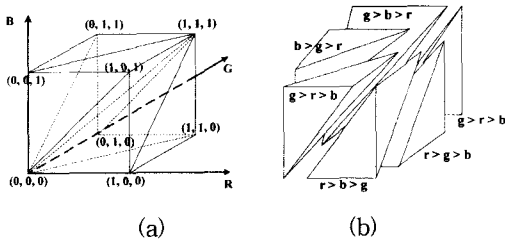


그림 3. 한 개의 육면체에서 사면체 분할 (a) 한 육면체 내의 사면체 위치 (b) 각 사면체의 상태를 나타내는 식  
Fig. 3. Tetrahedral division of subcube. (a) The location of tetrahedral points in subcube. (b) Equations of each tetrahedral conditions.

본 논문에서는 모니터의 색 공간인 RGB 색 공간을 색역 사상이 일어날 CIELAB 색 공간으로 변환할 때, 순방향 사면체 보간을 사용하였다. 그림 4에서 사면체 보간 방법을 보여준다. 먼저 보간 할 점을 포함하고 있는 육면체를 구하고 난 뒤, 보간 할 점을 포함하고 있는 사면체를 육면체 속에서 구한다. 이를 위해 RGB 색 공간상에서 보간 할 점과 사면체의 각 꼭지점 벡터간의 가중치를 구한다. RGB 공간에서 임의의 입력값 (rp, gp, bp)는 사면체 각 꼭지점으로 가중치를 구하고, 구해진 가중치를 장치 독립적인 색 공간 CIELAB 색 공간에 적용함으로써 (Lp, ap, bp)를 구할 수 있다. 이 때의 가중치  $\alpha, \beta, \gamma$ 는 다음식을 통해서 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1-r_0 & r_2-r_0 & r_3-r_0 \\ g_1-g_0 & g_2-g_0 & g_3-g_0 \\ b_1-b_0 & b_1-b_0 & b_1-b_0 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} r_p-r_0 \\ g_p-g_0 \\ b_p-b_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

보간 할 점이 사면체 내에 속하기 위한 가중치는 다음의 조건을 만족해야 한다.

$$\alpha \geq 0, \beta \geq 0, \gamma \geq 0, \text{ and } \alpha + \beta + \gamma \leq 1 \quad (2)$$

식 (2)의 조건을 만족하면, 임의의 입력값 (rp, gp, bp)는 가중치와 사면체의 각 꼭지점의 측정된 CIELAB 값으로 다음의 식을 이용하여 보간된 (Lp, ap, bp)값을 구한다.

$$\begin{bmatrix} L_p \\ a_p \\ b_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1-L_0 & L_2-L_0 & L_3-L_0 \\ a_1-a_0 & a_2-a_0 & a_3-a_0 \\ b_1-b_0 & b_1-b_0 & b_1-b_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_0 \\ a_0 \\ b_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

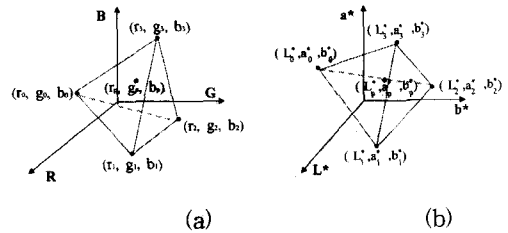


그림 4. 서로 다른 두 색 공간에서 일치하는 사면체 (a) RGB 색 공간 (b) CIELAB 색 공간  
Fig. 4. Corresponding tetrahedrons in two spaces. (a) RGB color space. (b) CIELAB color space.

역방향 사면체 보간은 순방향 사면체 보간과 유사하게 수행된다. 색역 사상이 일어난 영상의 CIELAB값을 재현될 프린터의 CMY 색 공간으로 변환할 때, 역방향 사면체 보간이 사용된다. 변환하는 식은 순방향 보간 시 사용했던 식에서 RGB 값 대신에 CIELAB 값을, CIELAB값 대신에 CMY 값을 대입해 주면 된다.

### III. 제안한 색역 사상 방법

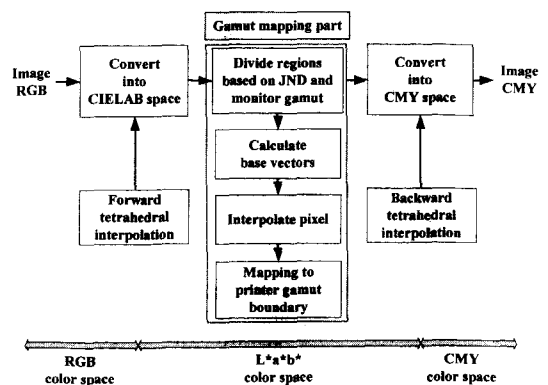


그림 5. 색 공간 분할 색역 사상  
Fig. 5. Gamut mapping based on color space division.

제한한 색역 사상 방법은 색역을 분할하여 분할된 영역 별로 사상을 수행하게 된다. 영역을 나누어 영역 대 영역 별로 사상을 수행함으로써 해서 사상의 균일성을 향상시키는 물론, 채도가 높은 영역에서는 채도 성분을 더욱 부각하게 되고 휘도 성분의 대비도 향상시킬 수 있도록 하였다. 제한한 색역 사상 방법에 대한 블록도는 그림 5에서와 같다.

1. 색역 구분의 기준점 설정

색역을 구분하기 위해 휘도 성분의 JND와 모니터 색역의 경계값의 교차점을 기준으로 영역을 분할한 후, 영역별 기준 벡터를 설정한다. 설정된 기준 벡터에 따라 보간을 통하여 프린터 색역의 경계값으로 사상한다. 영역을 분할하는 기준이 되는 JND는 Weber의 법칙에서 유도된 개념이다.<sup>[8]</sup> 인간이 인지하는 자극의 강도는 물리적인 자극의 강도에 선형적인 비례관계가 아니라, 물리적인 자극의 비에 비례한다는 개념이다. I는 물리적인 자극의 강도이고, 자극의 변화량을  $\Delta I$ 로 나타낸다. 즉  $\Delta I/I$ 가 일정하게 되는 Weber의 법칙은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{\Delta I}{I} = constant \quad (4)$$

이를 인간 시각이 상대적으로 민감한 휘도 성분에 적용하여, 이를 기준으로 영역을 분할하게 된다. Greg Ward가 실험을 통해 획득한 휘도 성분에 대한 JND는

$$\Delta L(La) = 0.0594 \times (1.219 + La^{0.4})^{2.5} \quad (5)$$

와 같다.<sup>[12]</sup> 임의의 휘도값  $La$ 에서의 JND는 식 (5)에 의해서  $\Delta L(La)$ 의 값으로 얻을 수 있다.

식 (5)에서 구해진 JND를 기반으로 휘도 성분의 변화를 인간 시각이 인지하지 못하는 영역 내로 한정된 후, 휘도와 채도 성분을 동시에 사상하면 보다 인간 시각에 적합한 색역 사상을 수행할 수 있게 된다. 상대적으로 휘도 성분이 낮은 영역이 높은 영역에서 보다 작은 JND값을 가지게 된다. 그래서 영역을 구분하기 위해 기준이 되는 것은 각 색역에서 중간 휘도 지점보다 낮은 휘도 영역의 JND값들로 설정한다. 설정된 JND와 모니터 색역과 만나는 점을 기준으로 색역을 나누게 된다. 그림 6은 대표되는 휘도 JND에 기반해, 이들 지점을 기점으로 영역을 분할하는 과정을 보여준다. 각 색상 평면상에서 중간 휘도보다 낮은 휘도 지점의 기

준 JND를 최저 휘도 성분부터 연속해서 대표되는 값들을 얻어낸다. 이렇게 설정된 값들을 기준으로 색역의 중간 휘도 지점과 최대 채도 지점을 초점으로 하는 포물선의 형태로 색역을 분할한다. 포물선의 방정식은 아래와 같다.

$$(L^* - C_{max})^2 = 4 \times L_{middle} \times C^* \quad (6)$$

여기서  $C_{max}$ 는 최대 채도값이고,  $L_{middle}$ 은 중간 휘도값이다. 포물선의 형태로 색역을 분할함으로써 색상 평면상의 전체 색역을 포함할 수 있고, 분할된 영역 별로 색역 사상이 수행됨으로써 사상의 균일성도 확보할 수 있게된다.

2. 영역 대 영역 별 사상하는 방법

포물선의 형태로 색역을 분리하고 난 뒤, 각 포물선이 색역과 만나는 모니터와 프린터 색역의 경계치 부분에서 기준 벡터를 설정할 수 있다. 이 벡터가 영역 대 영역별 사상을 하는 기준 벡터가 된다. 이렇게 설정된 기준 벡터로 색역 밖의 값을 보간 하여 프린터 색역의 경계값으로 사상하게 된다. 그림 6에서 제한한 방법의 세부적인 사상 방향과, 기준 벡터로 영역을 보간하는 방법을 보여 주고 있다. 분할된 각각의 영역에서 포물선과 모니터 색역의 경계와 만나는 점을  $m_1, m_2$  이고, 프린터 색역의 경계와 만나는 점을  $p_1, p_2$  라고 설정한다. 이들 벡터를 기준으로 영역 밖의 점  $T_{out}$ 은 보간의 과정을 거쳐  $T_{in}$  값으로 사상된다. 영역별로 기준 벡터를 설정하여 보간을 통한 영역별 사상을 수행함으로써 사상의 변이폭을 일정하게 하여 휘도 대비와 채도 향상을 얻을 수 있다.

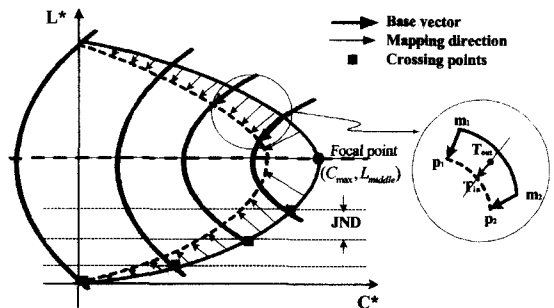


그림 6. 세부적인 사상 방향과 보간 방법  
Fig. 6. Specific mapping direction and interpolation method.

### 3. 기존의 달점 색역 사상 방법과 비교

기존의 CUSP 방법을 사용하여 색역 사상을 수행한 결과를 그림 7에서 보여주고 있다. CUSP 방법을 사용했을 경우에는 고 채도 영역에서 상대적으로 채도 성분의 변화폭이 휘도 성분 보다 크고, 이에 반해 고 휘도나 저 휘도 영역에서는 휘도 성분의 변화폭이 채도 성분의 변화폭보다 크게 되는 특징을 보인다. 즉, 영역 별로 색역 사상의 균일성이 확보되지 않아 영상에서 서로 다른 형태로 색역 사상이 일어나는 문제점이 발생하게 된다.

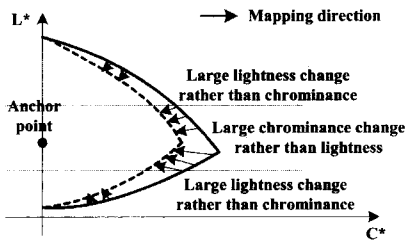


그림 7. CUSP 방법의 특징

Fig. 7. CUSP method's features.

이러한 단점을 보완하기 위해 제안된 방법은 전체적으로 색역 사상의 균일성을 유지함은 물론 고 채도 영역에서는 채도 성분을 더욱 부각하여 영상의 선명도를 향상시키고, 상대적으로 고 휘도 영역과 저 휘도 영역에서는 휘도 성분을 부각하여 영상에서 휘도 대비를 향상시킬 수 있었다.

그림 8의 (a)와 (b)에서 CUSP 방법과 제안한 방법으로 색역 사상을 수행할 경우, 각각의 사상 방향에 대한 것을 보여 준다.

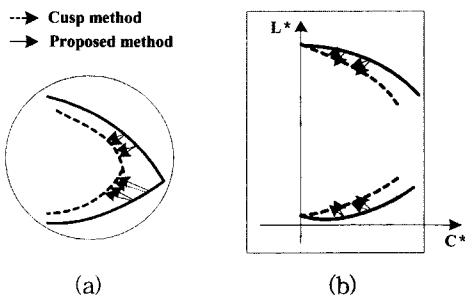


그림 8. CUSP 방법과 제안한 방법과의 비교 (a) 고 채도 영역 (b) 고 휘도와 저 휘도 영역

Fig. 8. Compare CUSP method with proposed method. (a) High chrominance region. (b) High and low lightness region.

그림 8에서 보는 것처럼 최대 채도의 휘도 값을 낮춰 점으로 색역 사상을 수행했을 경우, 전체적으로 일관성이 없는 형태로 단지 하나의 달점을 기준으로만 사상이 이루어져, 축의 양 끝단 영역과 고 채도 영역에서 각각 움직이는 거리가 달라짐을 볼 수 있다. 또한 다양한 형태의 색역들을 단지 하나의 함수에 의해서만 사상이 수행되므로, 이는 필수적으로 비 선형적인 문제를 야기하게 된다. 이에 반해 제안한 방법으로 사상을 수행하게 되면 전체적으로 사상되는 거리가 가장 적합하게 조율되는 특성을 가진다. 인간 시각 특성을 고려해 만들어진 CIELAB 색 공간에서 변화되는 거리가 전체적으로 가장 작게 된다는 것은 곧, 인간 시각에 가장 둔감하게 적용된다는 것을 의미하게 된다.

색역의 균일성에 관한 특성은 포화도(saturation) 값으로 표현 할 수 있다. 이는 색역 밖의 값 (Cout, Lout) 이 색역 사상된 (Cgamut\_mapped, Lgamut\_mapped) 값과의 기울기의 역으로 판단할 수 있다. 다음은 포화도를 판단하기 위한 식이다.

$$Saturation = \frac{\Delta C^*}{\Delta L^*} \quad (7)$$

즉, 기울기의 변화가 적으면 적을수록 색역 사상의 균일성은 향상되어, 영상에서도 색의 균일성을 유지할 수 있게된다.

## IV. 실험 및 고찰

제안된 방법을 기존의 방법과 비교하기 위해 일정한 6개의 색상 평면상에서 각 10개의 샘플들에 대해 RMSE에 의한 오차와 포화도를 측정하였다. 또한 그래픽 영상에 대한 비교 실험도 수행하였다. 제안한 색역 사상 방법과 비교를 위한 기존의 색역 사상 방법으로는 CUSP 방법을 선택하였다. 실험에서 사용된 모니터는 삼성 SyncMaster-700p 이고, 사용된 프린터는 LG Art-jet 프린터이다.

### 1. 장치의 색역 측정

먼저 모니터와 프린터의 색역을 나타내기 위하여 본 논문에서는 RGB와 CMY를 각 51간격으로 6단계로 구분한 다음 6×6×6의 216개의 색 샘플을 만들어 LUT를 작성하였다. 표준 광원은 D65를 동일하게 적용했다. 모니터의 색역은 측색계(colorimeter)를 사용하여 CIEXYZ 색 공간에서 색 샘플을 측정 한 후, CIELAB

색 공간으로 아래식을 이용하여 변환하였다. 모니터의 색온도는 6500K이고 밝기는 92로 고정 시켰다.

$$L^* = 116 f(Y/Y_n) - 16 \tag{8}$$

$$a^* = 500 [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \tag{9}$$

$$b^* = 200 [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \tag{10}$$

$$f(t) = t^{1/3} \quad 1 \geq t > 0.008856 \tag{11}$$

$$= 7.787 t + (16/166) \quad 0 \leq t \leq 0.008856$$

여기서 D65 광원에 대한 CIEXYZ 좌표값은 다음과 같다.

$$X_n = 95.02, Y_n = 100.00, Z_n = 108.81 \tag{12}$$

프린터의 색역은 블루 노이즈 마스크를 이용한 중간 조 처리 방법을 이용하여, 분광 광도계(spectrophotometer)로 측정하여 CIELAB 값을 얻었다.

2. 샘플에 대한 RMSE값과 포화도

Red, Green, Blue, Cyan, Magenta, Yellow의 6가지 색상 영역에서 각 10개의 샘플을 제안한 방법과 CUSP 방법으로 색역 사상을 수행했을 경우에 RMSE값과 포화도를 비교하였다. 모니터 출력 영상과 프린터 출력 영상의 색 오차를 수치적으로 표현한 것이 균일 색 공간에서의 RMSE이다. 본 논문에서는 색차를 구하기 위해  $\Delta E_{ab}^*$ 를 사용하였다. 실험에 사용된 R, G, B, C, M, Y의 균일 색상 평면이 표 1에 나타나 있다.

표 1. 실험에 사용된 R, G, B, C, M, Y의 색상 값

Table 1. R, G, B, C, M, Y's hue plain for experiment.

Color	R	G	B	C	M	Y
Degrees	34°	144°	296°	204°	327°	102°

그림 9의 (a)-(f)에서는 각 색상평면 R, G, B, C, M, Y에 대해 10개의 샘플의 위치와 그 때의 색역의 단면을 보여 준다. 제안한 방법과 CUSP 방법에 대해 10개의 샘플에 대한 색차  $\Delta E_{ab}^*$ 의 평균값을 비교한 것이 표 3에 나타나 있다. 실험 결과에 의해 제안한 방법의 색차가 기존의 CUSP 방법보다 더 작은 것을 알 수 있다. 일반적으로 색차가 줄게되면 인간 시각이 인지하는 전체 출력 영상도 좋아짐을 볼 수 있다.

표 3. 색차 비교

Table 3. Comparison of color difference.

	CUSP 방법	제안한 방법
Red	12.67	12.88
Green	12.07	10.71
Blue	12.75	11.58
Cyan	15.29	14.17
Magenta	15.35	15.27
Yellow	7.84	6.96
Mean	12.66	11.92

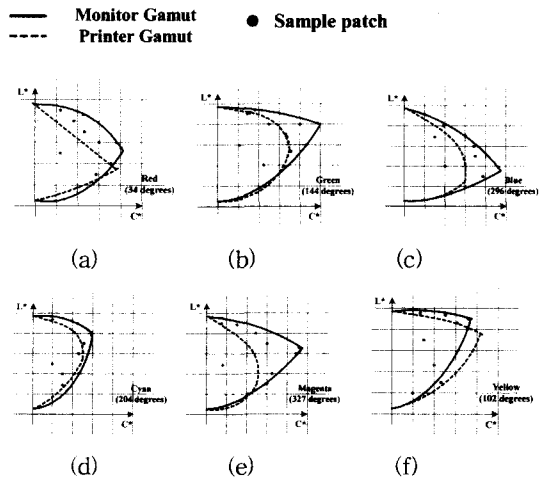


그림 9. 각 색상 평면상에서 10개의 샘플 (a) R (b) G (c) B (d) C (e) M (f) Y

Fig. 9. 10 samples at each hue plain. (a) R. (b) G. (c) B. (d) C. (e) M. (f) Y.

다음으로 제안한 방법의 색역 사상이 CUSP 방법보다 색역 전체의 균일성을 유지함을 알아보기 위해 각 10개의 샘플들에 대해 포화도를 측정하였다. 즉 각각의 포화도의 표준편차를 구해 이 표준 편차가 적으면 적을수록 균일성이 향상됨을 보여 준다. 표 4에서 각 10개의 샘플에 대해 포화도의 표준편차의 평균값을 비교한 것이다. R과 M에서 제안한 방법이 CUSP 방법보다 포화도의 표준편차 값이 약간 더 크게 나왔지만, 전체적으로 제안한 방법이 CUSP 방법보다 포화도의 표준편차 값이 작은 것을 알 수 있다. 이는 곧 색역 사상의 균일성이 CUSP 방법보다 제안한 방법이 더 향상됨을 보여 준다. 즉, 색역 사상의 균일성이 향상되어 기존의

색역 사상 방법보다 영상의 특정영역별로 사상 방향이 달라지는 단점을 제안한 방법에서 많이 극복할 수 있었다.

표 4. 포화도의 표준편차 비교  
Table 4. Comparison of saturation's standard deviation.

	CUSP 방법	제안한 방법
Red	3.7	5.43
Green	10.36	6.55
Blue	18.01	9.37
Cyan	12.48	1.68
Magenta	1.75	2.5
Yellow	12.1	6.5

3. 그래픽 영상에 대한 비교

기존의 방법에 의한 사상과 제안한 방법에 의한 사상을 비교하기 위해, 그래픽 영상에 색역 사상 방법을 적용하였다. 실험에서 사용한 영상은 전 영역에 걸쳐 다양한 색을 가지고 있는 'fresh'와 'balloon' 영상을 사용하였다. 그림 10-11에서 (a)는 원 영상을 색역 사상 없이 프린터로 출력한 것이고, (b)는 CUSP방법으로 색역 사상한 결과이며, (c)는 제안한 방법으로 얻은 결과이다. 제안한 방법이 CUSP방법보다 전체적으로 휘도값의 대비와 영상의 선명도가 향상됨을 볼 수 있다. 즉, 제안한 방법으로 색역 사상을 수행한 결과가 모니터의 영상을 프린터에서 보다 더 잘 재현하고 있음을 알 수 있으며, CUSP방법에 의한 결과 보다 색 대비의 향상도 얻을 수 있었다.

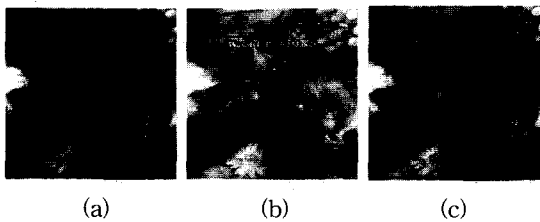


그림 10. 'fresh'영상 결과 (a) 색역 사상을 하지 않은 경우 (b) CUSP 방법을 사용한 결과 (c) 제안한 방법으로 얻은 결과

Fig. 10. 'fresh' image result. (a) Without gamut mapping. (b) CUSP algorithm. (c) Proposed algorithm.

하지만 영상에서 파란색 영역에서 문제가 발생했는데, 이는 CIELAB 색 공간이 파란색 영역에서 인간 시각에 비 선형적인 특성이 발생하게 되는 문제로 인한 오차이다.<sup>[13]</sup> 그래서 향후 CIELAB 색 공간이 아닌 다른 장치 독립적인 색 공간에서의 색역 사상에 대한 연구가 필요하다. 또한 절단 사상 방법으로 색역 사상을 수행하게 되어, 특정 영역에서 색이 중첩되는 특성이 보인다. 이는 압축 사상 방법과 절단 사상 방법을 색의 분포에 따라 적절히 조절해야함을 보여준다.

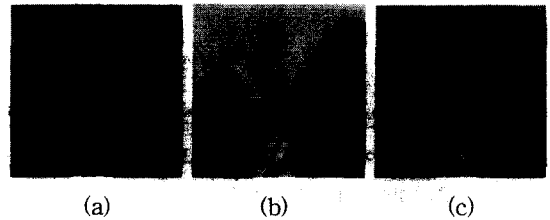


그림 11. 'balloon'영상 결과 (a) 색역 사상을 하지 않은 경우 (b) CUSP 방법을 사용한 결과 (c) 제안한 방법으로 얻은 결과

Fig. 11. 'balloon' image result. (a) Without gamut mapping. (b) CUSP algorithm. (c) Proposed algorithm.

V. 결 론

본 논문에서는 모니터와 프린터간의 색역 사상을 포물선의 구조에 기반한 영역 대 영역별, 2차원 절단 사상 방법을 제안하였다. 기존의 단점을 이용한 색역 사상 방법은 색역의 전반적인 특성을 고려하지 않아서, 원 영상이 가지는 휘도와 채도의 정도를 제대로 재현할 수 없었다. 그러나 제안된 방법을 사용함으로써 색역의 전반적인 특성을 고려한 색역 사상이 수행되어, 균등 색 공간상에서 전체적으로 최적의 변화를 유도하면서 사상을 수행할 수 있었다. 즉, 영역 대 영역 별 사상은 색역 사상의 균일성을 보다 향상 시켜, 영상의 특정 영역마다 사상 방향이 달라지게 되는 단점을 극복하였다. 또한 채도가 높은 영역은 보다 채도 성분이 강조되고, 휘도 성분의 대비도 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

하지만 CIELAB 색 공간의 비 선형성으로 인해 특정 색상 영역에서 사상이 문제가 발생하였고, 절단 방법으로 사상을 수행함으로써 색이 중첩되는 결과가 나타났다. 그래서 색역 사상을 위해 다양한 장치 독립적



인 균등 색 공간으로 변환이 필요하고, 색을 잘 분포하게 할 수 있는 압축 방법들에 대한 연구도 필요하다.

참 고 문 헌

[1] J. Morovic, "To develop a universal colour gamut mapping algorithm," PhD Thesis, University of Derby, U. K., Oct. 1998.

[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] 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, 1995.

[6] 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, pp. 365~379, Oct. 1999.

[7] E. D. Montag and M. D. Fairchild, "Psychophysical evaluation of gamut mapping techniques using simple rendered images and artificial gamut boundaries," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 6, No. 7, pp. 977~989, July 1997.

[8] M. D. Fairchild, Color Appearance Models, Addison-Wesley, 1998.

[9] G. J. Braun, "A paradigm for color gamut mapping for pictorial images," PhD Thesis, Rochester Institute of Technology, Oct. 1999.

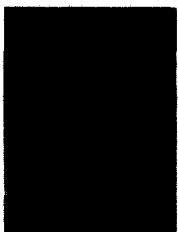
[10] H. R. Kang, Color Technology for Electronic Image Device, SPIE Optical Engineering Press, 1996.

[11] 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.

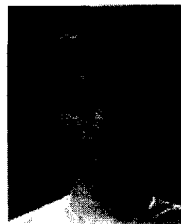
[12] G. Ward, "A Contrast-based scalefactor for luminance display," Graphics Gems IV, pp. 415~421, 1994.

[13] G. J. Braun and M. D. Fairchild, "Color gamut mapping in a hue linearized CIELAB color space," IS&T/SID 6th Color Imaging Conference, pp. 163~168, 1998.

저 자 소 개



趙 良 鏞(學生會員)  
 2000年 경북대학교 전자전기공학부 (공학사), 2002年 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사), 2002년-현재 경북대 전자공학과 박사과정 재학중, <주관심분야: 장치간 색 일치, 디지털 칼라 프린팅 등임>



金 允 泰(學生會員)  
 1999年 경북대학교 전자전기공학부 (공학사), 2001年 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사), 2001년-현재 경북대 전자공학과 박사과정 재학중, <주관심분야: 광원 추정, 칼라 항상성, 디지털 칼라 프린팅 등임>

李 徹 熙(正會員) 第 38卷 SP編 第 6券 參照

河 永 浩(正會員) 第 38卷 SP編 第 3券 參照