

# 휘도 대비와 채도 향상을 위한 원형 색역 사상

조 양 호\*, 김 윤 태\*, 이 철 회\*\*, 하 영 호\*

\*경북대학교 전자전기컴퓨터학부, \*\*경운대학교 컴퓨터공학과

## Circular Shape-Based Gamut Mapping for Enhancement of Lightness Contrast and Chrominance

Yang-Ho Cho\*, Yun-Tae Kim\*, Cheol-Hee Lee\*\*, and Yeong-Ho Ha\*

\*School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University

\*\*Dept. of Computer Engineering, Kyungwoon University

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

### 요약

본 논문에서는 컬러 장치들간에 색을 일치시키기 위하여 휘도 대비와 채도 향상을 고려한 원형 색역 사상(circular shape-based gamut mapping)방법을 제안하였다. 서로 다른 장치들간에 색역을 일치시키기 위해 장치 독립적이고 균등 색 공간인 CIELAB값으로 변환하여 색역 사상을 수행하였다. 인간 시각에 상대적으로 민감한 특성을 가지는 휘도 성분을 JND(just noticeable difference)에 기반해 분할하고, 이를 기점으로 색역을 원의 형태로 나눈다. 이렇게 나뉜 색역은 사상의 방향성을 결정하는 기본 단위로 사용되어, 이들 영역을 기점으로 영역 대 영역별 사상 방법을 사용하였다. 제안한 색역 사상 방법을 모니터와 프린터간에 적용한 결과 보다 선명하고 휘도 대비가 높은 영상을 얻을 수 있었다.

### I. 서론

오늘날 사용되는 다양한 컬러 재현 장치들은 장치의 존재이므로, 동일한 컬러 영상들을 서로 다른 매체에서 재현하게 되면 많은 차이를 보인다. 이러한 현상의 주된 원인은 주위 조명에 의한 영향, 장치간의 색 교정의 차이 등 여러 가지 요인이 있으나, 무엇보다 가장 큰 영향을 미치는 것은 장치간에 색을 지원하는 범위, 즉 색역의 차로 볼 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 대상 장치에서는 표현 할 수 없는 영역 밖의 색을 가능한 유사한 색으로 표현해 내는 것을 색역 사상이라고 한다[1].

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 휘도

(lightness), 채도(chroma), 색상(hue)성분 중에서 어느 요소를 변환하여 사상하게 되는가에 따라 1차원, 2차원, 3차원의 색역 사상으로 구분되어진다. 휘도나 채도 한 성분만 변화 시켜 사상하게 된다면 이는 1차원 색역 사상 방법이 된다. Morovic이나 Hezog가 사용한 색역 사상 방법은 색상성분을 고정하고 휘도와 채도 성분을 동시에 변화하여 사상하므로 2차원 색역 사상 방법이 된다[2-3]. 최근에는 휘도, 채도, 색상을 동시에 고려하여 색역 사상을 수행하는 Katoh의 3차원 색역 사상 방법도 제안되었다[4].

사상 방법은 일반적으로 색역 절단, 선형 압축, 비선형 압축 등으로 나눌 수 있다[5]. 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 압축은 원 색역의 휘도나 채도값의 최대, 최소를 사상될 색역의 휘도나 채도값의 최대, 최소로 맞추어 선형으로 변환하는 방법을 말한다. 비선형 압축 방법은 색역 사상에 가장 적당한 비선형 함수를 찾아서 그 함수에 따라 사상하는 방법이다.

본 논문에서는 모니터와 프린터의 색 재현 일치치를 위하여 인간 시각에 가장 민감한 색상 성분은 고정하고 휘도와 채도 성분을 프린터의 경계치로 사상하는 2차원 절단 색역 사상 방법을 제안하였다. 또한 전반적인 색역의 특성을 잘 고려한 색역 사상을 수행하기 위해, 원형의 형태로 색역을 구분하여 영역별 색역 사상 과정을 수행하였다.

### II. 기존의 색역 사상

색역 사상을 각기 다른 장치들 간에 일반적으로 적용하기 위해서는 장치 독립적이고 균등 색 공간 영역에서 사상이 이루어져 한다. 변환된 균등 색 공간 내에서 휘

도, 채도, 색상 성분 모두를 고려하여 색역 사상을 수행해야 하지만 색역 사상시 색상에 대한 고려는 일반적으로 하지 않는다. 색상 성분이 인간의 시각 특성에 가장 민감하여 조금의 변화라도 쉽게 감지하기 때문에, 색상 성분은 일정하게 두고 색역 사상을 수행하게 된다.

일정한 색상 평면상에서 휘도와 채도 성분만을 대상 색역으로 절단 혹은 압축하는 방법을 그림 1의 (a)와 (b)에 나타내었다. 이 때 사용되는 압축 방법은 색역의 특성을 가장 잘 고려한, 선형 혹은 비선형 함수를 사용해 사상하게 된다. 그림 1의 (c)와 (d)는 닷점을 설정하여 휘도와 채도를 동시에 변화시키는 방법을 나타내고 있다. 그림 1의 (c)는 색역 밖의 색과 재현할 색역간의 휘도나 채도의 상관 관계가 고려되지 않았기 때문에, 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 대비가 낮아지는 문제가 있다.

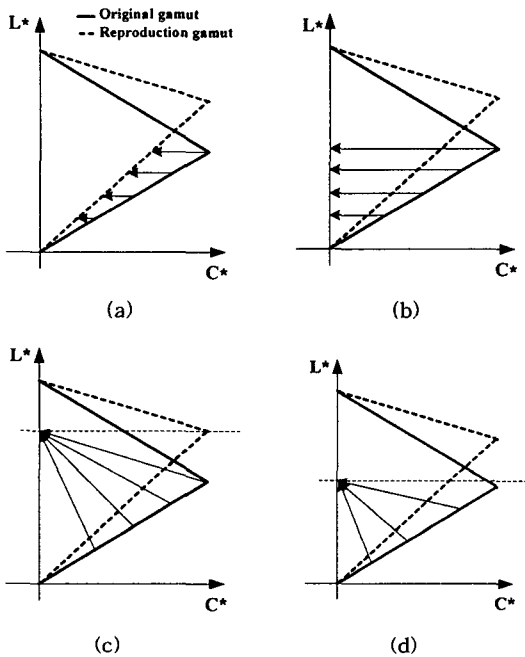


그림 1. 기존의 색역 사상 방법 (a) 휘도 값을 유지한 채도 절단 사상 (b) 휘도 값을 유지한 채도 선형 혹은 비선형 압축 사상 (c) 최대 채도 지점의 휘도 값으로 사상 (d) 중심을 향한 사상

이러한 기존의 방법들은 색역의 전반적인 특성을 고려하지 못하는 단점이 있다. 즉, 실제 다양한 형태의 색역에 있어 모든 사상 방법이 하나의 함수에 의해서 결정되면, 휘도축의 끝단 영역이나 고채도 영역에서 변화

폭이 각기 달라져 전체적으로 최적의 사상이 이루어지지 않게 된다. 이는 영상 전체적으로 많은 색의 왜곡을 야기하게 된다.

### III. 제안한 색역 사상 방법

#### 1. 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 특성, 즉 모니터에 있는 형광물체의 비선형성이나 프린터 염료의 비선형성 등을 충분히 고려할 수 없는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 구현이 용이하고 정확도도 높은 사면체 보간(tetrahedral interpolation) 방법으로 색 공간 변환을 수행한다.

#### 2. 제안한 색역 사상 방법

색상에 따라 분할된 각 영역에서 최대 채도의 위치와 색역의 포함관계에 따라서 3개의 대표되는 색역의 형태로 구분한다. 구분된 색역을 기준으로 휘도 성분에 기반한 JND에 따라 영역을 분할한 후, 영역별 기준 벡터에 따라 보간을 통하여 프린터 색역의 경계값으로 사상한다.

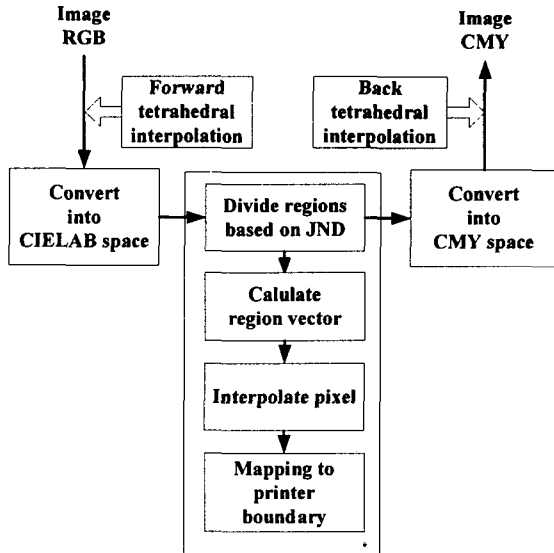


그림 2. 제안한 색역 사상 방법

영역을 분할하는 기준이 되는 JND는 Weber의 법칙에서 유도된 개념이다. 인간이 인지하는 자극의 강도는 물리적인 자극의 강도에 선형적인 비례관계가 아니라, 물리적인 자극의 비에 비례한다는 개념이다. 이를 인간 시각이 상대적으로 민감한 휘도 성분에 적용하여 이를 기준으로 영역을 원형의 형태로 나누게 된다. Greg Ward가 이를 수식화 하여 나타낸 JND는 다음과 같이 구해진다[8].

$$\Delta L(La) = 0.0594 \times (1.219 + La^{0.4})^{2.5} \quad (1)$$

$La$ : Luminance

$\Delta L$ : Just Noticeable Distance

식 (1)에서 구해진 JND를 기반으로 휘도 성분의 변화를 인간 시각이 인지하지 못하는 영역 내로 한정 한 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 낮은 휘도 영역의 JND로 설정한다. 그림 3의 (a)는 대표되는 JND에 기반해 이들 지점을 기점으로 영역을 분할하는 과정을 보여준다.

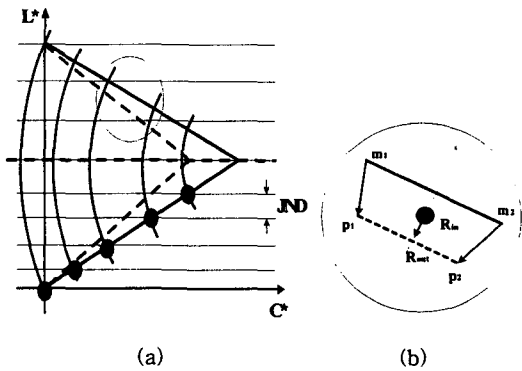


그림 3. 제안한 색역 사상 방법 (a) JND에 기반한 원형의 형태로 색역 분리 (b) 보간 과정

원형의 형태로 색역을 분리하고 난 뒤, 각 원이 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 경계치로 사상하게 된다. 그림 3의 (b)에서 기준 벡터로 영역을 보간 하는 방법을 보여 주고 있다. 원과 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  $R_{in}$  은 보간의 과정을 거쳐  $R_{out}$  값으로 사상된다.

#### IV. 기존의 닷점 색역 사상 방법과 비교

제안한 방법과 기존의 Cusp 방법과 비교했을 때 각각의 사상되는 형태를 그림 4와 5에서 나타내었다.

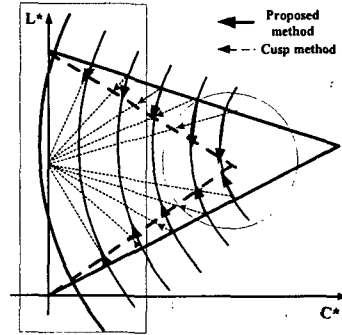


그림 4. Cusp 방법과 제안한 방법과의 비교

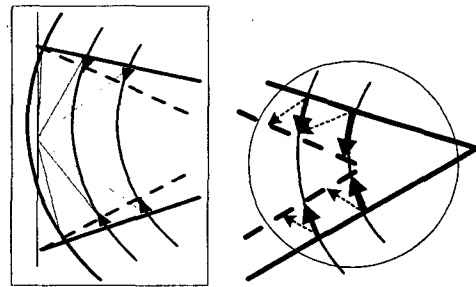


그림 5. 세부적인 사상 과정

그림 5에서 보는 것처럼 최대 채도의 휘도 값을 닷점으로 색역 사상을 수행했을 경우 전체적으로 일관성이 없는 형태로 단지 하나의 닷점을 기준으로만 사상이 이루어져 축의 양 끝단 영역과 고 채도 영역에서 각기 움직이는 거리가 달라짐을 볼 수 있다[6-7]. 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 CIELCH 색 공간에서 변화되는 거리가 전체적으로 가장 작게 된다는 것은 곧, 인간 시각에 가장 둔감하게 적용된다는 것을 의미하게된다. 영역 대 영역별로 사상이 이루어짐에 따라 색역의 다양한 형태학적인 고려는 물론, 휘도의 JND에 기반한 영역 설정으로 휘도 성분은 인지하지 못하는 영역 내에서 채도 부분을 전반적으로 살려 주게 되어 좀더 선명한 영상을 얻을 수 있다. 게다가 휘도 성분의 대비도 전체적으로 높아지는 특성도 얻을 수 있다.

## V. 실험 및 결과

실험에서 사용된 모니터는 삼성 SyncMaster-700p 이고, 사용된 프린터는 LG Art-jet 프린터이다. 각 장치의 색역을 알기 위하여 6×6×6의 샘플을 모니터에서 RGB 포맷으로 만들어서 Minolta CA-100으로 측정하여 CIELAB 값을 얻었으며, 프린터에서는 CMY 포맷으로 만들어서 분광 광도계(spectrophotometer) Minolta CA-3600d로 측정하여 CIELAB 값을 얻었다. 실험에서 사용한 영상은 전 영역에 걸쳐 골고루 색을 가지고 있는 'fresh' 영상을 사용하였다. 그림 6의 (a)는 원 영상을 색역 사상 없이 프린터로 출력한 것이고 (b)와 (c)는 각각 Cusp방법과 Johnson의 방법을 사용하여 색역 사상을 수행한 결과이다[1]. (d)는 제안한 방법으로 얻은 결과로, Cusp방법이나 Johnson의 방법보다 전체적으로 휘도값의 대비와 영상의 선명도가 향상됨을 볼 수 있다. 즉, 제안한 방법으로 색역 사상을 수행한 결과가 모니터의 영상을 더 잘 재현하고 있음을 알 수 있으며, 다른 색역 사상에 의한 결과 보다 색 대비의 향상도 얻을 수 있었다.

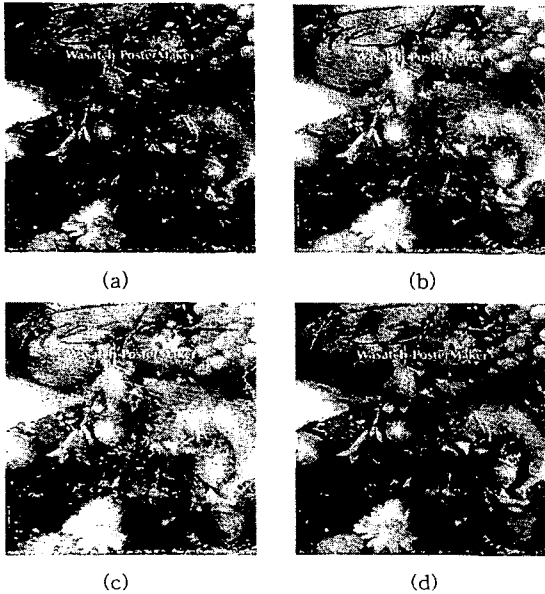


그림 6. 'fresh' 영상 결과 (a) 색역 사상을 수행하지 않은 결과 (b) Cusp 방법을 사용한 결과 (c) Johnson 방법을 사용한 결과 (d) 제안한 방법으로 얻은 결과

## VI. 결론

본 논문에서는 모니터와 프린터간의 색역 사상을 원형의 구조에 기반한 영역 대 영역별, 2차원 절단 사상 방법을 제안하였다. 기존의 단점을 이용한 색역 사상

방법보다 제안된 방법을 사용함으로써 색역의 전반적인 특성을 고려한 색역 사상이 수행되어, 균등 색 공간상에서 전체적으로 최적의 변화를 유도하면서 사상을 수행할 수 있었다. 이로 인해 채도가 높은 영역은 보다 채도 성분이 강조되고, 휘도 성분의 대비도 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] J. Morovic, "To develop a universal colour gamut mapping algorithm," *PhD Thesis, University of Derby, U. K.*(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] N. Katoh, Masahiko 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] K. M. Braun, R. Balasubramanian, and R. Eschbach, "Development and evaluation of six gamut mapping algorithms for pictorial images," *The 7th Color Imaging Conference: Color Science, Systems, and Applications*, pp. 149-153, Scottsdale, 1999.
- [8] G. Ward, "A Contrast-Based Scalefactor for Luminance Display," *Graphics Gems IV*, pp. 415-421, 1994.