

색 분포 재배열을 이용한 색 분별력 향상 색역 사상

(Color Discrimination Enhancement Gamut Mapping Using Color Distribution Rearrangement)

李在珉*, 金昞萬**, 李採守***, 李曺熙****, 河永浩*****

(Jae-Min Lee, Kyeong-Man Kim, Chae-Soo Lee, Cheol-Hee Lee, and Yeong-Ho Ha)

요 약

많은 칼라 장치에서 동일한 영상을 출력했을때, 재현된 색들은 장치 사이의 색역 차로 인해 많은 차이를 나타내므로 이를 개선하기 위한 많은 색역 사상 방법들이 제안되었다. 본 논문에서는 기존의 장치 의존적 색역 사상의 단점인 압축 사상에서의 불필요한 왜곡을 줄이고 절단 사상에 의한 색 분별력 저하를 최소화시키기 위해 색 분포 재배열을 이용한 색 분별력 향상 색역 사상 방법을 제안한다. 제안한 방법은 입력 영상의 색을 색 분포라는 3차원 배열로 구성한다. 색 분포의 최대치가 출력 장치 색역의 경계치보다 작다면 같은 색으로 사상을 한다. 반대로 크다면 색역 내부에 색역 외부의 색을 재배열하여 사상을 한다. 결과적으로 모니터에 나타난 영상의 색과 비슷하고 채도가 높은 색이 선형적으로 변하는 영역에서 색의 분별력이 높은 영상을 프린터로 재현할 수 있었다.

Abstract

When the same image is displayed in many different devices, the reproduced colors are not same due to the differences in the gamut between devices. Therefore, many gamut mapping method were proposed to solve this problem. In this paper, color discrimination enhancement gamut mapping method using color distribution rearrangement is proposed to reduce the unnecessary distortions by compression mapping and to minimize the decrease of color discrimination by clipping method. The proposed method constructs color distribution, the 3-dimension array of input image's colors. if the maximum of color distribution is within the boundary of printer gamut, the colors are mapped to the same colors. Otherwise, out-of-gamut colors are compressed into the printer gamut with minimum distortion. Consequently, the printer output image was highly consistent with the corresponding monitor image and had an enhanced color discrimination in region where high chroma varied linearly.

* 正會員, 서울大學校 電氣工學部

(Electrical Engineering, Seoul Univ.)

** 正會員, 三星電子 프린터事業部

(Printer Business Division, Samsung Electronics Co.)

*** 正會員, 경운大學校 電算情報工學科

(Computer Science and Information, Kyungwoon Univ.)

**** 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部

(School of Electronic Electrical Eng., Kyung-pook Nat'l Univ.)

接受日字:1999年4月2日, 수정완료일:1999年9月1日

I. 서론

서로 다른 장치간 색재현시에는 필연적으로 발생하는 색의 차이를 최대한 줄이고 동시에 인간 시각에 의해 인지된 전체영상에서의 색의 차이를 최소화 할 필요가 있다. 이와 같이 색역 밖의 색을 출력장치가 재현할 수 있는 색역 안으로 변환시키는 것을 색역 사상(gamut mapping)이라고 한다.^[1,2]

색역 사상은 사상을 하는 대상에 따라 크게 장치 의존적 색역 사상(device dependent gamut mapping)과

영상 의존적 색역 사상(image dependent gamut mapping)으로 나눌 수 있다. 장치 의존적 색역 사상은 영상 독립 색역 사상(image independent gamut mapping)이라고도 하는데 이 방법은 출력할 영상에 상관없이 서로 다른 출력장치의 색역 간에 사상하는 것을 의미한다. 이 방법은 모든 칼라 영상에 대해 동일한 색역 사상이 이루어지기 때문에 사상하는 과정이 비교적 단순하다는 장점이 있지만 입력되는 칼라 영상에 대한 인간 시각의 순응을 고려할 수 없는 단점이 있다. 영상 의존 색역 사상은 주어진 칼라 영상의 색역과 재현될 장치의 색역 간의 사상을 뜻하는 것으로, 사상 과정이 주어진 칼라 영상의 색에 따라 다르게 진행할 수 있는 장점이 있다. 하지만 입력 영상의 색을 분석할 전처리 과정이 필요하므로 사상시 수행시간이 그만큼 증가한다.^[3]

색역 사상에서 사용하는 기존의 색역 사상 방법에는 여러 가지가 있지만 그중 많이 사용되는 사상 방법은 절단(clipping) 방법과 압축(compression) 방법이다. 절단 방법은 색역 외부의 색을 사상될 색역의 경계면으로 사상하는 방법으로 사상된 영상이 재현될 장치의 색역에서 최대 색도(chroma)값을 나타내는 장점이 있지만 사상될 색역의 내부에서는 아무런 변화가 일어나지 않기 때문에 색역 외부의 색을 재현할 때 색역 내부의 색과의 비선형성이 발생한다. 압축 방법은 원 색역의 휘도(lightness)나 색도의 최대, 최소값을 재현될 장치의 최대, 최소값으로 맞추고 나머지 값은 선형, 또는 비선형적으로 사상하는 방법으로 장치 의존적 방법에서 출력영상의 색의 분별력은 유지되지만 입력 영상의 색이 고려되지 않으면 불필요한 왜곡을 발생시켜 색의 차이가 더 커지게 된다. 따라서 색도에서의 색역 사상은 압축 방법보다 절단 방법에 의한 사상이 더 좋은 결과를 나타낸다.^[1, 2, 3]

또한 사상이 이루어지는 과정에 따라 연속적 사상 방법(continuous mapping)과 동시 사상 방법(simultaneous mapping) 및 변수적 사상 방법이 있다. 연속적 사상 방법은 인간 시각 속성의 각각을 개별적으로 사상하는 방법으로 사상이 2단계로 이루어진다. 먼저 휘도에 의한 사상을 한 후 색도에 의한 사상이 이루어진다. 동시적 사상 방법은 인간 시각 속성이 동시에 변화하는 사상 방법으로 색역의 특정한 점을 중심으로 하여 사상한다. 이 점을 닻점(anchor point)이라고 한다. 동시적 사상 방법의 대표적 방법은 CUSP 방법으로 재

현될 장치의 색역에서 최대 색도를 가진 L^* 축의 점을 닻점으로 하여 사상한다. 그리고 변수적 사상 방법은 일정 색상(hue)에서 정의된 변수에 따라 서로 다른 형태로 사상이 이루어지는 방법으로 Johnson 방법 등이 있다. CUSP 방법은 Morovic의 실험 결과에 의해 기존의 여러 가지 방법 보다 더 우수한 것을 알 수 있다.^[4] 그러나 CUSP 방법도 장치 의존적 방법이므로 불필요한 왜곡이 발생할 수 있고 또한 절단 방법으로 사상할 경우 색의 분별력이 감소하는 단점이 있다.

그러므로 본 논문에서는 기존의 CUSP 방법을 기반으로 장치 의존적 색역 사상 방법에서 발생한 불필요한 왜곡을 줄이고 동시에 연속적으로 색도가 변하는 영역에서 색의 분별력을 향상시키기 위해 색 분포 재배열(color distribution rearrangement)을 이용한 색 분별력 향상 색역 사상(color discrimination enhancement gamut mapping) 방법을 제안한다. 이 방법은 영상 의존적 방법으로 먼저 입력 영상의 색을 순방향 보간(forward interpolation)하여 $CIE L^*C^*H^*$ 영역에서 배열한 색 분포를 구성한 후 프린터 색역의 특성을 고려하여 색 분포를 재배열한다. 그리고 역방향 보간(inverse interpolation)을 통해 RGB 영역으로 변환하여 중간조처리(halftoning) 방법을 통해 CMY 영역으로 변환한 후 프린터로 출력한다. 제안한 방법에 의한 프린터 출력 영상과 모니터 출력 영상을 비교한 결과 모니터 출력 영상에서의 색이 프린터 출력 영상의 색과 거의 일치한 것을 볼 수가 있고 동시에 색의 분별력이 향상된 것을 볼 수가 있다.

본 논문에서는 2장에서 기존의 색역 사상 방법에 대해 살펴보고, 3장에서 색역 사상 방법의 전후 단계인 색 공간 변환에 대해서 설명한 후, 순방향 보간과 역방향 보간 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 입력 영상의 색 분포를 구성하는 방법과 색 분별력 향상 색역 사상 방법을 제안한다. 마지막으로 5장과 6장에서는 실험 및 고찰과 결론을 서술한다.

II. 기존의 색역 사상 방법

기존의 사상 방법은 사상하고자 하는 색역에 따라 장치 의존적 색역 사상 방법과 영상 의존적 색역 사상 방법으로 구분되고 사상 방법에 따라 연속적 사상 방법과 동시 사상 방법 및 변수적 사상 방법으로 구분된다. 그리고 모든 사상방법은 일단 두 장치간의 백색을

일치시킨 후 색도를 동일하게 유지하여 사상을 한다.^[3,4,5]

1. 장치 의존적 방법과 영상 의존적 방법

장치 의존적 색역 사상 방법은 입력영상에는 독립적으로 사상하면서 출력 장치들의 색역에 의존하여 사상하는 방법으로 일단 출력장치들의 색역만 측정되면 쉽게 사상할 수 있다. 그러나 입력영상의 특성을 고려하지 않으므로 불필요한 왜곡이 발생할 수 있다. 영상 의존적 색역 사상 방법은 입력영상의 특성에 따라 서로 다른 색역 사상 방법을 사용하는 것으로 입력영상의 최대값, 최소값 등의 특성을 추출하는 과정이 필요하지만 사상된 결과는 장치 의존적 방법보다 훨씬 우수하다. 이것은 입력영상의 특성을 기준으로 하여 불필요한 왜곡을 줄일 수 있기 때문이다.^[3]

2. 연속적, 동시적, 변수적 색역 사상 방법

연속적 색역 사상 방법은 인간 지각 속성이 각각 개별적으로 사상되어지며 일반적으로 연산이 두 단계로 이루어져 있다. 먼저 휘도 사상을 하고 다음 단계로 색도를 사상한다. 이 과정에서는 두 장치 색역 사이의 휘도의 최대와 최소를 선형적으로 일치시키는 휘도 사상을 한 후 다음 단계에서 색도 사상을 한다. LLIN 방법은 일정한 휘도의 색역을 따라서 색도를 선형적으로 사상하고, LNLIN 방법은 일정한 휘도의 색역을 따라 색도를 비선형적으로 사상한다. LCLIP는 일정한 휘도의 색역을 따라서 색역 밖의 색을 색역의 경계면을 기준으로 절단하여 사상하고 색역 안의 색은 변형 없이 그대로 1:1 사상한다. LSLIN 방법은 초기의 휘도 사상 후 L^* 축의 고정점을 향하여 색을 사상하는 방법이다, 그림 1에서 이 방법들이 나타나 있다.^[5]

동시적 색역 사상 방법에서는 색역 사상 과정에서 인간 지각 속성 전부가 동시에 바뀌게 된다. 여기에서 처리하는 방법은 색 공간에서 특정한 중심인 닷점을 향하여 색들을 일치시키게 된다. SLIN 연산에서는 닷점이 휘도 축에서 $L^*=50$ 인 지점이고 CUSP 방법에서의 중심은 주어진 색상에서 최대의 색도를 가지는 점을 닷점으로 설정하게 된다. SLINLLAB 방법은 그림 1에서 보는 것과 같이 $CIE L^*a^*b^*$ 색 공간 대신에 LLAB 색 공간을 쓰므로 SLIN 방법과 유사하다. 이 세 개의 방법들은 휘도와 색도가 동시에 변환되므로 초기에 휘도 사상으로 압축하지 않는다.^[5]

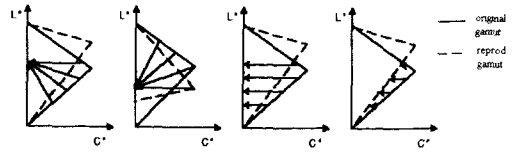


그림 1. 연속적 색역 사상과 동시적 색역 사상 방법 (a) SLIN/SLINLLAB/SLINLC (b) CUSP (c) LLIN/LNLIN (d) LCLIP

Fig. 1. Continuous & simultaneous gamut mapping methods.

(a) SLIN/SLINLLAB/SLINLC (b) CUSP (c) LLIN/LNLIN (d) LCLIP.

변수적 색역 사상 방법은 특별한 색상에서 두 색역 간의 관계나 한쪽의 색역에 의존하여 처리하거나 또는 사용자가 정의한 변수에 따라서 처리하게 된다. 이러한 방법들은 Johnson 등이 프린터와 모니터간의 사상에 적용하였다.^[1,5]

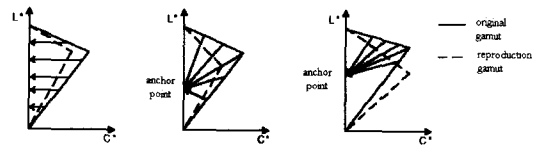


그림 2. Johnson이 제안한 색역 사상 (a) 포함관계에 있으면서 최대 색도값의 휘도가 큰 차이가 없을 때 (b) 포함관계에 있으면서 최대 색도값의 휘도가 큰 차이가 있을 때 (c) 두 색역이 어느 한쪽에 포함되지 않을 때

Fig. 2. Johnson et al's gamut mapping. (a) in case that the inclusion between two gamuts is complete and two lightness values of the maximum chroma are similar. (b) in case that the inclusion between two gamuts is complete and two lightness values of the maximum chroma are different. (c) in case that the inclusion between two gamut is partial.

Johnson 방법은 그림 2와 같이 사상하고자 하는 두 색역 간의 관계에 따라 세 가지 방법으로 사상한다. 넓은 색역이 좁은 색역을 완전히 포함하고 넓은 색역의 최대 색도값을 가지는 휘도값이 좁은 색역의 최대 색도값을 가지는 휘도값과 비슷할 경우 (a)와 같이 휘도값을 유지하면서 선형적으로 색도값을 사상한다. 넓은 색역이 좁은 색역을 완전히 포함하고 넓은 색역의 최대 색도값을 가지는 휘도값과 좁은 색역의 최대 색도값을 가지는 휘도값의 차이가 클 경우 (b)와 같이 색역

간의 최대 색도값의 두 정점을 이은 직선과 휘도축이 만나는 점을 닷점으로 설정하고 선형적으로 사상한다. 마지막으로 두 색역이 어느 한쪽을 포함하지 않을 경우에는 닷점을 휘도값의 중심점에 두고 선형적으로 사상한다.^[5]

III. 색공간 변환

1. 순방향 보간과 역방향 보간

일반적인 색역 사상에서는 장치 의존적 색 공간인 RGB에서 색역 사상을 하지 않고 장치 독립적 색 공간인 CIEL*a*b* 영역으로 변환한 다음 색역 사상을 하고 다시 출력장치에서 표현이 가능한 색 공간으로 역 변환을 한다. 즉 RGB 색 공간에서 CIEL*a*b*로 변환하는 순방향 보간 과정과 CIEL*a*b* 색 공간에서 표현되어 있는 결과 영상을 프린팅하기 위해 RGB 색 공간으로 변환하는 역방향 보간 과정이 필요하다. 이것은 비균일 색 공간인 RGB 색 공간 보다 균일 색 공간인 CIEL*a*b* 색 공간에서의 사상이 훨씬 쉽기 때문이다. 그리고 일정한 색상을 유지할 수 있으므로 인간시각에 쉽게 인식되는 색의 색상 변화를 최소화하는 장점이 있다.^[1,2,6]

색 공간 변환을 위한 방법에는 변환 방정식을 이용한 방법과 LUT (look-up table)을 이용한 보간 방법으로 크게 구분된다. 변환 방정식을 이용한 색 공간 변환은 장치의 특성, 즉 모니터에 있는 형광물체의 비선형성이나 프린터 염료의 비선형성 등을 고려할 수 없는 단점이 있다. 이 단점을 개선시킬 수 있는 방법이 LUT을 이용한 보간 방법이다.^[1,2,6]

LUT을 이용한 보간 방법에는 육면체 보간(cubic interpolation)과 프리즘 보간(prism interpolation) 방법, 그리고 사면체 보간(tetrahedral interpolation) 방법 등이 있다. 그 중에서 사면체 보간은 수행이 다른 방법보다 더 쉽고 4개의 평면이 평평해서 임의의 색이 그 사면체에 속하는지 쉽게 판단할 수 있기 때문에 본 논문에서는 사면체 보간을 이용하여 색 공간을 변환한다.

모니터와 프린터의 색역은 각각의 장치로 출력된 색 샘플을 측정하여 LUT로 나타낸다. 그리고 색역을 사면체로 나누는 방법에는 여러 가지가 있지만 본 논문에서는 사면체의 대칭과 단순함 때문에 Po-Chieh Hung이 인용한 방법으로 색역을 나누었다. RGB 색 공간에

서 하나의 육면체를 6개의 4면체로 분할한 것은 그림 3과 같다.^[2,6,7]

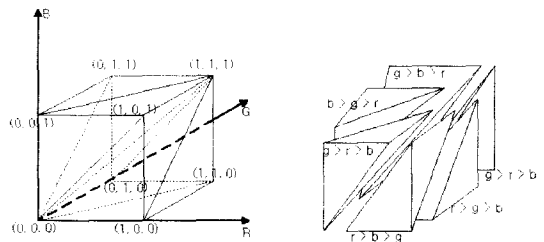


그림 3. 한 개의 육면체에서 사면체 분할 (a) 한 육면체 내의 사면체 위치 (b) 각 사면체의 상태를 나타내는 식[2,6,7]

Fig. 3. Tetrahedral division of subcube. (a) The location of tetrahedral points in subcube. (b) Equations of each tetrahedral conditions.^[2,6,7]

그러나 CIEL*a*b* 색 공간으로 색 공간 변환을 하게 되면 RGB 색 공간처럼 단순히 R, G, B의 크기만으로 사면체를 구분할 수 없다. 그러므로 역방향 보간에서 보간하고자 하는 색을 포함하는 사면체를 찾기 위한 방법이 필요하다. 그리고 사면체의 네 꼭지점에 대응하는 가중치를 정하는 것이 단순히 L*, a*, b*의 비로써 정할 수 없다. 그러므로 본 논문에서 cowan[7]이 인용한 무게 중심적 보간(barycentric interpolation) 방법을 이용하여 가중치를 정하고 워킹 알고리즘을 이용하여 보간하고자 하는 색을 포함하는 사면체를 찾는다.^[7,8]

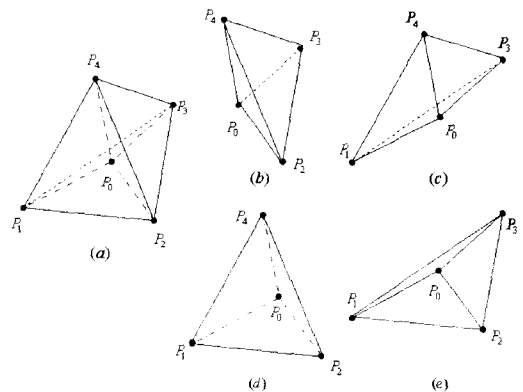


그림 4. 무게 중심적 보간 방법을 위한 사면체 분할 (a)사면체 T_T, (b) 부사면체 중 T₁, (c) T₂, (d) T₃, (e) T₄

Fig. 4. Partition of tetrahedron for varycentric interpolation. (a) A tetrahedron T_T. (b) Sub-tetrahedron T₁, (c) T₂, (d) T₃, (e) T₄.

무게 중심적 보간 방법은 먼저 보간할 색이 포함된 사면체를 찾고 그림 4와 같이 사면체의 각 꼭지점과 보간할 색을 연결하여 사면체를 네 개의 부사면체(sub-tetrahedron)로 분할한다. 그러므로 분할된 부사면체와 사면체의 체적의 비와 부사면체에 대응되는 네 꼭지점을 이용하여 내부에 포함된 색을 다른 색 공간으로 변환한다. 여기서 체적의 비는 각각의 꼭지점에 대한 가중치의 역할을 한다. 이 방법은 RGB 색 공간의 변환 방법과 동일하지만 각각의 꼭지점이 임의의 좌표를 가지더라도 보간이 가능하므로 균일색 공간인 CIEL*a*b*에서 RGB 색 공간으로 역방향 보간이 가능하다.

위킹 알고리즘은 가중치의 부호를 판단하여 가중치가 모두 양수이면 이 사면체는 보간하고자 하는 색을 포함한다. 그리고 가중치 중에서 음수가 있으면 음수 중에서 가장 큰 절대값을 가지는 음수에 대응하는 이웃한 사면체로 이동하여 다시 포함여부를 판단한다.

색역 사상 과정에서 절단 방법으로 사상하면 프린터 색역 외부의 색은 프린터 색역의 경계면으로 사상된다. 이 색은 사상하고자 하는 색과 닿점을 연결한 직선과 경계면의 교차점(crossing point)이다. 그리고 색역이 사면체로 분할되어 있으므로 경계면은 삼각형(triangle)으로 구성된다. Po-Chieh Hung은 삼각형의 꼭지점과 색역외부의 색의 행렬연산을 통해 역방향 보간하였다. 그러나 이 방법은 먼저 교차점을 포함하는 삼각형을 알고 있어야 하고 만약 삼각형의 세 꼭지점 중에서 원점이 포함되면 행렬 연산이 불가능하다. 그리고 연산과정에서 역행렬을 구해야 하므로 연산량도 많다. 그러므로 본 논문에서는 원점을 중심으로 닿점과 보간하고자 하는 색을 연결한 직선이 a*축이 되도록 회전(rotation)을 통해 변환한 후 2차원 평면으로 사영(projection)하여 2차원적 무게 중심적 보간 방법을 이용해 교차점을 보간한다. 여기서도 위킹 알고리즘을 통해 포함 여부를 판단하고 이동할 이웃한 삼각형의 방향을 결정한다.

2. 무게 중심적 보간 방법

보간하고자 하는 색이 $P_0(R, G, B)$ 이고 CIEL*a*b* 색 공간에서 보간된 색을 $\hat{P}_0(L^*, a^*, b^*)$ 이라고 정의하면 보간은

$$\hat{P}_0(L^*, a^*, b^*) = \begin{bmatrix} \hat{L}_0^* \\ \hat{a}_0^* \\ \hat{b}_0^* \end{bmatrix} = \text{interpolate}\{P_0(R, G, B)\} \quad (1)$$

와 같이 정의할 수 있다. 그리고 $P_0(R, G, B)$ 을 포함한 사면체의 네 꼭지점의 좌표를 각각 P_1, P_2, P_3, P_4 로 정의하면

$$P_1 = \begin{bmatrix} r_1 \\ g_1 \\ b_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1^* \\ a_1^* \\ b_1^* \end{bmatrix}, \quad P_2 = \begin{bmatrix} r_2 \\ g_2 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_2^* \\ a_2^* \\ b_2^* \end{bmatrix}$$

$$P_3 = \begin{bmatrix} r_3 \\ g_3 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_3^* \\ a_3^* \\ b_3^* \end{bmatrix}, \quad P_4 = \begin{bmatrix} r_4 \\ g_4 \\ b_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_4^* \\ a_4^* \\ b_4^* \end{bmatrix} \quad (2)$$

와 같이 RGB와 CIEL*a*b* 색 공간의 좌표로 나타낼 수 있다. 그러므로 사면체의 체적 V_T 와 부사면체의 체적 V_1, V_2, V_3, V_4 는

$$V_T = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} P_1 & P_2 & P_3 & P_4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}, \quad V_1 = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} P_0 & P_2 & P_3 & P_4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

$$V_2 = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} P_1 & P_0 & P_3 & P_4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}, \quad V_3 = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} P_1 & P_2 & P_0 & P_4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

$$V_4 = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} P_1 & P_2 & P_3 & P_0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \quad (3)$$

와 같이 계산할 수 있다. 이때 부사면체는 사면체에서 한 꼭지점 대신 보간하고자 하는 색으로 대체 되었을 때의 체적이다. 그러므로 $\hat{P}_0(L^*, a^*, b^*)$ 의 각 요소는

$$\hat{P}_0(L^*, a^*, b^*) = \begin{bmatrix} \hat{L}_0^* \\ \hat{a}_0^* \\ \hat{b}_0^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^4 W_i L_i^* \\ \sum_{i=1}^4 W_i a_i^* \\ \sum_{i=1}^4 W_i b_i^* \end{bmatrix} \quad (4)$$

이다. 여기서 W_i 는 각 꼭지점에 대한 가중치로서 전체 사면체와 부사면체 사이의 비율로

$$W_i = \frac{V_i}{V_T}, \quad i=1, 2, 3, 4 \quad (5)$$

$$W_i \geq 0, \quad i=1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 1 \quad (7)$$

과 같이 정의된다. 그리고 W_i 는 모두 양수이고 모두 더하면 1이 되는 특성을 가진다.

3. 포함여부 결정을 위한 워킹 알고리즘

워킹 알고리즘은 임의의 색 $P_0(R, G, B)$ 을 포함하고 있는 사면체를 찾는 알고리즘이다. 임의로 선택한 초기 사면체로부터 무게 중심적 보간 방법을 이용하여 가중치를 계산하여 포함여부를 결정한다. 만약 $P_0(R, G, B)$ 가 포함이 안 되면 $P_0(R, G, B)$ 가 포함된 사면체로의 방향을 결정한다. 결정된 방향으로 이웃한 사면체로 이동한 후 다시 포함여부를 결정한다. 만약 계산된 가중치가 모두 양수이면 이 사면체는 $P_0(R, G, B)$ 을 포함하고 있고 어느 하나라도 음수이면 $P_0(R, G, B)$ 는 이 사면체 외부에 존재한다. 만약 $P_0(R, G, B)$ 가 외부에 존재하면 절대치가 가장 큰 음수의 가중치에 대응되는 부사면체의 면을 공유한 사면체로 이동한다. 이 과정을 계속 반복하여 $P_0(R, G, B)$ 가 포함된 사면체를 찾는다.

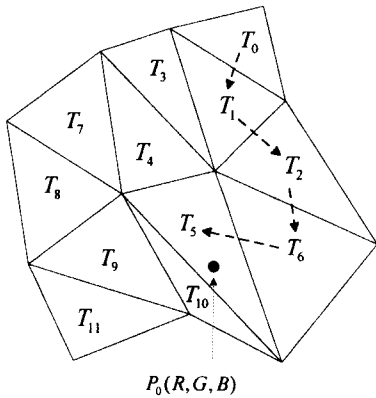


그림 5. 워킹 알고리즘의 예
Fig. 5. The example of walking algorithm.

그림 5는 2차원 평면에서 사용된 워킹 알고리즘의 예이다. 먼저 임의의 삼각형 T_0 을 초기 사면체로 선택한 후 워킹 알고리즘에 의해 T_0 의 인접한 삼각형 중에서 T_1, T_2, T_6 을 거쳐 보간하고자 하는 색 $P_0(R, G, B)$ 을 포함한 삼각형 T_5 를 찾는다. T_5 에서는 모든 가중치가 양수이므로 워킹 알고리즘은 멈춘다.

4. 교차점에서의 보간

색역의 경계면으로 사상된 교차점을 찾기 위해 좌표축 변환과 2차원 평면으로의 사영 그리고 2차원적 무게 중심적 보간 방법과 워킹 알고리즘을 이용한다. 교차점을 포함하는 삼각형의 세 꼭지점과 교차점은

$CIE L^*a^*b^*$ 색 공간에 표현되어 있으므로 무게 중심적 보간 방법을 사용하기 위해 2차원 평면으로의 변환이 필요하다. 본 논문에서는 그림 6의 (a)와 같이 삼각형의 세 꼭지점과 사상하고자 하는 색의 좌표축을 변환하여 사상하고자 하는 색과 닿점을 연결한 직선이 $a^*=0$ 이 되도록 원점을 중심으로 회전한 후 그림 6의 (b)와 같이 L^*b^* 평면으로 사영한다.

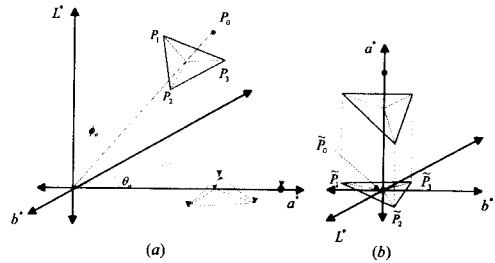


그림 6. 좌표축 변환 (a)회전 (b)사영
Fig. 6. Axis transformation. (a) Rotation. (b) Projection.

사영된 평면에서는 사상하고자 하는 색과 교차점의 좌표가 동일하고 또한 사영된 삼각형에서 구한 가중치가 프린터 색역의 경계면에서 구한 가중치와 동일하므로 워킹 알고리즘과 2차원적 무게 중심적 보간 방법을 적용하여 보간에서 사용될 가중치를 구한다.

보간하고자 하는 색이 P_0 이고 각각의 삼각형의 꼭지점의 좌표를 각각 P_1, P_2, P_3 로 정의하면

$$P_0 = \begin{bmatrix} L_0^* \\ a_0^* \\ b_0^* \end{bmatrix} \quad P_1 = \begin{bmatrix} L_1^* \\ a_1^* \\ b_1^* \end{bmatrix} \quad P_2 = \begin{bmatrix} L_2^* \\ a_2^* \\ b_2^* \end{bmatrix} \quad P_3 = \begin{bmatrix} L_3^* \\ a_3^* \\ b_3^* \end{bmatrix} \quad (8)$$

과 같다. 그리고 변환된 좌표로부터 사영된 삼각형과 교차점을 각각 $\tilde{P}_1, \tilde{P}_2, \tilde{P}_3, \tilde{P}_0$ 라고 정의하면

$$\tilde{P}_1 = \begin{bmatrix} \tilde{L}_1^* \\ \tilde{b}_1^* \end{bmatrix} \quad \tilde{P}_2 = \begin{bmatrix} \tilde{L}_2^* \\ \tilde{b}_2^* \end{bmatrix} \\ \tilde{P}_3 = \begin{bmatrix} \tilde{L}_3^* \\ \tilde{b}_3^* \end{bmatrix} \quad \tilde{P}_0 = \begin{bmatrix} \tilde{L}_0^* \\ \tilde{b}_0^* \end{bmatrix} \quad (9)$$

와 같다. 그리고 보간하고자 하는 색이 L^* 축사이의 각이 ϕ_0 이고 a^* 축과 이루는 각이 θ_0 일 때 삼각형 꼭지

점들이 L^* 축과 a^* 축과 이루는 각을 각각 $\phi_i, \theta_i, i=1, 2, 3$ 으로 정의하면 사영된 삼각형의 꼭지점의 좌표는

$$\begin{aligned} \widehat{a}_i^* &= \sqrt{a_i^{*2} + b_i^{*2}} \times \cos(\theta_i - \theta_0), \\ \widehat{b}_i^* &= \sqrt{a_i^{*2} + b_i^{*2}} \times \sin(\theta_i - \theta_0), \\ \widehat{L}_i^* &= \sqrt{(\widehat{a}_i^*)^2 + L_i^{*2}} \times \sin(\phi_0 - \phi), \quad i=0, 1, 2, 3 \end{aligned} \quad (10)$$

과 같다. 그러므로 P_0 은 원점으로 사영된다.

사영된 삼각형과 원점에서 세 개의 부삼각형(subtriangle)으로 나뉘어 진다. 이때 전체 삼각형의 면적과 부삼각형의 면적 A_1, A_2, A_3, A_T 는

$$\begin{aligned} A_T &= \frac{1}{2} \begin{vmatrix} \widehat{P}_1 & \widehat{P}_2 & \widehat{P}_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} & A_1 &= \frac{1}{2} \begin{vmatrix} \widehat{P}_0 & \widehat{P}_2 & \widehat{P}_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \\ A_2 &= \frac{1}{2} \begin{vmatrix} \widehat{P}_1 & \widehat{P}_0 & \widehat{P}_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} & A_3 &= \frac{1}{2} \begin{vmatrix} \widehat{P}_1 & \widehat{P}_2 & \widehat{P}_0 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (11)$$

이다. 각각의 꼭지점에 대한 가중치는 교차점의 W_i 는

$$W_i = \frac{A_i}{A_T}, \quad i=1, 2, 3 \quad (12)$$

이므로 보간된 RGB 색 공간의 $\widehat{P}_0(R, G, B)$ 는

$$\widehat{P}_0(R, G, B) = \begin{bmatrix} \widehat{R} \\ \widehat{G} \\ \widehat{B} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^3 W_i R_i \\ \sum_{i=1}^3 W_i G_i \\ \sum_{i=1}^3 W_i B_i \end{bmatrix} \quad (13)$$

이다.

임의의 삼각형이 교차점을 포함하는지 결정하기 위해서 변형된 워킹 알고리즘이 적용된다. 이것은 기존의 워킹 알고리즘을 그대로 2차원에 적용시켜 사영된 평면에서 가중치를 구하므로 만약 삼각형의 법선과 닿점과 $P_0(L^*, a^*, b^*)$ 가 이루는 직선 사이의 각이 90° 이상이면 사영될 때 반대로 사영되므로 오차가 발생한다. 그러므로 삼각형의 법선을 구해 90° 이상이면 이웃한 삼각형들의 법선 사이의 각이 최소인 삼각형으로 이동하여 오차를 제거한다. 그리고 3차원 공간과 마찬가지로 계산된 가중치의 부호가 모두 양수이면 이 삼각형은 교차점을 포함하고 있고 음수이면 이 삼각형의 외부에 교차점이 존재하므로 음수의 절대값이 큰 가중치

와 대응되는 선분에 인접한 삼각형으로 이동하여 포함 여부를 판단한다.

IV. 제안한 색역 사상 방법

제안한 색역 사상 방법은 장치 의존적 사상 방법의 불필요한 압축을 최소화하여 모니터와 프린터에서 출력된 영상에서 색의 오차를 줄이고 동시에 절단 방법에 의해 손실된 색의 분별력이 향상되도록 하였다. 그리고 사상을 하기 전에 두 장치간의 무채색의 차이를 보정하기 위한 방법을 제안하였다. 이 과정은 인간 시각의 색순응(color adaptation) 특성을 고려한 것으로 불필요한 색의 왜곡, 특히 무채색에 있어서 색의 오차를 줄이기 위한 것이다. 이렇게 무채색이 보정된 색역을 이용하여 입력 영상의 색을 배열하여 색 분포를 만들고 프린터 색역과 색 분포 사이의 관계를 고려하여 프린터 색역 내부로 색 분포를 재배열함으로써 사상이 이루어 지는 색 분별력 향상 색역 사상 방법을 제안하였다. 제안한 색역 사상 방법에 대한 블럭도는 그림 7에서와 같다.

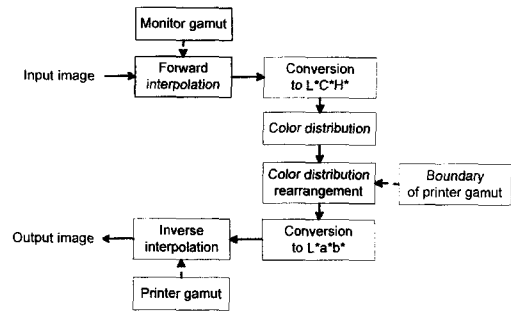


그림 7. 색 분별력 향상 색역 사상

Fig. 7. Color discrimination enhancement gamut mapping.

1. 무채색의 보정

순방향 보간에 의해 추정된 색에서 이상적인 색역인 경우 닿점은 a^*, b^* 가 모두 0인 무채색이다. 즉 휘도축에 존재하게 되는데 실제 측정된 색역의 무채색은 휘도축에 존재하지 않고 약간의 a^*, b^* 값의 오차를 가진다. 그리고 이 오차도 모니터 색역과 프린터 색역에 따라 차이가 있다. 이것은 측정오차와 각 장치에서의 특성 때문이다. 모니터의 경우 중간톤에서 그레이 밸런스를 맞추고 있지만 오차가 있을 수 있고 또한 사용자에게 입력에 의한 대조와 명암조절, 색상 조절에 의해 각각

의 모니터마다 약간의 오차가 발생한다. 그러므로 무채색 대한 보정을 하지 않고 닷점을 설정하여 사상할 경우 동일한 무채색에 대한 모니터의 출력영상과 사상된 프린터의 출력 영상은 서로 다른 색상을 가지므로 인간시각에 민감하게 느껴지게 된다. 본 논문에서는 이런 왜곡을 최소화하기 위해 모니터 색역의 무채색 샘플을 연결한 선을 휘도축으로 한 보정된 좌표값을 구한 후 제안한 방법으로 사상을 한다. 그리고 사상된 색은 다시 프린터 색역의 무채색 샘플을 연결한 선에서 동일한 a^* , b^* 에 대한 오차를 보정한 후 역방향 보간을 한다.

사상하고자 하는 색의 순방향 보간한 색을 $I_m^i(L^*, a^*, b^*)$ 로 정의하고 사상하고자하는 색의 L_m^* 값과 상하로 가장 인접한 모니터 색역의 무채색 샘플을 식 14와 같이 $S_m^a(L^*, a^*, b^*)$, $S_m^b(L^*, a^*, b^*)$ 라고 정의하면

$$I_m^i(L^*, a^*, b^*) = \begin{bmatrix} L_m^{*i} \\ a_m^{*i} \\ b_m^{*i} \end{bmatrix} \quad S_m^a(L^*, a^*, b^*) = \begin{bmatrix} L_m^{*a} \\ a_m^{*a} \\ b_m^{*a} \end{bmatrix}$$

$$S_m^b(L^*, a^*, b^*) = \begin{bmatrix} L_m^{*b} \\ a_m^{*b} \\ b_m^{*b} \end{bmatrix}, \quad L_m^{*b} \leq L_m^{*i} < L_m^{*a} \quad (14)$$

와 같다. 그러므로 사상하고자 하는 색의 휘도와 같은 값을 가진 무채색 $A_m^i(L^*, a^*, b^*)$ 은

$$A_m^i(L^*, a^*, b^*) = \begin{bmatrix} L_m^{*A} \\ a_m^{*A} \\ b_m^{*A} \end{bmatrix} = \frac{L_m^{*i} - L_m^{*b}}{L_m^{*a} - L_m^{*b}} \begin{bmatrix} L_m^{*a} - L_m^{*b} \\ a_m^{*a} - a_m^{*b} \\ b_m^{*a} - b_m^{*b} \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} L_m^{*b} \\ a_m^{*b} \\ b_m^{*b} \end{bmatrix}, \quad L_m^{*a} > L_m^{*i} \quad (15)$$

와 같다. 그러므로 보정된 입력 영상의 색 $\widehat{I}_m^i(L^*, a^*, b^*)$ 는

$$\widehat{I}_m^i(L^*, a^*, b^*) = \begin{bmatrix} \widehat{L}_m^{*i} \\ \widehat{a}_m^{*i} \\ \widehat{b}_m^{*i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_m^{*i} \\ a_m^{*i} - a_m^{*A} \\ b_m^{*i} - b_m^{*A} \end{bmatrix} \quad (16)$$

와 같다. 이상의 방법을 통해 보정된 색을 이용하여 입력 영상의 색 분포를 구성한 후 제안된 방법에 의해 색역 사상을 한다. 그리고 프린터 색역에서도 무채색에 대한 보정을 해준다. 모니터 색역과 마찬가지로 식 15와 같이 $A_p^i(L^*, a^*, b^*)$ 를 구한 후

$$I_p^i(L^*, a^*, b^*) = \begin{bmatrix} L_p^{*i} \\ a_p^{*i} \\ b_p^{*i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \widehat{L}_p^{*i} \\ \widehat{a}_p^{*i} + a_p^{*A} \\ \widehat{b}_p^{*i} + b_p^{*A} \end{bmatrix} \quad (17)$$

와 같이 사상된 색을 보정한다.

2. 색 분포의 구성

순방향 보간과 무채색 보정을 한 입력 영상의 화소에 대한 색은 제안한 색역 사상을 위해 먼저 색 분포를 구성한다. 색 분포는 색상을 제1첨자(first script)로 하고 사상 방법에 따라 결정되는 두 변수를 제2, 3첨자로 하는 3차원 배열이다. 이 두 변수는 사상 방법에 따라 달라질 수 있는데 LLIN 방법에서는 휘도와 색도가 되고 CUSP 방법에서는 닷점을 기준으로 L^* 축과 이루는 각과 닷점과 색 사이의 거리이다. 그러므로 색 분포의 요소는 입력 영상에 존재하는 색은 1로 하고 아닌 경우는 0으로 한다. 따라서 단 하나의 화소를 가진 색도 그것에 해당하는 요소를 1로 설정해 주고 입력 영상이 하나의 색으로만 이루어져 있다면 이것은 한 개의 요소만 1인 색 분포가 구성된다는 것을 의미한다. 그러므로 입력 영상의 색의 수가 작을 경우 제안한 방법이 화소 단위로 사상하는 기존의 색역 사상 방법보다 수행속도가 빠르다는 장점을 가진다.

모니터 색역에 의해 보간되어 $CIEL^*a^*b^*$ 색 공간에서 표현된 입력 영상의 색은 먼저 일정한 색상에 대한 2차원 배열로 표현하기 위해

$$I_m^i(L^*, C^*, H^*) = \begin{bmatrix} L_m^* \\ C_m^* \\ H_m^* \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad H^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (19)$$

와 같이 $CIEL^*C^*H^*$ 영역으로 변환된다. 입력 영상의 색 분포를 $D(h, v, \omega)$ 으로 정의하면

$$D(h, v, \omega) = \begin{cases} 1, & \text{if color is existed in } h, v, \omega \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (20)$$

와 같다. 여기서 $h=0, 1, 2, \dots, 359$ 는 임의의 색상을 각도로 나타낸 값이고 $v=0, 1, 2, \dots, v_{\max}$ 와 $\omega=0, 1, 2, \dots, \omega_{\max}$ 는 색 분포에서 임의의 두 변수로 배열에서 제 2, 3점자를 나타낸다. 그리고 v_{\max} 와 ω_{\max} 는 입력 영상의 색 분포에서 두 변수가 가질 수 있는 최대값을 나타낸다. 만약 h 와 v 가 일정한 값 $h=H^*$ 와 $v=Y$ 를 가진다면 입력 영상의 색 분포는 1차원 배열인 $D(H^*, Y, \omega)$ 으로 정의가 가능하다. 이 배열은 제안한 방법에 의해 재배열됨으로써 사상이 이루어진다.

3. 색 분포 재배열 방법

본 논문에서는 입력 영상의 색 분포에서 프린트 색역의 외부에 색이 존재할 경우 이 입력 영상의 색 분포를 프린터 색역 내부로 재배열하여 사상한다. 색 분포 재배열 방법에 대한 흐름도는 그림 8과 같다. 입력 영상의 색 분포에서 1차원 배열인 $D(H^*, Y, \omega)$ 을 고려할 경우 배열 요소가 1이고 변수 ω 가 최대인 색을 이 배열의 최대치 $\max[D(H^*, Y, \omega)]$ 라고 정의하고 프린터

색역의 경계에 해당하는 ω 를 ω_b 라 정의하면 ω_b 를 포함하는 색을 이 배열의 경계치로 정의하고 $D(H^*, Y, \omega_b)$ 로 표현할 수 있다. 그러므로 이 배열에서 최대치가 경계치보다 작다면 동일한 값으로 1:1 사상을 한다. 그러나 최대치가 경계치보다 크다면 경계치 내부의 색 분포에서 빈 공간과 채워진 공간을 고려하여 색역 외부에 존재하는 색을 내부로 재배열한다. 이때 달점에 가까이 있는 색들도 고려하게 되면 색도가 많이 떨어지고 RMSE가 크게 발생하므로 일정한 값 이하의 색은 동일한 값으로 사상한다. 본 논문에서는 경계치에서 30%까지만 재배열 영역으로 설정한다.

먼저 경계치를 기준으로 상위 영역(upper region)과 재배열 영역으로 구분하고 재배열 영역에서 배열의 요소가 0인 빈 영역(empty region)과 1인 채워진 영역(filled region)을 파악한다. 만약 빈 영역의 개수가 경계치 외부에 존재하는 상위 영역에서 1인 요소의 개수보다 작으면 최대치를 경계치로 사상하고 순서를 유지하면서 재배열한다. 그리고 채워진 영역의 요소들도 배열 순서를 일정하게 유지하면서 그 아래에 재배열한다. 만약 빈 영역이 상위 영역에서 1인 요소의 개수보다 작다면 상위 영역의 1인 요소와 채워진 영역의 요소들을 선형적으로 압축한 후 재배열한다.

재배열된 1차원 색 분포를 $\hat{D}(H^*, Y, \hat{\omega})$ 로 정의하면

$$\hat{D}(H^*, Y, \hat{\omega}) = \begin{cases} D(H^*, Y, \omega) \\ \text{if } \max[D(H^*, Y, \omega)] < D(H^*, Y, \omega_b) \\ R\{D(H^*, Y, \omega)\}, \text{ otherwise.} \end{cases} \quad (21)$$

과 같다. 여기서 $R\{D(H^*, Y, \omega)\}$ 는 색 분포 재배열 방법에 의해 결정된 요소이다. 즉 상위 영역에서 1인 요소들을 $U(H^*, Y, \omega_u)$ 로 정의하고 채워진 영역의 요소들을 $O(H^*, Y, \omega_o)$, 빈 영역의 요소들을 $E(H^*, Y, \omega_e)$ 로 정의하면

$$\begin{aligned} U(H^*, Y, \omega_u) &= \{D(H^*, Y, \omega)\}, \quad \text{if } D(H^*, Y, \omega) \\ &= 1 \text{ and } \omega_b < \omega \leq \omega_{\max} \\ O(H^*, Y, \omega_o) &= \{D(H^*, Y, \omega)\}, \quad \text{if } D(H^*, Y, \omega) \\ &= 1 \text{ and } 0.7\omega_b < \omega \leq \omega_b \\ E(H^*, Y, \omega_e) &= \{D(H^*, Y, \omega)\}, \quad \text{if } D(H^*, Y, \omega) \\ &= 0 \text{ and } 0.7\omega_b < \omega \leq \omega_b \end{aligned} \quad (22)$$

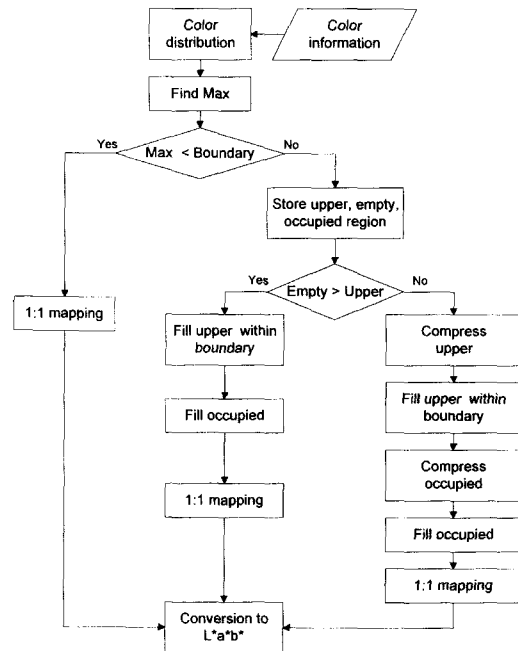


그림 8. 색 분포 재배열 방법의 흐름도

Fig. 8. The flowchart of color distribution rearrangement method.

로 정의한다. 그리고 배열 요소의 개수를 각각 $N(U)$, $N(O)$, $N(E)$ 와 같이 정의하면 $R\{D(H^*, Y, \omega)\}$ 에서

$N(U)$ 가 $N(E)$ 보다 작다면

$$R\{D(H^*, Y, \omega)\} = \begin{cases} U(H^*, Y, \omega_u), & \text{if } \omega_b - N(U) < \omega \leq \omega_b \\ O(H^*, Y, \omega_o), & \text{if } \omega_b - N(U) \\ -N(O) < \omega \leq \omega_b - N(U) \\ D(H^*, Y, \omega), & \text{if } \omega \leq \omega_b - N(U) - N(O) \end{cases} \quad (23)$$

와 같이 정의되고, $N(U)$ 가 $N(E)$ 보다 크다면 압축비 (compress ratio) r 을

$$r = \frac{N(U) + N(O)}{N(E) + N(O)} \quad (24)$$

와 같이 정의하여 재배열한다. 이때 $R\{D(H^*, Y, \omega)\}$ 는

$$R\{D(H^*, Y, \omega)\} = \begin{cases} U(H^*, Y, \omega_u), & \text{if } \omega_b - rN(U) < \omega \leq \omega_b \\ O(H^*, Y, \omega_o), & \text{if } \omega_b - rN(U) - rN(O) \\ < \omega \leq \omega_b - rN(U) \\ D(H^*, Y, \omega), & \text{if } \omega \leq \omega_b - rN(U) - rN(O) \end{cases} \quad (25)$$

와 같이 되고 여러 개의 색이 하나의 색으로 중첩되어 배열된다.

제안된 방법에 의한 색역 사상의 예는 그림 9에서와 같다. 첫번째 줄에 있는 형태로 1차원 색 분포가 있으면 제안한 방법에 의해 두번째 줄과 같이 재분포 된다. (a)는 빈 영역이 충분한 경우이고 (b)는 상위 영역의 배열 요소의 개수가 빈 영역의 배열 요소의 개수보다 클 때 선형적으로 압축되어 재배열된 색 분포이다.

이런 방법으로 모든 색상과 ν 에 대해 반복 수행하여 하나의 입력 영상에 대한 재배열된 색 분포를 구성한다. 마지막으로 $CIEL^*a^*b^*$ 영역으로 색을 변환하여 색역 사상을 완료한다.

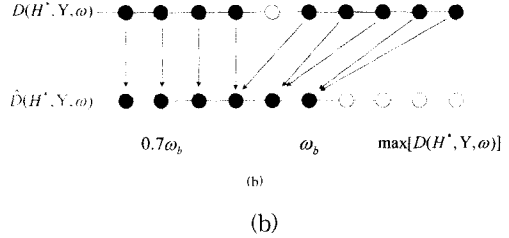
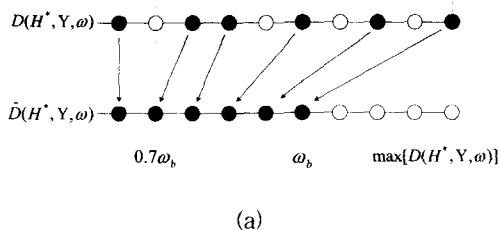


그림 9. 색 분포 재배열 방법의 예 (a) $N(U) < N(E)$ (b) $N(U) > N(E)$

Fig. 9. Examples of color distribution rearrangement method.

(a) $N(U) < N(E)$, (b) $N(U) > N(E)$.

4. 제안한 방법을 이용한 CUSP 사상 방법

제안한 방법을 기존의 CUSP 방법에 적용하면 입력 영상의 색 분포에서 ν 은 L^* 축과 이루는 각 ϕ 에 대응되고 ω 는 색과 닻점 사이의 거리 l 에 대응된다. 그러므로 입력 영상의 색 분포는

$$D(h, \phi, l) = \begin{cases} 1, & \text{if color is existed in } h, \phi, l \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (26)$$

로 정의된다. 여기서 $h = 0, 1, 2, \dots, 359$, $\phi = 0, 1, 2, \dots, 179$, $l = 0, 1, 2, \dots, l_{\max}$ 이다. 임의의 색상에 대한 닻점을 $A_{H^*}(L^*, C^*, H^*)$ 을

$$A_{H^*}(L^*, C^*, H^*) = \begin{bmatrix} L_A^* \\ C_A^* \\ H_A^* \end{bmatrix} \quad (27)$$

라 정의하면 ϕ 와 l 은

$$\begin{aligned} \phi &= \tan^{-1} \left(\frac{C^* - C_A^*}{L^* - L_A^*} \right) \\ l &= \sqrt{(C^* - C_A^*)^2 + (L^* - L_A^*)^2} \end{aligned} \quad (28)$$

과 같다. 그리고 $h = H^*$ 와 $\phi = \Phi$ 의 일정한 값을 가지는 1차원 배열은

$$D(H^*, \Phi, l), \quad l = 0, 1, \dots, l_{\max} \quad (29)$$

와 같이 정의되고 제안한 방법에 의해 재배열되어 $\hat{D}(H^*, \Phi, l)$ 이 된다. 동일한 방법을 전체 색 분포에 적용하여 $\hat{D}(h, \phi, l)$ 을 구성한다. 재배열된 색 분포는 다시 $CIEL^*C^*H^*$ 영역으로

$$\begin{aligned}\hat{C}^* &= l \times \sin(\phi) + C_A^* \\ \hat{L} &= l \times \cos(\phi) + L_A^*\end{aligned}\quad (30)$$

와 같이 변환된다. 그리고 $CIEL^*a^*b^*$ 영역으로 변환하여 역방향 보간을 수행한다.

V. 실험 및 결과

제안된 방법을 기존의 방법과 비교하기 위해 RMSE에 의한 오차 측정, 그래픽 영상에 대한 적용, 주관적 화질 평가를 실시하였다. 기존의 방법은 장치 의존적 방법에서 가장 우수한 결과를 보인 CUSP 방법을 선택하였다. 실험을 위한 출력 장치로 모니터는 SAMSUNG 700p 모니터를 이용하였고 프린터는 300dpi LG 아트젯 프린터를 이용하였다. 실험을 위한 준비단계로 먼저 장치의 색역을 표현하는 LUT를 만들기 위해 색 샘플을 측정했다. 색 샘플은 블루 노이즈 마스크(blue-noise mask, BNM)^(9,10,11) 중간조처리 방법을 이용하여 출력했다.

1. 장치의 색역 측정

모니터와 프린터의 색역을 나타내기 위해서 본 논문에서는 R, G, B 를 각각 51간격으로 6단계로 구분한 다음 이들의 조합으로 216개의 색 샘플을 만들어 LUT를 작성하였다. 그리고 표준광원은 D60을 동일하게 적용했다.

모니터의 색역은 MINOLTA CA100을 사용하여 $CIEXYZ$ 색 공간에서 색 샘플을 측정 후 $CIEL^*a^*b^*$ 색 공간으로 식 32를 이용하여 변환하였다.^[2] 모니터의 색온도(color temperature)는 5000K이고 밝기(brightness)는 92로 고정시켰다.

프린터의 색역은 중간조처리 방법에 영향을 받는데 본 논문에서는 블루 노이즈 마스크를 이용한 중간조처리 방법을 이용하였다. 이 방법은 수행시간이 짧고 오차 확산 방법(error diffusion)처럼 웜 효과(worm effect)와 같은 패턴이 발생하지 않고 화질이 우수한 영상을 출력한다.^[10] 이러한 방식으로 각각의 색 샘플을 출력하여 패치를 만든 후 측정장비 MINOLTA CM3600D로 측정하였다. 이때 시각은 2° 로 하였다.

2. RMSE 측정

모니터 출력 영상과 프린터 출력 영상의 색 오차를 수치적으로 표현한 것이 균일 색 공간에서의 RMSE이

다. 본 논문에서는 ΔE_{ab} ^[2]를 사용하였다. 그리고 실험 영상은 Macbeth 차트를 이용하였고 실험 결과는 표 1과 같다.

표 1. RMSE 결과
Table 1. The result of RMSE.

방 법	ΔE_{ab}
장치 의존적 CUSP	11.95
제안한 방법	11.38

실험 결과를 의해 제안한 방법의 RMSE가 더 작은 것을 알 수 있다. 그러나 이것은 1 이하의 차이이므로 측정 장비의 오차를 고려하면 거의 같다. 그리고 입력 영상의 색의 개수가 적을 경우 색 분포 재배열 과정에서 1:1 사상이 일어나므로 기존의 방법과 동일하다. 만약 입력 영상에서 색의 개수가 많을 경우 제안한 방법은 색 분포 재배열을 통해 프린터 색역의 경계면 보다 더 내부로 사상되므로 RMSE는 더 커지게 된다. 그러나 RMSE가 작다고 해서 인간 시각과 동일하게 여기는 것은 아니다. 왜냐하면 인간 시각이 인지하는 전체 출력 영상의 색은 색순응에 의해 달라질 수 있기 때문이다.

3. 그래픽 영상에 대한 비교

기존의 방법에 의한 사상과 제안한 방법에 의한 사상 방법을 비교하기 위해 $h=40^\circ$ 와 $\phi=90^\circ$ 인 1차원 배열에서 길이 l 이 33에서 71의 값을 가진 그래픽 영상을 색역 사상하였다. 그림 10의 (a)가 장치 의존적 CUSP 방법에 의한 것이고 (b)가 제안한 방법에 의한 결과 영상이다. 결과에서 보듯이 기존의 방법은 l 이 큰

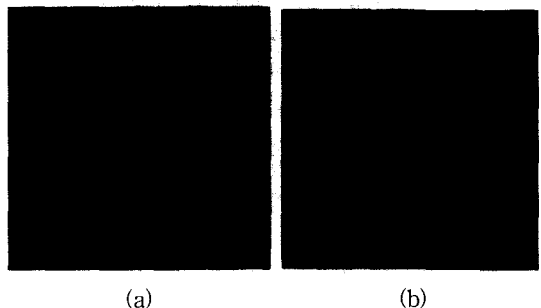


그림 10. 그래픽 영상에 대한 사상 결과 (a) CUSP 방법 (b) 제안한 방법

Fig. 10. The mapped image of graphic image by (a) CUSP method and (b) the proposed method.

영역이 절단 방법에 의해 색역의 경계면으로 사상되어 동일한 색을 나타내고 색역 내부의 1:1 사상이 일어나는 영역과 뚜렷이 구분된다. 그러나 제안한 방법은 프린터 색역의 외부에 존재하는 색들이 색역의 내부에서 선형적으로 재배열되므로 기존의 방법에 의한 불연속선이 없고 색도가 감소했지만 선형적이므로 색순응에 의해 오히려 제안한 방법보다 더 향상된 것으로 인간 시각이 인식한다.

4. 주관적 화질 평가

실제 색역 사상에서 색역의 차이에 의한 오차는 필연적이다. 그러므로 ΔE_{ab} 의 수치적인 결과에 대한 의미는 그렇게 크지 않다. 인간 시각에 의해 인식된 결과 영상의 색과 입력 영상의 색이 어느 정도 일치되는가가 더 중요하다. 본 논문에서는 피실험자가 모니터 영상을 기준으로 기존의 방법과 제안한 방법에 의한 프린터 출력 영상을 비교하여 가장 가까운 출력 영상을 선택하도록 했다. 실험은 실내의 조명 하에서 모니터에 실험 영상을 출력하고 좌우에 기존의 방법과 제안한 방법으로 사상한 프린터 출력 영상을 10명의 피실험자에게 제시한 후 가장 가깝게 느끼는 정도를 0에서 10의 숫자 중에서 선택하도록 했다. 10은 두 출력영상이 동일한 것을 의미한다. 이 실험은 실제 D50과 다른 광원이고 또한 외부 광원이 일정하게 유지되지는 않지만 인간 시각이 약간의 광원 변화에 순응하므로 실제 광원과 동일하다고 가정하고 실험하였다. 실험 결과는 평균값으로 표 2와 같다.

표 2. 주관적 화질 평가에 의한 결과
Table 2. The result of psychovisual test.

실험 영상	장치 의존적 CUSP 방법	제안한 방법
fresh	6.2	7.3
apple	6.0	6.6

실험 결과에서 보듯이 제안한 방법이 우수한 결과를 나타내었다. 이것은 출력 영상에서 색의 분별력이 향상되므로 기존의 장치 의존적 방법보다 더 좋은 결과를 나타내는 것을 의미한다. Fresh 영상과 같이 전체적으로 색도와 색상이 고르게 분포된 영상에서 제안한 방법에 의한 출력 영상이 기존의 방법보다 평균값 1 이상의 차이로 우수했다. 색상이 편중된 apple 영상에서

는 출력 영상에서 색도의 변화를 줌으로써 색의 분별력이 향상되어 기존의 방법보다 더 일치된 영상을 출력함을 볼 수 있었다.

실험 영상 중 fresh영상에 대한 결과는 그림 11과 같다. 여기서 모니터 출력 영상은 프린터에서 지원하는 드라이버를 이용하여 고화질로 출력한 결과이므로 실제 인간 시각이 인지한 모니터 영상과 약간의 차이가 있을 수 있다.

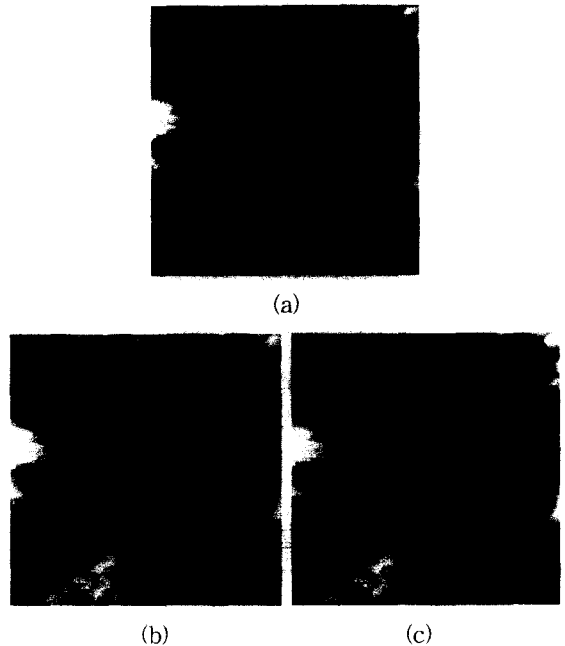


그림 11. Fresh 영상 (a) BNM 출력 영상 (b) 장치 의존 CUSP 방법에 의한 프린터 출력 영상, (c) 제안한 방법에 의한 프린터 출력 영상

Fig. 11. Fresh image (a) BNM printer output image, (b) Printer output image by device-dependent CUSP method, and (c) Printer output image by the proposed method.

VI. 결 론

본 논문은 색의 불필요한 왜곡을 줄이고 장치 의존적 방법에서 발생한 색의 분별력을 향상시키기 위한 새로운 색역 사상 방법을 제안했다. 제안한 방법은 먼저 입력 영상의 색을 배열하여 색 분포를 구성한 후 프린터 색역의 특성을 고려하여 색 분포를 재배열한다. 그리고 역방향 보간을 통해 출력 가능한 색으로 변환한 후 중간조처리 방법에 의해 프린터로 출력한다. 제

안한 방법을 기존의 방법 중에서 결과가 우수한 CUSP 방법에 적용하여 기존의 방법보다 좋은 결과를 얻을 수 있음을 실험을 통해 증명했다. 그리고 제안한 방법은 색 분포를 재배열하여 사상하므로 기존의 CUSP 방법 외에도 여러 가지 방법에 적용이 가능하므로 앞으로 새롭게 제안되는 색역 사상 방법에 적용이 가능하다. 그러나 다양한 색을 포함하는 영상에서는 색 분포를 구성하는 과정에서 수행 시간이 증가하는 단점이 있다. 따라서 색 분포를 구성하는 과정에서 입력 영상 전체의 색을 고려하여 색 분포를 구성하는 것이 아니라 인간 시각이 집중되는 중심 영역의 화소만을 고려하거나 비교적 적은 화소에서 가지고 있는 색을 배제함으로써 수행 속도를 향상시킬 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

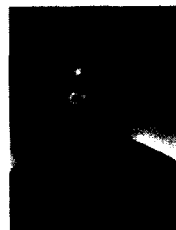
- [1] 김신동, 이철희, 이채수, 김경만, 하영호, "휘도값 변화에 기초하여 가변하는 앵커점을 이용한 영상의 색역 사상 방법," 제10회 신호처리합동학술대회 논문집, Vol 10, No. 1, 1997
- [2] Henry R. Kang, Color Technology For Electronic Image Device, SPIE Optical Engineering Press, 1996.
- [3] G. Sharma and H. J. Trussell, "Digital Color Imaging," IEEE Trans. Image. Processing, Vol 6, No. 7, July 1997.
- [4] E. D. Montag and M. D. Fairchild, "Psychophysical Evaluation of Gamut Mapping Techniques Using Simple Rendered Images and Artificial Gamut Boundaries," IEEE Trans. Image. Processing, Vol 6, No. 7, July 1997.
- [5] J. Morovic and M. R. Luo, "Cross-Media Psychophysical Evaluation of Gamut Mapping Algorithms," Proc. AIC color 97 Kyoto, 1997.
- [6] Po-Chieh Hung, "Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look-up-table model and interpolation," J. Electronic Imaging, Vol. 36, No. 1, pp. 53-61, Jan. 1993.
- [7] I. E. Bell and W. Cowan, "Characterizing Printer Gamuts Using Tetrahedral Interpolation," IS&T/SID Color Imaging Conference: Transforms & Transportability of Color, pp. 108-113, Nov. 1993.
- [8] J. Y. Hardeberg and F. Schmitt, "Color Printer Characterization Using a Computational Geometry approach." The Fifth Color Imaging Conference, Color Science, Systems and Application, pp. 96-99, Nov. 1997.
- [9] T. Mitsa and K. J. Parker, "Digital Halftoning Technique Using a Blue-Noise Mask," J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 9, No. 11, pp.1920-1929, Nov. 1992.
- [10] Q. Yu and K. Parker, "Adaptive color halftoning for minimum perceived error using the Blue Noise Mask," SPIE vol. 3018 Color Imaging: Device Independent Color, Color Hard copy, and Graphics Arts II, pp. 272-276, 1997.
- [11] M. Yao and K. J. Parker, "Modified Approach to the Construction of Blue Noise Mask," J. Electronic Imaging, Vol. 37, No. 1, pp. 92-97, Jan. 1994.

저 자 소 개



李在珉(正會員)

1997年 경북대학교 전자공학과(공학사). 1999年 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1999년~현재 서울대 전기공학부 박사과정 재학중. 관심분야는 칼라 영상 처리, 자동화 시스템, 산업용 통신망 등임



李徹熙(正會員)

1995年 경북대학교 전자공학과(공학사). 1997年 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1997年~현재 동대학원 박사과정 재학중. 주관 관심분야는 칼라영상처리, 칼라 프린팅, 신경회로망임

金 炅 萬(正會員)

1993年 경북대학교 전자공학과 (공학사). 1995年 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사). 1998年 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사) 현재 삼성전자 프린터 사업부

河 永 浩(正會員) 第 32卷 B編 第 12號 參照

李 採 守(正會員)

1968年 3月 20日生. 1994年 경북대학교 전자공학과 (공학사). 1996年 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사). 1998年 경북대학교 대학원 전자공학과 박사수료. 현재 경운대학교 전산정보공학과 전임강사. 주관심분야는 칼라 영상 양자화, 칼라 프린팅, 장치간 칼라 일치

등임