

論文2001-38SP-4-6

균일한 색 변화를 위한 밝기 사상과 최대 채도 재현을 위한 색역 사상

(Lightness Mapping for Uniform Color Change and Gamut Mapping for Maximum Chroma Reproduction)

朴 洋 佑 , * 李 採 守 , * 河 永 浩 **

(Yang-Woo Park, Chae-Soo Lee, and Yeong-Ho Ha)

요 약

본 논문에서는 균일한 색 분포를 위한 밝기 사상과 최대 채도 재현을 위한 색역 사상 방법을 제안한다. 기존의 밝기 사상시 발생하는 두 색역에서의 평균 밝기의 차이의 증가 및 어두운 영역과 밝은 영역에서의 색 변화의 차이가 증가하는 문제를 해결하기 위하여 각 색상의 정점에서의 밝기 차이를 최소화하고 밝은 영역과 어두운 영역에서의 균일한 색 분포를 가지는 밝기 사상 방법을 제안하였다. 또한, 최대 채도 유지 및 균일 색 분포를 위한 가변 닷점과 고정 닷점을 혼합으로 사용하는 색역 사상 방법을 제안하였다. 따라서 저가의 칼라 출력장치에서 고품질의 칼라를 재현할 수 있게 한다.

Abstract

In this paper, lightness mapping for uniform color distribution and gamut mapping for maximum chroma reproduction are proposed. In the conventional lightness mapping, the average lightness difference between the two gamut is increased and different color changes in bright and dark regions are also increased. To solve these problems, a lightness mapping is proposed that minimizes the lightness difference of the cusps at each hue angle and produces same color changes in bright and dark regions. Also, gamut mapping that utilize variable anchor point and an anchor point are proposed for maximum chroma reproduction and uniform color change. Accordingly, the proposed algorithm can reproduce high quality images with low-cost color devices.

I. 서 론

최근 영상 처리 분야에서 칼라 영상 데이터를 이용한 처리 영역이 빠르게 확산되고 있으며 이러한 칼라 영상 을 표현하기 위해 여러 가지 출력 장치들이 사용되고

* 正會員, 慶云大學校 멀티미디어情報學部
(School of Multimedia, Visual Arts, and Software Engineering, Kyungwoon University)

** 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部
(School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University)

接受日字:2000年6月8日, 수정완료일:2001年5月24日

있다. 그러나 일반적 출력 시스템은 제한된 범위의 색 만을 재현할 수 있다. 이때, 각 장치가 재현할 수 있는 색의 범위를 그 장치의 색역으로서 정의한다. 일반적으로 영상은 목표로 하는 출력 장치의 색역밖에 존재하는 색을 포함하게 된다. 그러한 경우에는 색역 내부의 색 으로 사상하는 과정이 필요하게 된다.^[1~4] 이러한 처리 방법을 색역 사상으로 정의한다. 기존의 색역 사상 방법에는 연속적(continuous mapping) 동시적(simultaneous mapping) 및 변수적 사상 방법(parametric mapping)이 있다.^[5] 연속적 사상 방법은 인간 지각 속성의 각각을 개별적으로 사상하는 방법으로 사상이 2단계로 이루어 진다. 먼저 밝기 사상을 한 후 채도(chroma)에 의한 사상이 이루어진다.^[6~8] 동시적 사상 방법은 인간 지각 속 성이 동시에 변화하는 사상 방법으로 색역의 특정한 점

을 중심으로 하여 사상한다. 이 점을 닷점(anchor point)이라고 한다.

위의 두 가지 사상 방법은 처리 방법이 간단한 장점은 있지만 사상될 각 장치의 색역 범위와 특성을 고려할 수 없다는 단점을 가지게 된다. 그러나 변수적 색역 사상은 처리과정에서 특별한 색상(hue)에서 원래의 모양이나 한쪽의 색역에 의존하여 처리하거나 또는 사용자가 정의한 변수에 따라서 처리하게 된다.^[9-11] 이러한 변수적 색역 사상 방법은 먼저 원래 색역의 밝기값을 재현될 색역의 밝기값으로 포함시키는 밝기 사상을 행하게 된다. 일반적으로 원래 색역의 밝기 범위 및 각 색상에서의 최대 채도(chroma)에서의 밝기값이 재현될 색역 보다 크다. 따라서 밝기 사상을 위해 기존의 선형 및 비선형적 방법을 이용하면 두 색역 간의 평균 밝기값의 차이가 증가하고 어두운 영역과 밝은 영역에서의 색 변화의 차이가 증가하게 된다. 또한 하나의 닷점만을 이용한 색도 사상은 사상될 색의 밝기의 위치에 따라서 닷점을 향해 연결한 선의 기울기들이 모두 다르게 되어 사상된 색의 오차가 불균일 하게된다. 이 과정에서 닷점의 위치가 밝기 축의 중간에서 멀어지게 되면 같은 색상에서도 밝은 영역과 어두운 영역에서의 사상된 색의 오차가 다르게 나타나게 된다. 따라서 사상된 결과 영상에서는 영역들 내부의 불균일성과 사상 방법들 간의 경계 부분에서 발생하는 색의 급격한 변화에 의해 연속제조의 칼라를 정확히 재현할 수 없게 된다. 또한 사상 과정에서 밝은 영역과 어두운 영역의 색이 닷점을 향해 급격히 감소하여 밝기 대조의 감소를 나타내게 된다.

본 논문에서는, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 각 색상의 최대 채도에서 밝기 차이를 최소화하고 어두운 영역과 밝은 영역에서 동일한 색 변화를 유지하는 밝기 사상 방법을 제안하였다. 먼저 균일 색 샘플 분포를 위해 재현될 색역의 최대 채도에서 밝기값들의 평균을 밝기 영역의 중간으로 이동하였다. 그리고 원 색역과 재현될 색역에서 각 색상의 최대채도(정점)에서의 밝기의 평균 자승 오차(mean square error)가 최소가 될 때 까지 원래의 색역을 조정하였다.

색역 사상에서는 최대 채도 유지 및 균일 색 분포를 위해 원 색역의 최대 채도의 밝기값에 따라 영역을 구분후 밝은 영역과 어두운 영역의 활성 영역 균등 분배를 위한 가변 닷점과 고정 닷점을 혼합으로 사용하는 방법을 제안하였다. 이때 각 색상에서 밝기값의 차이가

평균 보다 작을 경우 동일 밝기 사상으로 최대 채도 유지 및 수행 속도를 향상시켰으며 평균 보다 클 경우에는 다중 닷점을 이용하여 사상함으로써 균일 색 오차를 유지하도록 하였다. 따라서 제안된 방법은 기존의 방법들보다 적은 색의 오차를 나타내면서 입력 영상을 더욱 잘 재현할 수 있게 한다.

II. 기존의 색역 사상

입력 칼라 영상은 순방향 사면체 보간을 거치면서 $CIEL^*a^*b^*$ 색공간으로 변환되어 색역 사상을 한다. 이 색역 사상을 이루는 구성 요소로는 크게 색, 밝기, 그리고 채도로 나누어진다. 그러므로 색역 사상을 할 때에는 색상 사상, 밝기 사상, 채도 사상에 대해서 고려해 주어야 한다.

1. 밝기 사상

밝기 사상은 최대·최소 밝기의 $CIEL^*a^*b^*$ 값을 동일하게 만드는 과정으로 기존의 밝기 사상 방법에는 일부 영역 절단 사상, 선형적·비선형적인 밝기 사상이 있다. 일부 영역 절단 사상 방법은 사상될 영역밖에 존재하는 값들은 경계부분으로 절단 사상하는 방법으로 작업 수행 속도가 빠르고 내부 색의 변형 방지가 가능하나 색 구별력 감소와 색역 사상시 발생하는 밝기 변화를 보상할 수 없는 단점이 있다. 선형·비선형적 밝기 사상은 색역의 밝기 영역을 선형, 비선형적으로 사상하는 방법으로 작업 수행 속도가 빠르나 색역의 특성을 고려할 수 없다는 단점이 있다.

일반적으로 모니터와 프린터의 최대 밝기를 일치시킨 후 두 장치의 색역의 밝기 영역을 보면 그림 1(a)에서와 같이 두 색역 사이에 어두운 영역에서 밝기의 불일치가 발생한다. 그림 1(b)에서는 두 장치의 최대와 최소를 일치시킨 후 현재 밝기 사상 방법 중 가장 널리 사용되고 있는 선형적 압축 사상을 이용하여 두 색역 간의 밝기를 일치시켰을 때의 결과를 나타낸다.

그림에서 볼 수 있듯이 기존의 선형적 밝기 사상 적용시 밝기 범위의 축소를 가져옴을 알 수 있다. 또한 밝기 사상된 색역의 평균 밝기값의 증가로 두 색역의 최대 채도값을 가지는 밝기값들의 차이가 커진다. 따라서, 색역 사상시 원 색역의 최대 채도값이재현될 색역의 최대 채도값으로 사상되기 어려우며, 각 색상과 밝기값에 따라 색 분포가 많은 차이를 나타냄을 볼 수 있다.

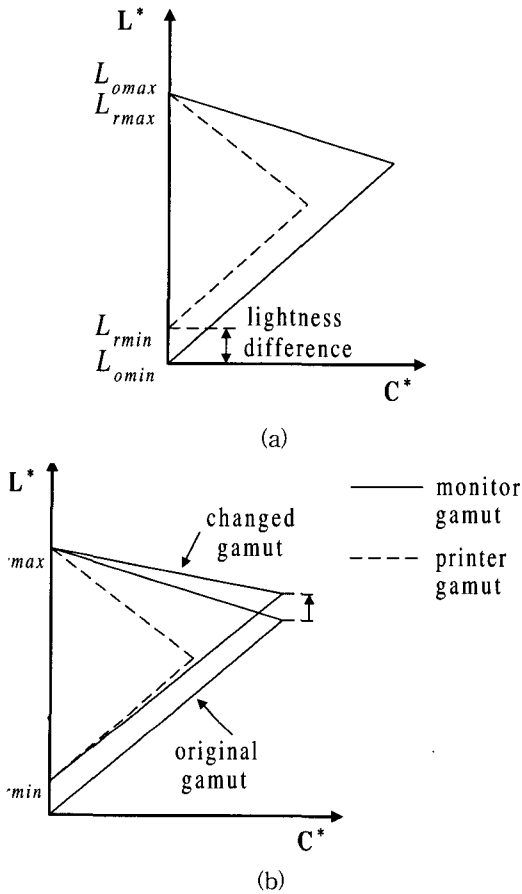


그림 1. 밝기사상 (a) 밝기 사상전 (b) 선형적 압축 방법을 이용한 밝기 사상
 Fig. 1. Lightness mapping; (a) before lightness mapping (b) lightness mapping using linear compression method.

2. 색역사상

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

림 2에서 이 방법들이 나타나 있다.^[5,10]

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 밝기 축에서 $L^*=50$ 인 지점이고 CUSP 방법에서의 중심은 주어진 색상에서 최대의 색도를 가지는 점을 닷점으로 설정하게 된다. SLINLLAB 방법은 $CIEL^*a^*b^*$ 색 공간 대신에 LLAB 색 공간을 쓰므로 SLIN 방법과 유사하다.^[5,10]

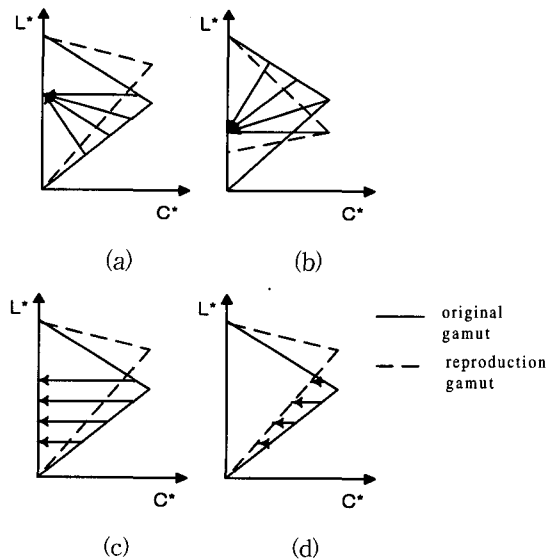


그림 2. 연속적 색역 사상과 동시적 색역 사상 방법 (a) SLIN/SLINLLAB/SLINLC (b) CUSP (c) LLIN/LNLIN (d) LCLIP
 Fig. 2. Continuous & simultaneous gamut mapping methods. (a) SLIN/SLINLLAB/SLINLC (b) CUSP (c) LLIN/LNLIN (d) LCLIP.

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.^[5,10] Johnson 방법은 그림 3과 같이 사상하고자 하는 두 색역 간의 관계에 따라 세 가지 방법으로 사상한다. 넓은 색역이 좁은 색역을 완전히 포함하고 넓은 색역의 최대 색도값을 가지는 밝기값이 좁은 색역의 최대 색도값을 가지는 밝기값과 비슷할 경우 (a)와 같이 밝기값을 유지하면서 선형적으로 색도값을 사상한

다. 넓은 색역이 좁은 색역을 완전히 포함하고 넓은 색역의 최대 색도값을 가지는 밝기값과 좁은 색역의 최대 색도값을 가지는 밝기값의 차이가 클 경우 (b)와 같이 색역간의 최대 색도값의 두 정점을 이은 직선과 밝기 축이 만나는 점을 닷점으로 설정하고 선형적으로 사상한다. 마지막으로 두 색역이 어느 한쪽을 포함하지 않을 경우에는 닷점을 밝기값의 중심점에 두고 선형적으로 사상한다.

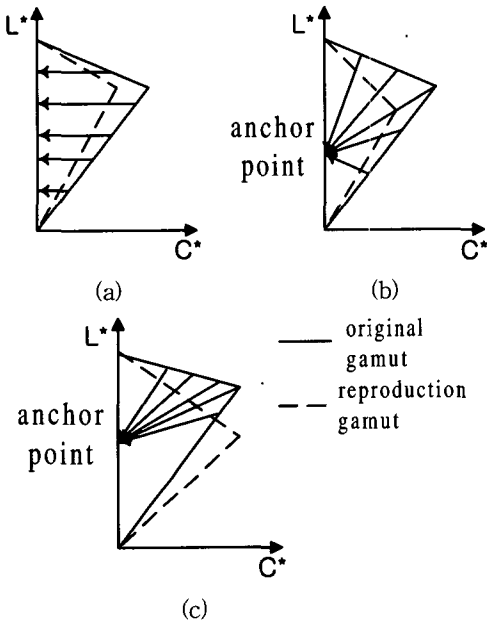


그림 3. Johnson이 제안한 색역 사상 (a) 포함 관계에 있으면서 최대 색도값의 밝기가 큰 차이가 없을 때 (b) 포함관계에 있으면서 최대 색도값의 밝기가 큰 차이가 있을 때 (c) 두 색역이 어느 한쪽에 포함되지 않을 때

Fig. 3. 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.

III. 제안한 색역 사상

1. 균일한 색 분포를 위한 밝기 사상

기존의 선형 혹은 비선형 밝기 사상 방법은 수행 속도는 빠르나 두 색역의 최대 채도값을 가지는 밝기값들

의 차이가 커지며, 색역 사상시 최대 채도가 일치하지 않으며, 전체 색역의 특성을 고려할 수 없다는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 특정한 색상에서 두 색역의 형태에 기반한 밝기 사상이 필요하다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 각 장치의 색역의 형태는 다르며, 이들 색역의 경계는 각 색상에서 최대 채도값(정점)들을 연결함으로써 얻을 수 있다. 이때 프린터에 대한 색역은 표준 광원의 하나인 D65 아래서 측정된 절대값을 나타내며, 모니터의 색역은 프린터의 최대 밝기값으로 모니터의 표준백색(reference white)을 조정된 후 결과

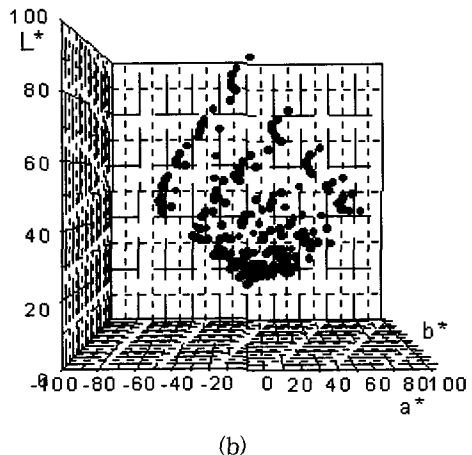
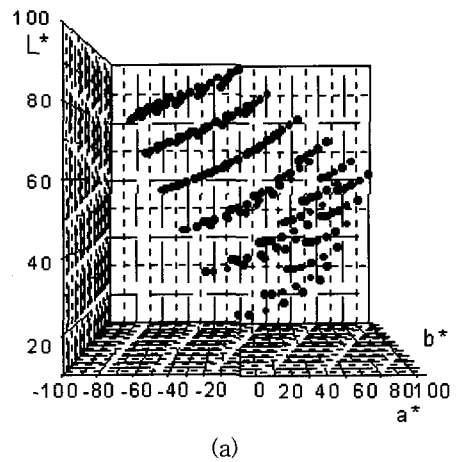


그림 4. 두 색역의 형태 (a) 모니터 색역에서 최대 밝기값은 93.45 최소 밝기값은 17.35 (b) 프린터 색역에서 최대 밝기값은 93.45 최소 밝기값은 22.56

Fig. 4. The Shapes of two gamuts. (a) In the Monitor gamut, maximum lightness is 93.45 and minimum lightness is 17.35. (b) In the printer gamut, maximum lightness is 93.45 and minimum lightness is 22.56.

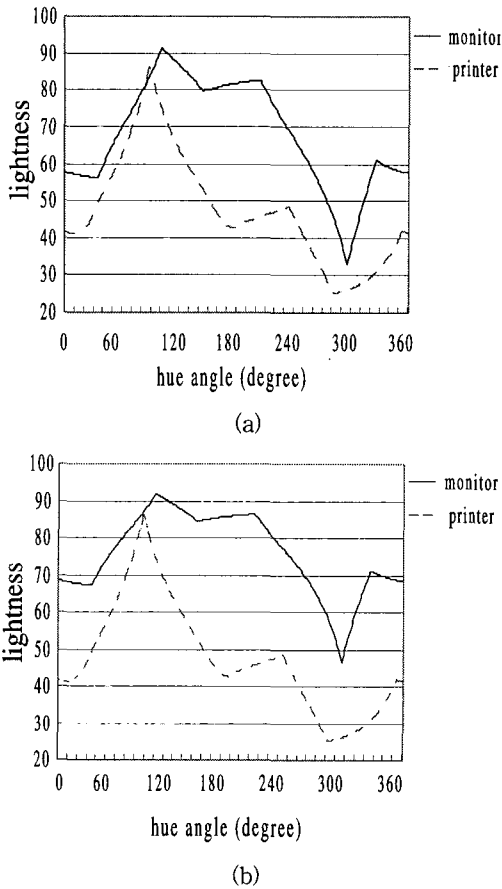


그림 5. (a) 밝기 사상을 하지 않았을 때 각 색상의 정점들의 밝기값 분포 (b) 선형적 압축 방법을 이용한 밝기 사상을 하였을 때 각 색상의 정점들의 밝기값 분포

Fig. 5. (a)The lightness of the cusps at each hue angle without intensity mapping (b)Lightness mapping using linear compression..

값을 보여 준다. 따라서 밝기 사상을 위해서 각 색상의 정점에서의 밝기값을 알아야 한다. 그림 5(a)는 각 색상의 정점에서의 밝기값을 나타내며, 모니터 및 프린터 정점의 평균 밝기값은 각각 68.1과 47.8이다. 그림에서 볼 수 있듯이 각 색상의 정점에서 모니터의 밝기가 프린터의 밝기값 보다 큼을 알 수 있다. 이러한 조건에서 색도 사상을 하면 밝은 영역과 어두운 영역에서 다른 색 변화를 가져 올 수 있으며, 선형 혹은 비선형적 밝기 사상을 행하면 평균 밝기값의 차이가 증가하고 서로 다른 색 변화 또한 증가한다. 그림 5(b)는 선형적 압축 방법을 이용하여 밝기 사상을 한 결과를 나타낸다. 이때 모니터와 프린터의 정점에서 평균 밝기값은 각각

75.8과 47.8로서 밝기 사상을 하지 않았을 때 보다 최대 채도에서 밝기값의 차이가 증가함을 알 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 각 색상의 밝기 차이를 최소화하고 어두운 영역과 밝은 영역에서 균일한 색 변화를 위한 밝기 사상을 제안한다. 이 과정에서 밝기 사상은 특정한 색상에서 두 색역의 형태에 의존한다. 제안한 알고리즘은 밝기와 색도의 분리를 위해 $CIEL^*a^*b^*$ 공간에서 행한다. 먼저 그림 4(b)에서 볼 수 있듯이 프린터 색역의 어두운 영역에 모여있는 색 샘플들을 전체 밝기 범위에서 색 샘플들이 균일하게 분포하기 위해 프린터 색역을 조정한다. 프린터 색역의 밝기값 조정시 그림 6(a)와 같은 채색에 따른 각 칼라 잉크의 채도 평균 변화 곡선을 단순화(그림 6(b))하여 사용하였으며, 중간값으로 조정될 때까지 어두운 영역의 기울기를 유지하며 C_p 를 조정하였다. 결과적으로 프린터 정점에서의 평균 밝기값은 그림 7에서 볼 수 있듯이 55.8이 되었다. 프린터 색역의 밝기값을 조정된 후 각 색상의 정점에서의 밝기 차이를 최소화하기 위하여 모니터 색역의 최대 채도에서의 밝기 성분을 프린터 색역과 최소 오차가 존재하는 위치로 이동하였다. 이때 밝기값 이동시 밝은 영역에서 보다 어두운 영역이나 중간 밝기의 영역에서 칼라 변화에 더욱 민감하다는 인간 시각 특성을 고려하여 밝은 영역에서 보다 더 밝기값을 압축하였으며 모니터와 프린터의 정점에서 밝기 차이가 최소화 될 때까지 반복적으로 압축을 행하였다. 인간 시각 특성을 고려하여 사용되어진 수식은 다음과 같다.

$$L'_m = K_m \frac{\ln(1 - \mu_m (L_m - m_{min}))}{\ln(1 - \mu_m)} + p_{min} \quad (1)$$

여기서 L_m 은 모니터색역의 원래 밝기값을 나타내며, L'_m 은 모니터 색역의 변화된 밝기값, p_{min} 은 프린터 색역의 최소 밝기값, m_{min} 은 모니터 색역의 최소 밝기값을 나타낸다. K_m 과 μ_m 은 각 색상의 정점에서 밝기 차이의 평균 지승 오차가 최소가 될 때까지 가변 된다. 결과적으로 모니터의 정점의 평균 밝기값은 56.7이 되었음을 그림 7에서 보여준다. 그러므로 제안된 방법은 모니터와 프린터의 정점에서의 밝기 차이를 줄였으며 밝은 영역과 어두운 영역에서 균일 색 변화가 발생하도록 하였다. 이 결과로부터 모니터 색역의 최대 색도가 프린터 색역의 최대 색도로 쉽게 사상 될 수 있음을 알 수 있다.

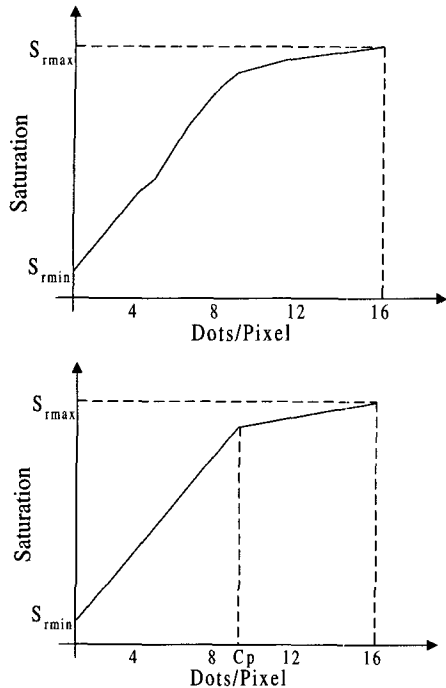


그림 6. 각 칼라 잉크의 채색에 따른 포화도 평균 변화 곡선 (a) 실제의 포화도 변화 (b) 단순화된 포화도 변화

Fig. 6. Saturation change curve with respect to the amount of primary inks. (a) Actual saturation change (b) Simplified saturation change.

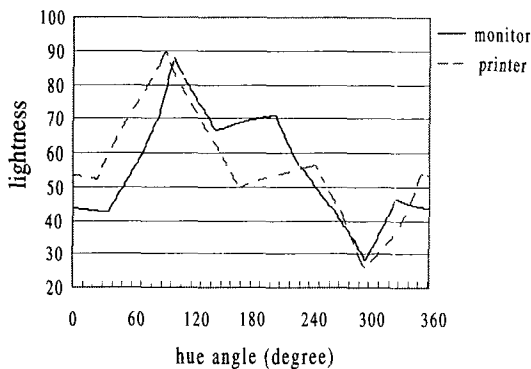


그림 7. 제안한 방법을 이용한 밝기 사상
Fig. 7. Lightness mapping using proposed method.

2. 최대 채도 재현을 위한 색역 사상

기존의 Johnson에 의해 제안된 색역 사상 방법에서는 원래 영상의 밝기 범위를 재현하려는 장치의 색역 안으로 포함시키기 위하여 먼저 밝기 사상을 한다. 따라서

이 과정에서 원래 색역의 밝기가 변하게 된다. 또한 한 개의 닷점을 이용한 사상과정에서 색역 밖의 색을 재현 장치의 색역 안으로 포함시키기 위하여 과도하게 밝기를 변형시키게 된다. 이러한 사상의 결과로 사상된 영상의 밝기 대조가 감소하게 된다. 그리고 기존의 방법들에서는 원래 영상의 최대 채도를 재현될 장치에서도 유지하기 위하여 그림 3의 (b)에서처럼 두 장치들의 색역의 두 침두치를 연결하는 선과 L^* 축이 만나는 점을 닷점으로 설정하여 사상을 하여준다. 그러나 이러한 닷점의 위치가 L^* 축의 중간이 아닐 경우 밝은 부분과 어두운 부분에서 사상된 색의 오차가 다르게 나타나게 된다. 만약 닷점의 위치가 중간에서 점점 더 멀어질수록 두 영역에서의 색 오차는 더욱더 커져서 색의 왜곡이 심하게 되고 두 영역간의 경계부분에서 갑자기 색이 변하는 현상이 나타나게 된다. 또한 기존의 절단 방법을 사용하는 변수적 색역 사상에서는 급격한 색의 변화가 위의 두 영역에서뿐만 아니라 재현될 장치의 색역 밖의 영역과 색역 안의 영역의 경계부분에서도 심하게 나타나게 된다. 이는 절단 방법이 색역 안의 색은 그대로 유지하면서 색역 밖의 색만 닷점을 향하여 사상을 하기 때문에 닷점을 향한 급격한 사상은 색역의 경계부분에서 심한 색의 불연속을 만들기 때문이다. 따라서 기존의 색역 사상 방법을 이용한 경우에는 연속 계조의 칼라영상을 재현할 수 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 연속 계조의 칼라영상을 재현하면서 원래의 색을 잘 재현해 낼 수 있는 사상 방법을 제안한다. 이 제안된 방법은 각 색상의 최대 채도에서의 밝기값의 차이가 평균보다 작을 경우 동일 밝기 사상으로 최대 채도 유지 및 수행 속도를 증가시켰으며, 밝기값의 차이가 평균보다 클 경우에는 가변 닷점 및 고정 닷점 이용하여 사상함으로써 균일한 색 오차 유지가 가능하도록 하였다. 이때 다중 닷점 이용시 영역 구분후 영역별 색역 사상을 행하였다. 영역은 그림 8에서 나타나는 바와 같이 모니터 색역의 최대 채도의 밝기값에 따라 구분하여 밝은 영역과 어두운 영역의 활성 영역 균등 분배를 위한 가변 닷점과 고정 닷점을 혼합 사용하였다.

이렇게 분류된 영역을 기준으로 색역 사상을 이루기 위해서는 각 영역에서 다른 닷점을 설정하게 된다. 먼저 하나의 색역이 다른 색역을 포함하고 있을 경우에는, 그림 8(a)과 (b)에서 처럼 원 색역의 정점과 재현될 색역의 정점에서의 밝기값을 연결하는 선의 기울기를 한

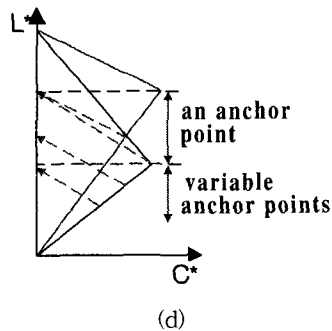
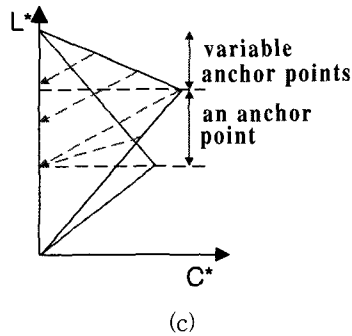
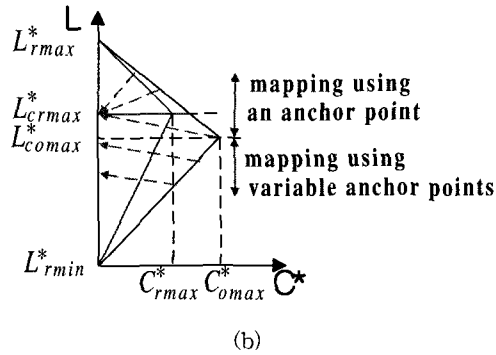
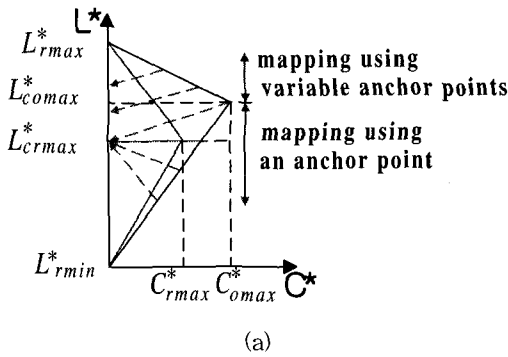


그림 8. 제안된 색역 사상 방법
Fig. 8. The proposed gamut mapping method.

쪽 영역의 사상을 위한 기울기로 사용하게 된다. 그리고 반대 영역에서는 재현될 색역의 밝기값을 닷점으로 사상을 행함으로써 두 영역에서 균일한 색의 오차를 유

지하게 한다. 먼저 그림 8(a)에서처럼 $L^*_{comax} > L^*_{crmax}$ 일 때를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$L^*_a = \begin{cases} L^*_{lp} - \frac{(L^*_{comax} - L^*_{crmax})}{C^*_{comax}} \times C^*_{lp}, & \text{if } L^*_{comax} \geq L^*_{crmax} \text{ and } L^*_{lp} \geq L^*_{comax} \\ L^*_{crmax}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$a^*_a = 0$$

$$b^*_a = 0$$
(2)

여기서 C^*_{lp} 는 사상될 색의 채도이며, C^*_{comax} 는 모니터 색역의 최대 채도이다. 그림 8(b)에서 처럼 $L^*_{crmax} > L^*_{comax}$ 일 때는 다음의 수식으로 표현된다.

$$L^*_a = \begin{cases} L^*_{lp} + \frac{(L^*_{crmax} - L^*_{comax})}{C^*_{comax}} \times C^*_{lp}, & \text{if } L^*_{comax} < L^*_{crmax} \text{ and } L^*_{lp} \leq L^*_{crmax} \\ L^*_{crmax}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$a^*_a = 0$$

$$b^*_a = 0$$
(3)

이러한 사상의 장점은 사상 과정에서 색역 밖의 색들이 다른 색역의 경계로 사상될 때 색들의 순서가 바뀌지 않으면서 모든 영역에서 거의 일정한 색의 변화를 가지면서 사상을 행할 수 있다는 것이다. 만약 두 색역의 최대 채도를 나타내는 침두치의 밝기가 동일하게 될 경우에는 그림 3(a)방법과 동일하게 나타나게 된다.

그림 8(c) 와 (d)는 두 색역간에 포함관계가 유지되지 않을 때에 사상하는 방법을 나타내고 있다. 이 경우도 그림 8(a) 와 (b)에서와 비슷하게 사상이 일어나야 할 영역에서는 그림 8(a)와 (b)에서처럼 동일한 방법으로 수식(2) 과 (3)를 이용하여 닷점을 구한 후 사상을 행하고 색들이 색역 안에 포함되어 사상할 필요가 없는 부분에서는 원래의 색을 그대로 유지하게 된다.

IV. 실험 및 결과

제안된 방법의 테스트를 위하여 그래픽 영상인 color chart와 fresh 영상을 사용하였다. 이 영상으로 색역 사상을 하기 위한 모니터 출력을 얻기 위하여 삼성 SyncMaster-700p를 사용하였으며, 이 영상들과의 색 일치를 위하여 사용된 프린터는 LG Art-jet 프린터를 사용하였다. 각 장치의 색역을 알기 위하여 6×6×6의 색의 샘플을 모니터에서 RGB 포맷으로 만들어서 spectrophotometer로 측정하여 $CIEL^*a^*b^*$ 값을 얻었으며, 프린터에서는 CMY 포맷으로 만들어서 spectrophotometer로 측정하여 $CIEL^*a^*b^*$ 값을 얻었다. 이때

색역의 경계는 워킹(working) 알고리즘을 이용하여 구하였으며, 모니터에서 재현된 색의 삼자극치로부터 계산된 값이 프린터에서는 색역 밖의 값으로 재현된 경우는 색상의 변화 없이 채도와 휘도를 압축하는 방법을 이용하여 닷점에 대한 직선과 색역의 경계부분의 교차점의 좌표를 얻어내는 것이 필요하다. 그림 9에서는 이러한 과정의 기하학적인 표현을 보여주고 있다.^[12~14]

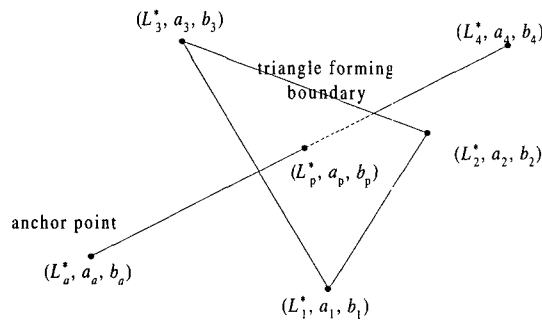


그림 9. 경계를 형성하는 삼각형과 사상될 선과의 교차
Fig. 9. The crossing of a triangle-forming boundary and a line connecting the target point and achromatic point.

모니터와 프린터에서 출력된 결과값을 얻기 위하여 각각 Minolta CA-100 와 Minolta CM-3600d가 사용되었다. 그림 10과 11은 오차확산 방법을 이용하여 기존의 색역 사상과 제안된 색역 사상과의 비교를 위하여 프린트된 영상들이다. 그림 10과 11의 (a)는 색역 사상을 하지 않고 오차확산 방법으로 프린트한 영상이며, (b)는 CUSP의 방법으로 색역 사상을 이룬 후 오차확산 방법으로 프린트한 영상이며, (c)는 Johnson의 방법으로 색역사상을 이룬 후 오차확산 방법으로 프린트한 영상이며, (d)는 제안된 색역 사상을 이룬 후 오차확산 방법으로 프린트한 영상이다. 그림 10에서는 그래픽 영상이 사용되었으며, 그림 10의 (a)에서는 색역 사상이 이루어지지 않아서 전체 칼라 차트의 영역구분이 제대로 이루어지지 않고 있다. 특히 중간 이하의 어두운 부분에서는 거의 영역간 구분이 보이질 않는다. 그림 10의 (b)와 (c)에서도 전체적으로 대조도가 떨어져서 각 영역의 구분이 잘 나타나질 않고 있다. 또한 어두운 부분에서는 변별력이 감소되었으며, 밝은 부분의 닷점을 향하여 지나치게 사상이 되어 전체적으로 조금 밝게 나타나며 최대 채도가 떨어짐을 볼 수 있다. 그림 10의 (d)는 제안된 방법을 이용하여 사상된 결과를 나타내고 있다. 기

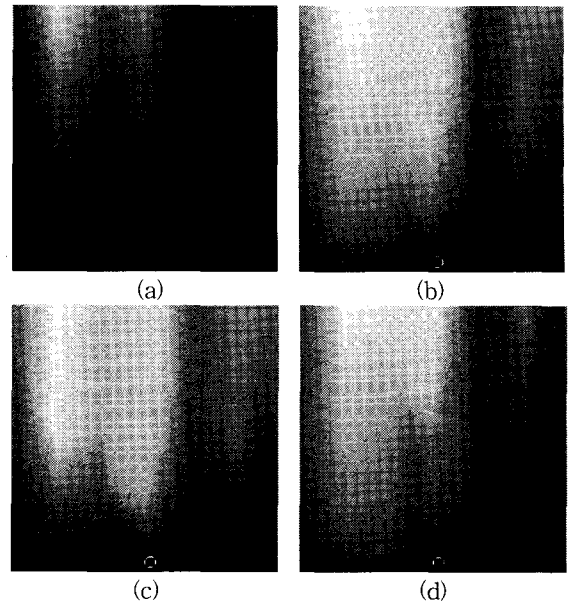


그림 10. 색역 사상 후 오차 확산법으로 프린트된 칼라 차트 영상 (a) 색역 사상이 안된 영상 (b) CUSP 방법 (c) Johnson 방법 (d) 제안된 방법
Fig. 10. Color chart images printed by error diffusion using various GMAs; (a) without GMA, (b) CUSP algorithm, (c) Johnson's algorithm, and (d) the proposed algorithm.

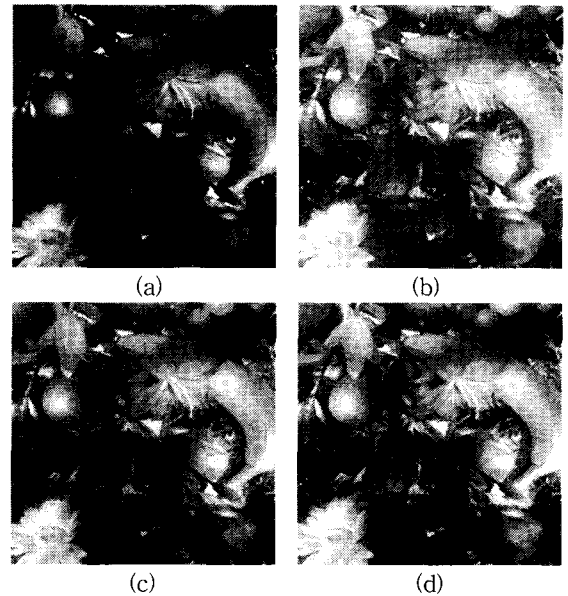


그림 11. 색역 사상 후 오차 확산법으로 프린트된 fresh 영상 (a) 색역 사상이 안된 영상 (b) CUSP 방법 (c) Johnson 방법 (d) 제안된 방법
Fig. 11. Fresh images printed by error diffusion using various GMAs; (a) without GMA, (b) CUSP algorithm, (c) Johnson's algorithm, and (d) the proposed algorithm.

존의 방법들보다 대조도가 좋아져서 각 영역들의 구분 이 잘되며, 전체적으로 최대 채도를 잘 유지함을 볼 수 있다. 그림 11에서는 fresh 영상이 사용되었으며, 그림 11의 (a)에서는 색역 사상이 이루어지지 않아서 영상이 어두워지면서 제대로 색이 나타나지 않음을 볼 수 있다. 그림 11의 (b)에서는 칼라 차트의 경우와 같이 노란색 이 녹색 부분을 잠식하여 강조됨을 볼 수 있으며 밝은 부분의 닷점을 향하여 사상되어 전체적으로 밝게 나타 나며 최대 채도가 떨어짐을 볼 수 있다. 그림 11의 (c)에서는 오른쪽 상단의 청포도 부분에서 영역 뭉쳐짐 현 상이 나타남을 볼 수 있다. 그리고 (b)와 (c)에서 전체 적으로 대조도가 떨어져서 검은색 부분들이 제대로 나 타나지 않음을 볼 수 있다. 그림 11 (d)는 기존의 방법 들보다 대조도도 증가되었으며, 흰색과 검은색 부분들 도 잘 재현되었음을 볼 수 있다.

제안된 방법과 기존의 방법들과의 비교를 위하여 표 준색으로 Macbeth 칼라 차트를 이용하였으며, 이때 색 차를 나타내는 E_{ab}^* 가 사용되었다. 이 값을 구하기 위한 수식은 다음과 같다.

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_o^* - L_R^*)^2 + (a_o^* - a_R^*)^2 + (b_o^* - b_R^*)^2} \quad (4)$$

여기서 $L_o^*a_o^*b_o^*$ 는 모니터에서 측정으로 얻어진 값이며, $L_R^*a_R^*b_R^*$ 는 프린터에서 측정으로 얻어진 CIEL*a*b* 값 이다. 결과 비교를 위해 특정한 색상에서 두 색역의 정 점을 연결한 선과 만나는 밝기값을 닷점으로 하여 색역 사상을 한 CUSP 방법과 밝기 및 색역 사상을 함께 행 한 Johnson 방법을 제안한 방법과 비교하였다. 결과적 으로 얻어진 E_{ab}^* 값은 표 1에서 보여진다. 표 1에서 제 안된 방법이 기존의 방법들보다 오차가 적은 것을 볼 수 있다.

표 1. 모니터에 출력된 색과 프린터에서 재현 된 색과의 색오차 (E_{ab}^*) 비교

Table 1. The comparison of E_{ab}^* between colors displayed on the monitor and colors reproduced on the printer.

	CUSP의 방법	Johnson의 방법	제안된 방법
E_{ab}^*	9.865	13.007	8.665

V. 결 론

본 연구에서는 제한된 색 재현 장치에서 자연색을 출 력하기 위한 새로운 방법들이 제안되었다. 이 제안된 색역 사상 방법은 두 단계로 구성되며, 먼저 각 색상의 정점에서의 밝기 차이를 최소화하고 밝은 영역과 어두 운 영역에서의 균일한 색 분포를 가지는 밝기 사상 방 법을 제안하였다. 또한, 최대 채도 유지 및 균일 색 분 포를 위한 가변 닷점과 고정 닷점을 혼합으로 사용하는 색역 사상 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 기존의 한 개의 닷점을 이용하여 색역 사상을 하였을 때 발생 하던 대조도 감소와 각각의 사상 영역의 경계부분에서 색의 급격한 변화를 줄일 수 있었으며, 또한 모든 색역 에 대하여 일정한 색의 오차를 유지할 수 있었다. 제안 된 연구의 결과는 색을 표현하는 다른 장치간에서도 각 장치의 색역만 구해지면 적용이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] P. G. Herzog and B. Hill, "A New Approach to the Representation of Color Gamut," *The 3rd IS&T/SID Color Imaging Conference, Color Science, Systems and Application*, pp. 78~81, November 1995.
- [2] 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.
- [3] M. R. Luo and J. Morovic, "Two Unsolved Issues in Color Management-Color Appearance and Gamut Mapping," *Proceedings of 5th International Conference on High Technology : Imaging Science and Technology-Evolution & Promise*, pp. 136~147 Chiba, Japan, 1996.
- [4] P. G. Hezog and M. Muller, "Gamut Mapping Using an Analytic Color Gamut Representation," *Color Imaging Conference : Device-Independent Color, Color Hard Copy, and Graphic Arts*, vol. 3018, pp. 117-128, February 1997.
- [5] Jan Morovic and MRonnie Luo, "Cross-Media

- Psychophysical Evaluation of Gamut Mapping Algorithms," *Proc AIC Color 97 Kyoto*, 1997
- [6] Stone, M.C. and Wallace, W.E., "Gamut Mapping Computer Generated Imagery," *Graphics Interface 91*, pp. 32~39, (1991).
- [7] Laihanen, P., "Colour Reproduction Theory based on the Principles of Colour Science," *IARAIGAI Conference Proceedings Advances in Printing Science & Technology*, vol. 19, pp. 1~36, (1987).
- [8] Macdonald, L.W., Morovic, J.J. and Saunders, D., "Evaluation of Colour Fidelity for Reproductions of Fine Art Paintings," *Museum Management and Curatorship*, vol. 14, no. 3, pp. 253~281, (1995).
- [9] Henry R. Kang, "Color Technology For Electronic Image Devices," *SPIE Optical Engineering Press*, 1996.
- [10] C. S. Lee, C. H. Lee, and Y. H. Ha, "Parametric Gamut Mapping Algorithms Using Variable Anchor Points," *The Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 44, no. 1, January 2000.
- [11] C. S. Lee, "Gamut Mapping of Variable Anchor Point and Model - based Dithering of Dot Pattern Selection," *Ph. D. thesis, Dept. Electronics, Kyungpook National Univ., Taegu, Korea*, Dec. 1999.
- [12] Gabriel Marcu and Satoshi Abe, "CRT and Ink Jet Printer Models for Device Independent Color Reproduction in Image Transmission," *Proceedings of The 2nd IS&T Color Imaging Conference, Color Science, Systems and Application*, November 1994.
- [13] Po-Chieh Hung, "Colorimetric Calibration in Electronic Imaging Devices Using a Look-up-Table Model and Interpolation," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 2, No. 1, pp. 53~60. January 1993.
- [14] James M. Kasson, Sigfredo I. Nin, Wil Plouffe, and James L. Hafner, "Performing Color Space Conversions with Three-Dimensional Linear Interpolation," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 4, No. 3, pp. 226~250, 1995.

 저 자 소 개

朴 洋 佑(正會員) 第38卷 SP編 第3號 參照

河 永 浩(正會員) 第38卷 SP編 第3號 參照

李 採 守(正會員) 第38卷 SP編 第3號 參照