

장치 특성을 고려한 밝기 사상 및 색역 사상

박 양 우*, 이 채 수*, 엄 태 역**, 장 주 석*

*경운대학교 멀티미디어정보학부, **구미기능대학교 전자과
전화 : (054) 479-1251 / 핸드폰 016-809-9873

Lightness and Chroma Mapping Consider the Device Characteristic

Yang-Woo Park,* Chae-Soo Lee,* Tae-Uk Uam** and Joo-Seok Jang*

*School of Multimedia, Visual Arts, and Software Engineering, Kyungwoon Univ.

**Dept. of Electronic Technology, Kumi Polytechnic College

E-mail : ywpark@kyungwoon.ac.kr

Abstract

In this paper, luminance 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, chroma mapping that utilize variable anchor point and an anchor point are proposed for maximum chroma reproduction and uniform color change. The proposed algorithm reduce a sudden color change on the gamut boundary of the printer and to maintain a uniform color change during the mapping process. Accordingly, the proposed algorithm can reproduce high quality images with low-cost color devices.

I. 서 론

일반적으로 영상은 목표로 하는 출력 장치의 색역 밖에 존재하는 색을 포함하게 된다. 이러한 경우에는 색역 내부의 색으로 사상하는 과정이 필요하게 된다.^[1-2] 기존의 색역 사상 방법에는 연속적 사상 방법(continuous mapping)과 동시 사상 방법(simultaneous mapping) 및 변수적 사상 방법(parametric mapping)이 있다.^[3] 연속적 사상 방법은 인간 지각 속성의 각각을 개별적으로 사상하는 방법으로 사상이 2단계로 이루어진다. 먼저 밝기에 의한 사상을 한 후 색도에 의한 사상이 이루어진다.^[4-5] 동시적 사상 방법은

인간 지각 속성이 동시에 변화하는 사상 방법으로 색역의 특정한 점을 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.^[6] 이러한 변수적 색역 사상 방법은 먼저 원래 색역의 밝기 값을 재현될 색역의 밝기 값으로 포함시키는 밝기 사상을 행하게 된다. 따라서 밝기 사상을 위해 기존의 선형 및 비선형적 방법을 이용하면 두 색역 간의 평균 밝기 값의 차이가 증가하고 어두운 영역과 밝은 영역에서의 색 변화의 차이가 증가하게 된다. 또한 하나의 닷점만을 이용한 색역 사상은 사상될 색의 밝기의 위치에 따라서 닷점을 향해 연결한 선의 기울기들이 모두 다르게 되어 사상된 색의 오차가 불균일하게 된다. 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 휘도 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 밝기 값들의 평균을 밝기 영역의 중간으로 이동하였다. 그리고 원 색역과

재현될 색역에서 각 색상의 정점에서의 밝기의 평균 자승 오차(mean square error)가 최소가 될 때까지 원래의 색역을 조정하였다.

색역 사상에서는 최대 채도 유지 및 균일 색 분포를 위해 원 색역의 최대 채도의 밝기 값에 따라 영역을 구분 후 밝은 영역과 어두운 영역의 활성 영역 균등 분배를 위한 가변 닷점과 고정 닷점을 혼합으로 사용하였다. 각 색상에서 밝기 값의 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. 균일한 색 분포를 위한 밝기 사상

기존의 선형 혹은 비선형 밝기 사상 방법은 수행 속도는 빠르나 두 색역의 최대 채도 값을 가지는 밝기 값들의 차이가 커지며, 색역 사상 시 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. 이러한 밝기 사상을 위해서 각 색상의 정점에서의 밝기 값을 알아야 한다. 그림 1(a)는 각 색상의 정점에서의 밝기 값을 나타내며, 모니터 및 프린터 정점의 평균 밝기값은 각각 68.1과 47.8이다. 그림에서 볼 수 있듯이 각 색상의 정점에서 모니터의 밝기가 프린터의 밝기 값보다 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 밝기 값의 차이가 증가하고 서로 다른 색 변화 또한 증가한다. 그림 1(b)는 선형적 압축 방법을 이용하여 밝기 사상을 한 결과를 나타낸다. 모니터와 프린터의 정점에서 평균 밝기 값은 각각 75.8과 47.8로서 밝기 사상을 하지 않았을 때 보다 최대 채도에서 밝기 값의 차이가 증가함을 알 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 각 색상의 밝기 차이를 최소화 하고 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 프린터 색역의 어두운 영역에 모여있는 색 샘플들을 전체 밝기 범위에서 색 샘플들이 균일하게 분포하기 위해 프린터 색역을 조정한다. 프린터 색역의 밝기 값 조정시 그림 2(a)와 같은 채색에 따른 각 칼라 잉크의 채도 평균 변화

곡선을 단순화(그림 2(b))하여 사용하였으며, 중간 값으로 조정될 때까지 어두운 영역의 기울기를 유지하며 C_p 를 조정하였다. 결과적으로 프린터 정점에서의 평균 밝기 값은 그림 3에서 볼 수 있듯이 55.8이 되었다. 프린터 색역의 밝기 값을 조정된 후 각 색상의 정점에서의 밝기 차이를 최소화하기 위하여 모니터 색역의 최대 채도에서의 밝기 성분을 프린터 색역과 최소 오차가 존재하는 위치로 이동하였다. 밝기 값 이동 시 인간 시각 특성을 고려한 다음의 수식을 사용하였다.

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

여기서 L_m 은 모니터 색역의 원래 밝기 값을 나타내며, L'_m 은 모니터 색역의 변화된 밝기 값, p_{min} 은 프린터 색역의 최소 밝기 값, m_{min} 은 모니터 색역의 최소 밝기 값을 나타낸다. K_m 과 μ_m 은 각 색상의 정점에서 밝기 차이의 평균 자승 오차가 최소가 될 때까지 가변 된다. 결과적으로 모니터의 정점의 평균 밝기 값은 56.7이 되었음을 그림 3에서 보여준다. 그러므로 제안된 방법은 모니터와 프린터의 정점에서의 밝기 차이를 줄였으며 밝은 영역과 어두운 영역에서 균일 색 변화가 발생하도록 하였다. 이 결과로부터 모니터 색역의 최대 채도가 프린터 색역의 최대 채도로 쉽게 사상 될 수 있음을 알 수 있다.

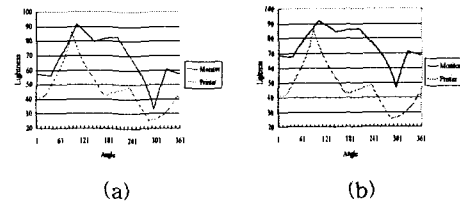


그림 1. (a) 밝기 사상을 하지 않았을 때 각 색상의 정점들의 밝기 값 분포 (b) 선형적 압축 방법을 이용한 밝기 사상을 하였을 때 각 색상의 정점들의 밝기 값 분포

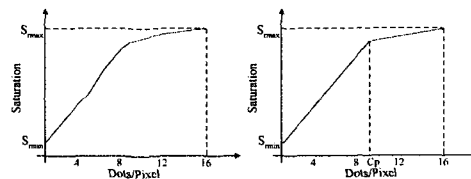


그림 2. 각 칼라 잉크의 채색에 따른 포화도 평균 변화 곡선 (a) 실제의 포화도 변화 (b)단순화된 포화도 변화

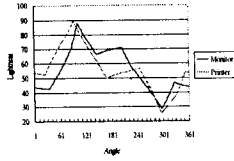
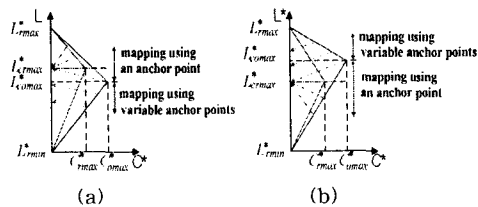


그림 3. 제안한 방법을 이용한 밝기 사상

III. 최대 색도 재현을 위한 색역 사상

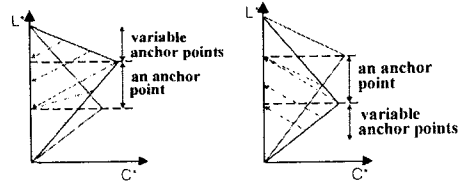
기존의 Johnson에 의해 제안된 색역 사상 방법에서는 원래 영상의 밝기 범위를 재현하려는 장치의 색역 안으로 포함시키기 위하여 먼저 밝기 사상을 한다. 따라서 이 과정에서 원래 색역의 밝기가 변하게 된다. 또한 한 개의 닷점을 이용한 사상과정에서 색역 밖의 색을 재현 장치의 색역 안으로 포함시키기 위하여 과도하게 밝기를 변형시키게 된다. 이러한 사상의 결과로 사상된 영상의 밝기 대조가 감소하게된다. 그리고 기존의 방법들에서는 원래 영상의 최대 채도를 재현될 장치에서도 유지하기 위하여 두 장치들의 색역의 두 점두치를 연결하는 선과 L^* 축이 만나는 점을 닷점으로 설정하여 사상을 하여 준다. 그러나 이러한 닷점의 위치가 L^* 축의 중간이 아닐 경우 밝은 부분과 어두운 부분에서 사상된 색의 오차가 다르게 나타나게 된다.

따라서 본 논문에서는 연속 계조의 칼라영상을 재현하면서 원래의 색을 잘 재현해 낼 수 있는 사상 방법을 제안한다. 제안된 방법은 각 색상의 최대 채도에서의 밝기 값의 차이가 평균보다 작을 경우 동일 밝기 사상으로 최대 채도 유지 및 수행 속도를 증가시켰으며, 밝기 값의 차이가 평균보다 클 경우에는 가변 닷점 및 고정 닷점 이용하여 사상함으로써 균일한 색 오차 유지가 가능하도록 하였다. 이때 다중 닷점 이용시 영역 구분 후 영역별 색역 사상을 행하였다. 영역은 그림 4에서 나타나는 바와 같이 모니터 색역의 최대 채도의 밝기 값에 따라 구분하여 밝은 영역과 어두운 영역의 활성 영역 균등 분배를 위한 가변 닷점과 고정 닷점을 혼합 사용하였다.



(a)

(b)



(c)

(d)

그림 4. 제안된 색역 사상 방법

이렇게 분류된 영역을 기준으로 색역 사상을 이루기 위해서는 각 영역에서 다른 닷점을 설정하게 된다. 먼저 하나의 색역이 다른 색역을 포함하고 있을 경우에는, 그림 4(a)와 (b)에서처럼 원 색역의 정점과 재현될 색역의 정점에서의 밝기 값을 연결하는 선의 기울기를 한쪽 영역의 사상을 위한 기울기로 사용하게 된다. 그리고 반대 영역에서는 재현될 색역의 밝기 값을 닷점으로 사상을 행함으로써 두 영역에서 균일한 색의 오차를 유지하게 한다. 먼저 그림 4(a)에서처럼 $L^*_{comax} > L^*_{crmax}$ 일 때를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

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

$$\begin{aligned} a^*_a &= 0 \\ b^*_a &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 C^*_{lp} 는 사상될 색의 채도이며, C^*_{comax} 는 모니터 색역의 최대 채도이다. 그림 11(b)에서처럼 $L^*_{crmax} > L^*_{comax}$ 일 때는 다음의 수식으로 표현된다.

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

$$\begin{aligned} a^*_a &= 0 \\ b^*_a &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

이러한 사상의 장점은 사상과정에서 색역 밖의 색들이 다른 색역의 경계로 사상될 때 색들의 순서가 바뀌지 않으면서 모든 영역에서 거의 일정한 색의 변화를 가지면서 사상을 행할 수 있다는 것이다. 그림 4(c)와 (d)는 두 색역 간에 포함관계가 유지되지 않을 때에 사상하는 방법을 나타내고 있다. 이 경우도 그림 4(a)와 (b)에서와 비슷하게 사상이 일어나야 할 영역에서는 그림 4(a)와 (b)에서처럼 동일한 방법으로 수식(2)와 (3)을 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 chart 영상을 사용하였다. 이 영상으로 색역 사상을 하기 위한 모니터 출력을 얻기 위하여 삼성 SyncMaster-700p를 사용하였으며, 이 영상과의 색 일치율을 위하여 사용된 프린터는 LG Art-jet 프린터를 사용하였다. 모니터와 프린터에서 출력된 결과값을 얻기 위하여 각각 Minolta CA-100 와 Minolta CM-3600d가 사용되었다. 그림 5는 오차 확산 방법을 이용하여 기존의 색역 사상과 제안된 색역 사상과의 비교를 위하여 프린트된 영상들이다. 그림 5(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 6(b)와 (c)에서도 전체적으로 대조도가 떨어져서 각 영역의 구분이 잘 나타나질 않고 있다. 또한 어두운 부분에서는 변별력이 감소되었으며, 밝은 부분의 뒹점을 향하여 지나치게 사상이 되어 전체적으로 조금 밝게 나타나며 최대 채도가 떨어짐을 볼 수 있다. 그림 6(d)는 제안된 방법을 이용하여 사상된 결과를 나타내고 있다. 기존의 방법들보다 대조도가 좋아져서 각 영역들의 구분이 잘되며, 전체적으로 최대 채도를 잘 유지함을 볼 수 있다.

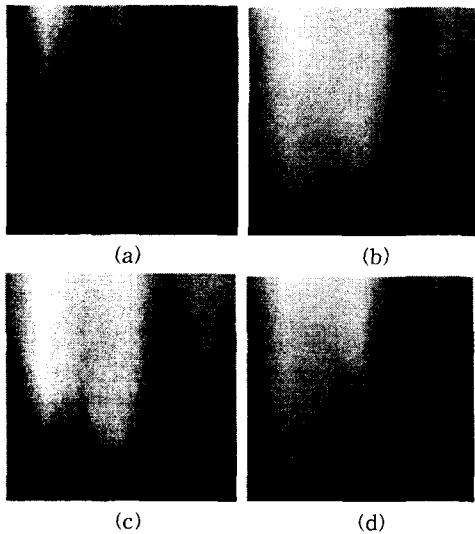


그림 5. 색역 사상 후 오차 확산법으로 프린트된 칼라 차트 영상 (a) 색역 사상이 안된 영상 (b) CUSP 방법 (c) Johnson 방법 (d) 제안된 방법

V. 결론

본 논문에서는 제한된 색 재현 장치에서 자연 색을 출력하기 위한 새로운 방법들이 제안되었다. 이 제안된 색역 사상 방법은 두 단계로 구성되며, 먼저 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 뒹점과 고정 뒹점을 혼합으로 사용하는 색역 사상 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 기존의 한 개의 뒹점을 이용하여 색역 사상을 하였을 때 발생하던 대조도 감소와 각각의 사상 영역의 경계부분에서 색의 급격한 변화를 줄일 수 있었으며, 또한 모든 색역에 대하여 일정한 색의 오차를 유지할 수 있었다. 제안된 연구의 결과는 색을 표현하는 다른 장치간에서도 각 장치의 색역만 구해지면 적용이 가능할 것이다.

참고문헌

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. 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.
3. Jan Morovic and M. Ronnier Luo, "Cross-Media Psychophysical Evaluation of Gamut Mapping Algorithms," *Proc. AIC Color 97 Kyoto, 1997*
4. Stone, M.C. and Wallace, W.E., "Gamut Mapping Computer Generated Imagery," *Graphics Interface 91*, pp. 32-39, (1991).
5. Laihanen, P., "Colour Reproduction Theory based on the Principles of Colour Science," *IARAIGAI Conference Proc. Advances in Printing Science & Tech.*, vol. 19, pp. 1-36, (1987).
6. 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.