

시각적 색일치를 위한 확장된 비선형 양자화와 색역 매핑을 이용한 칼라 프린팅

이채수, 김경만, 이철희, 하영호

경북대학교 전자전기공학부

702-701 대구광역시 북구 산격동 1370번지

E-mail: yhha@ee.kyungpook.ac.kr

Color Printing Using Expanded Nonlinear Quantization and Color Gamut Mapping for Visual Color Constancy

Chae-Soo Lee, Kyung-Man Kim, Cheol Hee Lee, and Yeong-Ho Ha

School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University

1370 Sankyuk-dong, Buk-gu, Taegu, Korea 702-701

E-mail: yhha@ee.kyungpook.ac.kr

ABSTRACT

Recently many devices print electronic images in a variety of ways. But the reproduced color is different from the original color because of the difference of hardware characteristics.

To maintain device independent color, gamut mapping method and expanded nonlinear quantization are proposed. The color gamut mapping uses nonlinear intensity mapping and clipping for saturation mapping on HSI color space. Dithering operation for printing uses expanded nonlinear quantization which considers overlapping phenomena of neighboring printing dots.

So the printed image is similar to the image of monitor and can produce high quality image in the low bit color devices.

서 론

장치들이 지원할 수 있는 색의 범위가 장치 의존적이므로 동일한 칼라 영상에 대해 재현되어진 색이 서로 다르게 보이는 현상이 발생한다. 그 예로 같은 칼라 영상을 모니터와 프린터 장치를 통해 동시에 출력하면 재현된 두 영상이 현저한 차이를 보이는 것을 들 수 있다. 이런 현상의 원인은 주위 조명에 의한 영향,

장치간의 색교정의 차이 등으로도 볼 수 있으나 무엇보다 가장 큰 영향을 미치는 것은 장치간에 색을 지원하는 범위, 즉 색역(color gamut)의 차로 볼 수 있다. 그러므로 색역사상을 통해 인지되는 색의 차를 줄일 필요가 있다.^[1, 2, 3] 이렇게 색의 차이가 줄어든 영상을 프린터로 출력하기 위해서는 디더링 기법이 필요하다.

디더링 기법은 제한된 명암도로써 더 많은 명암도의 영상을 표현하기 위한 방법이다.^[4-6] 이러한 디더링의 목표는 여러 영상출력 장치의 밝기 해상도 차이에서 발생하는 블록화 현상이나 모아레(moire) 패턴들을 제거하여 고품질의 영상을 얻는 것이다.^[10,11] 그래서, 칼라 프린팅에서는 디지털 하프토닝(halftoning) 방식을 사용하는 프린터에서 제한된 수의 칼라로써 연속적으로 채색된 영상을 만들어 내기 위해 화소들의 패턴을 만들어 가는 과정이 필요로 한다.^[7] 이 과정에서 사용하는 칼라 수의 감소는 단지 밝기 해상도의 감소뿐만 아니라 프린트하는 색의 열화 현상을 발생시킨다. 이렇게 단순하게 입력 영상의 명암도를 공간 해상도에 따라서 나누어주는 선형적 양자화 방법을 사용하여 칼라 수를 감소시키는 방법은 프린터의 특성을 고려하지 않기 때문에 정확한 밝기 값과 색을 표현할 수 없다.

따라서 본 논문에서는 모니터와 프린터 사이의 색일치를 위한 색역사상 알고리즘과 디더링 과정에서 양자화 오차의 감소를 위한 확장된 비선형 양자화 알고리즘을 제안한다. 제안한 색정합 방법은 최근 활발하게 연구되고 있는 장치 독립적인 색재현 분야 중에서 모니터와 프린터에 독립적인 색재현에 관한 연구이다. 이러한 장비들에 독립적인 색재현을 위해 먼저 선형적으로 채색 잉크의 양을 증가시켜 만든 칼라 차트에 대

한 모니터와 프린터의 측정을 바탕으로 각 기본 잉크의 양에 따른 채도 및 명도를 얻었다. 이때 명도를 이용한 채색 면적과 모니터에 출력된 명도의 정규화 과정을 거친 후 두 장비들간의 색역의 사상을 위해 더 작은 색역을 가진 프린터로의 색역 압축 과정을 수행하였다. 이과정에서 프린터의 채색순서에 따른 채색 면적을 고려하여 색역사상을 하였다.

색역사상된 영상을 칼라 프린팅하기 위해서 프린팅 과정에서 염료가 채색될 때 점들의 중복 면적이 발생하는 현상을 고려한 확장된 비선형 양자화 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 기존의 디더링 과정에서는 한가지 형태의 디더행렬만을 고려하여 양자화 단계를 결정짓던 방식에서 벗어나, 여러 가지 형태의 디더행렬의 면적변화량을 모두 양자화 단계의 확대를 위하여 디더행렬 조합에 사용하였다.

본 논문에서 제안한 방법들을 이용한 결과 색역 사상에 의해 모니터 색에 보다 가깝게 접근하였으며, 양자화 단계의 확장으로 기존의 순서 디더링에서 발생하던 영역 뭉쳐짐등의 현상들이 많이 제거되어 더욱 좋은 화질의 영상을 얻을 수 있었다.

기존의 색역 사상

색역 사상을 이루는 구성 요소로는 크게 색상(hue), 휘도(lightness) 그리고 채도(chroma)로 나눌 수 있다. 그러므로 색역 사상을 할 때에는 이들 요소에 대해 모두 고려해 주어야 한다.^[3]

서로 다른 색역을 가지는 장치 사이에서 색역 사상 시 색상에 대한 고려는 일반적으로 하지 않는다. 이는 색상이 인간의 시각속성에 가장 민감하기 때문에 색상 사상을 하지 않는 것이다.

색역간의 휘도를 고려한 휘도 사상은 넓은 색역의 휘도를 좁은 색역의 휘도로 나타내야 하기 때문에 선형적인 압축 방법이나 클리핑 방법이 많이 사용된다. 이 때 원래의 휘도를 유지하려는 의도에서 중간 정도의 휘도를 보존하는 방법이나 색역간의 무채색비를 고려하는 방법 등을 이용하기도 한다. 그림 1의 (a)에서 점선으로 나타낸 것은 선형적인 압축이고, 실선으로 나타낸 것은 비선형적인 압축으로써 밝은 부분은 약간의 클리핑을 나머지 부분은 원래의 휘도를 유지하는 방법이다.

채도 사상은 일정 색각도 상에서 휘도 사상 후에 처리하는 것이 일반적인 방법이다. 일정한 색각도와 휘도값에서 선형적으로 압축하는 방법을 그림 1의 (b)에 나타내었다. 채도 사상도 역시 비선형적인 압축의 방법으로 할 수 있다.

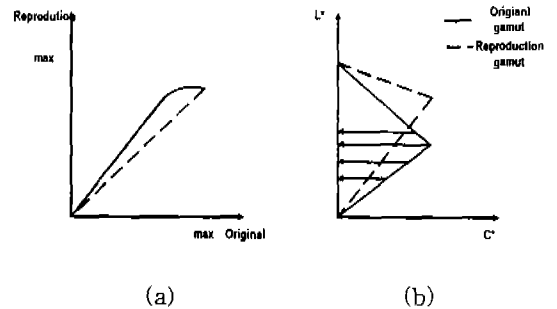


그림 1. 휘도 사상과 채도 사상. (a) 휘도나 채도 사상의 함수 (b) 휘도값을 유지하면서 채도 사상.

칼라 프린터를 위한 모델과 기존의 디더링 기법

기존의 프린터는 칼라 점을 채색하기 위해서 청록(cyan; C), 자홍(magenta; M), 및 노랑(yellow; Y)의 3색을 이용하거나 아니면 이 3색에 검정(black; K)을 첨가한 4색을 이용한다.^[8,9] 이 색들은 칼라 감법 체계를 형성하기 위한 기본 색들이며, 가법 체계를 형성하는 적색(red; R), 녹색(green; G), 및 청색(blue; B)과 쉽게 연관되어 변환은

$$\begin{aligned}
 R &= 1 - C \\
 G &= 1 - M \\
 B &= 1 - Y
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

으로 나타난다. 적색, 녹색, 청색, 및 다른 색은 점들을 중복 채색하여 나타낼 수 있으며, 한 점에서 만들어 낼 수 있는 색은 $2^3=8$ 색이다.

$$b_{i,j} = (b_{i,j}^C, b_{i,j}^M, b_{i,j}^Y, b_{i,j}^K)
 \tag{2}$$

$b_{i,j}$ 의 각 성분은 채색의 유무를 나타내므로, 예를 들면 $b_{i,j}^C=1$ 은 (i, j) 의 점의 지점에서 청록이 채색되었는다는 것을 $b_{i,j}^C=0$ 는 청록이 채색되지 않음을 의미한다. 프린터는 이진 성분을 가진 4차원의 벡터, $b_{i,j}$ 들의 $N_W \times N_H$ 배열에 의해 제어될 수 있다.

일반적으로 사용되고 있는 디더링 방법들은 오차 척도에 따라서 오차량을 최소화하기 위해 여러 가지로 분류할 수 있다. 이 방법들은 처리 구조나 처리된 이진 영상의 특성에서 다르게 나타날 수 있다.

제안된 색역 사상

본 연구에서는 밝기값의 범위를 프린터 특성에 기 반하여 원 영상과의 변형을 보상하면서 채도값을 절단 하는 색역 사상 방법을 제안한다.

프린트된 영상의 화질은 프린터 하드웨어에 많이 의존하게 된다. 현재의 대부분 프린터는 용지에 점을 채색할 경우에 정사각형의 형태가 아니라 그림 2와 같 이 원의 형태로 프린팅 되어 진다. 따라서 점이 채색 되는 위치, 순서에 따라서 점이 채색되는 면적이 달라 지게 된다. 이를 고려하지 않았을 경우 출력된 영상의 명암도가 모니터상에 나타난 영상의 명암도와 다르게 되는 주원인이 된다. 대부분의 프린터의 하드웨어 특 성이 4개의 꼭지점을 통과하는 이상적인 원의 형태에 서 조금씩의 오차를 가지고 있으므로 본 논문에서는 이때의 채색된 면적 변화량을 휘도 변화량으로 고려하 여 이를 이용한 비선형 밝기값 사상을 한다.

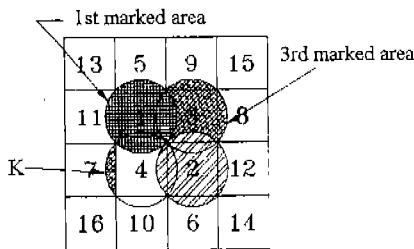


그림 2. 프린팅되는 점들의 중복 채색 영역

본 논문에서는 제안된 밝기값 사상을 위해 그림 3 에 나타난 cluster-dot(or AM) 방식의 원형의 디더행 렬을 이용하였다. 따라서 비선형 밝기값 사상도 이 채 색 순서에 의한 휘도 변화량에 비례하는 비선형적인 형태로 이루어진다. 그림 4에서는 전용지에서 디더행 렬의 채색순서에 따른 대응하는 명암도의 값을 제시 한다. 휘도값 획득은 측색기를 이용하여 XYZ값을 얻 은 후 이를 $L^*a^*b^*$ 공간에서 D_{95} 를 reference로 이용 하여 L^* 값을 얻었다. 얻어진 휘도를 정규화하여 0-255범위의 밝기값이 되게 하였다.

13	5	9	15
11	1	3	8
7	4	2	12
16	10	6	14

(a) 원형 디더행렬
그림 3. Cluster-dot 방식의 디더행렬

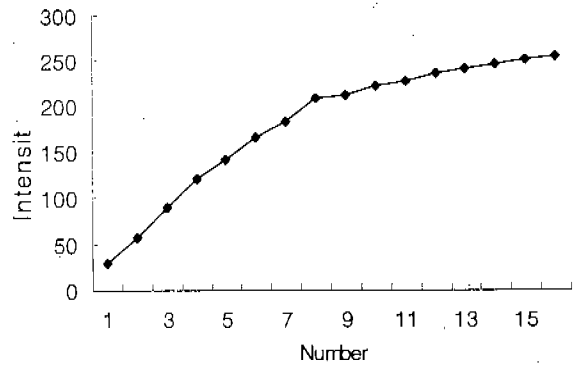


그림 4. 비선형 밝기값 사상

채도 사상을 위해서는 휘도 사상과정에서 색역 밖 으로 나간 값들을 동일한 밝기값을 유지하면서 색역 절단 방법을 사용하여 모니터에 표현된 영상과 유사한 프린터 영상을 가지도록 하였다. 색역 절단 방법은 색 역 밖의 색을 사상될 색역의 경계 영역으로 사상시키 는 방법이다. 이 방법을 이용하면 사상될 색역의 안쪽 에 있는 색에는 아무런 변화가 일어나지 않기 때문에 색역 밖의 색을 재현할 때 색역 안쪽에 있는 색과의 비선형이 발생한다. 그러나 사상된 색역의 최대 채도 값을 유지하는 장점이 있다. 본 연구에서는 색역 사상이 일어나는 칼라 공간으로 HSI 공간을 선택했다. 이 는 HSI 공간이 인간 시각에 유사하면서 처리가 용이 한 공간이고, 채도값과 밝기값의 구분이 쉬우며, 색역 사상 결과가 좋은 결과를 얻는다고 알려져 있기 때문 이다.

제안된 확장된 양자화 단계를 이용한 비선형 양자화

프린트된 영상의 화질은 프린터 하드웨어에 많이 의존하게 된다. 현재의 대부분 프린터는 용지에 점을 채색할 경우에 정사각형의 형태가 아니라 그림 2와 같 이 원의 형태로 프린팅 되어 진다. 따라서 점이 채색 되는 위치, 순서에 따라서 점이 채색되는 면적이 달라 지게 된다. 대부분의 프린터의 하드웨어 특성이 4개의 꼭지점을 통과하는 이상적인 원의 형태에서 조금씩의 오차를 가지고 있으므로 본 논문에서는 이때의 채색된 면적 변화량을 휘도 변화량으로 고려하여 이를 양자화 단계로 이용하였다. 휘도 변화량을 면적변화량으로 고 려한 이유는, 4색(cyan, magenta, yellow, black) 칼라 프린트를 할 경우 3색에 의해서 만들어진 gray 성분을 black으로 대체할 때에 black 양의 선택의 문제가 발 생할 수 있다. 이때에 휘도를 비교하여 black 양을 결

정하게 되면 전체 영상의 intensity를 유지할 수 있게 된다.

또한 본 논문에서는 기존의 디더링 과정에서는 한 가지 형태의 디더행렬만을 고려하여 양자화 단계를 결정짓던 방식에서 벗어나, 여러 가지 형태의 디더행렬의 면적변화량을 모두 휘도 변화량으로 변환하여 각기 다른 휘도 변화값을 가지는 것들을 모두 양자화 단계 확대를 위하여 디더행렬 조합에 사용하였다. 본 논문에서 제안한 방법을 이용한 결과 양자화 단계의 확장으로 기존의 순서 디더링에서 발생하던 영역 뭉쳐짐 등의 현상들이 많이 제거되었으며 또한 모니터에 출력된 영상의 칼라를 더욱 잘 표현해 낼 수가 있었다.

본 논문에서는 제안된 방식의 비선형 양자화를 이용하는 순서디더링을 위해 우선 그림 5에 나타난 cluster-dot(or AM) 방식의 원형의 디더행렬과 이와 유사한 형태의 디더행렬을 이용하였다. 비슷한 형태의 디더행렬을 이용한 이유는 두가지 방식이 다를 경우 연속 계조영상에서 인접한 계조에서 패턴의 불일치로 인하여 시각적으로 거친 결과를 보여주며 또한 4색 잉크 프린트를 할 경우 black 양의 조절에 문제가 발생한다. 즉 각 양자화 단계에 따라 black 양의 사용에 인한 디더행렬의 패턴이 다시 변화 되어야하므로 이를 조정해 주는 과정이 어려워진다. 그림 6에서는 cluster-dot 방식의 원형 디더행렬과 유사 디더행렬의 조합에 의한 각 채색 단계별 순서를 보여준다. 이 순서를 보면 채색면적의 비선형적인 증가를 예측할 수 있다. 이 두가지의 디더행렬에서 동일한 휘도값을 가진 부분들은 생략하고 휘도값이 다른 부분들만 양자화 단계의 확장을 위하여 사용된다.

표 1에서는 전용지에서 디더행렬의 채색순서에 따른 휘도값과 대응하는 명암도의 값을 제시한다. 휘도값 획득은 측색기를 이용하여 XYZ값을 얻은후 이를 $L^*a^*b^*$ 공간에서 D_{65} 를 reference로 이용하여 L^* 값을 얻었다. 얻어진 휘도를 정규화하여 0-255범위의 밝기 값이 되게 하였다.

13	5	9	15
11	1	3	8
7	4	2	12
16	10	6	14

13	5	6	15
10	1	2	11
9	4	3	12
16	8	7	14

(a) 원형 디더행렬 (b) 유사한 디더행렬
그림 5. Cluster-dot 방식의 디더행렬

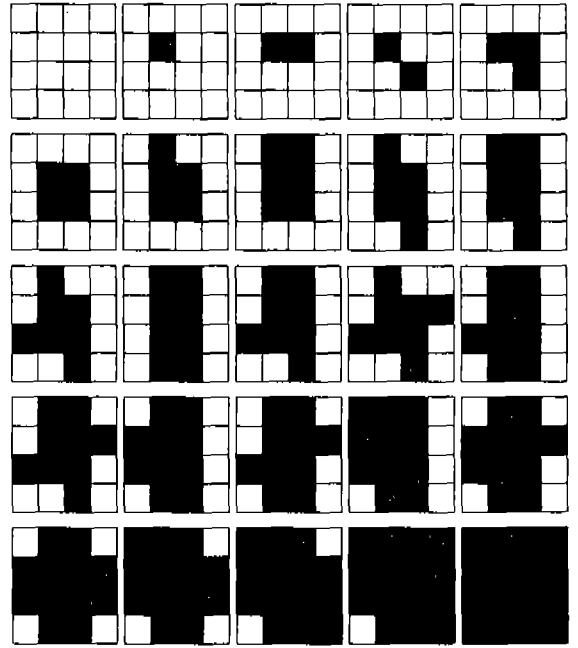


그림 6. $L^*a^*b^*$ 칼라 공간에서 휘도를 이용한 확장된 비선형 양자화 단계별 채색 순서

표 1. 확장된 비선형 양자화 방식에 기반한 휘도값과 대응하는 명암도의 값

양자화 단계	휘도값	명암도 값	양자화 단계	휘도값	명암도 값
1	90.5	255	13	60.2	99
2	85.7	230	14	57.5	86
3	82.0	211	15	55.4	75
4	80.9	205	16	53.6	66
5	77.3	187	17	52.6	60
6	74.1	171	18	51.4	54
7	70.4	152	19	50.5	50
8	66.7	138	20	48.3	38
9	66.4	131	21	44.9	21
10	63.0	114	22	43.2	12
11	62.0	110	23	42.0	6
12	61.7	107	24	40.7	0

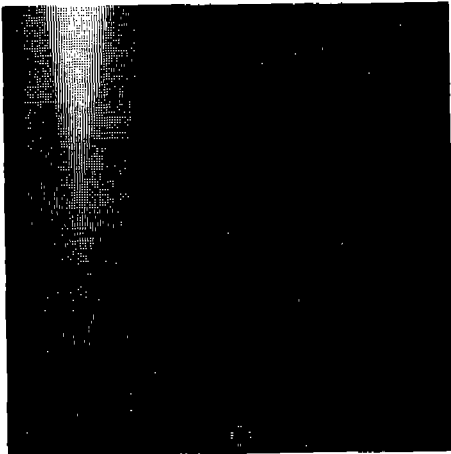
실험 및 결론

본 연구의 실험을 위해 256×256 크기의 서로 다른 특징을 가진 영상들을 이용하였다. 실험 장비로는 LG 잉크젯 칼라 프린터를 사용하였으며 실험은 300 dpi로 수행하였다. 잉크로는 LG 프린터에서 사용하고 있는 캐트리지를 이용하였으며 이를 표현하기 위한 채색 용지로는 LG 전용지를 사용하여 300dpi로 프린팅 하였

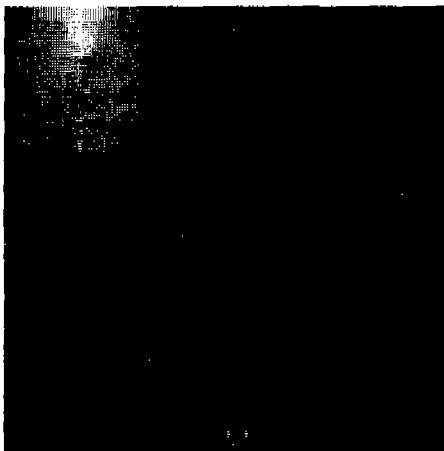
다.

그림 7에서 UCR 방식으로 제안된 확장된 비선형 양자화를 적용한 순서 디터링으로 프린트된 결과를 보여주고 있다. 이 결과는 4×4 디터행렬을 이용할 경우 기존의 16단계의 양자화 단계가 아니라 더 많은 양자화 단계를 가질 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 기존의 16단계 양자화에서 영역 뭉쳐짐 현상이 심하게 나타났지만 이 결과 영상에서는 이 현상들이 많이 제거되었다. 그림 8에서 제안된 칼라 색역 사상 알고리즘과 확장된 비선형 양자화를 적용하여 프린트된 결과를 보여주고 있다. 먼저 프린터 색역에 모니터 색역을 매핑후 그 결과를 확장된 비선형 양자화 방법을 이용하여 순서 디터링으로 출력하였다.

프린트된 결과에서 보면 색의 대조도 좋고 모니터 색에 가깝게 근접하였으며 또한 영역 뭉쳐짐 현상 감소 등으로 화질이 많이 향상되었음을 보여주고 있다.



(a) 기존의 선형 양자화 적용



(b) 확장된 비선형 양자화 적용
그림 7. Color chart 영상



(a) 기존의 선형양자화



(b) 제안된 색역 사상과 확장된 양자화
그림 8. Fruits 영상

참고문헌

1. M. Ronnier Luo and Jan Morovic, "Two Unsolved Issues in Colour Management - Colour Appearance and Gamut Mapping," *Proceedings of the 5th International Conference on High Technology : Image Science and Technology - Evolution & Promise*, pp. 136-147. Chiba, Japan, 1996
2. Patrick G. Hezog and Michael Muller, "Gamut Mapping Using an Analytic Color Gamut Representation," *SPIE, Device-Independent Color, Color Hard Copy, and Graphic Arts II*, February 1997.
3. Patrick G. Herzog and Bernhard Hill, "A New Approach to the Representation of Color Gamut," *The 3rd IS&T/SID Color Imaging Conference, Color Science, Systems and Application*, November, 1995

4. Reiner Eschbach and Keith T. Knox, "Error-Diffusion Algorithm with Edge Enhancement," *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol. 8, No. 12, pp. 1844-1850, December 1991.
5. Robert Ulichney, *Digital Halftoning*, The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England, 1987.
6. R. S. Gentile, E. Walowit, and J. P. Allebach, "Quantization and multilevel halftoning of color images for near-original image quality," *J. Opt. Soc. Am. A* 7, pp. 1019-1026, 1990.
7. Start C. Wells, Grant J. Williamson, and Susan E. Carrie, "Dithering for 12-Bit True-Color Graphics," *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 18-29, September 1991.
8. Michael G. Lamming and Warren L. Rhodes, "A Simple Method for Improved Color Printing of Monitor Images," *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 9, No. 4, pp. 345-375, October 1990.
9. Maureen C. Stone, William B. Cowan, and John C. Beatty, "Color Gamut Mapping and the Printing of Digital Color Images," *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 7, No. 4, pp. 249-292, October 1988.
10. Robert Ulichney, "*The void-and-cluster method for dither array generation*", *SPIE*, vol. 1913, pp. 332-343, 1993.
11. Issac Amidror, Roger D. Hersch, and Victor Ostromoukhov, "Spectral analysis and minimization of moire patterns in color separation," *Journal of Electronic Imaging* 3(3), pp. 295-317, July 1994.