

論文98-35S-6-16

# 잉크젯 칼라 프린팅을 위한 색역 사상과 디더링

## (Color Gamut Mapping and Dithering for Ink-Jet Color Printing)

李 採 守 \* , 金 旻 萬 \* , 李 澈 熙 \* , 河 永 浩 \*

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

## 요 약

최근에 영상 처리 시스템에서 칼라 데이터의 사용이 급격히 증가하고 있다. 그러나 색 재현 능력의 차이가 있고 각 장치마다 고유의 색좌표계를 사용하므로 서로 다른 장치사이에서 색 재현시에는 좌표계 변환이 요구된다. 특히 색재현 범위가 좁은 프린터에서 자연색을 출력하기 위해서는 색역 사상과 주어진 색역 계조의 범위를 확장할 수 있는 디더링 과정이 필요하다. 본 논문에서는 색역 사상을 위하여 각 장비의 출력 특성을 고려한 비선형 사상 함수를 획득하여 이를 기반으로 하여 장비들간의 색역 일치를 이루었다. 디더링 과정에서는 채색시 발생하는 중복 면적의 특성을 고려하여 양자화 단계를 확장하는 비선형 순서 디더링과 오차 확산 방법에서 발생하는 경계 부분의 문드러짐과 인접색의 변형을 줄일 수 있는 변형된 오차 확산 방법을 제안한다.

## Abstract

Recently many devices print electronic images in a variety of ways. The reproduced color, however, is different from the original color because of the difference of hardware characteristics. To maintain device independent color, gamut mapping method is proposed. The proposed color gamut mapping uses nonlinear intensity mapping and clipping for saturation mapping on HSI color space. In the dithering operation, expanded nonlinear ordered dithering and modified error diffusion are proposed. The proposed ordered dithering uses expanded nonlinear quantization which considers overlapping phenomena of neighbored printing dots. In the modified error diffusion, quantization errors to be diffused are adjusted to improve both image blur and color change produced in the error diffusion. So, the printed image is similar to the image of monitor. Our results indicate that proposed algorithm can produce high quality image in the low bit color devices.

## I. 서 론

정보사회의 발전에 따라 인간이 접할 수 있는 정보의 양은 방대하고 그 종류도 다양해졌다. 다양한 정보들은 PC, workstation, FAX, 프린터 등과 같은 종류의 복합 매체들을 사용하여 새로운 서비스 형태로

공급되어 질 것이다. 이때 영상 정보의 정확한 전달과 변환 그리고 표현을 위해서는 칼라의 변환, 해석 및 표현의 연구가 뒷받침되어야 한다.

칼라에 대한 연구는 아직 시작 단계에 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 대부분 출력 장비들이 칼라 출력을 기본으로 요구하고 있다는 점에서 연구의 필요성이 절실하다. 이들 칼라 출력 장비들 사이에서도 칼라 프린터에서 칼라 정보를 변환하고 정확하게 표현하는 연구는 사용자들이 최종적으로 칼라 정보를 보존하고 이 용한다는 면에서 그 중요성이 높다고 할 수 있다. 그

\* 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: 1998年2月20日, 수정완료일: 1998年4月18日

러나 이러한 출력 장비들의 칼라 표현에 있어서는 각기 다른 방법과 칼라 좌표계를 사용하므로 정확한 칼라 표현을 위해서는 이들 장비들간의 좌표계 특성에 맞게 이를 일치시켜 줄 방법이 필요하다.<sup>[1-3]</sup> 각 출력 장비들의 칼라 표현 능력의 차이에 의해 칼라 표현 능력이 높은 모니터 등의 장비로부터 칼라 표현 능력이 낮은 프린터 등의 장비로의 일치 과정에서는 단순히 좌표계 변환 과정뿐만 아니라 칼라 감소에 의한 열화 현상을 향상시켜 줄 방법이 요구되어 진다. 또한 프린터 하드웨어 특성에 따른 채색 면적(marking area)이나 출력에 사용되는 용지의 특성에 따른 염료의 확산 등에 대해서도 고려가 이루어져야 정확한 칼라 정보의 재현이 가능하게 될 수 있다.

본 논문에서 제안된 색역(color gamut) 사상 방법은 최근 활발하게 연구되고 있는 장치 독립적인 색재현 분야 중에서 모니터와 프린터에 독립적인 색재현에 관한 연구이다. 이러한 장비들에 독립적인 색재현을 위해 먼저 모니터와 프린터의 색을 표현할 수 있는 범위인 색역을 측정하여서 이를 기준으로 두 장비들간의 색역 일치를 이루게 하였다. 이 색역 일치를 위해 채색 특성에 기반한 색역 사상 방법을 제안하였다. 이 채색 특성을 이용한 색역 사상은 채색시 발생하는 중복 면적의 변화를 함수화 하여서 명도 사상 과정에서 이용하였다. 명도 사상이 된 결과는 영상의 최대 채도 점을 기준으로 색역 절단 방법으로 채도 사상을 하였다. 이렇게 색역 사상된 결과를 프린트하기 위해서는 디더링 기법이 이용된다.

디더링 기법은 제한된 명암도로써 더 많은 명암도의 영상을 표현하기 위한 방법이다.<sup>[4-7]</sup> 이러한 디더링의 목표는 밝기 해상도 차이에서 발생하는 블록화 현상이나 모아레(moire) 패턴들을 제거하여 고화질의 영상을 얻는 것이다.<sup>[8]</sup> 이 과정에서 사용하는 칼라 수의 감소는 단지 밝기 해상도의 감소뿐만 아니라 프린트하는 색의 열화 현상을 발생시킨다. 이렇게 단순히 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 양자화 과정에서 발생하는 오차량을 보상하기 위해서 확장된 비선형 양자화 방법과 변형된 오차 확산 방법을 제안하였다. 확장된 비선형 양자화 방법은 여러 가지 형태의 디더행렬의 면적 변화량을

모두 양자화 단계 확대를 위하여 디더행렬 조합에 사용하였다. 본 논문에서 제안한 방법을 이용한 결과 양자화 단계의 확장으로 기존의 순서 디더링에서 발생하던 영역 뭉침 등의 현상들이 많이 제거되었다. 또한 제안된 변형 오차 확산 방법에서는 인접한 다른 색의 영역에는 양자화 오차를 줄여서 확산시켜 주고 유사색의 영역에서는 양자화 오차를 그대로 확산시켜 주어서 원래 색의 변형을 막으면서 오차 확산 방법의 장점을 유지시켜 줄 수 있도록 하였다.

제안한 방법을 하프톤 방식의 디지털 프린터에서 실 영상과 그래픽 영상에 대해 적용해 본 결과 색이 서로 잘 정합 되었으며 또한 영역 뭉침 현상과 모아레 패턴 등이 많이 제거되었음을 알 수 있었다.

## II. 색역 사상

색역 사상을 이루는 구성 요소로는 크게 색상(hue), 휘도(lightness) 그리고 채도(saturation)로 나눌 수 있다. 그러므로 이 세가지 요소는 고려되는 색공간 사이에서 색역사상의 대상이 된다.<sup>[3]</sup> 서로 다른 색역을 가지는 장치 사이에서 색역 사상시 색상의 변화는 최소화 하여야 한다. 이는 색상이 인간의 시각 속성에 가장 민감하기 때문에 사상에 의해 변화가 생길 경우 동일 색으로 인식하지 못하기 때문에 색상 사상을 하지 않는 것이다.

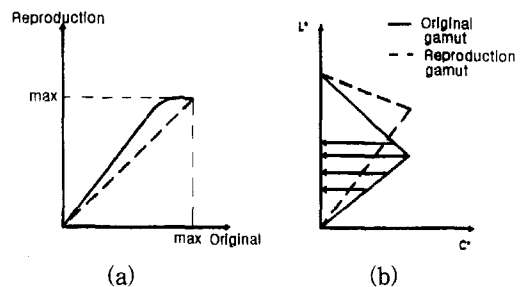


그림 1. 휘도 사상과 채도 사상 (a) 휘도나 채도 사상의 함수 (b) 휘도값을 유지하면서 채도 사상

Fig. 1. Lightness mapping and chroma mapping. (a) functions used for lightness or chroma compression. (b) chroma mapping along lines of constant lightness.

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 무채색 비를 고려하는 방법 등을 이용하기도 한다. 그림 1의 (a)에서 점선으로 나타낸 것은 선형적인 압축이고, 실선으로 나타낸 것은 비선형적인 압축으로써 밝은 부분은 약간의 클리핑을 하고 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.

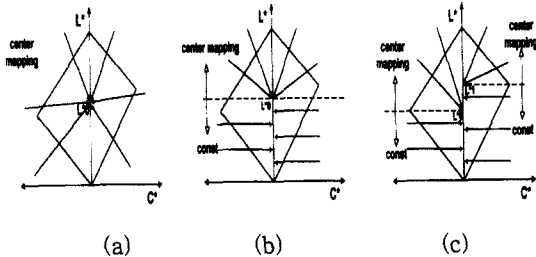


그림 2. 휘도와 채도가 같이 변하는 다양한 사상 방법 (a) 중심점,  $L^*=50$ 을 향한 사상 (b) 모든 색각도에 대해서 동일한 복합 사상 (c) 각각의 색각도에 대한 다른 앵커점을 가지는 복합사상

Fig. 2. Various gamut mapping combined the lightness and chroma. (a) gamut mapping toward the central point,  $L^*=50$ . (b) same hybrid gamut mapping on every hue angle. (c) hybrid gamut mapping having the different anchor point on each hue angle.

색역 사상의 또 다른 형태는 휘도와 채도값을 동시에 사상하는 것이다. 이는 색 공간에서 인접한 부분 사이에 부드러운 변화를 주기 위해서이다. 그림 2는 휘도와 채도값이 동시에 사상하는 방법을 나타내고 있다. 그림 2의 (a)는 색역밖의 색이 재현될 장치가 가지는 색역의 휘도 중심값을 향해 사상하는 방법이다. 이와 같은 방법은 사상 후 재현된 이미지의 대비가 낮아지는 결과가 나타난다. 이는 밝은 영역에 있는 색의 휘도값은 사상후 감소하고 어두운 영역에 있는 색의 휘도값은 사상후 반대로 증가하여 휘도값이 가지는 범위가 줄어들었기 때문이다. 그림 2의 (b)는 모든 색각도에 대해서 색역밖의 색이 재현될 장치 색역의 휘도

중심값보다 큰 값이면 중심을 향하여 사상하고, 그렇지 않으면 일정 휘도값에서 선형적인 사상을 하는 방법이다. 그림 2에서 (c)의 방법은 각각의 색각도에 따라 최대 채도값의 휘도를 기준으로, 이 값보다 큰 값이면 최대 채도값의 휘도값을 향해 사상하고, 그렇지 않으면 일정 휘도값에서 선형적인 사상을 하였다. 이는 각각의 색에 대한 밝고 어둠의 구분을 분명히 하기 위한 의도 때문이다. 그림 2의 (b)와 (c)의 방법은 (a)의 방법보다는 전체적인 대비가 높아지는 장점을 가지나 색역밖의 색과 재현할 색역간의 휘도나 채도의 관계를 고려하지 않았다. 따라서 넓은 색역 상에서 휘도와 채도값의 정도를 좁은 색역 상에서 알맞은 정도로 나타내기 위해서는 어려운 문제가 발생한다.

### III. 칼라 프린터를 위한 모델과 디더링

기존의 프린터는 한 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.<sup>[8,9]</sup> 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 채색 되어진다는 것을  $b_{i,j}^C=0$ 는 청록이 채색되지 않음을 의미한다. 프린터는 이진 성분을 가진 4차원의 벡터,  $b_{i,j}$ 들의  $N_w \times N_h$  디더 행렬에 의해 제어될 수 있다.

#### 1. 고정 임계치 기법

고정된 임계치를 가진 기법은 매우 간단하지만, 해상도의 감소로 인한 정보의 손실을 막지 못하기 때문에 현재는 거의 사용되지 않는다. 고정임계치 기법의

과정은 입력값을 고정 임계치와 비교해서 출력될 결과를 내보내는 것이다. 0 과 256 명암도 가운데서 고정된 값으로 임계치를 정함으로써 이진 레벨로 바꿀 수 있다.<sup>[4]</sup> 여기서 임계치를 어느 명암도 위치로 선택하는가가 중요한데, 보통은 0 과 255의 중간 부근인 127 정도에서 값을 선택하여 임계치를 삼고, 영상의 모든 화소에 대해서 이와 같은 과정을 수행한다.

2. 임의 디더링

가장 기본적이며 간단한 방법으로 구현하기 쉬운 반면에 영상을 정확히 표현하기 어려운 방법이다. 고정 임계치 방법에서와는 달리 임계치에 백색의 임의 잡음(white random noise)을 섞어서 임계치를 결정하게 되며 이론적으로 중요한 디더링 방법이다. 현재의 입력된 화소의 좌표가  $x, y$  이고 그 값이  $P_{xy}$  일 때 나올 수 있는 명암도  $P_n$  가운데서 임의로 정한 값을 임계치로 삼고, 그 값보다 클 때는 입력 영상의 최고치를, 적을 때는 입력 영상의 최저치를 출력한다. 즉

$$P_{xy} = \begin{cases} P_{\max}, & \text{if } P_{xy} > \text{Random}(P_n) \\ P_{\min}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

이 때,  $P_{xy}$ 는 현재 처리중인 화소이고,  $P_{\max}$ 는 최대치이며,  $P_{\min}$ 은 최소치이다. 임의 디더링은 인공 결점은 발생되지 않으나, 출력력이 매우 저칠게 나타나므로 잘 쓰이지 않는 방법이다.

3. 순서 디더링

임계치와 채색 위치가 그림 3과 같이 미리 결정되지만 행렬에 의해 다양한 값들로 만들어져서 전체적인 밝기 해상도를 결정한다. 정해진  $n \times n$  디더행렬을 사용하여서 밝기 해상도의 정도를 조절할 수 있지만 너무 큰 디더행렬을 사용할 경우 출력 영상이 커지는 단점이 있다.

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

그림 3. 4×4 디더행렬  
Fig. 3. 4×4 dither matrix.

그러나 프린터의 해상도가 높을 경우 큰 임계행렬을 이용하여 프린트된 영상의 밝기 해상도를 높일 수

있다. 이 디더링 방법은 먼저 행렬의 크기를 정한 후 모든 화소에 대해 동일한 행렬 값이 적용되기 때문에 병렬 처리가 가능하며 계산량이 적지만 미세한 부분의 표현이 어려우며 컴퓨터에 의해 만들어진 모아레 패턴들이 발생한다.<sup>[9]</sup>

4. 오차 확산 디더링

오차 확산 디더링 방법은 실질적인 밝기값을 나타 내지 못하는 출력장치에서 예리한 하프톤 영상을 만들어 내기 위해서 주로 사용하는 방법이다.<sup>[10,11]</sup> Floyd-Steinberg 등에 의해 제안된 이 방법은 현재 화소에서의 오차를 다음 화소들에 넘겨주어서 전체적으로 오차를 보상해 주는 방법을 취한다. 칼라 영상의 한 화소  $x_{i,j}$ 는

$$x_{i,j} = (x_{i,j}^R, x_{i,j}^G, x_{i,j}^B), \quad 1 \leq i \leq N_w, \quad 1 \leq j \leq N_H \quad (4)$$

으로 표현될 수 있으며  $N_w$  와  $N_H$ 는 영상의 크기를 나타낸다.

오차 확산에 의해 생성된 하프톤 영상을  $b_{i,j}$ 라고 두면 하프톤 영상의 청록색(cyan)은 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} v_{i,j}^R &= x_{i,j}^R - \sum_{m,n} h_{m,n} e_{i-m,j-n}^R \\ b_{i,j}^C &= \begin{cases} 0, & \text{if } v_{i,j}^R > t \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \\ e_{i,j}^R &= (1 - b_{i,j}^C) - v_{i,j}^R \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $v_{i,j}^R$  는 연속 명암도 영상의 임의의 화소 ( $i,j$ )에서 적색 성분이 보정된 값이며,  $h_{m,n}$ 은 오차 여파기의 임펄스 응답, 오차  $e_{i,j}^R$ 는 보정된 연속 명암도 영상 성분과 하프톤 영상 성분과의 차이값을 나타낸다. 이전 오차값은 오차 여파기의 오차 계수들이 곱해진 후 이진 영상  $b_{i,j}^C$ 를 얻기 위하여 문턱치 값으로 비교되기 전에 현재 명암도  $x_{i,j}^R$  에 더해진다. 다른 두 가지의 칼라 성분들도 비슷한 방법으로 정의된다. 오차 확산 디더링에 대한 전체적인 구조는 그림 4과 같으며, 이때 사용되어지는 Floyd-Steinberg 오차 여파기가 그림 5에 보여진다. 그림 5에서와 같이 ×로 표시한 중심 화소에 대하여 가까운 화소 즉 아래와 우측의 화소에 큰 비중을 두는 것은 그 화소들이 처리중인 화소와 연관성이 크기 때문이다. 이 방법은 각 화소에서 발생하는 양자화 오차를 인접 화소에서 보상하여 국부적인 명암도 값은 원영상의 국부 명암도 값과 같게 하여 화질 개선을 가져올 수 있으나, 계산상의 복잡성과

인접 화소들에 확산된 오차량의 영향으로 고스트(ghost) 현상이 때때로 일어난다.

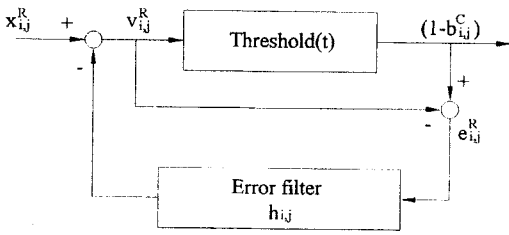


그림 4. 오차 확산 시스템  
Fig. 4. Error diffusion system.

( $\frac{1}{16}$ )

	×	7
1	5	3

그림 5. Floyd-Steinberg가 제안한 여파기  
Fig. 5. Floyd-Steinberg's filter.

#### IV. 제안된 색역 사상

프린트된 영상의 화질을 결정짓는 요소들은 다양하지만 그중에서 프린터 하드웨어에 많이 의존하게 된다. 현재의 대부분 프린터는 용지에 점을 채색할 경우에 정사각형의 형태가 아니라 그림 6와 같이 원의 형태로 프린팅 되어 진다. 따라서 점이 채색되는 위치, 순서에 따라서 점이 채색되는 면적이 달라지게 된다. 이를 고려하지 않았을 경우 출력된 영상의 명암도가 모니터 상에 나타난 영상의 명암도와 다르게 되는 주원인이 된다.

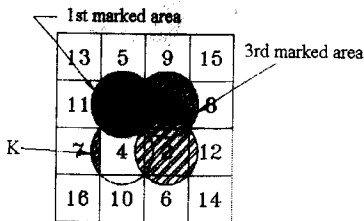


그림 6. 프린팅되는 점들의 중복 채색 영역  
Fig. 6. The printing of dots and their overlapping.

본 논문에서는 이때의 채색된 면적 변화량을 휘도 변화량으로 고려하여 이를 이용한 비선형 밝기값 사상과 이 과정에서 색역의 범위를 벗어나는 색에 대해서

는 동일한 밝기값을 유지하면서 최대 채도를 유지하는 색역 절단 방법을 이용한 채도 사상을 제안한다. 기존의 색역 사상에 비하여 프린터와 채색 용지의 특성을 고려하여 색역 사상에 이용하였기 때문에 사상을 원하는 각 장비간의 색의 차가 작게 발생할 수 있다.

본 논문에서는 제안된 밝기값 사상을 위해 그림 6에 나타난 cluster-dot 방식의 원형의 4x4 디더행렬을 이용하였다. 따라서 비선형 밝기값 사상도 이 채색 순서에 의한 휘도 변화량에 비례하는 비선형적인 형태로 이루어진다. 그림 7에서는 칼라 잉크젯 프린터의 전용지에서 디더행렬의 채색 순서에 따른 대응하는 명암도의 값을 제시한다. 휘도값 획득은 측정기를 이용하여 XYZ값을 얻은 후 이를 L\*a\*b\* 공간에서 D65를 reference로 이용하여 L\* 값을 얻었다. 채색 순서에 따른 명암도 변화를 L\*값에서 얻은 이유는 L\*a\*b\* 공간이 인간 시각의 색인지 특성을 가장 잘 표현하는 균일 좌표계들 중에 하나이기 때문이다. 이렇게 얻어진 휘도를 정규화 하여 0 ~ 1 범위의 값이 되게 하였으며 밝기값 사상은 인간 시각 특성을 고려하면서 빠른 처리를 가능하게 해주는 HSI 좌표계에서 수행하였다.

이 과정에서 측정된 비선형 사상 곡선은 기존의 수식을 변형하여 근사적으로 수식화하여 사용하였다. 이 과정에서 사용된 수식은

$$y = \frac{\log_e(1+\mu x)}{\log_e(1+\mu)} \tag{6}$$

이다. 여기서 x는 입력되는 이미지의 intensity이며 정규화된 값이다. y는 사상되어진 intensity이며 곡선이 굽어지는 정도를 나타낸다. 본 논문에서는 측정된 사상 곡선과의 오차를 최소화하기 위해서  $\mu$ 의 값으로 5를 사용하였다.

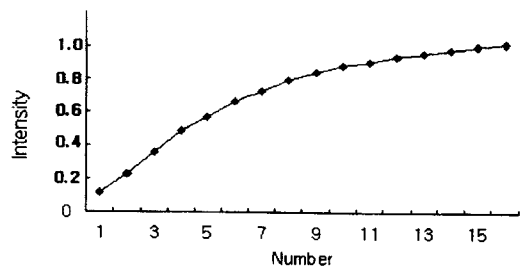


그림 7. 비선형 밝기값 사상  
Fig. 7. Nonlinear intensity mapping.

채도 사상을 위해서는 그림 8과 같이 휘도 사상 과정에서 색역 밖으로 나간 값들을 동일한 밝기값을 유지하면서 색역의 경계값들을 갖도록 하는 색역 절단 방법을 사용하여 모니터에 표현된 영상과 유사한 프린터 영상을 가지도록 하였다. 이 방법을 이용하면 사상될 색역의 안쪽에 있는 색에는 아무런 변화가 일어나지 않기 때문에 원래의 색을 보존하는 측면에서 좋은 결과를 보여준다. 그리고 색역 밖의 색들도 사상된 색역의 최대 채도값을 유지하는 장점이 있다. 본 논문에서는 색역 사상이 일어나는 칼라 공간으로 HSI 공간을 선택했다. 이는 HSI 공간이 인간 시각에 유사하면서 처리가 용이한 공간이고, 채도값과 밝기값의 구분이 쉬우며, 색역 사상 결과가 좋은 결과를 얻는다고 알려져 있기 때문이다.

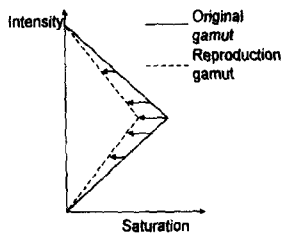


그림 8. 색역 절단에 의한 채도 사상  
Fig. 8. Saturation mapping using color gamut clipping.

V. 제안된 확장된 양자화 단계를 이용한 순서 디더링

현재의 대부분 프린터는 용지에 점을 채색할 경우에 원의 형태로 프린팅 되어 진다. 따라서 점이 채색되는 위치, 순서에 따라서 점이 채색되는 면적이 달라지게 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 면적 변화량으로 고려한 이유는, 4색(cyan, magenta, yellow, black) 칼라 프린트를 할 경우 3색에 의해서 만들어진 gray 성분을 black으로 대체할 때에 black 양의 선택의 문제가 발생할 수 있다. 이때에 휘도를 비교하여 black 양을 결정하게 되면 전체 영상의 밝기값을 유지할 수 있게 된다.

또한 본 논문에서는 기존의 디더링 과정에서는 한 가지 형태의 디더행렬만을 고려하여 양자화 단계를 결정짓던 방식에서 벗어나, 여러 가지 형태의 디더행렬의 면적 변화량을 모두 휘도 변화량으로 변환하여 자기 다른 휘도 변화값을 가지는 것들을 모두 양자화 단계 확대를 위하여 디더행렬 조합에 사용하였다.

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) (b)

그림 9. 디더행렬 (a) 원형 디더행렬 (b) 유사 디더행렬

Fig. 9. Dither matrix. (a) circular dither matrix. (b) similar dither matrix

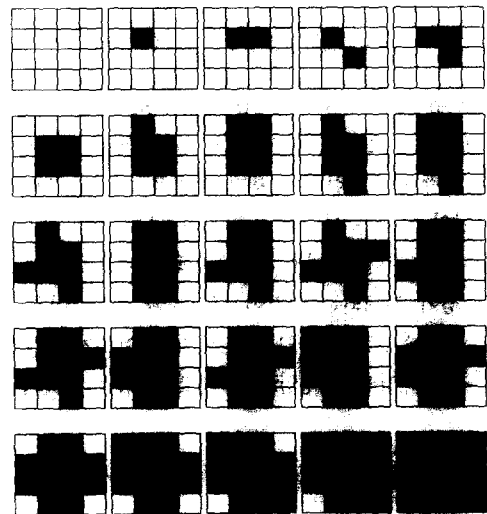


그림 10. 확장된 채색 순서  
Fig. 10. Expanded marking order.

본 논문에서는 제안된 방식의 비선형 양자화를 이용하는 순서디더링을 위해 우선 그림 9에 나타난 cluster-dot 방식의 원형의 디더행렬과 이와 유사한 형태의 디더행렬을 이용하였다. 비슷한 형태의 디더행렬을 이용한 이유는 두 가지 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 black양에 사용에 인한

디더행렬의 패턴이 다시 변화 되어야 하므로 이를 조정해 주는 과정이 어려워진다. 그림 10에서는 cluster-dot 방식의 원형 디더행렬과 유사 디더행렬의 조합에 의한 각 채색 단계별 순서를 보여준다. 이 순서를 보면 채색면적의 비선형적인 증가를 예측할 수 있다. 이 두 가지의 디더행렬에서 동일한 휘도값을 가진 부분들은 생략하고 휘도값이 다른 부분들만 양자화 단계의 확장을 위하여 사용된다.

표 1에서는 전용지에서 디더행렬의 채색 순서에 따른 휘도값과 대응하는 명암도의 값을 제시한다. 휘도값 획득은 측색기를 이용하여 XYZ값을 얻은후 이를 L\*a\*b\* 공간에서 D<sub>65</sub>를 reference로 이용하여 L\* 값을 얻었다. 얻어진 휘도를 정규화 하여 0-255범위의 밝기값이 되게 하였다.

표 1. 채색 순서에 따른 휘도값과 대응하는 명암도의 값

Table 1. Luminance according to marking order and corresponding gray level.

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

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.

### VI. 변형된 오차 확산 디더링

순서 디더링 기법의 대부분 적용에서는 이진화된 컴퓨터로 만들어진 인공적인 패턴이 나타나며, 오차 확산 방법의 결과에서는 방향성을 가지는 뱀 모양의 결점을 볼 수 있다. 또한 이 오차 확산 방법을 칼라

영상에 적용할 경우에는 전혀 다른 인접색에 영향을 주어서 색의 변형을 발생시킨다.

이 문제 해결을 위해서 본 논문에서는 변형된 오차 확산 방법을 제안한다. 이 제안된 방법은 양자화 오차의 확산 과정에서 유사색일 경우에는 양자화 오차를 확산시키고 다른 색이 인접해 있을 경우에는 확산을 줄여 줌으로써 원래의 색을 보존할 수가 있게 하였다. 제안된 알고리즘으로 색을 보존하기 위해서 양자화 오차를 확산하기 전에 먼저 양자화 오차 필터의 방향성으로 현재 화소와 오차가 확산될 화소간에 밝기값의 크기를 비교한다. 이렇게 비교된 차이가 오차 확산 과정에서 사용된 임계값 보다 크면 확산될 양을 줄여 주며 임계값보다 적을 경우는 기존의 오차 확산 필터 계수값에 따라서 오차를 확산 시켜 주게 된다. 제안된 방법에 의해 이진화된 청록색(cyan)은 아래의 수식으로 얻어진다.

$$v_{i,j}^R = \begin{cases} x_{i,j}^R - \sum_{m,n} h_{m,n} e_{i-m,j-n}^R, & \text{if } |x_{i,j}^R - x_{i+m,j+n}^R| < 0.5 \\ x_{i,j}^R - \frac{1}{4} \sum_{m,n} h_{m,n} e_{i-m,j-n}^R, & \text{if } |x_{i,j}^R - x_{i+m,j+n}^R| \geq 0.5 \end{cases}$$

$$b_{i,j}^C = \begin{cases} 0, & \text{if } v_{i,j}^R > t \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$e_{i,j}^R = (1 - b_{i,j}^C) - v_{i,j}^R \tag{7}$$

이 과정에서 임계값 보다 클 경우에 기존의 Floyd-Steinberg의 필터에 가중치를 주어서 사용하였으며 가중치와 임계값은 실험에 의존하여 사용하였다.

인접한 다른 색의 영역에 오차를 넘겨주는 과정에서 가중치를 주어서 줄이지 않고 양자화 오차를 전혀 넘겨주지 않았을 경우에는 미세한 변화가 많은 영상에서 임계디더행렬과 비슷한 이진화가 발생하게 되어 전체 영상의 특성을 잘 표현 할 수 없게 된다. 인접 화소간의 색의 차이를 빠르게 비교하기 위해서 cyan, magenta, yellow의 각 채널에 대해서 독립적으로 처리하였다.

제안된 방법을 사용한 결과 기존의 오차 확산 방법에서 발생하였던 인접한 다른 색의 영역에서의 색의 변형을 줄일 수 있었으며, 또한 경계선 부분에서의 영상의 문드러짐 현상들이 많이 개선되었다.

### VII. 실험 및 결과

본 논문의 실험을 위해 256×256 크기의 서로 다른 특징을 가진 영상들을 이용하였다. 실험 장비로는 LG

잉크젯 칼라 프린터를 사용하였으며 실험은 300 dpi 로 수행하였다. 잉크로는 LG 프린터에서 사용하고 있는 캐트리지를 이용하였으며 이를 표현하기 위한 채색 용지로는 LG 잉크젯 전용지를 사용하여 300dpi로 프린팅 하였다.

그림 11에서 UCR(Under Color Removal) 방식으로 제안된 확장된 비선형 양자화를 적용한 순서 디더링으로 프린트된 결과를 기존의 선형 양자화 방법과 순서 디더링 방법을 이용한 결과와 비교하여 보여주고 있다. 이 결과는 4×4 디더행렬을 이용할 경우 그림 11 (a)에서 기존의 순서 디더링이 16단계의 양자화 단계만을 이용함으로써 영역 뭉쳐짐 현상이 심하게 발생하며 연속 제조영상의 밝기값의 변별구간이 줄어들음을 볼 수 있다. 그러나, 그림 11 (b)에서 제안된 확장된 비선형 양자화를 이용하는 순서 디더링을 이용한 결과는 영역 뭉쳐짐 현상들이 많이 제거되었으며 또한 밝기값의 변별구간이 넓어졌음을 볼 수 있다.

그림 12에서 제안된 색역 사상 알고리즘을 이용하여 확장된 비선형 양자화와 변형된 오차 확산 디더링으로 프린트된 결과를 보여주고 있다. 먼저 프린터 색역에 모니터 색역을 매핑후 그 결과를 제안된 방법들로 출력하였다. 그림 12 (b)에서 색역 사상을 확장된 비선형 양자화를 이용한 순서디더링과 같이 적용하였다. 이 결과에서 보면 기존의 선형 양자화와 순서디더링을 이용한 방법에 비해서 색도 많이 좋아 졌으며 또한 영역 뭉쳐짐 등의 현상들도 많이 제거되었음을 볼 수 있다. 그러나 이 혼합된 방법을 사용할 경우에는, 양자화 값의 할당에 다른 고려가 필요하다. 색역 사상 과정에서 비선형 밝기값 사상 함수에 프린터의 채색 특성이 포함되어 있으므로 양자화 단계에도 그대로 이용할 경우 이중으로 포함되어 과도하게 포화될 수 있기 때문이다. 따라서 이 과정에서는 기준이 되는 원형 4×4 디더행렬을 채색 순서에 따라서 먼저 선형 양자화를 한후 첨가된 유사 디더패턴의 값을 비례적으로 할당하여 줌으로써 이 문제를 제거하였다. 그림 12 (c)와 (d)에서는 제안된 색역 사상 결과를 기존의 오차 확산 방법과 변형된 오차 확산 방법을 사용하여 프린트한 결과를 보여주고 있다. 기존의 오차 확산 방법을 사용한 결과와 비교하였을 때 변형된 오차 확산 방법이 인접 색의 영향을 줄여 줌으로써 색의 선명도가 좋아졌으며 또한 경계 부분의 문드러짐 현상도 많이 줄어들었음을 볼 수 있다.

프린트된 결과에서 보면 색역 사상 후 제안된 디더링 방법들을 이용하였을 때 색이 모니터색에 가깝게 근접하였으며 또한 영역 뭉쳐짐 현상 감소 등으로 화질이 많이 향상되었음을 볼 수 있었다.



그림 11. Color chart 영상 (a) 기존의 선형 양자화와 순서디더링 (b) 제안된 확장된 비선형 양자화와 순서디더링

Fig. 11. Color chart image. (a) linear quantization and order dithering. (b) proposed expanded nonlinear quantization and order dithering.

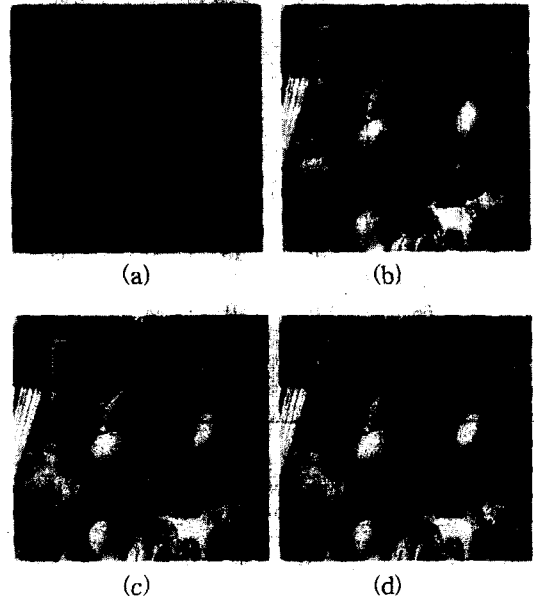


그림 12. Fruits 영상 (a) 기존의 순서디더링 (b) 제안된 색역 사상과 확장된 순서디더링 (c) 제안된 색역 사상과 오차 확산 (d) 제안된 색역 사상과 변형된 오차 확산

Fig. 12. Fruits image. (a) order dithering. (b) proposed gamut mapping and expanded order dithering. (c) proposed gamut mapping and error diffusion. (d) proposed gamut mapping and modified error diffusion.



## VIII. 결 론

본 논문에서는 모니터에 출력된 칼라와 프린트된 칼라 사이에 칼라를 정합하기 위한 새로운 방법과 제한된 칼라로 높은 해상도의 칼라 영상을 프린팅하기 위한 디더링 방법을 제안하였다.

장비들에 독립적인 색재현을 위해 각 장비의 출력 특성을 고려한 비선형 사상 함수를 획득하였다. 이 획득된 사상 함수를 기반으로 하여 두 장비들간의 색역 일치를 위해 더작은 색역을 가진 프린터로의 색역 사상 과정을 수행하였다. 이 제안된 방법은 영상 독립적 채색 방법으로 채색시 발생하는 중복 특성을 고려하여 색역 사상을 하는 방법으로 처리 시간을 줄이면서 장비들간의 근접한 색을 얻을 수 있었다.

디더링 과정에서는 적은 수의 칼라로 좋은 화질의 영상을 얻기 위하여 확장된 비선형 양자화 방법과 변형된 오차 확산 방법을 제안하였다. 제안된 확장된 비선형 양자화 방법은 순서디더링에서 발생하는 영역 뭉쳐짐 등의 효과를 줄이기 위하여 유사 디더행렬들의 조합으로 양자화 단계를 확장할 수 있었다. 변형된 오차 확산 방법에서는 인접한 다른 색의 영역에는 색의 오차를 줄여서 확산시킴으로써 원래 색의 변형을 줄일 수 있었으며 또한 색의 대비도 높일 수 있었다.

연구 결과 색역 사상 과정에서는 정확하고 빠른 연산을 위해 LUT 방식을 사용하는 것이 바람직 할 것이며, 이 과정에서 적은 계산량과 정확한 색일치를 위해 작은 LUT 설계와 보간에 대한 연구가 필요 할 것이다. 순서 디더링 과정에서 양자화 오차를 줄이기 위하여 더 많은 양자화 단계가 필요하며, 오차 확산 과정에서 확산시켜 줄 오차량의 영상에 적응적인 조절에 관한 연구가 필요로 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [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. Herzog 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] Robert Ulichney, *Digital Halftoning*, The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England, 1987.
- [5] 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.
- [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.

저 자 소 개



李 採 守(正會員)

1968年 3月 20日生 1994年 경북대학교 전자공학과 (공학사). 1996年 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사). 1996年 ~ 현재 동대학원 박사과정 재학중. 주관심분야는 칼라 영상 양자화, 칼라 프린팅, 장치간 칼라 일치등임



金 寬 萬(正會員)

1970年 4月 5日生 1993年 경북대학교 전자공학과 (공학사). 1995年 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사). 1995年 ~ 현재 동대학원 박사과정 재학중. 주관심분야는 칼라 영상 양자화, 멀티미디어등임



李 職 熙(正會員)

1969年 12月 26日生 1995年 경북대학교 전자공학과 (공학사) 1997年 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사). 1997年 ~ 현재 동대학원 박사과정 재학중. 주관심분야는 칼라영상처리, 칼라 프린팅임

河 永 浩(正會員)

第 32券 B編 第 12券 參照  
현재 경북대학교 전자전기공학부 교수