

論文2003-40SP-1-1

블루 노이즈 마스크와 분산 CMY 디더링을 이용한 하프토닝

(Halftoning Method Using the Dispersed CMY Dithering and Blue Noise Mask)

金允泰*, 趙良鎬*, 李澈熙**, 河永浩*

(Yun-Tae Kim, Yang-Ho Cho, Cheol-Hee Lee, and Yeong-Ho Ha)

요약

본 논문에서는 밝은 영역에서 K(Black) 대신에 C(Cyan), M(Magenta), Y(Yellow)를 공간적으로 흩어 서 출력하는 새로운 방법을 제안하였다. 어두운 영역에서 검은 점의 겹침은 밝기값을 감소시키며 밝은 영역 에서의 검은 점은 인간 시각 체계에 민감하다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서 하나의 마스크로 CMY를 동시에 사용하는 새로운 방법이 제안되었으며 CMY 점이 검은 점 대신에 밝은 영역에서 공간적으로 흩어져 출력된다. 그리고 어두운 영역의 그레이 값을 고려하기 위해서 톤 곡선 연결을 하였다. 기존의 방법에서 BNM(Blue Noise Mask)는 높은 난알 특성(granularity)과 밝기값 범위가 좁은데 반하여, 제안 한 방법은 낮은 난알 특성과 넓은 밝기 범위와 높은 대비도를 가진다. 제안한 방법이 기존의 방법보다 공간 적으로 다른 위치에 세 배에 해당하는 점을 사용하기 때문이다. 따라서 제안한 방법은 더 많은 공간적인 정 보를 표현하고 기존의 BNM 방법과 비교하여 더욱 원 영상과 유사하게 표현할 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose a new method dispersing spatially C(Cyan), M(Magenta), Y(Yellow) instead of K(black) in the bright region. The overlapping of black dots decreases brightness in the dark region, and black dots are very sensitive to human visual system in the bright region. Therefore, to avoid this problem, bright and dark gray region in the color image is considered in the proposed approach. A new method which uses CMY simultaneously in single mask is proposed, and CMY dots are used dispersing spatially for the bright region instead of black dot by this method. And tone curve connection is used to consider the gray level of dark region. In previous method, BNM (Blue Noise Mask) has high granularity and a narrow dynamic range. But the proposed method has the low granularity, wide dynamic range, and high contrast properties. Because the proposed method uses three times dots spatially in the different position than a conventional BNM, it can express more spatial information and a similar gray level compared with BNM.

Keyword : 디지털 하프토닝, 블루 노이즈 마스크, 분산 CMY 디더링, 인간시각체계모델, 난알 특성

* 學生會員, 正會員, 慶北大學校 電子電氣컴퓨터學部
(School of Electrical Engineering and Computer
Science, Kyungpook National Univ.)

** 正會員, 慶雲大學校 컴퓨터工學科
(Dept. of Computer Engineering, Kyungwoon Univ.)

※ 본 연구는 과학기술부 NRL 사업(M10203000102-02J0000-04810) 지원에 의해서 수행되었습니다.

接受日: 2000年10月24日, 수정완료일: 2002年10月21日

I. 서론

디지털 하프토닝 처리란 스캔된 사진이나 컴퓨터 그래픽과 같은 여러 레벨의 밝기값을 갖는 디지털 영상을 흑백의 이진 영상으로 표현하는 방법이다. 흑백 영상인 경우 국부 영역의 흑색 화소와 백색 화소의 공간적인 평균값으로 인식하는 인간 시각의 저역 통과 필터

터(LPF)의 특성이 이용된다. 현재에는 칼라 잉크젯 프린터의 보급으로 기존의 흑백의 이진 영상을 표현하기 위한 하프토닝 처리에서 칼라 영상을 표현하기 위한 하프토닝 처리로 발전하고 있다. 단순히 흑백의 하프토닝 방법을 칼라 하프토닝 방법에 적용시키거나 칼라 하프토닝 방법을 흑백에 적용시킬 경우에 몇 가지 문제점이 발생한다. 흑백의 하프토닝 방법을 칼라에 그대로 적용시키면 어느 정도의 톤 재현은 이루어지지만 정확한 색재현이 이루어지지 않는다. 또한 칼라 영상에 흑백의 성분이 포함될 경우에 칼라 하프토닝 방법만으로 처리한다면 흑백의 성분을 제대로 표현할 수 없다. 특히 대부분의 칼라 프린터에서는 칼라 잉크의 소모를 줄이고 흑백 성분의 표현시에 대비도를 향상시키기 위해서 UCR (under color removal) 방법을 사용하기 때문에 밝은 부분에서 검은 점의 사용은 인간 시각 특성에 민감하게 되고 부드러운 톤을 표현할 수 없다는 단점이 있다.

기존의 하프토닝 처리 방법에는 순서 디더링(ordered dither),^[1,2] 오차 확산(error diffusion),^[1~4] 최적화 기법을 이용한 DBS(direct binary search) 방법,^[5~8] 블루 노이즈 마스크(blue noise mask: BNM)를 이용하는 방법이 있다. 순서 디더링은 미리 정해놓은 임계 행렬을 이용하여 화소의 이진값을 결정하기 때문에 속도가 빠른 장점이 있으나 저해상도 프린터에서는 고정된 임계값의 사용으로 인한 규칙적인 패턴 때문에 화질의 열화가 생기는 단점이 있다. 오차 확산법은 화소의 이진화로 인한 양자화 오차를 주위의 화소로 확산시키는 방법이다. 경계가 분명하고 우수한 화질의 영상을 얻을 수가 있으나 화소마다 양자화 오차를 주위화소로 확산시킬 때의 많은 연산량 때문에 수행속도가 느리고 어두운 영역 또는 밝은 영역에서는 뱀 패턴(worm-like pattern)이 발생하는 단점이 있다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해서 처리 방향의 변경^[1,9]이나 필터 계수나 계수를 전달하는 범위의 변경^[10] 또는 문턱치 처리를 할 때 특정 상수 값으로 처리하는 대신에 입력값에 따른 문턱치를 변경시켜서 처리하는 방법^[11] 등이 연구되어졌다. 최적화 기법을 이용한 DBS 방법은 원영상과 초기 하프토닝 처리된 이진영상을 각각 저주파 필터를 사용하여 처리한 후 최소 오차를 비교하면서 현재 화소와 주변 화소의 0과 1의 상태를 교환해 나가는 방법이다. 이 방법은 일단 초기 패턴을 만든 후 많은 반복 과정을 거쳐서 최적의 패턴을 찾는 방법이므로 수행

시간이 많이 걸리는 단점이 존재하지만 영상의 화질은 현재 연구된 하프토닝 방법 중에 가장 좋다.^[5~8] 블루 노이즈 마스크를 이용하는 방법은 이진 영상이 공간 주파수 영역에서 블루 노이즈인 고주파 특성을 갖도록 하는 임계치로 구성된 마스크를 생성하여 입력 영상과의 화소 대 화소의 비교만으로 이진 영상을 얻는 방법이다. 모든 그레이 레벨에 해당하는 256개의 패턴을 128에서부터 아래와 위로 저역 통과 필터를 이용하여 균일하게 할당한다. 현재 단계에서 다음 단계로 넘어갈 때 스택 조건(stack constraint)을 만족하도록 패턴을 생성한다. 모든 256개의 패턴을 생성한 후 각 화소마다 화소의 값을 누적하여 더한 결과가 최종적인 블루 노이즈 마스크가 된다. 이 방법은 오차 확산에 비해서 속도가 빠르고 벌레 모양과 같은 패턴은 나타나지 않지만 결과 영상에 잡음이 섞여 보이며 경계가 선명하지 못한 단점이 있다.^[12~15]

이러한 하프토닝 방법은 그레이(gray) 영상에서 블랙 도트만으로 처리할 경우에 중간 밝기의 그레이 값은 잘 표현이 되지만 어두운 부분이나 밝은 부분의 그레이 값은 표현하기가 어렵다. 그레이 영상을 표현할 때 블랙 도트만을 사용하면 아주 어두운 부분에서는 잉크의 점침으로 인해 원영상의 밝기 값을 제대로 표현할 수 없다. 또한 밝은 부분에서는 블랙 도트의 패턴이 보이기 때문에 인간 시각에 거슬리는 도트 패턴이 보이게 된다. 제안한 방법에서는 이런 문제를 해결하기 위하여 밝은 영역에서 블랙 도트 대신에 CMY 도트를 공간적으로 흩어서 출력하는 방법을 제안하였다. 미리 입력 영상 밝기의 3배와 2배의 도트가 찍히는 것에 대응하는 그레이 레벨로 입력 값을 만들어 준다. 원영상의 도트와 각각의 도트가 모두 일치하는 패턴에 C를 할당하고 두개의 패턴이 일치하는 곳에 M를 할당하고 3개의 패턴이 모두 일치하지 않는 패턴에는 Y를 할당한다. 본 논문에서는 II장에서 기존의 하프토닝 방법에 대해서 설명하고, III장에서는 제안한 하프토닝 방법 즉 CMY를 공간적으로 흩어서 출력하는 방법, IV장에서는 실험 및 고찰, V장에서 결론에 대해서 설명한다.

II. 기존의 하프토닝 방법

1. Shiau와 Fan의 오차 확산법

Shiau와 Fan^[10]은 기존 오차 확산법의 뱀 패턴을 줄

이기 위해서 새로운 필터 계수와 그 계수를 전달받는 위치를 사용하였다. 이 오차 확산법은 입력화소(s_{mn})와 이전 화소에서의 오차(e_{mn})에 의해 보상된 입력(v_{mn}) 결과는 이 보상된 입력이 128보다 크면 255가 되고 작으면 0이 된다. 오차 확산법의 가중치 행렬 $w_{i,j}$ 는 8/16, 1/16, 1/16, 2/16, 4/16가 된다. <그림 1>은 Siau와 Fan의 오차 확산법을 보여주고 있다. N_{ij} 는 현재 화소에서 다음 화소로의 오차를 전달하는 위치를 나타낸다.

$$v_{mn} = s_{mn} + \sum_{i,j} w_{i,j} e_{m-i, n-j} \quad (1)$$

$$e_{mn} = v_{mn} - c_{mn} \quad (2)$$

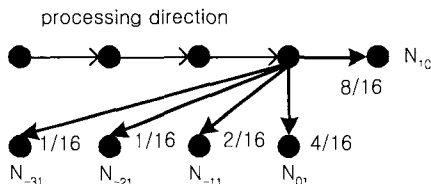


그림 1. Siau and Fan의 오차 확산법
Fig. 1. Error diffusion by Siau and Fan.

2. Allebach의 DBS 방법

최적화 기법을 이용한 DBS 방법^[5-8]은 원영상과 초기 하프토닝 처리된 이진영상을 각각 저주파 필터를 사용하여 처리한 후 최소 오차를 비교하면서 현재 화소와 주변 화소의 0과 1의 상태를 교환해 나가는 방법이다. <그림 2>에서 입력 원영상인 $f(x)$ 이 인간 시각 시스템 필터 커널 $\hat{h}(x)$ 을 통과하면 $\tilde{f}(x)$ 가 얻어진다. 또한 초기 하프토닝 처리된 영상 $g_0(n)$ 로부터 현재 화소와 주변 화소의 상태를 교환하는 스왑(swap) 처리한 $g(n)$ 을 얻는다. 이 $g(n)$ 를 $\hat{h}(x)$ 필터 커널을 통과시켜서 $\tilde{g}(x)$ 를 얻은 후에 아래의 식

$$\tilde{e}(x) = \tilde{f}(x) - \tilde{g}(x) \quad (3)$$

을 이용하여 두 영상의 오차를 계산한다. 최종적으로 $\tilde{e}(x)$ 를 최소로 하기 위해서 아래의 식

$$\arg \min_{g(n)} \int_x (\tilde{e}(x))^2 dx \quad (4)$$

을 이용하여 최종 결과 패턴인 $g(n)$ 을 얻는다.

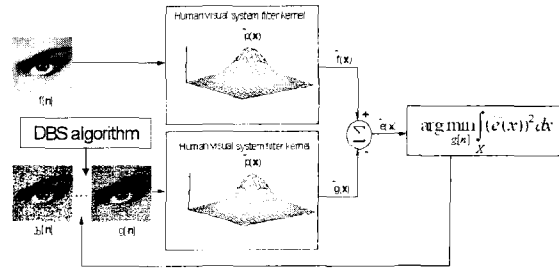


그림 2. DBS의 블록도
Fig. 2. Block diagram of DBS.

3. Mitsa와 Parker의 블루 노이즈 마스크 방법

저주파의 상관성이 없는 이진 패턴은 인간 시각에 좋은 특성을 나타낸다. 이런 패턴의 분광분포는 블루에 해당하는 높은 주파수 주위에 집중되어 있기 때문에 블루 노이즈 특성을 가진다. 블루 노이즈란 용어는 Ulichney^[11]에 의해서 처음으로 제안된 것으로 공간 주파수상에서 인간 시각에 주기적인 패턴으로 보이는 저주파수 영상에 대응하는 것으로 고주파 성분을 뜻한다. 이 블루 노이즈 성질은 인간 시각에 아주 좋은 패턴을 나타내며, 오차 확산법도 결국은 공간 주파수 측면에서는 블루 노이즈 성질을 나타낸다. 이 블루 노이즈 성질을 마스크를 이용하는 방법은 Mitsa와 Parker^[12]에 의해서 처음으로 제안되었다. 블루 노이즈 마스크는 각각의 화소가 문턱치 값이고 이 문턱치 값이 랜덤하게 분포되어 있어서 순서 디더링에서 나타나는 규칙적인 패턴이 나타나지 않고 도트를 더욱 균일하게 분산시킬 수 있는 장점이 있다.

4. Ulichney의 보이드(void)-클러스터(cluster) 방법

Ulichney는 보이드-클러스터 방법으로 블루 노이즈 마스크를 만드는 방법을 제안하였다.^[16] 이 방법은 저주파수의 도트가 뭉쳐있는 보이드나 클러스터 성분을 제거하면서 블루 노이즈 성분을 갖는 마스크를 만드는 방법이다. 256개의 그레이 레벨에 해당하는 도트 패턴을 만들고, 각 도트 패턴에서 0에서 127에 해당하는 패턴에서는 흰점이 소수(minority)가 되어서 저주파 필터를 사용하여 이 흰점이 뭉쳐져 있는 곳에서는 흰점이 없는 곳으로 흩어주고, 흰점이 흩어져 있는 곳에서는 어느 정도 흰점이 보이도록 뭉쳐주는 방법이다. 128에서 255에 해당하는 패턴에서는 검은점이 소수가 되면 흰점일 때와 같은 방법으로 패턴을 만들어낸다. 최종적으로 256개의 패턴을 정규화 하여서 문턱치 마스크를

만든다. 이 방법 역시 Mitsa와 Parker에 의해서 제안된 블루 노이즈 마스크 방법과 거의 동일한 결과를 나타낸다.

III. 제안한 하프토닝 방법

1. 인간 시각 체계 모델

시각의 공간 주파수 특성뿐만 아니라 각도에 대한 특성을 반영하기 위해서는 시각의 MTF (Modulation Transfer Function)가 필요하며, Daly^[2]는 시각의 MTF를 아래와 같이 나타내었다.

$$F_w = \begin{cases} a(b + c\hat{f})\exp(-(c\hat{f})^d), & \text{if } \hat{f} > f_{\max} \\ 1.0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

여기서 a, b, c, d 는 실험에 의한 값이며, 각각은 2.2, 0.192, 0.114, 1.1의 값을 가진다. u, v 는 주파수 영역에서의 수직, 수평축을 나타내고, F_w 는 시각의 MTF 합수를 나타낸다. \hat{f} 는 관찰 거리에 대한 시각의 방사 공간 주파수 특성을 나타내며, f_{\max} 는 F_w 가 최대값을 가질 때의 주파수이며, F_w 는 1로 정규화 하였다.

$$\hat{f} = \frac{f}{s(\theta)} \quad (6)$$

여기서 $f = \sqrt{f_u^2 + f_v^2}$ 이고, $s(\theta)$ 는

$$s(\theta) = \frac{1-w}{2} \cos(4\theta) + \frac{1+w}{2} \quad (7)$$

w 는 조정 변수이고, θ 는

$$\theta = \arctan\left(\frac{f_u}{f_v}\right) \quad (8)$$

로 나타낼 수 있다.

2. 도트 패턴을 이용한 블루 노이즈 마스크의 생성 방법

블루 노이즈 마스크는 주파수 영역에서 블루 노이즈 특성을 가지는 이진 패턴을 생성하는 2차원의 마스크이다. 저주파 성분이 없고 고주파 영역에서 평탄한 대역을 가지며 각 마스크의 화소 값은 문턱치를 나타낸다. 그러므로 화소 값의 비교만으로 하프토닝 처리된 영상을 얻을 수 있다.

블루 노이즈 마스크를 생성하기 위해서는 밝기값이 128이고 크기가 $N \times N$ 인 백색 잡음 스크린으로 이진 패턴을 만든다. 이 이진화된 패턴을 $B(i, j, g)$ 라 하며, 이 패턴을 2차원 푸리에 변환을 하여 $B(u, v, g)$ 를 만든다. 이 변환된 값을 식 (5)에서 정의한 2-D 필터 $F_{u,v}$ 에 통과시켜 $B'(u, v, g)$ 를 만들고, $B'(i, j, g)$ 와 밝기값 g 의 오차 $e(i, j, g)$ 를 구한다. $e(i, j, g)$ 를 큰 값부터 작은 값으로 정렬한 후 제일 큰 값과 작은 값이 위치하는 0은 1로, 1은 0으로 교환하고, 같은 방법으로 2번째 큰 값과 2번째 작은 값이 위치하는 0은 1로 1은 0으로 P쌍만큼 교환한다.

이렇게 해서 현재의 $MSE(i, j, g)$

$$MSE(i, j, g) = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [e(i, j, g)^2] \quad (9)$$

를 구하고, 앞단계에서 구한 $MSE(i, j, g)$ 값과 비교해서 작거나 같으면 다시 위의 과정을 반복하고, 크면서 P 가 1이 아닌 경우는 $P = P/2$ 로 하여 반복하고 $P = 1$ 이면 끝낸다. 구해진 초기 패턴을 이용하여 밝기값이 $\pm \Delta g$ 만큼 변화함에 따라 초기 패턴에서 아래위로 패턴들을 만들어간다. 8비트 영상에서 일반적으로 Δg 는 1이며, g 가 128이므로 128에서 255까지의 상승단계와 128에서 0으로의 하강 단계로 나누어 처리해준다. 먼저 $B'(j, i, g)$ 가 0인 흑점들 중에 $(N \times N)/256$ 개를 랜덤하게 1인 백점으로 교환하고, 초기 패턴을 만들 때와 같은 방법으로 2-D 푸리에 변환과 필터 처리를 통해서 $B(i, i, g)$ 를 구하고, 밝기값 g 와의 $MSE(i, j, g)$ 를 구한다. 최적을 $MSE(i, j, g)$ 를 찾을 때까지 위의 과정을 반복하면 $B(i, j, g+1)$ 를 얻을 수 있다. 이 과정을 $g + \Delta g$ 가 255가 될 때까지 반복하면 상승 단계에서의 128개의 최적의 블루 노이즈 특성을 가지는 패턴을 얻게 된다. 같은 방법을 사용하면, $g - \Delta g$ 부터 0이 될 때까지 하강 단계의 128개의 최적을 패턴도 얻게 된다. 마침내, 8비트 그레이 레벨에서는 256개의 도트 패턴이 만들어지고 각 화소의 값은 0과 1로 정규화 되어서 화소대 화소로 더해진다. 따라서 모든 그레이 레벨의 문턱치를 가지는 블루 노이즈 마스크가 만들어진다.

2. 분산 CMY 디더링을 이용한 출력방법

블랙 도트만으로 그레이 레벨을 표현할 경우에 중간 그레이 레벨은 잘 표현되지만 아주 어두운 그레이 레벨이나 밝은 그레이 레벨은 잘 표현되지 않는다. 즉

CMYK 4색 인쇄의 경우 CMY의 잉크가 중첩되는 영역에서는 K를 이용하여 무채색을 표현한다. 이때 밝은 영역에 K 도트로만 출력할 경우에 눈에 거슬리게 나타나므로 부드러운 톤을 잘 표현하지 못하는 문제점이 있다. 따라서본 논문에서는 밝은 부분을 출력할 때는 블랙 도트 대신에 공간적으로 CMY를 흩어 출력하여 K를 대체한다. 블루 노이즈 마스크는 현재 그레이 레벨에서 다음 그레이 레벨을 표현할 때 상관관계를 고려하여 현재 그레이 레벨의 도트를 변화시키지 않고 다음 그레이 레벨을 표현한다. 이러한 상관 관계를 이용하여 입력 값이 171 이상의 그레이 레벨 값이면 이 그레이 레벨을 표현하기 위해서 찍는 도트의 3배의 도트에 해당하는 값으로 입력 값을 바꾸어준다. 이때 문턱치가 171의 그레이 레벨 값 되어야하는 이유는 256×256 크기의 블루 노이즈 마스크를 사용하기 때문에 256 그레이 레벨을 표현할 때 한 단계 그레이 레벨을 올리기 위해서는 256개의 도트가 필요하다. 이 방법은 1개의 블랙 도트를 표현하기 위해서는 CMY 3개의 도트를 흩어서 빈 공간에 찍어 주어야 하기 때문에 최대 171 그레이 레벨까지는 블랙 도트 대신에 CMY 도트를 찍을 수 있지만 그 이하의 레벨이 되면 도트가 서로 겹쳐져서 패턴이 손상된다. 171 이하의 그레이 레벨 값에서는 블랙 도트 대신에 CMY 값을 흩어서 출력하면 도트가 겹쳐져서 눈에 거슬리는 패턴이 나타난다. 위와 같은 방법으로 한 개의 블루 노이즈 마스크를 사용하여 CMY 도트를 균일하게 흩어 출력한다.

제안한 방법은 먼저 입력과 동일한 그레이 레벨에 C을 할당하고 입력 그레이 레벨의 두 배에 해당하는 패턴과, 세 배에 해당하는 값의 패턴을 만든다. 이 세 개의 패턴이 동시에 일치하면 C을 할당하고, 이전의 C을 할당한 패턴과 두 개의 패턴이 일치하면 M, 그리고 C과 M을 할당한 패턴에 서로 일치하는 패턴이 없는 경우에는 Y를 할당한다. <그림 3>은 임의의 블랙 도트를 CMY 조합으로 출력하는 예를 보여준다. (a)는 기준 패턴이고 (b)와 (c)는 기준 패턴에 두 배와 세 배의 도트를 출력했을 때의 패턴이다. (d)는 (a)와 (b) 및 (c) 세 개의 패턴이 일치했을 때 C이 할당된 것이고 (e)는 (b)와 (c) 두 개의 패턴이 일치했을 때 M가 할당된 것을 보여준다. (f)는 (a)와 (b) 및 (c) 세 개의 패턴이 일치하지 않았을 때 Y가 할당된 것을 보여준다. 제안한 방법에서는 문턱치가 전체 그레이 레벨의 2/3가 되어야 한다. 마스크의 크기가 256×256 이고 한 개의 그레이

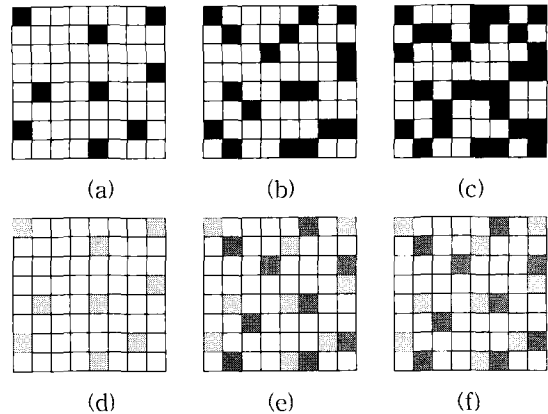


그림 3. CMY를 흩어서 출력하는 방법의 예 (a) I의 패턴, (b) I'의 패턴, (c) I''의 패턴, (d) C을 할당, (e) M를 할당, (f) Y를 할당
 Fig. 3. Example of dispersed CMY dithering (a) pattern of I, (b) pattern of I', (c) pattern of I'', (d) assign to C, (e) assign to M, and (f) assign to Y.

레벨을 증가시킬 때마다 256개의 도트가 필요하기 때문에 만약 그레이 레벨이 전체 그레이 레벨의 2/3보다 낮으면 CMY 도트가 겹쳐져 출력된다.

이러한 CMY 도트를 흩어서 출력하는 방법은 171에서 255까지의 85개의 그레이 레벨에 적용된다. 나머지 그레이 레벨인 0에서 170까지 해당하는 부분은 블랙 도트로 출력한다. CMY 조합으로 모든 그레이 레벨을 표현하면 블랙 도트로 그레이 레벨을 표현하는 것과 CMY를 흩어 출력하는 것과의 밝기 값의 차이가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 각각의 방법에 대한 CIEL*a*b* 값을 이용하여 밝기값을 구하여 톤 곡선을 연결해 준다. 두 가지 방법의 톤 곡선의 연결로 왜곡이 없는 선형적인 재현도 가능하다.¹¹⁷⁾

<그림 4>는 블랙과 CMY를 이용한 출력에 대한 CIEL*a*b*의 측정결과를 보여준다. CMY 조합을 이용한 방법에서는 171 이하에서는 도트가 중첩되기 때문에 171 이상에서만 측정하였다. <그림 5>는 <그림 4>에서 측정한 결과로부터 CIEL*a*b* 좌표 값으로 톤 곡선을 연결한 결과를 보여준다. CMY 조합을 이용했을 때의 171의 값과 블랙을 이용했을 때의 192의 그레이 레벨의 밝기값이 같기 때문에 0에서 170까지의 그레이 레벨은 블랙 도트를 사용했을 때의 21에서 191까지의 값으로 대신 출력하고 171에서 255까지는 CMY 조합으로 출력하여 전체 톤 곡선을 얻었다. CMY의 171 그레이 레벨과 매칭이 되는 K의 그레이 레벨을 찾기 위해

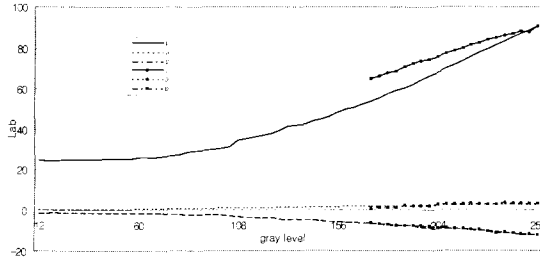


그림 4. 블랙 도트와 CMY 도트를 사용하여 구한 톤 곡선

Fig. 4. Tone curve using black and CMY dots.

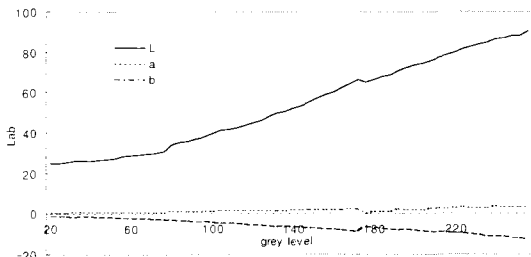


그림 5. 블랙 도트와 CMY 도트를 사용한 톤 곡선 연결
Fig. 5. Connection of tone curve using black and CMY dots.

표 1. CMY 패치와 K 패치의 비교 실험

Table 1. Experiment comparing CMY patch with K patches.

실험자	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K 패치	193	192	192	193	192	192	192	192	192	190

서 실험자 10명을 두고 171 CMY 패치와 가장 유사한 패치를 256개의 K 패치에서 찾게 하였다. 실험에서 6명의 실험자가 192에 해당하는 K 패치를 선택하였다. 따라서 CMY의 171에 해당하는 패치로 K의 192 패치를 선택하였다. <표 1>은 10명의 실험자가 선택한 K 패치를 보여주고 있다.

IV. 실험 및 고찰

1. 톤 곡선 측정

톤 곡선을 얻기 위한 CIEL*a*b*값 측정을 위해서 분광 광도계 Minolta CM3600d를 사용하였으며, 프린터는 300dpi의 HP 895C를 사용하였다. 분광 광도계로 그레이 레벨 171에서 255까지의 85개의 패치를 CMY의 조합으로 출력하여 CIEL*a*b* 색좌표 값을 측정하였다.

0에서 255까지의 모든 그레이 레벨에 대해서는 K를 사용하여 256개의 패치를 만들어서 CIEL*a*b*값을 측정하였다.

2. 영상의 객관적 평가를 위한 RMS 난알 무늬

영상의 화질의 평가를 위한 객관적인 판단 기준은 출력된 영상에서 평가되어야 한다. Miyata^[18]는 디지털 영상 자체의 데이터로부터 RMS 난알무늬 (granularity)를 계산하였다. 그러나 제안한 방법에서는 기존의 블랙 도트로만 출력했을 때와 CMY 도트를 혼합하여 출력했을 때의 휘도값만의 비교만으로는 평가할 수 없기 때문에 CIEL*a*b* 좌표계에서 L*, a*, b* 값을 동시에 고려한다. 이는 인간 시각이 색도 값보다는 휘도 값에 더 민감한 특성을 가지기 때문이다. 따라서 Miyata가 단지 흑백의 이진 영상에서 휘도값만을 고려했던 것과는 달리 제안한 방법에서는 색도 값 보다는 휘도값에 더 큰 가중치를 준 값을 RMS 난알 무늬를 계산하는 데 이용하였다.

$$D = (1 - a)L + aC \quad (10)$$

여기서 D는 휘도 대 색도 비를 나타내며 L은 휘도값, C는 색도값, a는 상수값이다. 인간시각 특성에서 휘도값과 색도값의 비가 4:1의 관계에 있기 때문에 a의 값을 0.2로 정하였다. 따라서 색도값 C는 아래의 식과 같이 계산된다.

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (11)$$

$$R_g = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (Dm_{ij} - D_0)^2} \quad (12)$$

식 (12)에서 9×9의 윈도우를 원영상에 마스크 씌워서 국부 영역의 평균값 Dm_{ij} 을 구한 후에 현재 화소의 휘도 대 색도비 D_{ij} 와의 RMS 난알무늬 값을 계산하였다. D_{ij} 값은 식(10)을 사용하여 윈도우 마스크 내의 화소가 C, M, Y, K, W 중의 어떤 값을 가지는지를 비교해서 각 화소의 값을 <표 2>에 있는 D값으로 선택한다. <표 2>는 C, M, Y, K, W 각각의 L*, a*, b* 값과 아래의 식

$$\begin{cases} D_C, & \text{if } D_{ij} = C \\ D_M, & \text{if } D_{ij} = M \\ D_Y, & \text{if } D_{ij} = Y \\ D_K, & \text{if } D_{ij} = K \\ D_W, & \text{if } D_{ij} = W \end{cases} \quad (13)$$

에서 구한 D값을 나타낸다. 기존의 블랙 도트로만 출력했을 때와 제안한 방법의 비교를 위해서 RMS 난알무늬를 사용하였다. 이것은 출력했을 때의 점들이 인간 시각에 얼마나 두드러지게 나타나는가를 평가하는 기준이 된다.

표 2. C, M, Y, K, W에 대한 L*, a*, b*, D 값

Table 2. L*, a*, b*, D value of C, M, Y, K, W.

	L*	a*	b*	D
C	69.2049	31.8651	35.0469	63.2373
M	55.3168	49.8423	-22.2771	60.8322
Y	87.1605	2.8101	63.3097	82.4028
K	19.4096	0.4468	1.1680	15.7777
W	93.1294	2.7670	-9.6726	76.5156

기존 방법과 제안한 방법에서 식 (12)를 사용한 RMS 난알무늬는 <표 3>에서와 같이 BNM는 25.14, 보이드-클러스터 방법은 24.35, Shiao의 오차 확산법은 22.82이며 제안한 방법은 17.56이다. RMS 난알 무늬 값이 작을수록 밝은 영역에서 점의 분포가 고르게 나타나서 인간 시각에 좋은 결과를 나타낸다. 따라서 제안한 방법이 기존 방법보다 RMS 난알 무늬값이 작기 때문에 밝은 영역에서 점의 분포가 고르다는 것을 알 수 있다.

표 3. RMS 난알무늬 값

Table 3. RMS granularity value.

	BNM 방법	보이드-클러스터 방법	Shiao의 오차 확산법	제안한 방법
Rg	25.14	24.35	22.82	17.56

3. 주관적 화질 비교

실험에서 사용된 영상은 흑백의 Airplane, Bicycle 영

표 4. 주관적 화질 평가에 의한 결과

Table 4. The result of psychophysical test.

실험영상	BNM 방법	보이드-클러스터 방법	Shiao의 오차 확산법	제안한 방법
Bike	2.6	2.4	4.2	4.8
Airplane	2.5	2.5	4.1	4.9

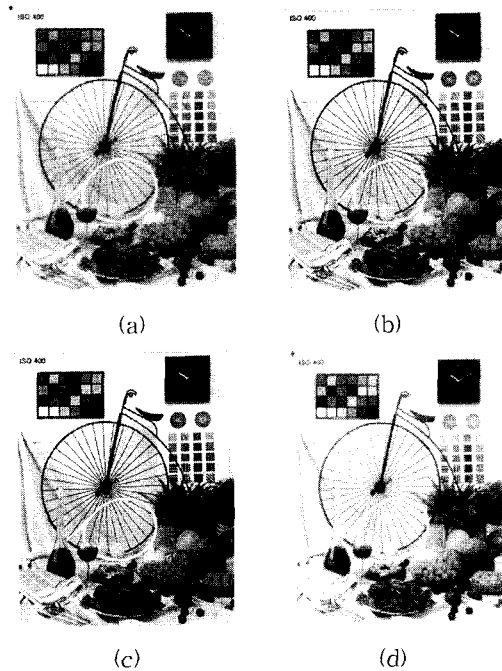


그림 6. B/W Bicycle 결과 영상 (a) BNM 방법, (b) 보이드-클러스터 방법, (c) Shiao의 오차 확산법, (d) 제안한 방법

Fig. 6. Result for B/W Bicycle image (a) BNM, (b)void-cluster method, (c) Shiao's error diffusion, and (d) proposed method.

상이며, <그림 6(a)>는 Mitsa와 Parker의 블루 노이즈 마스크를 이용한 결과 영상, <그림 6(b)>는 Ulichney의 보이드-클러스터의 결과 영상, <그림 6(c)>는 Shiao의 오차 확산법에 의한 결과 영상이고 <그림 6(d)>는 제안한 방법에 의한 결과 영상이다. Bicycle 영상의 자전거 바퀴 살 부분에 대하여 제안한 방법에서는 기존 방법의 결과들보다 바퀴살이 선명하게 나타나고 있으며 배경 부분에서도 블랙 도트를 사용하지 않았기 때문에 부드러운 톤을 표현할 수 있었다. 물론, K와 W 대신에 CMY 도트를 사용하였기 때문에 약간의 색 성분이 나타나는 단점이 있지만 포도가 있는 영역에서도 포도의 모양을 더 세밀하게 잘 표현하였고 도트가 뭉쳐지지 않는 장점을 보여준다. 이것은 기존의 블랙 도트만으로 처리했을 때는 좁은 그레이 레벨의 범위를 가지고 밝은 부분에서는 블랙 도트가 눈에 현저하게 나타나서 인간 시각에 거슬리지만 제안한 CMY 조합을 이용한 방법에서는 기존 방법들에 비하여 같은 그레이 레벨을 표현할 때 공간적인 정보를 더욱 잘 표현하므로 인간시각에 거슬리지 않는 패턴을 표현할 수

있었다.

또한 피실험자 10명을 선택해서 주관적 화질 평가를 실시하였다. 실험 방법은 4가지의 프린터 출력 영상을 놓고 10명의 실험자에게 화질이 가장 좋은 것부터 좋지 않은 순서대로 선택한 후 점수를 매기게 했다. 가장 좋은 것은 5점이고 가장 좋지 않은 것은 2점이다. <표 4>는 Bilke 영상과 Airplane 영상에 대해서 실험을 한 후에 평균을 계산한 결과값이다.

V. 결 론

흑백 영상을 블랙 도트로만 하프토닝 출력할 경우에 중간 밝기의 그레이 값은 잘 표현이 되지만 어두운 부분이나 밝은 부분의 그레이 값은 표현하기가 어렵다. 그레이 영상을 표현할 때 블랙 도트만을 사용하면 어두운 부분에서는 잉크의 겹침으로 인해 원래 영상의 밝기 값을 제대로 표현할 수 없다. 또한 밝은 부분에서는 블랙 도트의 패턴이 보이기 때문에 인간 시각에 거슬리는 경향을 보이게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 밝은 영역에서는 블루 노이즈 마스크를 이용하여 블랙 도트 대신에 CMY 도트가 겹쳐지지 않고 흩어서 출력하는 방법을 제안하였다. 제안한 알고리즘으로 무채색 영역을 블루 노이즈 마스크를 이용하여 출력할 경우 약간의 색성분이 나타나는 단점이 있지만 블랙 도트 대신에 CMY 조합을 사용하기 때문에 기존의 방법보다 영상의 대비가 높고 화질이 우수한 결과 영상을 얻을 수 있다. 실험에서 CMY로 처리된 영역은 균일하고 원영상에 가까운 결과를 나타내었다.

참 고 문 헌

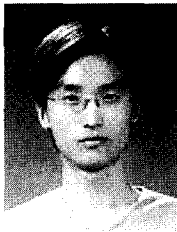
[1] R. Ulichney, *Digital Halftoning*, The MIT Press, 1993.
 [2] H. R. Kang, *Color Technology For Electronic Image Device*, SPIE Optical Engineering Press, 1996.
 [3] K. T. Knox, "Evolution of Error Diffusion," *SPIE Color Imaging : Device Independent Color Imaging*, San Jose, USA, Vol. 3648, pp. 448~458, Jan. 1999.
 [4] 최원희, 이철희, 김정엽, 김희수, 하영호, "벡터오

차 확산법을 이용한 색보정 기반의 칼라 중간조 처리법," *대한전자공학회*, 제37권, SP편 5호, pp. 426~433, 2000년 9월.

- [5] D. J. Lieberman and J. P. Allebach, "A dual interpretation for direct binary search and its implications for tone reproduction and texture quality," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 9, No. 11, pp. 1950~1963, Nov. 2000.
 [6] P. Li and J. P. Allebach, "Look-up-table based halftoning algorithm," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 9, No. 9, pp. 1593~1603, Sep. 2000.
 [7] J. P. Allebach, "DBS: Retrospective and future directions," *SPIE Color Imaging : Device Independent Color, Color Hardcopy, and Graphics Arts VI*, San Jose, CA, USA, Vol. 4300, pp. 358~376, Jan. 2001.
 [8] F. A. Baqai and J. P. Allebach, "Printer models and the direct binary search algorithm," *1998 IEEE International Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing*, Seattle, WA, USA, pp. 2949~2952, May 1998.
 [9] L. Velho and J. Comes, "Stochastic screening dithering with adaptive clustering," *Proceedings of SIGGRAPH 95*, Los Angeles, California, USA, pp. 273~276, Aug. 1995.
 [10] J. Shiao and Z. Fan, "A set of easily implementable coefficients in error diffusion with reduced worm artifacts," *SPIE Color Imaging: Device Independent Color, Color Hardcopy, and Graphic Arts*, San Jose, CA, USA, Vol. 2658, pp. 222~225, Jan. 1996.
 [11] R. Eschbach and K. T. Knox, "Error diffusion algorithm with edge enhancement," *Journal of Optical Society in America A*, Vol. 8, No. 12, pp. 1844~1850, Aug. 1991.
 [12] T. Mitsa and K. J. Parker, "Digital halftoning technique using a blue-noise mask," *Journal of Optical Society in America A*, Vol. 9, No. 11, pp. 1920~1929, Nov. 1992.
 [13] Q. Yu, K. Parker, M. Yao and K. J. Parker, "Modified approach to the construction of a

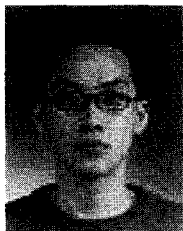
- blue noise mask," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 3, No. 1, pp. 92~97, Jan. 1994.
- [14] Q. Yu and K. Parker, "Adaptive color halftoning for minimum perceived error using the blue noise mask," *SPIE Color Imaging: Device Independent Color, Color Hard copy, and Graphics Arts II*, San Jose, CA, USA, Vol. 3018, pp. 272~276, Jan. 1997.
- [15] Y. T. Kim, J. Y. Kim, H. S. Kim, and Y. H. Ha, "Halftoning Method by CMY Printing Based on BNM," *Eighth Color Imaging Conference: Color Science and Engineering*, Scottsdale, Arizona, USA, pp. 252~256, Nov. 2000.
- [16] R. Ulichney, "The Void-and-Cluster Method for Dither Array Generation," *Human Vision, Visual Processing, and Digital Display IV*, San Jose, CA, Vol. 1913, pp. 332~343, Feb. 1993.
- [17] H. Yamashita, "Designing method for tone and color reproducibility of digital still cameras and digital prints," *Part of the IS&T/SPIE Conference on Color Imaging: Device-Independent Color, Color Hardcopy, and Graphic Arts IV*, San Jose, CA, USA, Vol. 3648, pp. 424~431, Jan. 1999.
- [18] K. Miyata and M. Saito, "An evaluation method for the images obtained by multi-level error diffusion technique," *Journal of Imaging Science and Technology*, Vol. 42, No. 2, pp. 115~120, March/April, 1998.

저 자 소 개



金 允 泰(學生會員)
1999年 경북대학교 전자전기공학부 (공학사), 2001년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사), 2001년-현재 경북대 전자공학과 박사과정 재학중, <주관심분야 : 광원 추정, 색관리 시스템, 디지털 칼라 프린팅

등임>



趙 良 鎬(學生會員)
2000年 경북대학교 전자전기공학부 (공학사), 2002년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사), 2002년-현재 경북대 전자공학과 박사과정 재학 중, <주관심분야 : 장치간 색 일치, 디지털 칼라 프린팅 등임>

李 澈 熙(正會員) 第 38卷 SP編 第 6卷 參照

河 永 浩(正會員) 第 38卷 SP編 第 3卷 參照