

論文2001-38SP-2-10

도트 패턴 데이터 베이스를 이용한 모델 기반 칼라 영상 중간조 알고리즘

Model-Based Color Image Halftoning Algorithm Using Dot-Pattern Database

金旻萬*, 宋根遠**, 閔覺***, 金正燁****, 河永浩*****

(Kyeong-Man Kim, Kun-Woen Song, Gak Min, Jeong-Yeop Kim, and Yeong-Ho Ha)

요 약

본 논문에서는 칼라 영상의 프린팅을 위하여 도트 패턴 데이터 베이스를 이용하는 모델 기반 칼라 영상 중간조 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘에서 사용된 도트 패턴 데이터 베이스는 블루 노이즈 마스크에 기반하여 칼라 영상을 이루는 RGB 세 도메인의 칼라 값에 따른 원형 도트 중첩 모델을 이용하여 생성된다. 중간조 처리 과정에서는 입력되는 RGB 칼라 값을 재현하기 위하여 입력 칼라 값과 만들어진 도트 패턴 데이터 베이스의 칼라 값을 비교하여 최소가 되는 패턴을 그 칼라 값의 중간조 패턴으로 선택하는데, 이 선택 과정에서는 인간 시각의 대조 민감도 함수를 적용함으로써 원영상에 대한 사람의 인식도와 출력을 위해 선택하려는 도트 패턴에 대한 사람의 인식도를 비교하여 좋은 화질의 영상을 출력할 수 있게 한다. 실험에서는 칼라 패치를 만들어 모니터와 프린터에서 출력한 후 칼라 스펙트럼 측정기를 이용하여 측정한 후 칼라 오차인 ΔE_{ab} 를 비교함으로써 본 논문에서 제안한 방법에 의한 결과가 기존의 방법들보다 더 정확히 입력된 칼라를 재현할 수 있음을 보인다.

Abstract

Model-based color image halftoning method using dot-pattern database is proposed for low-resolution color image printing. Dot-pattern database used in the proposed method is based on Blue-Noise Mask. The database consists of dot-patterns constructed by circular dot-overlap model according to each color value. In halftoning procedure, input color value is reproduced as the dot-pattern selected to minimize the difference between the color values of the original image and those of the printed image. Also, the contrast sensitivity function as a human visual model is used to improve the perceived quality of the printed image in dot-pattern selection. Thus, the proposed method can substantially reproduce the color values of the pixels in original image and obtain better image quality. In the experiment, the proposed method has less ΔE_{ab} between the original image in monitor and the printed one than that of ED and BNM halftoning. This result approves that the proposed method reproduces better image quality.

* 正會員, 三星電子 디지털프린팅事業部
(Digital Printing Division, Samsung Electronics,
Suwon)

** 正會員, 威德大學校 電子電氣工學部
(Dept. of Electronics Eng., Uiduk University,
Kyongju)

*** 正會員, 韓國放送公社 大邱支部

(Taegu Technical Operations Division, KBS, Taegu)

**** 正會員, 三星綜合技術院

(Samsung Advanced Institute of Technology, Yongin)

***** 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部

(School of Electronics and Electrical Eng., Kyung-pook National University, Taegu)

接受日字:1999年11月25日, 수정완료일:2000年2月12日

I. 서론

칼라 프린터가 보급되면서 사용자들은 화질이 우수하면서도 동시에 정확한 색을 표현한 칼라 출력 영상을 원하고 있다. 칼라 잉크젯 프린터의 경우 네 가지 이상의 잉크(cyan, magenta, yellow, 및 black)으로 영상을 출력한다. 그러나 출력에 있어서는 0 ~ 255의 값으로 표현되는 디지털 RGB 칼라 영상을 연속 계조 그대로 재현하는 것이 아니라 이들 잉크들의 채색(1 또는 255)과 채색하지 않음(0)의 이진 정보만을 표현할 수 있다. 그러므로 연속 계조(continuous tone)의 칼라 영상을 표현하기 위해서는 디지털 중간조 알고리즘(digital halftoning algorithm)을 사용하여 연속 계조의 영상을 이진 영상으로 바꾸는 과정을 필요로 한다. 특히 저해상도의 프린터인 경우 영상의 화질은 중간조 처리 방법에 따라 달라지는 경우가 많으므로 원영상의 색을 잘 표현하는 고화질의 출력 영상을 얻기 위한 여러 가지 방법들이 제시되고 있다.

디지털 중간조 처리 방법에는 주어진 화소 위치에서 0 또는 255의 출력값을 얻기 위해 화소 단위로 임계행렬과 비교하여 이진 출력을 얻는 순서 디더링(ordered dithering) 방법과 현재 화소와 몇 개의 주위 화소를 동시에 고려하는 오차 확산(error diffusion, ED) 방법, 그리고 이 두 가지의 장점을 살린 블루 노이즈 마스크(blue-noise mask, BNM)를 이용하는 중간조 처리 방법 등이 있다. 순서 디더링 방법은 계산 속도가 빠르고 하드웨어 구현이 간단하지만 격자 모양의 규칙적인 패턴(moire pattern)이 발생하며 저 해상도의 프린터에서는 이진 출력 영상의 화질이 크게 떨어지는 단점이 있다. 오차 확산법은 이러한 단점을 보완하여 출력 영상의 화질은 우수하지만 특정 색의 값에서 눈에 거슬리는 패턴이 발생하는 단점이 있다. 또한 주위에 오차를 확산시켜야 하기 때문에 단지 화소 대 화소의 비교만으로 이진 출력을 얻는 순서 디더링 방법보다 많은 메모리가 필요하며 계산 속도에 있어서도 더 느리다. BNM 방법은 블루 노이즈 특성을 가지는 상당히 큰 마스크로 단순히 화소 대 화소만을 비교하여 이진 출력 영상을 발생시킨다. 이 방법은 오차 확산법의 단점인 눈에 거슬리는 패턴 등은 발생하지 않으나, 출력된 이진 영상이 양자화 오차로 인하여 잡음이 섞여

보이는 특성을 지닌다.^[1]

이상의 방법을 이용하여 칼라 영상의 출력을 생성하면 cyan(C), magenta(M), yellow(Y), black(K) 잉크들의 번짐으로 인해 원영상의 색을 충실히 재현해 주지 못하는 단점이 있다. 이것을 해결하기 위해 원형 도트 중첩 모델(circular dot-overlap model)^[2]을 이용한 모델 기반 중간조 처리(model-based halftoning)^[3]방법들이 있다. 이 방법들은 중간조 처리 시에 각각의 색에 3, 4 비트 정도를 할당하고 인간 시각 모델을 사용하여 원영상 화소의 색과 그것에 대응하는 출력 화소의 색의 오차를 계산하여 최소가 되는 도트 패턴을 선택한다.^[4] 그러나 색에 많은 비트가 할당되면 중간조 처리 시에 오차를 계산하여 오차가 가장 작은 도트 패턴을 선택하는 과정에서 수행 속도가 느려지는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존의 중간조 처리 방법들의 단점을 개선하고 원영상의 색을 충실히 재현하기 위해 도트 패턴 데이터 베이스를 사용한 모델 기반의 중간조 처리 방법을 제안한다. 제안한 방법은 우수한 화질의 출력 영상을 얻기 위해 BNM을 기반으로 도트 패턴을 생성한다. 이 도트 패턴들은 기본적으로 블루 노이즈 특성을 가지고 있으므로 출력에 있어서 우수한 화질을 얻을 수 있다. 그리고 중간조 처리 이전에 각각의 도트 패턴에 원형 도트 중첩 모델을 적용하여 CMY에 독립적인 도트 패턴 데이터베이스를 생성한다. 도트 패턴 데이터베이스는 하나의 색에서 0에서 255의 색의 값에 대응하는 도트 패턴들로 구성되므로 출력 영상에서 원영상 화소의 색을 충실히 재현할 수 있다. 또한 중간조 처리는 C, M, Y의 순서로 순차적으로 수행한다. 이 과정에서 인간 시각 모델인 대조 민감도 함수(contrast sensitivity function, CSF)^[5,6]를 적용하여 현재 화소의 색에 대해 국부적으로 인간 시각에 적합한 도트 패턴을 선택한다. 제안한 방법은 이전 화소에서 선택된 도트 패턴과 현재 화소의 다른 색에서 선택된 도트 패턴을 고려하여 현재 화소의 색의 도트 패턴을 선택하므로 기존의 방법보다 우수한 화질의 출력 영상을 만든다.

본 논문에서는 2장에서 도트 패턴 데이터베이스 생성 과정에 설명하고 3장에서 CSF를 이용한 도트 패턴 선택 방법에 대해 표현한다. 4장과 5장은 실험 및 고찰과 결론을 서술한다.

II. 도트 패턴 데이터 베이스 생성

중간조 처리에 의한 프린터 출력 영상은 C, M, Y에 의한 감법 혼색(subtractive color-mixing)으로 색을 나타낸다. 원영상이 RGB 영역에서 정의되어 있고 각각의 색이 독립적인 값으로 정의된다고 가정하면, “one-minus RGB” 관계에 의해 C, M, Y값을 쉽게 구할 수 있다. 그리고 원영상의 한 화소의 색이 RGB 8비트씩 24비트로 가정하면 RGB는 각각 0 ~ 255의 값을 가진다. 그러므로 원영상의 화소의 색 $O_{i,j} = \{O_{i,j}^R, O_{i,j}^G, O_{i,j}^B\}$ 에 대응하는 원영상의 C, M, Y 값 $O_{i,j} = \{O_{i,j}^C, O_{i,j}^M, O_{i,j}^Y\}$ 는

$$\begin{aligned} O_{i,j}^C &= 255 - O_{i,j}^R \\ O_{i,j}^M &= 255 - O_{i,j}^G \\ O_{i,j}^Y &= 255 - O_{i,j}^B \end{aligned} \quad (1)$$

에 의해 계산된다. 여기서 (i, j) 는 원영상에서 화소의 위치를 나타낸다. 출력 영상에서 원영상의 색을 충실히 나타내려면, 출력 영상에서 원영상의 한 화소에 대응하는 도트 패턴이 최소한의 오차로 원영상의 CMY값을 표현해야 한다. 그러나 실제 프린터에서는 무채색을 잘 재현하고 잉크의 소모를 줄이기 위해 흑색 잉크(K)를 추가하여 CMY 대신 CMYK를 사용한다. 그러므로 K를 채색하는 방법에 따라 도트 패턴의 색이 변화한다. 또한 CMY잉크의 중첩에 의해 잉크의 번짐이 달라지므로 도트 패턴의 색의 변화가 발생한다. 이런 여러 가지 요인들을 고려할 경우 출력 영상의 모델링이 어려워지고 연산이 복잡해지므로 출력 영상의 색의 변화의 주된 원인이 되는 CMY 잉크의 번짐만을 고려한다. 그리고 CMY 각각의 도트 패턴이 독립적으로 CMY값을 가지는 것으로 가정한다. K를 채색하는 방법은 CMY가 모두 중첩된 경우 흑색 잉크(K)를 채색한다. 그리고 도트 패턴을 선택할 때 최대한 중첩되지 않도록 하여 K에 의한 색의 변화를 최소화한다.

제안된 모델 기반의 도트 패턴 데이터 베이스 중간조 처리 방법은 CMY 잉크마다 도트의 크기가 다르기 때문에 각각 독립적으로 원형 도트 중첩 모델을 적용하여 CMY 세 개의 도트 패턴 데이터 베이스를 생성한다. Cyan에 대한 도트 패턴 데이터 베이스를 생성하는

방법은 그림 1과 같다. Magenta와 yellow도 동일한 방법을 적용하여 도트 패턴 데이터 베이스를 생성한다.

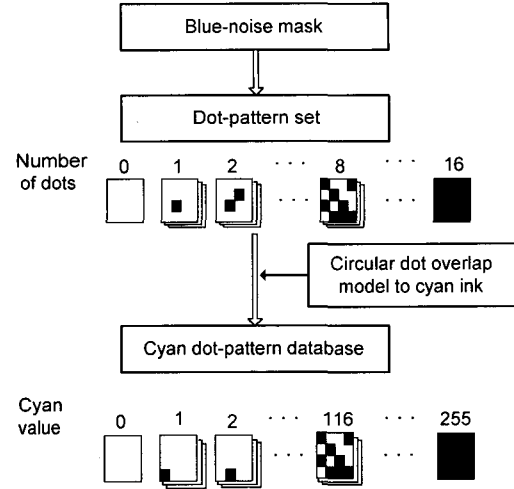


그림 1. Cyan 도트 패턴 데이터 베이스 생성
Fig. 1. Generation of cyan dot-pattern database.

제안한 방법에서 사용된 BNM은 Parker[1]의 방법을 이용하여 생성한 것으로 256×256 크기의 마스크를 사용하였다. BNM을 0 ~ 255까지 각각의 명도값으로 문턱치 처리를 하여 그 값에 대응하는 256×256 크기의 도트 프로파일(dot-profile)을 생성한다. 생성된 도트 프로파일에서 한 개 화소씩 이동하면서 프린터의 해상도에 맞는 출력을 위한 $N_H \times N_W$ 도트 패턴을 생성한다. 이때 중복된 패턴은 제외시킨다. 이 도트 패턴들은 BNM에서 생성하였으므로 기본적으로 블루 노이즈 특성을 가진다. 여기에서 만들어진 가능한 모든 형태의 도트 패턴을 도트 패턴 집합(dot pattern set)이라고 한다.

한 개의 화소의 색을 중간조 처리하는 경우, 도트 패턴의 외부에 있는 잉크가 없다고 가정하면 원영상의 화소의 $O_{i,j}$ 에 대응되는 출력 영상의 중첩된 도트 패턴의 색 $P_{i,j} = \{P_{i,j}^C, P_{i,j}^M, P_{i,j}^Y\}$ 는 가정에 의해 CMY 각각에 대응되는 도트 패턴의 평균색^[24]으로

$$\begin{aligned} P_{i,j}^C &= \frac{1}{N_H N_W} \sum_x \sum_y p_{x,y}^C, \quad 0 \leq x \leq N_H, 0 \leq y \leq N_W \\ P_{i,j}^M &= \frac{1}{N_H N_W} \sum_x \sum_y p_{x,y}^M, \quad 0 \leq x \leq N_H, 0 \leq y \leq N_W \\ P_{i,j}^Y &= \frac{1}{N_H N_W} \sum_x \sum_y p_{x,y}^Y, \quad 0 \leq x \leq N_H, 0 \leq y \leq N_W \end{aligned} \quad (2)$$

와 같다. 여기서 (x, y) 는 도트 패턴에서 도트의 위치를 나타내며 $p_{x,y}^C, p_{x,y}^M, p_{x,y}^Y$ 는 $N_H \times N_W$ 내의 한 도트의 색을 나타낸다. 이상적인 경우 채색된 도트의 색의 값은 255이고 채색되지 않은 도트일 경우 0인 색의 값을 가진다. 그러나 실제 출력 영상에서는 잉크의 번짐 등으로 잉크 도트의 크기가 증가함으로 채색되지 않은 도트의 면적이 감소하여 원영상의 색과 원영상 화소에 대응하는 도트 패턴의 평균 색보다 작아지는 오차가 발생한다. 본 논문에서는 각각의 도트 패턴에 원형 도트 중첩 모델을 적용하여 이 오차를 보상해 주고 각각 CMY에서 도트 패턴의 평균색을 계산하여 0에서 255까지 색의 값에 대응하는 도트 패턴으로 도트 패턴 집합을 분류한다. 이것을 CMY 도트 패턴 데이터 베이스라고 한다.

도트 패턴 데이터 베이스 생성시 사용된 원형 도트 중첩 모델은 도트의 형태를 일반적으로 원형으로 가정한다. 그리고 이상적인 도트의 크기가 도트의 영역을 모두 채우고 최소한의 번짐을 가진다고 하면 도트의 반지름은 한 번의 길이의 $1/\sqrt{2}$ 이다. 이웃 잉크 도트에 의해 백색 도트로 번진 영역을 모델화하면 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

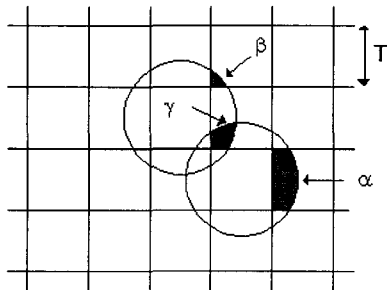


그림 2. 원형 도트 중첩 모델
Fig. 2. Circular dot-overlap model.

실제 출력 영상에서 하나의 색에 대한 도트의 색은 $p_{x,y}^C, p_{x,y}^M, p_{x,y}^Y$ 로

$$p_{x,y}^C = P(W_{x,y}^C) = \begin{cases} 255 & \text{if } b_{x,y}^C = 255 \\ 255 \times (f_1 \alpha + f_2 \beta - f_3 \gamma), & \text{if } b_{x,y}^C = 0 \end{cases}$$

$$p_{x,y}^M = P(W_{x,y}^M) = \begin{cases} 255 & \text{if } b_{x,y}^M = 255 \\ 255 \times (f_1 \alpha + f_2 \beta - f_3 \gamma), & \text{if } b_{x,y}^M = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$p_{x,y}^Y = P(W_{x,y}^Y) = \begin{cases} 255 & \text{if } b_{x,y}^Y = 255 \\ 255 \times (f_1 \alpha + f_2 \beta - f_3 \gamma), & \text{if } b_{x,y}^Y = 0 \end{cases}$$

와 같이 계산된다.^[2] $b_{x,y}^C, b_{x,y}^M, b_{x,y}^Y$ 는 도트 패턴 내에서 이상적인 도트에서의 색의 값이고, $W_{x,y}^C, W_{x,y}^M, W_{x,y}^Y$ 는 인접 도트들의 값을 나타내는 마스크로써

$$W_{x,y}^C = \begin{bmatrix} b_{(x-1,y-1)}^C & b_{(x-1,y)}^C & b_{(x-1,y+1)}^C \\ b_{(x,y-1)}^C & b_{(x,y)}^C & b_{(x,y+1)}^C \\ b_{(x+1,y-1)}^C & b_{(x+1,y)}^C & b_{(x+1,y+1)}^C \end{bmatrix} \quad (4)$$

과 같이 나타낸다. $W_{x,y}^M, W_{x,y}^Y$ 도 식 (4)에 의해 계산이 가능하다. α, β, γ 는 채색된 도트에 의해 채색되지 않은 도트로 번진 면적을 나타낸다. 그리고 식 (3)의 계수 f_1, f_2, f_3 는 그림 2에서 보듯이 채색된 인접 도트의 위치에 따라 결정된다. f_1 은 수평, 수직의 위치에 채색된 도트의 개수로서, $\{b_{(x-1,y)}, b_{(x,y-1)}, b_{(x+1,y)}, b_{(x,y+1)}\}$ 위치에서 색의 값이 255인 개수이다. f_2 는 인접한 수평, 수직의 도트가 채색된 도트가 아니고 대각선 위치에 있는 채색된 도트의 개수이다. 만약 $\{b_{(x-1,y)}, b_{(x,y-1)}\}$ 위치에서 도트의 색의 값이 0이고 $b_{(x-1,y-1)}$ 위치에서 255이면 이 도트는 f_2 에 포함된다. f_3 은 수직, 수평으로 인접한 채색된 도트 쌍의 개수를 나타낸다. $\{b_{(x-1,y)}, b_{(x,y-1)}\}$ 위치의 도트가 채색된 도트라면 이 도트쌍은 f_3 에 포함된다. α, β, γ 의 면적은

$$\alpha = \frac{1}{4} \sqrt{2\rho^2 - 1} + \frac{\rho^2}{2} \sin^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{2\rho}} \right) - \frac{1}{2}$$

$$\beta = \pi \frac{\rho^2}{8} - \frac{\rho^2}{2} \sin^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{2\rho}} \right) - \frac{1}{4} \sqrt{2\rho^2 - 1} + \frac{1}{4} \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{\rho^2}{2} \sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{\rho^2 - 1}{\rho^2}} \right) - \frac{1}{2} \sqrt{2\rho^2 - 1} - \beta$$

에 의해 계산된다. 여기서 ρ 는 이상적인 도트 반지름 $T/\sqrt{2}$ 와 실제 도트 반지름의 비이다. 이것은 실제 CMY 잉크에 따라 번짐의 정도가 다르므로 128계조의 영상을 CMY로 각각 인쇄하고 현미경으로 확대하여 촬영한 후 반지름을 측정함으로써 잉크에 따라 서로 다른 ρ 를 적용하여 α, β, γ 를 계산한다.

이상의 원형 도트 중첩 모델에 의해 CMY에 대한 도트 패턴들의 평균색이 식(2)와 같이 계산되고 도트 패턴들은 0에서 255까지 평균색에 따라 분류되어 도트

패턴 데이터 베이스들이 생성된다.

실제 원형 도트 중첩 모델이 적용되더라도 $N_H \times N_W$ 도트 패턴에서의 도트 개수가 제한되므로 일부 평균색에 대해서 도트 패턴이 존재하지 않는다. 그러므로 도트 패턴이 존재하지 않는 평균색에 대해서 상하로 가장 근접한 색의 도트 패턴들로 설정해 준다. 이것은 후에 도트 패턴을 선택할 때 CSF에 의해 적절하게 선택되므로 오차를 최소로 줄일 수 있다.

제안한 방법에 의해 생성된 각각의 잉크에 대한 도트 패턴 데이터 베이스를 이용하여 원영상의 화소의 색에 대응하는 도트 패턴을 랜덤하게 선택하여 중간조 처리를 할 수 있다. 그러나 이 방법은 기존의 방법보다 출력 영상의 화소의 색을 잘 표현해 줄 수 있지만, 주위의 인접 화소와 현재 화소 내의 다른 색의 도트 패턴들이 고려되지 않으므로 CMY가 많이 중첩되면 K가 채색되므로 원영상 화소의 색을 충실히 표현할 수 없다. 그리고 출력 영상의 수평, 수직 주파수 성분이 두드러지게 나타나게 되어 전체적으로 거친 영상이 얻어진다. 그러므로 CMY 각각의 도트 패턴들을 고려해 주고 우수한 출력 영상의 화질을 얻기 위한 도트 패턴 선택 방법이 요구된다.

III. 도트 패턴 선택 방법

본 논문에서는 중간조 처리 과정에서 인간 시각의 특성을 모델링한 CSF를 이용하여 인접 화소와 이전 색에서 선택된 도트 패턴을 고려한 도트 패턴 선택 방법을 제안한다. CSF는 인간 시각을 모델링한 것으로 실제 인간 시각이 영상을 보았을 경우 민감하게 느끼는 주파수 성분과 둔감한 주파수 성분을 수치적으로 나타낸 함수이다. 그러므로 실제로 인간 시각이 원영상과 출력 영상을 볼 때 생기는 대조의 차이를 수치적으로 나타낼 수 있다. 이것을 이용하여 도트 패턴을 선택할 때 원영상과 대조의 차이가 최소가 되는 도트 패턴을 선택한다.

제안한 방법은 중간조 처리 과정에서 원영상을 C, M, Y의 순서로 처리한다. 이것은 인간 시각에 큰 영향을 주는 cyan의 도트 패턴을 먼저 선택하고, 다음으로 magenta을 중간조 처리한다. 이때 이전에 중간조 처리를 한 cyan의 도트 패턴과 최대한 중복되지 않고 이전 화소의 magenta의 도트 패턴을 고려하여 도트 패턴을

선택한다. 마지막으로 yellow를 중간조 처리를 할 경우 이전의 cyan과 magenta 출력 영상을 고려하여 도트 패턴을 선택한다.

제안한 방법에서 사용된 CSF는 여러 CSF 중에서 이진 영상에 적합한 Daly^[5]가 제안한 CSF이다. Daly의 대조 민감도 함수는 기본적으로 저역통과 필터 형태로 써

$$V_{u,v} = \begin{cases} a(b + c\tilde{f}_{u,v})\exp(-c\tilde{f}_{u,v}^d), & \text{if } \tilde{f}_{u,v} > f_{\max} \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

와 같이 나타낸다. 여기서 각각의 계수는 $a=2.2$, $b=0.0192$, $c=0.114$, $d=1.1$ 이다. $\tilde{f}_{u,v}$ 는 방사상 공간 주파수(radially spatial frequency)로서 단위는 cycles/degree이다. f_{\max} 는 이 함수의 최대치를 가지는 공간 주파수이다. 그리고 이 함수를 출력 영상에 적용하기 위해 프린터 해상도인 P 와 영상의 크기인 N 그리고 시거리 d 를 이용하여 공간 주파수의 단위를 cycles/degree에서 cycles/inch로 전환해야 한다. 그러므로 수직 주파수 성분 \tilde{f}_u 와 수평 주파수 성분 \tilde{f}_v 는

$$\tilde{f}_u = \frac{2udP}{N} \tan(0.5^\circ) \quad (7)$$

$$\tilde{f}_v = \frac{2vdP}{N} \tan(0.5^\circ) \quad (8)$$

과 같이 나타내고, 방사상 공간 주파수 $\tilde{f}_{u,v}$ 는

$$\tilde{f}_{u,v} = \sqrt{\tilde{f}_u^2 + \tilde{f}_v^2} \quad (9)$$

과 같이 계산한다. 이때 시거리 d 는 20 inch로 고정한다. 또한 인간 시각이 수평, 수직 주파수 성분보다 대각선 성분에 둔감하므로 각도에 따른 민감도를 고려해 주기 위해 $s(\theta)$ 로 주파수를 나누어준다. $s(\theta)$ 는

$$s(\theta) = \left(\frac{1-w}{2}\right)\cos(4\theta) + \left(\frac{1+w}{2}\right) \quad (10)$$

이다. 여기서 w 는 대칭 계수로서 0.7로 한다.^[7] 최종적인 방사상 공간 주파수는 $\tilde{f}_{u,v}/s(\theta)$ 이다. CSF의 2차원 영상은 그림 3의 (a)이고 (b)는 실제 도트 패턴 선택 방법에서 사용된 8×8 크기의 CSF이다.

제안한 방법에서는 원영상의 2×2 블럭과 그것에 대응하는 출력 영상들의 도트 패턴들을 비교한다. 원영상의 2×2 블럭, $B_{i,j}^r$ 는

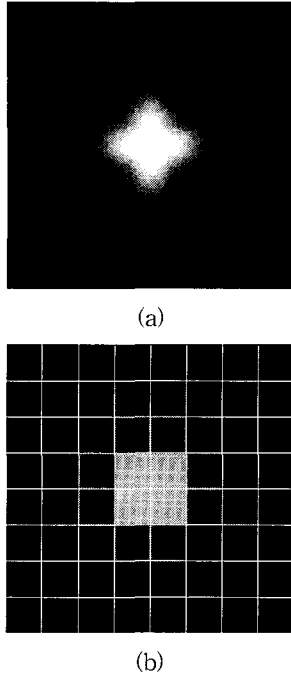


그림 3. 대조 민감도 함수(CSF)
 (a) 대조 민감도 함수의 2차원 영상, (b) 8×8 크기의 대조 민감도 함수
 Fig. 3. Contrast sensitivity function.
 (a) two dimensional image of CSF, (b) 8×8 CSF

$$B_{i,j}^o = \begin{pmatrix} O_{i-1,j-1} & O_{i-1,j} \\ O_{i,j-1} & O_{i,j} \end{pmatrix} \quad (11)$$

과 같다. 여기서 현재 화소는 오른쪽 하단에 위치한다. 이때 원영상의 좌측과 위쪽 테두리는 먼저 랜덤하게 중간조 처리를 한다. 이것은 출력 영상의 화질에 크게 영향을 미치지 않으므로 무시할 수 있다. 그리고 $B_{i,j}^o$ 에 대응하는 출력영상의 블럭, $B_{i,j}^h$ 는

$$B_{i,j}^h = \begin{pmatrix} H_{i-1,j-1} & H_{i-1,j} \\ H_{i,j-1} & P_{i,j} \end{pmatrix} \quad (12)$$

와 같다. 여기서 $H_{i-1,j-1}, H_{i-1,j}, H_{i,j-1}$ 는 출력 영상의 이전 화소의 색에 대해 선택된 도트 패턴이다. 그리고 $P_{i,j}$ 는 CMY 도트 패턴 데이터 베이스에서 현재 화소의 $O_{i,j}$ 에 대응하는 도트 패턴이다. $B_{i,j}^h$ 의 크기는 $2N_H \times 2N_W$ 이다. 그러므로 원영상과 출력 영상을 비교하기 위해 원영상의 블럭의 크기가 다르므로 2×2 블

럭을 보간하여 출력 영상의 블럭과 같은 크기로 만든다. 이 보간된 영상, $I_{i,j}^o$ 는 영차 보간(zero-order interpolation)법에 의해 보간한다. 그림 4는 원영상 화소의 cyan을 300dpi 프린터로 출력하는 과정을 나타낸다. 300dpi에서 도트 패턴의 크기는 4×4 ($N_H = N_W = 4$)이다. 그러므로 출력 영상과 비교하기 위해서 먼저 원영상을 4배로 보간한 영상이 필요하다.

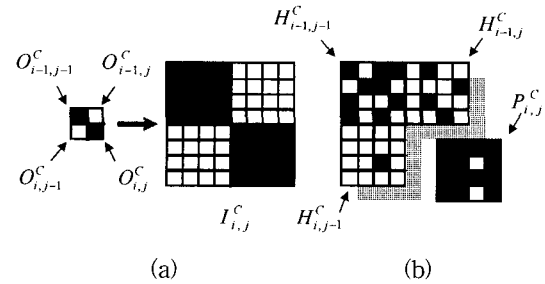


그림 4. Cyan 도트 패턴의 선택
 (a) 현재 원영상의 블럭과 1:4 보간된 블럭,
 (b) 대응된 출력 영상의 도트 패턴 블럭
 Fig. 4. Decision of the cyan dot-pattern.
 (a) considering block of the original image and (b) dot-pattern block of the result image.

도트 패턴 선택 과정에서 원영상의 보간한 블럭, $I_{i,j}^o$ 와 출력 영상의 $B_{i,j}^h$ 을 FFT한 다음 CSF를 적용하고 평균 자승 오차(root mean square error, RMSE)를

$$RMSE = \frac{1}{4N_W N_H} \sum_u \sum_v \sqrt{(F_{u,v}^o \times V_{u,v} - F_{u,v}^h \times V_{u,v})^2}, \quad 1 \leq u \leq 2N_H, 1 \leq v \leq 2N_W \quad (13)$$

과 같이 계산한다. 여기서 $F_{u,v}^o, F_{u,v}^h$ 는 각각 $I_{i,j}^o, B_{i,j}^h$ 를 FFT한 영상으로

$$F_{u,v}^o = FFT\{I_{i,j}^o\}, \quad (14)$$

$$F_{u,v}^h = FFT\{B_{i,j}^h\}. \quad (15)$$

와 같이 계산한다. 그러므로 도트 패턴 데이터 베이스에서 식 (13)에 의해 계산된 RMSE가 최소인 도트 패턴을 선택하여 현재 화소의 색에 충실한 도트 패턴으로 중간조 처리를 한다. 그리고 현재 화소에서 이전에 중간조 처리한 도트 패턴들과 현재 선택된 도트 패턴 사이의 중첩을 줄이기 위해 먼저 cyan은 식 (12)에 의

해 구하고 magenta와 yellow에 대한 $B_{i,j}^h$ 는

$$B_{i,j}^{h,M} = \begin{pmatrix} (H_{i-1,j-1}^M \text{ OR } H_{i-1,j-1}^C) & (H_{i-1,j}^M \text{ OR } H_{i-1,j}^C) \\ (H_{i,j-1}^M \text{ OR } H_{i,j-1}^C) & (P_{i,j}^M \text{ OR } H_{i,j}^C) \end{pmatrix} \quad (16)$$

$$B_{i,j}^{h,Y} = \begin{pmatrix} (H_{i-1,j-1}^Y \text{ OR } H_{i-1,j-1}^M \text{ OR } H_{i-1,j-1}^C) & (H_{i-1,j}^Y \text{ OR } H_{i-1,j}^M \text{ OR } H_{i-1,j}^C) \\ (H_{i,j-1}^Y \text{ OR } H_{i,j-1}^M \text{ OR } H_{i,j-1}^C) & (P_{i,j}^Y \text{ OR } H_{i,j}^M \text{ OR } H_{i,j}^C) \end{pmatrix} \quad (17)$$

와 같이 이전 색의 선택된 도트 패턴과 OR 연산을 하여 구한다.

CMY에 대한 전체적인 도트 패턴 선택 방법의 블록도는 그림 5와 같다.

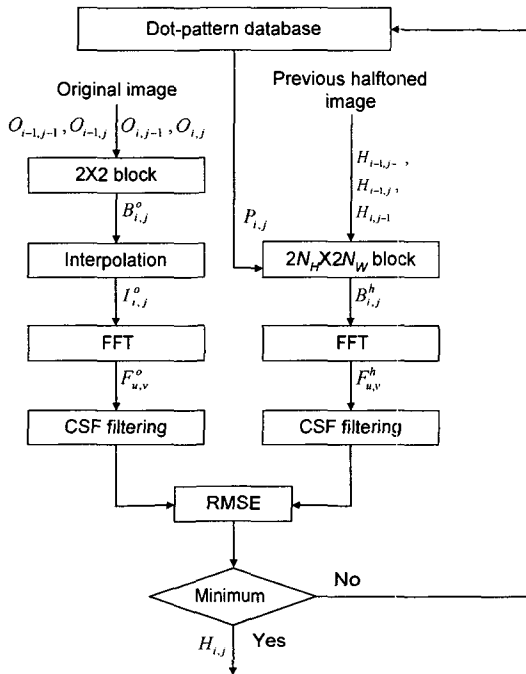


그림 5. 도트 패턴 선택 방법
Fig. 5. Flowchart of the dot-pattern selection method.

제안한 CMY의 도트 패턴 데이터 베이스를 이용한 방법은 각각의 색의 값에 해당하는 도트 패턴의 수가 많을 경우 도트 패턴을 선택하는 부분에서 수행 시간이 많이 요구되므로 도트 패턴의 수를 줄여 수행 시간을 줄여야 한다. 본 논문에서는 각각의 CMY에 대한 도트 패턴 데이터 베이스에서 통계적 방법에 의해 가장 많이 사용되어지는 도트 패턴의 순서로 일정 개수

를 선택하여 도트 패턴의 수를 줄였다. 즉 9 종류의 실험 영상을 전체 CMY 도트 패턴 데이터 베이스를 이용한 방법으로 출력 영상을 만들어 통계치를 구했다. 이 통계치를 바탕으로 각각의 색의 값에 해당하는 도트 패턴에서 상위 5개, 2개, 1개만 선택하여 도트 패턴 데이터 베이스로 설정했다. 도트 패턴이 1개나 2개로 제한된 경우, 제안된 방법은 출력 영상에서 약간의 화질 열화를 가져오지만 수행 시간은 순서 디더링 방법과 같은 수행 속도로 출력 영상을 만들고 우수한 화질을 나타낸다. 동시에 각각의 화소의 색을 충실히 표현한다.

IV. 실험 및 고찰

실험에서는 제안한 중간조 알고리즘과 기존의 오차 확산 중간조, 그리고 BNM 중간조 알고리즘을 비교하였다. 비교 방법으로는 균일 색좌표계인 $L^*a^*b^*$ 좌표계에서 원영상을 표현한 모니터 영상을 기준으로 출력 영상의 ΔE_{ab} 를 계산했다. 이때 두 장비간의 오차계산을 위해 모니터의 설정은 전용지의 백색을 기준으로 모니터의 기준 백색을 일치시켜 사용하였다. 실험 영상으로 Macbeth 차트를 이용하여 출력 영상을 만들고 ΔE_{ab} 를

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(L_o^* - L_h^*)^2 + (a_o^* - a_h^*)^2 + (b_o^* - b_h^*)^2} \quad (18)$$

과 같이 계산하여 출력 영상을 비교하였다. 여기서 L_o^*, a_o^*, b_o^* 는 모니터에 출력된 영상의 색좌표 값이고 L_h^*, a_h^*, b_h^* 는 프린터 출력된 영상의 색좌표 값이다. 모니터에 출력된 색을 측정하기 위하여 Samsung 700P 모니터를 사용하여 출력한 후 Minolta CA100으로 x, y, Y 를 측정하여 D50 광원 하의 L_o^*, a_o^*, b_o^* 를 얻었다. 프린터에 출력된 색을 측정하기 위해 Samsung 프린터를 사용하여 전용지에 출력한 후 Minolta CM3600d에서 D50 광원 하에서 L_h^*, a_h^*, b_h^* 를 측정하였다. Macbeth 차트를 이용한 ΔE_{ab} 결과는 표1과 같다.

제안한 방법은 각 색도값에 5개의 도트 패턴으로 축소시킨 데이터 베이스를 사용하였다. 실험 결과에서 보듯이 기존의 방법에 의한 ΔE_{ab} 보다 제안한 방법이 더 작은 것을 볼 수 있다. 이것은 제안한 방법이 기존의 방법보다 더 정확하게 색을 나타내는 것을 의미한다.

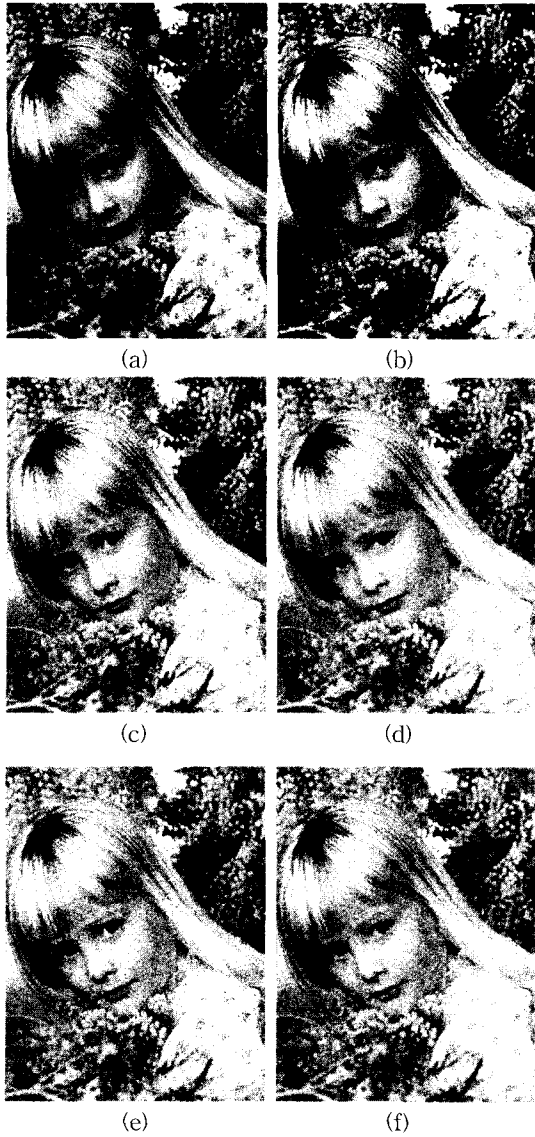


그림 6. Jillac 결과 영상
 (a) 오차 확산 방법, (b) BNM 방법, (c) 제안한 도트 패턴 선택 방법 중 도트 패턴 전체를 이용한 경우, (d) 상위 5개를 이용한 경우, (e) 상위 2개를 이용한 경우, (f) 상위 1개를 이용한 경우

Fig. 6. Halftoning results of Jillac image by various methods.
 (a) case of error diffusion, (b) case of BNM, (c) case using the whole dot-pattern in the proposed method, (d) case using upper 5 dot-patterns in the proposed method, (e) case using upper 2 dot-patterns in the proposed method, and (f) case using only 1 dot-pattern in the proposed method.

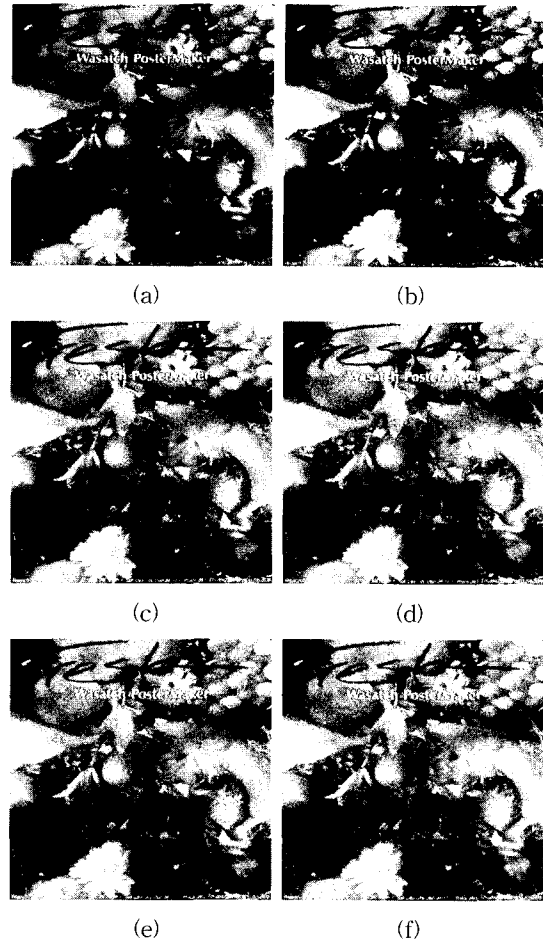


그림 7. Fresh 결과 영상
 (a)오차 확산 방법, (b)BNM 방법, (c)제안한 도트 패턴 선택 방법 중 도트 패턴 전체를 이용한 경우, (d)상위 5개를 이용한 경우, (e)상위 2개를 이용한 경우, (f)상위 1개를 이용한 경우

Fig. 7. Halftoning results of Fresh image by various methods.
 (a) case of error diffusion, (b) case of BNM, (c) case using the whole dot-pattern in the proposed method, (d) case using upper 5 dot-patterns in the proposed method, (e) case using upper 2 dot-patterns in the proposed method, and (f) case using only 1 dot-pattern in the proposed method.

표 1. 각각의 중간조 처리 기법의 비교 결과
Table 1. Comparison results with other halftoning method.

Halftoning method	ΔE_{ab} in $L^*a^*b^*$
Error diffusion(ED)	26.88
BNM	24.96
The proposed method	19.2

실험 영상으로 Jillac 영상과 Fresh 영상을 사용하였다. 기존의 방법과 제안한 방법에 의한 출력 영상은 그림 6, 7과 같다. fresh 영상에서 ED 출력 영상은 바나나에서 웜 효과(worm effect)가 나타나지만 제안한 방법의 출력 영상들은 웜 효과가 나타나지 않는다. 그리고 Jillac 영상에서 BNM은 흰색 부분에서 여러 색의 도트가 있어 오히려 화질을 열화시키고 있지만 제안한 방법은 ED 방법과 마찬가지로 존재하지 않는다. 또한 모니터에 출력된 영상과 비교하면 제안된 방법이 기존의 방법보다 더 가까운 색을 나타낸다. 그러나 도트 패턴의 개수를 하나 혹은 두 개로 축소된 도트 패턴 데이터 베이스를 이용한 방법에서는 밝은 영역에서 규칙적인 패턴이 나타나는 등 약간의 화질 열화가 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 BNM을 기반으로 하여 원형 도트 중첩 모델을 이용하여 도트 패턴 데이터 베이스를 생성하고 CSF를 사용하여 원영상의 화소의 색을 충실히 재현하는 모델 기반의 중간조 처리 방법을 제안하였다.

제안한 방법은 먼저 CMY 잉크에 대해 독립적으로 도트 패턴 데이터 베이스를 만든다. 그리고 중간조 처리를 할 때 CSF를 사용하여 원영상의 화소의 CMY에 대응되는 도트 패턴을 이전 색에서 선택된 도트 패턴과 이전 화소의 도트 패턴들을 고려하여 선택한다. 그리고 원영상과 출력 영상 사이의 균일 색좌표계의 ΔE_{ab} 를 측정하여 제안한 방법이 기존의 방법보다 더 충실히 색을 재현하는 것을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] T. Mitsa and K. J. Parker, "Digital Halftoning Technique Using a Blue-Noise Mask," J. Opt. Soc. Am. A, vol. 9, no. 11, pp.1920-1929, Nov. 1992.
- [2] T. N. Pappas, A. L. Neuhoff, "Printer Models and Error Diffusion," IEEE Trans. on Image processing, vol. 4, no. 4, pp.66-80, Jan. 1995.
- [3] F. A. Baqai, C. C. Taylor, and J. P. Allebach, "Halftoning via Direct Binary Search Using a Hard Circular Dot Overlap Model," Proceedings of OSA/IS&T Optics and Imaging in the Information Age, Rochester, NY, pp.20-24 Oct. 1996.
- [4] T. N. Pappas, "Model-Based Halftoning of Color Images," IEEE Trans. on Image processing, vol. 6, no. 7, pp.1014-1024, July. 1997.
- [5] Q. Yu, M. Yao, and K. J. Parker, "Color Halftoning with Blue Noise Masks," Fourth Color Imaging Conference: Color Science, Systems and Applications, pp.77-79, Nov. 1996.
- [6] T. Mitsa, K. L. Varkur, and J. R. Alford, "Frequency-channel-based visual models as quantitative quality measures in halftoning," SPIE Proceedings of Human Vision, Visual Processing, and Digital Display IV, vol. 1913, pp.390-401, 1993.
- [7] Fredrik Nilsson and Bjorn Kruse, "Objective Quality Measure of Halftoned Images," Recent Progress in Digital Halftoning II, pp.353-357, 1999.

저 자 소 개

金 兪 萬(正會員) 第 33 卷 B 編 第 4 號 參照.
1998년 8월~현재 삼성전자 디지털프린팅사업부 근무.

閔 覺(正會員) 第 36 卷 S 編 第 10 號 參照.
현재 KBS 대구방송국 방송기술부 근무

宋 根 遠(正會員)
1993년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1995
년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1998
년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사). 1999
년 3월~현재 위덕대학교 전자공학과 전임강사. 주관심
분야는 영상처리, 영상 압축, 디지털 신호처리등임

金 正 燁(正會員)
1990년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1992
년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1992
년 3월~현재 경북대학교 전자공학과 박사과정. 1994년
6월~현재 삼성종합기술원 전문연구원 근무. 주관심 분
야는 영상처리, 광원추정, 디지털 하프토닝 등임

河 永 浩(正會員) 第 32 卷 B 編 第 12 號 參照.
현재 경북대학교 전자전기공학부 교수