

논문 2006-43SP-2-5

# MJBNM의 임계값 변조를 이용한 멀티토닝에서의 띠 결점 감소 방법

(Banding Artifacts Reduction Method in Multitoning Based on  
Threshold Modulation of MJBNM)

박태용\*, 이명영\*, 손창환\*, 하영호\*

(Tae-Yong Park, Myong-Young Lee, Chang-Hwan Son, and Yeong-Ho Ha)

## 요약

본 논문은 띠 결점을 줄이기 위해 MJBNM(Modified Jointly Blue Noise Mask)의 임계값 변조를 이용한 멀티토닝 방법을 제안한다. 멀티토닝에서 띠 결점은 출력레벨 근처에서 동일한 도트 분포를 가지기 때문에 부드러운 계조 영역에서의 불연속성과 인간 시각에 거슬리는 패턴을 만든다. 따라서 이러한 띠 결점을 줄이기 위해, 제안한 방법은 결점이 발생하는 출력레벨 근처에서 이웃 도트들을 도입함으로써 도트 분포를 재배열 한다. 먼저 수학적 설명으로 띠 결점의 원인을 분석하고, 분석 결과를 바탕으로 채널간의 상관성과 색차를 고려한 MJBNM의 임계값 변조를 적용한다. 입력값에 따라 MJBNM의 최대, 최소 임계값이 각각 입력을 포함하는 이웃한 두 출력레벨보다 두 화소를 더 포함하도록 초기 임계값 범위를 선형적으로 조정한다. 이 입력이 띠 결점이 발생하는 출력레벨 근방에 위치할 경우, 출력은 도트 분포와 패턴을 결정하는 임계값 변조 인수에 따라 화소 대 화소의 비교로 이웃 출력레벨 중의 하나의 값으로 결정된다. 이 때 조정된 임계값이 두 출력레벨과 최대, 최소 임계값 사이에 존재하면 그 위치에 이웃 도트들을 찍어서 띠 결점을 줄이게 된다. 그렇지 않은 경우, 일반적인 멀티토닝 기법이 적용된다. 그 결과 제안한 방법이 효과적으로 출력레벨 근처에서의 띠 결점을 줄일 수 있었다. 결과 평가는 gray ramp 영상에서 명암도에 따른 HVS-WRMSE 비교와 color ramp 영상에서의 S-CIELAB 색차를 비교 하였다.

## Abstract

This paper proposes a multitoning method using threshold modulation of MJBNM(Modified Jointly Blue Noise Mask) for banding artifacts reduction. As banding artifacts in multitoning appear as uniform dot distributions around the intermediate output levels, such multitone output results in discontinuity and visually displeasing patterns in smooth transition regions. Therefore, to reduce these banding artifacts, the proposed method rearranges the dot distribution by introducing pixels in the neighborhood of output levels that occurs banding artifacts. First of all principal cause of banding artifacts are analyzed using mathematical description. Based on this analytical result, a threshold modulation technique of MJBNM which takes account of chrominance error and correlation between channels is applied. The original threshold range of MJBNM is first scaled linearly so that the minimum and maximum of the scaled range include two pixel more than adjacent two output levels that cover an input value. In an input value is inside the vicinity of any intermediate output levels produce banding artifacts, the output is set to one of neighboring output levels based on the pointwise comparison result according to threshold modulation parameter that determines the dot density and distribution. In this case, adjacent pixels are introduced at the position where the scaled threshold values are located between two output levels and the minimum and maximum threshold values. Otherwise, a conventional multitoning method is applied. As a result, the proposed method effectively decreased the appearance of banding artifacts around the intermediate output levels. To evaluate the quality of the multitone result, HVS-WRMSE according to gray level for gray ramp image and S-CIELAB color difference for color ramp image are compared with other methods.

**Keywords :** Multitoning, banding artifacts, threshold modulation, MJBNM

\* 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부

(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

접수일자: 2005년10월13일, 수정완료일: 2006년2월10일

## I. 서 론

멀티토닝(multitoning)<sup>[1],[2]</sup>은 연속적인 계조(tone)를 표현하기 위하여 잉크의 ON, OFF로 표현하는 하프토닝<sup>[3],[4]</sup>에 잉크의 도트(dot) 크기와 농도를 조절하여 더 많은 중간 출력레벨을 도입한 프린팅 방법이다. 칼라 영상의 정확한 색 재현과 프린팅 기술의 발전과 더불어 다양한 멀티토닝 기법들이 연구되고 있다. 기본적으로 대부분의 하프토닝 방법은 양자화 과정을 수정함으로써 쉽게 멀티토닝 방법으로 확장 가능하다. 칼라 영상의 경우, 비록 영상에서의 한 화소가 3개의 성분을 가지고 있는 벡터지만 스칼라적인 방법으로 각 칼라 채널에 독립적으로 적용될 수 있다. 그러나 이러한 방법은 각 채널을 독립적으로 처리한 다음 재결합함으로써 쉽게 칼라 영상에 적용 가능한 장점이 있는 반면 채널간의 상관성이 고려되지 않아 어떤 위치에서의 출력 화소에 색 오차나 공간적인 저주파 패턴(pattern)이 발생할 수 있다<sup>[5]</sup>.

우수한 색 재현 능력에도 불구하고 일반적인 멀티토닝 기법은 출력레벨 근방에서 단일 점이 균일하게 분포하는 락스점이 발생하여 부드러운 계조영역에서 불연속적이며 시각에 거슬리는 패턴을 발생시킨다<sup>[6],[7]</sup>. 멀티토닝의 한 예로 기존의 이진 오차 확산법(error diffusion)은 양자화 단계를 멀티레벨 양자화기로 대체함으로써 양자화 오차를 많이 줄일 수 있지만 출력 레벨 주위에서의 락스점으로 인해 연속적인 계조표현이 어려운 문제가 발생한다<sup>[8]</sup>. 이러한 락스점을 줄이기 위해 Faheem et al.<sup>[6],[8]</sup>은 입력 영상을 명암도 변환 곡선을 이용하여 프린터로 출력 가능한 명암도 영상으로 분리하였다. 기존의 하프토닝 오차 확산법으로 각 채널의 상관성을 고려하여 독립적으로 처리한 다음 재결합하였다. 이 방법은 구현이 간단하고 락스점을 줄일 수 있는 특징을 가지는 반면, 중간 밝기 영역에서 고주파 난알 무늬(granularity)가 두드러지며 영상 의존적인 방법으로 인해 공간 주파수 특성에 따라 도트 패턴을 달리해야하는 문제점이 있다. 또한 Yu et al.<sup>[7]</sup>은 stochastic screen을 이용하여 출력레벨 주위에서 부드러운 계조(transition)를 표현하기 위해 over modulation 방법을 제안하였다. 이 방법은 over modulation 함수에 따라 입력값을 변경하여 이웃 출력레벨의 도트들을 도입하게 된다. 이 방법은 입력에 대해 평균 밝기를 유지하지만 over modulation 함수에 따라 입력값을 변환하는 전처리 과정이 필요하고 출력 패턴을 위해 고유 상

관성이나 주파수 특성을 고려한 screen을 디자인해야 하는 단점이 있다.

따라서 본 논문은 먼저 stochastic screen을 이용한 멀티토닝 기법에서 락스점이 발생하는 주요 원인을 수학적으로 분석하고, 이를 바탕으로 락스점을 줄이기 위해 MJBNM<sup>[9]</sup>의 임계값 변조를 이용한 멀티토닝 기법을 제안하였다. 채널 간 상관성뿐만 아니라 색 오차를 고려한 MJBNM의 사용으로 멀티토닝 결과가 blue noise 특성을 가지게 되어 시각적으로 우수한 결과를 나타낸다. 전체 과정은 락스점이 발생하는 출력레벨 근방에서 주위 도트가 인쇄되도록 초기 임계값 범위를 선형 조정하는 새로운 방법과 도트 패턴을 고려하는 임계값 변조 인수를 이용한 양자화 방법으로 구성되어 있다.

본 논문은 먼저 II장에서 멀티토닝에서 락스점이 발생하는 원인을 수학적으로 분석하고, III장에서 제안한 멀티토닝 방법을 설명한다. IV장에서 실험 및 고찰을 통해, V장에서 결론을 맺는다.

## II. 멀티토닝에서 락스점의 원인

Stochastic screening 기법은 구현의 용이성으로 인해 쉽게 멀티토닝으로 확장될 수 있다. 입력값이 임계값과 화소 대 화소로 비교되기 전에, [0, 255] 범위의 초기 임계값은 입력값을 포함하는 어떤 중간 범위로 조정된다<sup>[7]</sup>. 이 때 선형 조정 함수는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} Th_s &= \\ &= Th_{s(max)} - (Th_{o(max)} - Th_o) \cdot \frac{(Th_{s(max)} - Th_{s(min)})}{(Th_{o(max)} - Th_{o(min)})} \quad (1) \end{aligned}$$

여기서  $Th$ 는 임계값을 나타낸다. 아래 첨자  $o$ 와  $s$ 는 각각 초기 임계값과 조정된 임계값이고, max와 min은 주어진 임계값 범위에서의 최대, 최소값이다. 따라서 초기 임계값 범위의 최대, 최소값인  $Th_{o(min)}$ 과  $Th_{o(max)}$ 는 0과 255로 고정된다. 입력값에 따른 임계값 선형 조정 함수는 그림 1과 같이 표현될 수 있다.

만일 입력값이 출력레벨 0과 85사이에 존재한다면, 초기 임계값 범위는 [0, 85]로 선형 조정되고, 이 때  $Th_{s(min)}$ 과  $Th_{s(max)}$ 는 0과 85가 된다. 이 위치에서의 출력값은 임계값과 화소 대 화소 비교에 의해 0 또는 85로 결정된다. 그러나 락스점이 발생하는 출력레벨 주위값 [82, 85]사이에 입력이 존재한다면, 초기 임계값 범위는 다음 수식에 의해 조정된다.

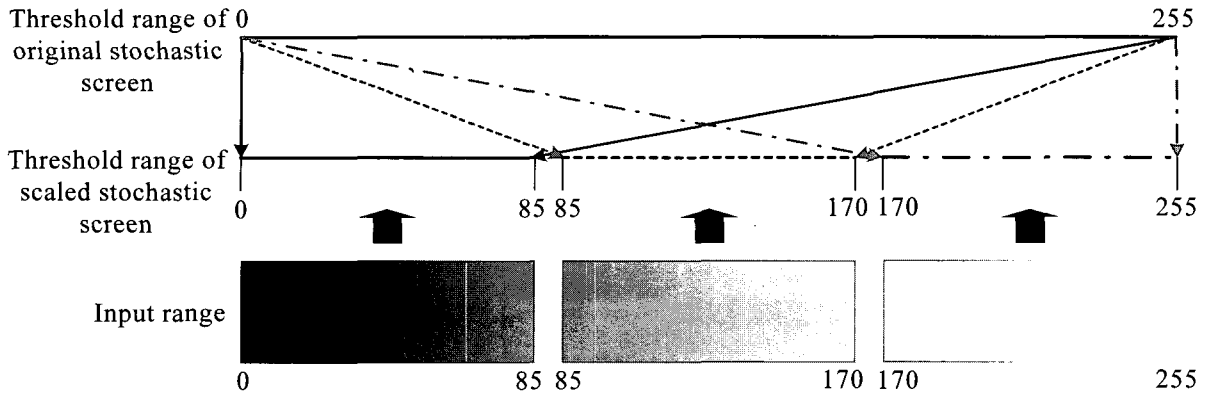


그림 1. 입력값에 따른 임계값 조정  
Fig. 1. Threshold scaling according to the input value.

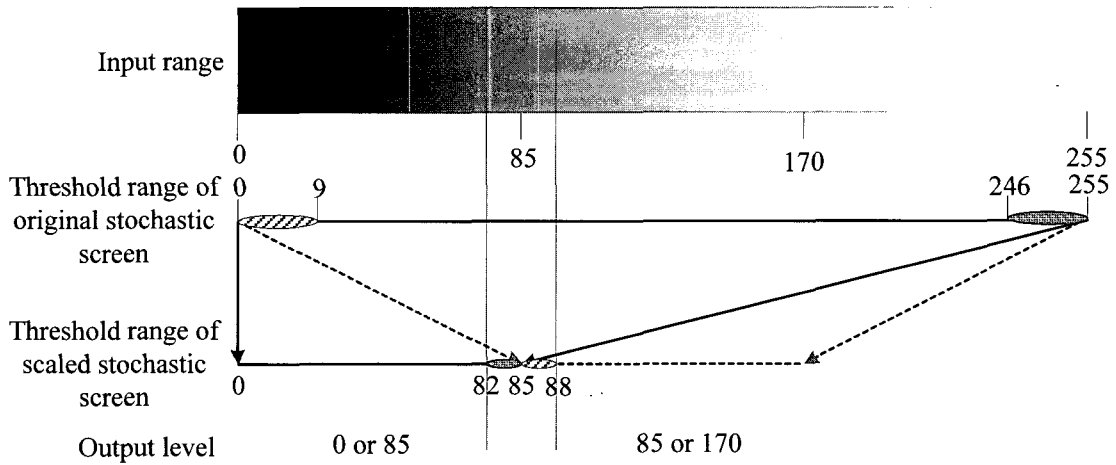


그림 2. 띠 결점에 해당하는 임계값 조정  
Fig. 2. Threshold scaling corresponding to banding artifacts.

$$Th_s = 85 - (255 - Th_o) \cdot \frac{(85 - 0)}{(255 - 0)}$$

$$= Th_o \cdot \frac{85}{255}$$

(2)

수식 (2)에 의하면 초기 임계값 범위 [246, 255]만이 범위 [82, 85]로 조정되기 때문에 이 영역에서는 대부분의 임계값이 입력값보다 작아서 85의 출력값을 가진다. 한편 [85, 88]의 입력에 대해서는 아래와 같이 임계값 범위의 선형 조정이 이루어진다.

$$Th_s = 170 - (255 - Th_o) \cdot \frac{(170 - 85)}{(255 - 0)}$$

$$= 85 + Th_o \cdot \frac{85}{255}$$

(3)

수식 (3)에 의하면 초기 임계값 범위 [0, 9]만이 [85, 88]로 선형 조정되기 때문에 이 영역에서는 입력값이 임계

값보다 클 확률이 거의 없다. 따라서 이 영역에서도 대부분 85의 출력값을 가지게 된다. 그 결과 85 출력레벨 주위 영역 [82, 88]에서 85의 출력값이 균일하게 분포하기 때문에 띠 모양의 결점이 발생하게 된다. 그림 2는 초기 선형 임계값 변환 함수에 의해 출력 레벨 85 근처에서 띠 결점이 발생하는 현상을 보여주고 있으며, 그림 3은 멀티레벨 오차 확산법과 stochastic screen을 이용한 멀티토닝에서의 띠 결점을 보여주고 있다. 출력 레벨 근처에서의 띠 결점으로 인해 부드러운 계조 표현이 이루어지지 않는 것을 확인할 수 있다.

### III. 제안한 멀티토닝 방법

멀티토닝 결과를 통해 띠 결점은 출력레벨 근방에서 발생한다는 것을 알 수 있다. 이 영역에서 부드러운 계

조표현을 위해서는 한 종류의 도트만 인쇄되지 않고 이웃 출력레벨의 도트들이 균일하게 섞여 인쇄되도록 도트 분포를 재배열하는 것이 필요하다. 이런 목적 달성을 위해 over modulation 방법<sup>[7]</sup>을 개선한 MJBNM의 임계값 변조방법을 제안하였다. 칼라 영상에서의 색 재현 충실도 향상이 최종 목표이기 때문에 구현이 쉽고 채널간의 상관성뿐만 아니라 색 오차까지 고려한 MJBNM을 사용하였다. 이는 전처리 과정에서 BIPPSMA (binary pattern power spectrum manipulating algorithm)<sup>[9]</sup>에 의해 3개의 마스크를 만들 수 있다. 그림 4는 BIPPSMA에 의해 생성되어 CMY 채널에 각각 사용하게 될 256x256 크기의 마스크를 보여주고 있다. 이 마스크의 모든 화소는 [0, 255] 범위의 값을 가지며, 이 값이 마스크의 초기 임계값이 된다.

제안한 방법은 크게 두 부분으로 구성되어 있으며 그림 5는 전체 흐름도를 나타낸다. 첫 번째 단계는 새로운 함수를 이용하여 MJBNM의 초기 임계값 범위를 선형 조정하는 부분이고, 두 번째 단계는 도트 분포와 패턴에 영향을 미치는 임계값 변조 인수를 이용한 양자화부분이다.

1. 선형 변환함수를 이용한 초기 임계값 범위 조정

첫 번째 단계에서는 하프토닝을 위해 만들어진 MJBNM을 멀티토닝으로 확장하면서 띠 결점을 줄이기 위해 초기 임계값 범위를 선형 조정한다. 기존의 변환방법을 개선한 선형 변환함수는 최대, 최소값이 각각 입력을 포함하는 이웃한 두 출력레벨보다 몇 화소를 더 포함하도록 초기 임계값 범위 [0, 255]을 조정한다. 본문에서는 각 채널마다 동일한 4개의 출력레벨, 0, 85, 170, 255를 가진다. 예를 들어, 만일 입력값이 이웃한 두 출력레벨  $X_1, X_2 (X_1 < X_2)$  사이에 있다면, 초기 임계값 범위 [0, 255]은  $[X_1 - R, X_2 + R]$  범위로 선형 변환된다. 이 때 양 끝점에서는 예외가 존재한다.  $X_1 = 0$ 이면  $X_1 - R = 0$ 이고,  $X_2 = 255$ 이면  $X_2 + R = 255$ 이다. 이 변환과정은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Th_s &= Th_{s(max)} - (Th_{o(max)} - Th_o) \cdot \frac{(Th_{s(max)} - Th_{s(min)})}{(Th_{o(max)} - Th_{o(min)})} \\
 &= \left( X_2 + R - 255 + Th_o \cdot \frac{(X_2 - X_1 + 2R)}{255} \right)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

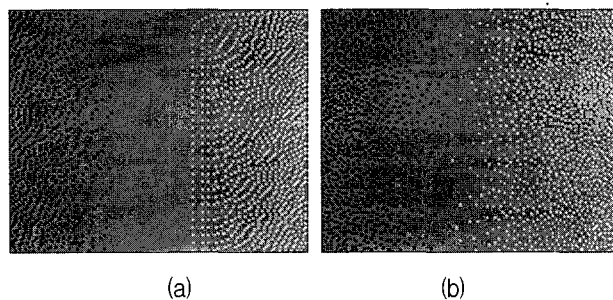


그림 3. 멀티토닝에서의 띠 결점; (a) 오차 확산법, (b) stochastic screening  
Fig. 3. Banding artifacts in multitone; (a) error diffusion, (b) stochastic screening.

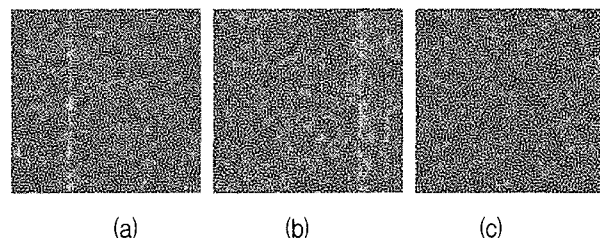


그림 4. MJBNM: (a) cyan 마스크, (b) magenta 마스크, (c) yellow 마스크  
Fig. 4. MJBNM: (a) mask for cyan channel, (b) mask for magenta channel, and (c) mask for yellow channel.

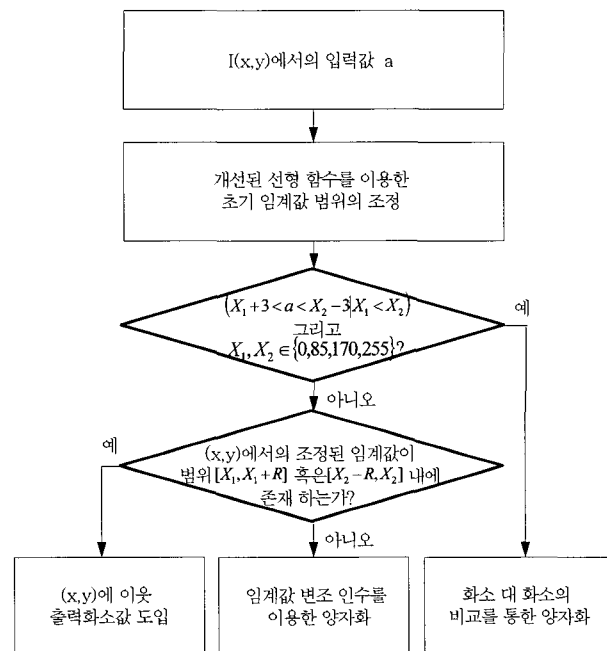


그림 5. 제안한 방법의 전체 흐름도  
Fig. 5. Block diagram of the proposed method.

여기서  $R$ 은 출력레벨 주위에서 이웃 출력레벨 도트들의 밀도를 결정하는 인수이다.  $R$ 이 커질수록 범위  $[X_1 - R, X_2 + R]$ 이 더 확대되기 때문에 이웃 출력레벨의 도트들이 인쇄될 확률이 많아지게 된다.  $R$ 이 작아질

수록 이웃 출력레벨의 도트들은 거의 인쇄되지 않는 결과가 나타난다. 본 논문에서는 여러 번의 실험을 바탕으로  $R$ 을 2로 설정하였다. 그림 6은 gray ramp 영상의 출력레벨 85 주위에서 4가지  $R$  값에 대한 멀티토닝 결과를 보여주고 있다. 결과에서 보듯이 인수  $R$ 의 값에 따라 도입되는 이웃 출력레벨 도트의 밀도가 달라진다는 것을 확인할 수 있다.

## 2. 임계값 변조 인수를 이용한 양자화

이 장에서는 띠 결점을 줄이기 위한 새로운 양자화 과정을 소개한다. 도입될 이웃 출력레벨 도트 패턴에 영향을 주는 임계값 변조 인수를 바탕으로 양자화를 함으로서 부드러운 계조를 표현하고자 한다. Gray ramp 영상에 대해 그림 4의 CMY 마스크를 이용하여 채널별로 stochastic screening 기법으로 멀티토닝을 수행한 결과, 그림 2에서와 같이 띠 결점은 출력레벨  $X$ 를 중심으로  $[X-3, X+3]$ 의 범위에서 발생함을 알 수 있었다. 따라서 입력값을 확인하여 띠 결점이 발생하는 영역에 존재하지 않는다면, 조정된 임계값과의 화소 대 화소의 비교를 바탕으로 하는 기존의 양자화 방법을 적용한다. 즉, 0, 85, 170, 255의 4-레벨 멀티토닝에서  $I(x,y)$ 에서의 입력값  $a$ 가 다음 조건을 만족한다면,

$$(X_1 + 3 < a < X_2 - 3 \mid X_1 < X_2) \text{ and} \quad (5)$$

$$X_1, X_2 \in \{0, 85, 170, 255\}$$

출력값  $O(x,y)$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$Th_s = (X_2 + 2) - (255 - Th_o) \cdot \frac{[(X_2 + 2) - (X_1 - 2)]}{255}$$

$$O(x,y) = \begin{cases} X_1, & \text{if } a < Th_s \\ X_2, & \text{if } a \geq Th_s \end{cases} \quad (6)$$

한편으로 만일  $I(x,y)$ 에서의 입력값  $a$ 가 띠 결점이 발생하는 영역에 존재한다면, 출력값  $O(x,y)$ 는 조정된 임계값과 임계값 변조 인수에 따라 아래와 같이 결정된다.

$$\text{If } X_1 - 3 \leq a \leq X_1$$

$$\text{then } O(x,y) = \begin{cases} X_1 + 85, & \text{if } X_1 \leq Th_s \leq X_1 + 2 \\ X_1 + 85, & \text{if } X_1 - 87 \leq Th_s \leq X_1 - 85 \\ X_1 - 85, & \text{if } a < Th_s \\ X_1, & \text{if } a \geq Th_s + \Delta Th_1 \end{cases} \quad (7)$$

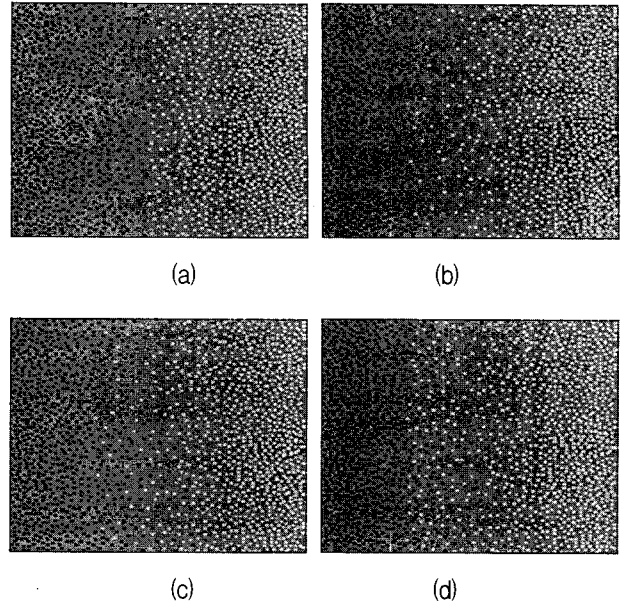


그림 6. Gray ramp 영상의 출력레벨 85 주위에서  $R$ 값에 따른 멀티토닝 결과; (a)  $R=0$ , (b)  $R=1$ , (c)  $R=2$ , (d)  $R=3$

Fig. 6. Multitoning results for gray ramp image around the intermediate output level 85 according to  $R$ ; (a)  $R=0$ , (b)  $R=1$ , (c)  $R=2$ , and (d)  $R=3$ .

$$\text{If } X_1 < a \leq X_1 + 3$$

$$\text{then } O(x,y) = \begin{cases} X_1 - 85, & \text{if } X_1 - 2 \leq Th_s \leq X_1 \\ X_1 - 85, & \text{if } X_1 + 85 \leq Th_s \leq X_1 + 87 \\ X_1, & \text{if } a < Th_s \\ X_1 + 85, & \text{if } a \geq Th_s + \Delta Th_2 \end{cases}$$

여기서  $\Delta Th_1$ 과  $\Delta Th_2$ 는 띠 결점이 발생하는 영역에서 도트 패턴을 결정하는 임계값 변조 인수로서 각각 2, -2로 설정되었다. 이 값은 실험적으로 구해진 것이며, 그림 7은 gray ramp 영상의 출력레벨 85 주위에서 6가지의 ( $\Delta Th_1, \Delta Th_2$ ) 값에 대한 멀티토닝 결과를 보여준다. 두 인수가 같은 부호를 가질 경우, 부드러운 패턴이 생성되지 않는다. 또한 두 값의 절대값이 작거나 크면 띠 결점이 발생하는 영역에서 이웃 출력레벨의 도트 밀도가 작거나 크게 된다는 것을 알 수 있다. 식 (7)에서  $X_1 - 87$ 은 0보다 작지 않고,  $X_1 + 87$ 은 255를 초과하지 않는다. 그리고 4가지 조건에서 상위 2개의 조건이 하위 2개의 조건보다 우선순위를 가진다.

모든 출력 레벨에서 그림 6과 7에 대한 실험결과는 출력 레벨이 85인 경우와 동일한 패턴을 가지기 때문에 대표적으로 출력레벨 85에 대한 결과만을 나타내기로 한다.

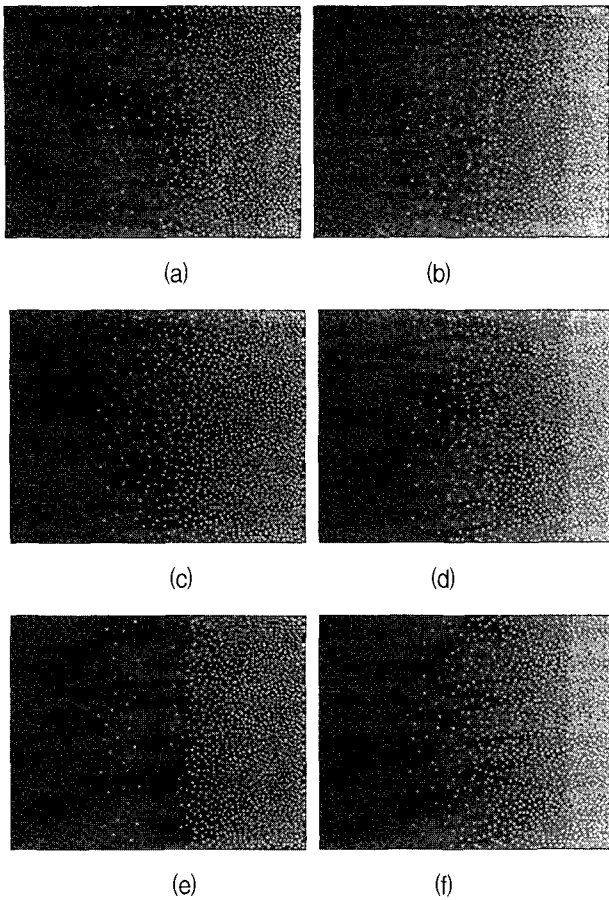


그림 7. Gray ramp 영상의 출력레벨 85 주위에서  $(\Delta Th_1, \Delta Th_2)$  값에 따른 멀티토닝 결과;  
 (a) (0,0), (b) (1,-1), (c) (2,-2),  
 (d) (3,-3), (e) (2,2), (f) (-2,-2)  
 Fig. 7. Multitoning results for gray ramp image around the intermediate output level 85 according to  $(\Delta Th_1, \Delta Th_2)$ ;  
 (a) (0,0), (b) (1,-1), (c) (2,-2),  
 (d) (3,-3), (e) (2,2), (f) (-2,-2).

IV. 실험 및 고찰

모든 실험은 1024x128 gray ramp 영상과 512x640 color ramp 영상을 이용하였다. 또한 멀티토닝 결과는 stochastic screen을 이용한 일반적인 방법과 MJBNM을 이용한 over modulation 방법<sup>[7]</sup>의 결과와 비교하였다. 특히 객관적인 평가를 위해 gray ramp 영상에서 명암도에 따른 HVS-WRMSE (HVS-Weighted Root Mean Square Error) 그래프를 분석하여 출력레벨 영역에서의 부드러운 계조 변화를 비교하였다<sup>[7]</sup>. 다음은 HVS-WRMSE를 정의하는 수식이다.

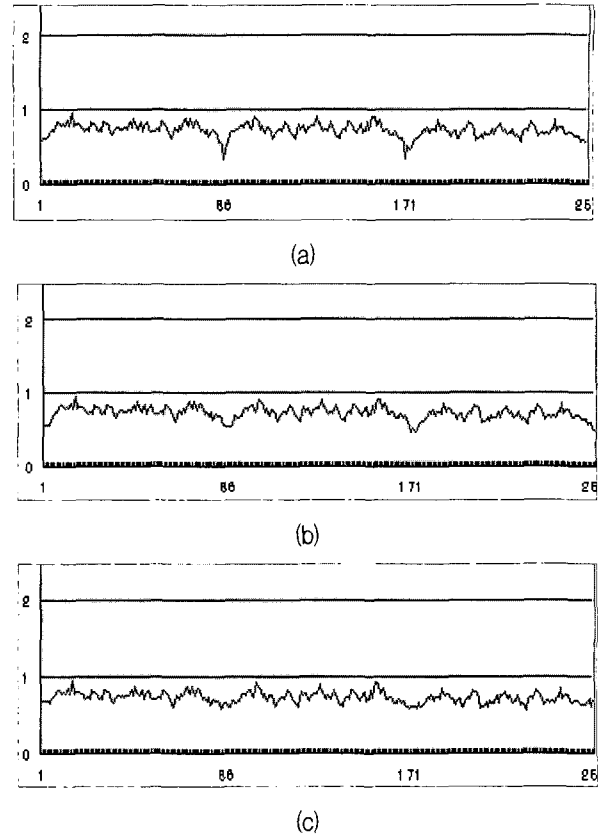


그림 8. Gray ramp 영상에서 명암도에 따른 HVS-WRMSE 그래프;  
 (a) stochastic screening, (b) over modulation method, (c) the proposed method  
 Fig. 8. HVS-WRMSE graph for gray ramp image according to gray level;  
 (a) stochastic screening, (b) over modulation method, and (c) the proposed method.

$$HVS - WRMSE = \sqrt{\frac{\sum \sum [(I(x,y) - O(x,y)) * h(x,y)]^2}{N}} \quad (8)$$

여기서 N은 영상의 총 화소수이고 h(x,y)는 인간 시각 시스템(HVS)의 점 확산 함수이다. 그림 8은 gray ramp 영상에서 명암도에 따른 HVS-WRMSE 그래프를 보여준다. 각 그래프에서 x 축은 명암도, y 축은 HVS-WRMSE 값을 나타낸다. 그림 8(a)에 비해 8(b), 8(c)에서 전반적인 값의 변화가 작으며, 출력레벨 근방에서는 8(b)보다 8(c)의 그래프가 더 부드러운 것을 알 수 있다. 이는 때 결점을 줄이는 알고리즘의 적용으로 원영상과의 오차가 줄어들었을 뿐만 아니라 제한한 방법이 over modulation 방법보다 상대적으로 부드러운 계조를 표현한다는 것을 알 수 있다.

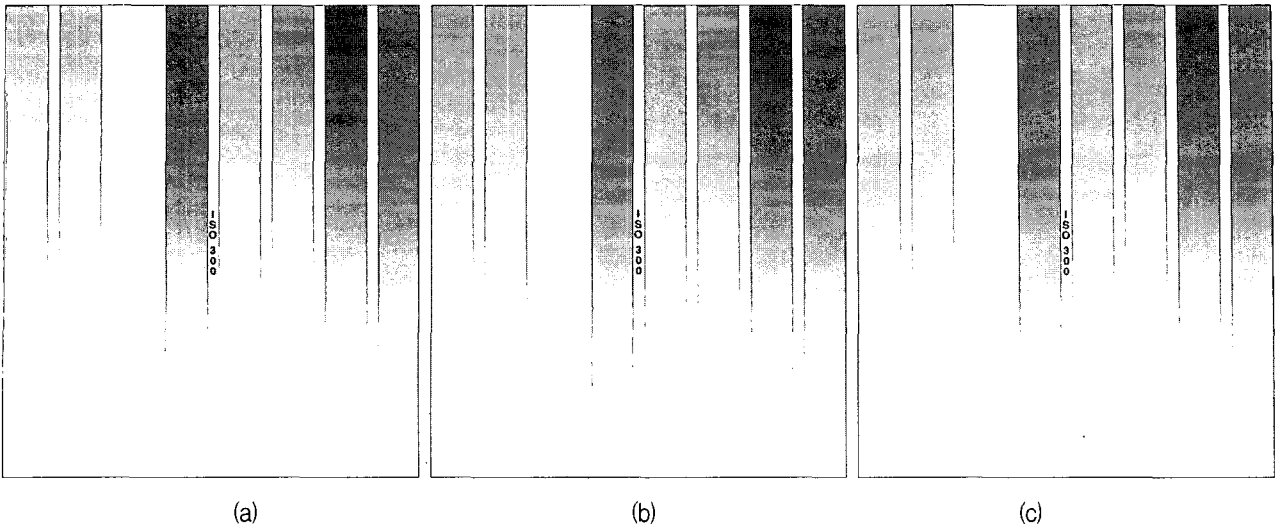


그림 9. 출력한 멀티토닝 color ramp 영상; MJBNM을 이용한 (a) 기존의 방법, (b) over modulation 방법, (c) 제안한 방법  
 Fig. 9. Printed version of multitoneing results for color ramp image; (a) conventional method, (b) over modulation method, and (c) the proposed method using MJBNM.

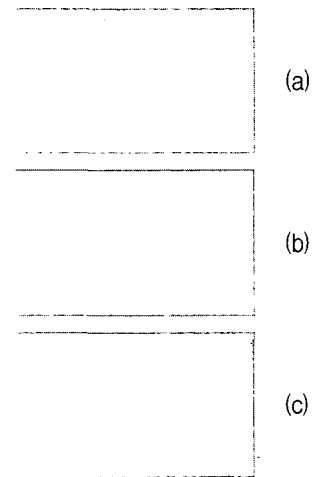


그림 10. C, M, Y, K ramp에서 출력레벨 170 부분을 확대한 영상;  
 (a) MJBNM을 이용한 (a) 기존의 방법, (b) over modulation 방법, (c) 제안한 방법  
 Fig. 10. Magnified version of C, M, Y, K ramp around the intermediate output level 170;  
 (a) (a) conventional method, (b) over modulation method, and (c) the proposed method using MJBNM.

Color ramp 영상에서는 멀티토닝 결과의 공간적인 패턴에 따른 색 오차를 S-CIELAB을 통해 비교하였다. 공간적인 low-pass filtering을 위한 시청 조건은 20인치 시청 거리와 300dpi 해상도이다. 그림 8(a), 8(b), 8(c) 방법에 대한 S-CIELAB 색차(color difference)<sup>[10]</sup>는 각각 2.67, 1.83, 1.51이다. 띠 결점의 감소로 인해 색차가 조금 줄어든 것을 확인할 수 있으며 over modulation 방법과 비교할 때, 제안한 방법에서 색차가 좀 더 감소하였다. 객관적인 화질 평가에 사용된 데이터는 디지털 파일의 값이다. 그림 9(a), 9(b), 9(c)는 각각 MJBNM

방법, over modulation을 적용한 MJBNM 방법, 제안한 알고리즘을 적용한 MJBNM 방법으로 color ramp 영상을 실제 멀티토닝하여 스캔한 영상이다. 이 때 사용한 장비는 300dpi 해상도를 가진 4-레벨 HP948C 잉크젯 프린터와 300dpi 해상도의 HP ScanJet7400C 스캐너이다. 그림 10(a), 10(b), 10(c)은 그림 9(a), 9(b), 9(c)에 해당하는 결과 영상을 C, M, Y, K ramp 부분에서 출력레벨 170 부분만을 확대한 영상을 보여주고 있다. 디지털 영상과 비교할 경우, 띠 결점을 쉽게 확인할 수는 없지만 어떠한 알고리즘도 적용하지 않은 그림 10(a)에서 띠

결점이 발생함을 알 수 있고, over modulation을 적용한 그림 10(b)에 비해 제안한 알고리즘을 적용한 그림 10(c)에서 좀 더 부드러운 계조를 표현함을 확인할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문은 멀티토닝의 출력 레벨에서 발생하는 락스 결점을 줄이기 위해 MJBNM의 임계값 변조를 이용한 멀티토닝 방법을 제안하였다. 먼저 수학적인 설명으로 락스 결점의 원인을 분석하였고, 새로운 함수를 이용하여 MJBNM의 초기 임계값 범위를 선형 조정하는 방법과 도트 분포와 패턴에 영향을 미치는 임계값 변조 인수를 이용한 양자화 방법을 제안하였다. HVS-WRMSE 그래프와 S-CIELAB 색차를 이용한 객관적인 평가와 인간 시각에 의한 주관적인 평가에서 다른 방법들에 비해 효과적으로 락스 결점을 줄일 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. Miller and C. Smith, "Mean-preserving multilevel halftoning algorithm," *Human Vision, Visual Processing, and Digital Display IV*, San Jose, CA, Proc. SPIE vol. 1913, pp. 367-377, 1993.
- [2] J. L. Mitchell, G. R. Thompson, C. W. Wu, T. J. Trenary, and Y. Qiao, "Multilevel Color Halftoning," *Ninth Color Imaging Conference*, Scottsdale, USA, pp. 189-199, 2001.
- [3] R. Ulichney, *Digital Halftoning*, The MIT Press, 1993.
- [4] H. R. Kang, *Digital Color Halftoning*, The SPIE Optical Engineering Press, 1999.
- [5] G. Sharma, *Digital Color Imaging Handbook*, The CRC Press, 2003.
- [6] F. Faheem, G. R. Arce and D. L. Lau, "Digital multitone using gray level separation," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 46, no. 5, pp. 385-397, Sep./Oct. 2002.
- [7] Q. Yu, K. J. Parker, K. Spaulding and R. Miller, "Digital multitone with overmodulation for smooth texture transition," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 8, no. 3, pp. 311-321, July 1999.
- [8] K. Miyata and M. Saito, "An evaluation method for the images obtained by multi-level error diffusion method," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 42, no. 2, pp. 115-120, Mar./Apr. 1998.
- [9] Y. S. Kwon, Y. T. Kim, H. K. Lee and Y. H. Ha, "Modified jointly-blue noise masks approach using S-CIELAB color difference," *Ninth Color Imaging Conference*, Scottsdale, USA, pp. 194-198, Nov. 2001.
- [10] X. M. Zhang and B. A. Wandell, "A Spatial Extension to CIELAB for digital color image reproduction," *Proc. of the SID Symposium*, vol. 27, pp. 731-734, 1996.

---

## 저 자 소 개

박 태 용(정회원)  
제 41권 SP편 제5호 참조

손 창 환(정회원)  
제 41권 SP편 제6호 참조

이 명 영(정회원)  
제 41권 SP편 제1호 참조

하 영 호(정회원)  
제 38권 SP편 제3호 참조