

논문 2007-44SP-4-3

부드러운 계조 변화를 위한 잉크 분포 조절 기반의 멀티토닝 방법

(Multitoning Method Based on Arrangement of Ink Distribution for
Smooth Tone Transition)

박 태 용*, 박 기 현*, 하 영 호**

(Tae-Yong Park, Kee-Hyon Park, and Yeong-Ho Ha)

요 약

멀티레벨 잉크젯 프린터는 다양한 도트 크기 및 다른 농도를 가진 잉크를 사용함으로써 뛰어난 색재현과 부드러운 계조를 표현할 수 있다. 이에 멀티토닝 기법에 관한 많은 연구 노력들이 더 나은 영상 화질을 위해 진행되고 있다. 하지만 멀티토닝은 프린터가 출력할 수 있는 레벨에서 일정 구간 같은 잉크가 찍히는 banding artifact가 발생한다. 이는 특히 부드러운 계조 변화 영역에서 불연속성이나 시각적으로 좋지 않은 결과를 낳게 된다. 따라서 이러한 banding artifact를 줄이기 위하여 본 논문에서는 개선된 임계값 배율 조정함수를 이용하여 프린터 출력 레벨에서 이웃 출력 잉크의 혼합 비율을 제어함으로써 잉크 분포를 조절하는 멀티토닝 방법을 제안한다. Banding artifact가 발생하는 영역에서의 잉크 분포는 이웃 출력 잉크의 혼합 시점을 조절하는 임계값 배율 조정 함수의 두 인자에 의해 달라진다. 따라서 8명의 관찰자를 이용하여 여러 가지 인자 값에 대한 프린터 출력 레벨에서의 잉크 분포를 조사하였다. 그 결과, 특정 인자 값을 가진 임계값 배율 조정 함수를 사용함으로써 시각적으로 부드러운 계조 변화를 표현할 수 있었다. 실험에서는 제안한 방법을 칼라와 회색조 ramp 영상에 적용하여 banding artifact 감소와 색재현성에서의 더 나은 성능을 확인하였다.

Abstract

Multilevel inkjet printer employs multiple ink droplets with variable dot size and/or different concentrations intended to preserve high fidelity color reproduction and the appearance of continuous tone. A variety of research efforts on multitoning techniques has progressed toward better image quality. However, banding artifacts appear due to the same dot distributions near the printable output levels. This results in discontinuity and visually displeasing output, especially at the smooth tone transition region. In this paper, to reduce the banding artifacts, a multitoning method to arrange ink distribution by controlling the blending proportion of adjacent output pixels based on an improved threshold scaling function is proposed. Ink distributions across the banding regions are changed according to two factors of the threshold scaling function because these factors handle the blending point of adjacent output pixel. Therefore, 8 observers subjectively investigated ink distributions around the printable output levels for a set of the improved threshold scaling function. For a threshold scaling function with the specific factor values, we can achieve smoother visual transition. In the experiment, the proposed method showed a reduction of banding artifacts in both gray and color image and represented better performance of color reproduction.

Keywords : banding artifact, 멀티토닝, 임계값 배율 조정, 잉크 분포

I. 서 론

멀티토닝(multitoning)은 본질적으로 블랙 잉크의 ON, OFF 상태로 연속계조의 영상을 표현하는 이진 하프토닝(bilevel halftoning)^[1]을 확장한 것으로 더 많은 프린터 출력 레벨을 가진다. 이에 다양한 멀티토닝 기

* 학생회원, ** 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer
Science, Kyungpook National University)

※ 본 결과물은 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의
출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실지원사
업의 연구결과임.

접수일자: 2007년1월2일, 수정완료일: 2007년6월5일

술들이 이미 높은 충실도의 색재현을 위해 널리 사용되고 있으며, 기존의 방법들을 개선시키기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다. 멀티레벨 잉크젯 프린터의 측면에서 볼 때, 계조의 밝기나 부드러움은 다양한 도트(dot) 크기 및 다른 농도(concentration)를 가진 잉크를 사용함으로써 달성할 수 있다.

예를 들면, 멀티레벨 프린터를 이용한 흑백 영상의 경우, 어두운 영역에서는 0 명암도(intensity)의 잉크는 항상 찍히는 반면 1/3 명암도의 잉크는 하프토닝 된다. 중간 밝기 영역에서는 1/3 명암도와 2/3 명암도의 잉크 모두 하프토닝 되지만, 밝은 영역에서는 2/3 명암도의 잉크만이 하프토닝 된다. 이러한 시스템은 부드러운 계조 표현이 가능하지만, 프린터 출력 레벨에서 일정 구간 같은 잉크가 찍히는 banding artifact가 발생한다.^[2-4] 이는 특히 부드러운 계조 변화 영역에서 불연속성이나 시각적으로 좋지 않은 결과를 낳게 된다.

이러한 banding artifact를 줄이기 위하여 기존 연구에서 MJBNM의 임계값 변조를 이용한 멀티토닝 방법이 제안되었다^[2]. 이 방법은 입력값의 범위에 따라 임계값 변조 인수를 제안하여 banding 영역에서 도입되는 이웃 출력 잉크의 밀도와 패턴을 관찰하여 부드러운 계조를 표현하도록 하였다. 또한 Faheem et al.^[3]은 회색 계조 분리 기법을 이용한 새로운 멀티토닝 방법을 제안하였다. 이 방법은 입력 영상을 프린터 출력 가능한 회색 계조 영상으로 분리한 다음, 각 채널을 오차 확산법을 이용하여 하프토닝하고 재결합을 통하여 최종 하프토닝 영상을 얻는다. Stochastic screening이 아닌 오차 확산법을 이용한 이 기법은 구현하기가 쉽고 banding artifact를 줄여주는 장점이 있는 반면, 중간 계조 영역에서 고주파의 난알 모양(granularity)이 도드라져 보이게 된다. 또한 영상 의존적인 방법으로 인해 공간 주파수 특성에 따라 도트 패턴을 달리해야 하는 문제점이 있다. Yu et al.^[4]은 Blue Noise Mask(BNM)^[5]과 같은 stochastic screen^[6]을 이용하여 부드러운 계조 표현을 위한 over modulation 기법을 제안하였다. 이 방법은 간단한 방법으로, 원하는 멀티토닝 패턴을 얻기 위하여 프린터 출력 레벨 주위에 있는 도트 패턴들을 교묘하게 조작한다. 그러나 입력에 대해 평균 밝기를 유지하지만 이 방법에 있어서 보통의 stochastic screen은 최적이지 아니기에 screen을 디자인 하는 과정에서 고유의 상관성이나 특성을 고려해야 한다는 단점이 있다.

따라서 이 논문에서는 banding artifact를 줄이기 위하여 개선된 임계값 배율 조정 함수를 이용하여 프린터

출력 레벨에서 이웃 출력 잉크의 혼합 비율을 제어함으로써 잉크 분포를 조절하는 멀티토닝 방법을 제안한다. 먼저 특정 위치에 있는 입력값이 banding 영역 내에 있는가를 먼저 체크한다. 만일 그렇지 않다면, 일반적인 임계값 배율 조정 함수를 이용한 기존의 멀티토닝 방법을 적용한다. 그러나 만일 입력값이 banding artifact가 발생하는 영역에 존재하는 값이라면 다양한 두 인자 값에 대한 개선된 임계값 배율 조정 함수를 이용하여 프린터 출력 레벨에서의 잉크 분포를 조사한다. 여기서 두 인자는 banding artifact가 발생하는 영역에서 이웃 출력 잉크의 혼합 시점을 조절하여 잉크 분포를 변화시키게 된다. 12명의 관찰자의 주관적 평가에 의해 특정 인자 값을 가진 임계값 배율 조정 함수를 사용함으로써 부드러운 계조 변화를 표현할 수 있다. 실험에서는 칼라 ramp 영상에 대한 S-CIELAB^[8] 색차를 이용하여 색재현성을 객관적으로 평가하였다. 또한 주관적 평가에서는 회색조 및 칼라 ramp 영상에 대해 프린터 출력 레벨에서의 멀티토닝 패턴을 비교하였다.

본 논문은 II장에서 stochastic screen을 이용한 기존의 멀티토닝 방법에서의 banding artifact에 대해 알아보고, III장에서 제안한 방법을 설명한다. IV장 실험 및 결과에 이어 V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존 멀티토닝 방법에서의 banding artifact

Stochastic screen을 이용한 이진 하프토닝 방법은 구현이 간단하기 때문에 쉽게 멀티토닝 방법으로 일반화 될 수 있다. 이때 이진 하프토닝을 위해 설계된 stochastic screen을 이용하여 멀티토닝을 수행하기 위해서는 입력값과 screen의 임계값과의 비교 과정이 수행되기 전에 임계값의 배율 조정 과정이 필요하다. 즉, 특정위치에서의 입력값에 따라 초기 임계값 범위가 어떤 중간 범위로 배율 조정된다. 이때 사용되는 일반적인 임계값 배율 조정 함수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$Th_s(x', y') = Th_{s(max)} + \frac{(Th_{s(max)} - Th_{s(min)})}{(Th_{o(max)} - Th_{o(min)})} \times [Th_o(x', y') - Th_{o(max)}] \quad (1)$$

여기서 (x', y') 는 screen의 좌표계를 나타내고, Th 는 임계값에 대한 약어(abbreviation)를 의미한다. 또한 $Th_{o(max)}$ 와 $Th_{o(min)}$ 은 초기 임계값 범위에서의 최대, 최소값인데 각각 255와 0의 값을 가진다. 이는 이 논문

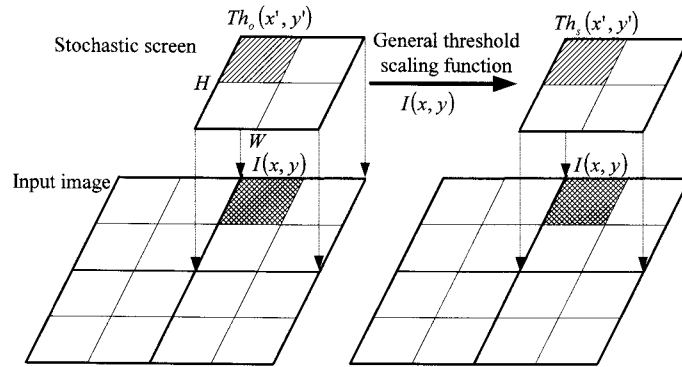


그림 1. 일반적인 임계값 배율 조정 함수를 이용한 기존의 멀티토닝 방법
 Fig. 1. Conventional multitone with general threshold scaling function.



그림 2. Blue Noise Mask (BNM)를 사용한 기존의 멀티토닝 방법에 의한 회색조 ramp
 Fig. 2. Gray ramp multitone using conventional method with a Blue Noise Mask. (BNM)

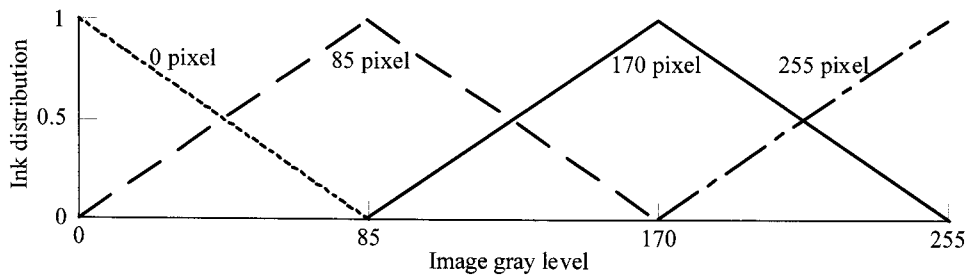


그림 3. 그림 2에 대한 잉크 분포 그래프
 Fig. 3. Curves for Ink distribution corresponding to Fig. 2.

에서 사용하는 프린터가 8 bits/pixel의 명암 재현성을 가지고 있으며, 4단계 출력 레벨 0, 85, 170, 255를 나타내기 때문이다. 그리고 $Th_{s(max)}$ 와 $Th_{s(min)}$ 는 배율 조정된 임계값 범위에서의 최대, 최소값으로 이웃한 두 개의 프린터 출력 레벨 중 큰값과 작은값을 의미한다. 이렇게 임계값 배율 조정이 끝나면, 출력값은 입력값과 이에 대응되는 위치에 있는 배율 조정된 임계값과의 화소 대 화소의 비교에 의해 결정된다. 만일 입력값이 배율 조정된 임계값보다 크면 출력값은 $Th_{s(max)}$ 가 되고, 그렇지 않으면 $Th_{s(min)}$ 이 된다. 그림 1은 화소 대 화소의 비교 과정을 나타내는 도식도이며, 수식으로는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$O(x,y) = \begin{cases} Th_{s(max)}, & \text{if } I(x,y) \geq Th_s(x',y') \\ Th_{s(min)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

일반적인 임계값 배율 조정 함수를 이용한 기존의 멀티

토닝 방법은 그림 2에서 보여주는 것처럼 프린터 출력 레벨 85와 170 근방에서 동일한 잉크가 일정 구간 찍히는 banding artifact가 발생한다. 이는 부드러운 계조 영역에서 불연속적인 패턴을 나타낸다.

그림 3은 그림 2에서 보여준 회색조 ramp 영상에 해당하는 잉크 분포 그래프를 보여준다. 가로축은 영상의 회색 계조이며, 세로축은 잉크량을 나타낸다. 모든 회색 계조에서 찍히는 전체 잉크량의 합은 1이 되어야한다. 그림 3에서 보듯이 프린터 출력 레벨 85 (회색 계조 85)에서 다수 출력 잉크 (majority pixel)인 명암도 85 잉크 (85 pixel) 외에 이웃 출력 잉크인 명암도 0 잉크 (0 pixel)와 170 잉크 (170 pixel)가 혼합되지 않기 때문에 프린터 출력 레벨 85근방에서 다수 출력 잉크인 명암도 85 잉크만 일정구간 찍히는 banding artifact가 발생한다. 물론 다른 프린터 출력 레벨 0, 170, 255에서도 유사한 방식에 의해 banding artifact가 나타난다. 하지만 0

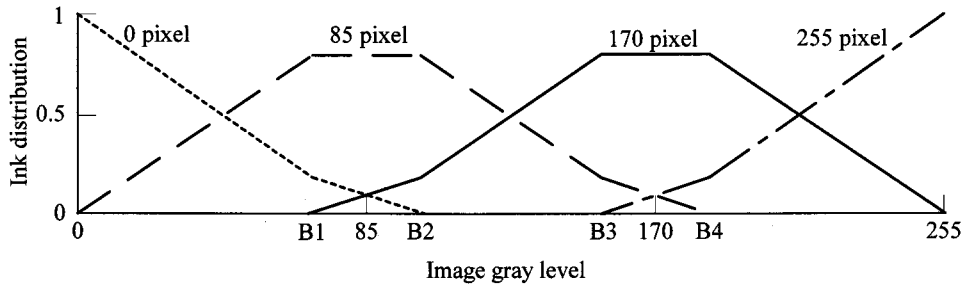


그림 4. 제안한 방법으로 멀티토닝 한 회색조 ramp에 대한 원하는 잉크 분포 그래프
 Fig. 4. Desired curves for ink distributions corresponding to a gray ramp multitone with the proposed method.

과 255에서의 banding artifact는 계조가 시작하고 끝나는 양 극단에 존재하기 때문에 인간시각에는 큰 영향을 미치지 않는다. 따라서 이러한 banding artifact를 줄여서 부드러운 계조 변화를 표현하기 위해서는 프린터 출력 레벨에서 이웃 출력 잉크의 분포를 조절해야 한다.

III. 제안한 멀티토닝 방법

Banding artifact는 프린터 출력 레벨에서 같은 잉크가 일정 구간 적힘으로써 나타나는 현상이기 때문에 부드러운 계조 변화를 표현하기 위해서는 이웃 출력 잉크를 혼합하여 잉크 분포를 조정해야 할 필요가 있다. 이는 banding artifact가 발생하는 영역에서 이웃 출력 잉크의 분포 그래프가 더 평평하고 서로 교차해야 한다는 것을 뜻한다. 그림 4는 제안한 방법으로 회색조 ramp를 멀티토닝 했을 때, 우리가 원하는 회색 계조에 대한 잉크 분포 그래프를 보여주고 있다. 따라서 본 논문에서는 개선된 임계값 배율 조정함수를 이용하여 프린터 출력 레벨에서 이웃 출력 잉크의 혼합 비율을 제어함으로써 잉크 분포를 조절하는 멀티토닝 방법을 제안한다. 개선된 임계값 배율 조정함수는 banding artifact가 발생하는 영역에서 이웃 출력 잉크의 혼합 시점을 조절하여 잉크 분포를 변화시키는 두 인자를 가지고 있다. 다수의 관찰자들이 다양한 두 인자 값에 대해 프린터 출력 레벨에서의 잉크 분포에 따른 계조를 주관적으로 평가함으로써 가장 뛰어난 결과를 보이는 두 인자 값을 찾게 된다.

이 논문에서는 회색조 영상의 경우 BNM^[5], 칼라 영상의 경우 CMY 채널을 위한 3개의 Modified Jointly Blue Noise Mask (MJBNM)^[7]을 사용하며, 이 마스크들은 전처리 과정에서 디자인된다.

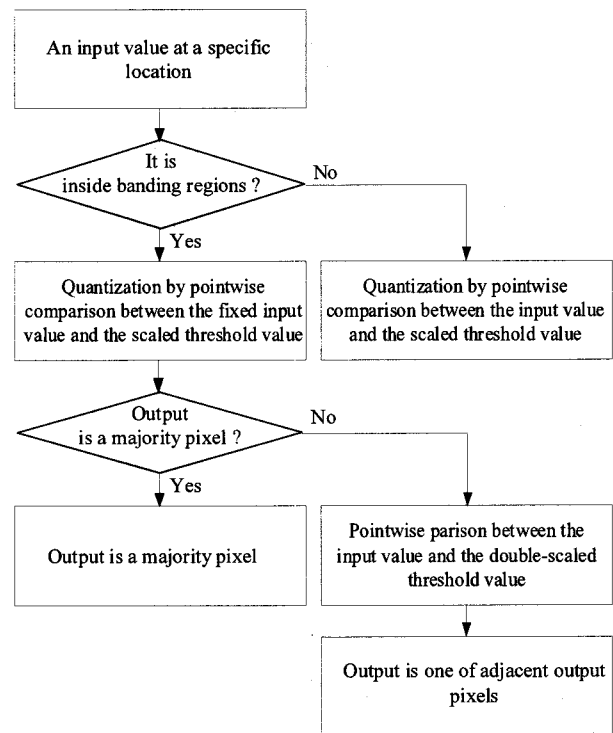


그림 5. 제안한 방법의 흐름도
 Fig. 5. Flow chart of the proposed method.

3.1. 다수 출력 잉크의 분포를 위한 양자화 과정

그림 5는 제안한 방법의 전체 흐름도를 보여주고 있다. 제안한 방법은 크게 두 단계의 양자화 과정으로 구성되어 있다. 먼저 특정 위치에서의 입력값이 banding 영역내에 존재하는가를 조사한다. 만일 그렇지 않으면, 일반적인 임계값 배율 조정 함수를 사용한 기존의 멀티토닝 방법이 적용된다. 우리의 관심사는 banding artifact가 발생하는 프린터 출력 레벨 근처에 있는 입력값이다. 이 범위 내에 있는 입력값에 대해서 프린터 출력 레벨 근방에 다수 잉크를 찍기 위한 양자화 과정을 수행한다. 각 banding 영역에서의 다수 출력 잉크는

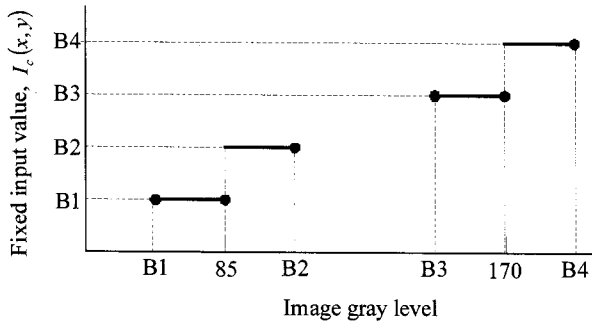


그림 6. 입력 계조값에 대한 고정된 입력값
Fig. 6. Fixed input values corresponding to image gray levels.

다음과 같다.

$$Majority\ pixel = \begin{cases} 85, & \text{if } I(x,y) = [B1, B2] \\ 170, & \text{if } I(x,y) = [B3, B4] \end{cases} \quad (3)$$

여기서 $B1, B2, B3, B4$ 는 그림 4에서 보는 바와 같이 각 banding 영역의 시작점과 끝점에서의 계조값을 나타낸다. 이 단계에서 양자화 과정은 고정된 입력값과 수식 (1)에서 정의된 일반적인 임계값 배율 조정 함수에 의해 변환된 임계값과의 비교에 의해 수행된다. 양자화 과정의 결과에 따라 다수 출력 잉크가 적히게 되는데, 고정된 입력값을 어떻게 설정하느냐에 따라 다수 출력 잉크의 비율이 결정된다. 이 양자화 과정은 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$O(x,y) = \begin{cases} Majority\ pixel, & \text{if } I_c(x,y) \geq Th_s(x',y') \\ Adjacent\ output\ pixel, & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{for } I(x,y) = [B1, 85] \text{ or } [B3, 170]$$

$$O(x,y) = \begin{cases} Majority\ pixel, & \text{if } I_c(x,y) \leq Th_s(x',y') \\ Adjacent\ output\ pixel, & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{for } I(x,y) = [86, B2] \text{ or } [171, B4]$$

(4)

여기서 $O(x,y)$ 는 출력값이고, $I_c(x,y)$ 는 banding 영역에서 입력 계조값에 대한 고정된 입력값이다. 그림 4에서처럼 우리가 원하는 다수 출력 잉크 분포를 얻기 위해서는 이웃 출력 잉크의 혼합 비율을 고려하여 고정된 입력값을 결정해야 한다. 이는 입력 계조값에 상관 없이 찍을 수 있는 전체 잉크량의 합은 1이 되어야 하기 때문이다. 이러한 조건을 만족하는 고정된 입력값은 그림 6과 같다. 그러나 무엇보다도 프린터 출력 레벨에서 부드러운 계조 변화를 유지하기 위해서는 이웃 출력 잉크의 도입이 필수적이다.

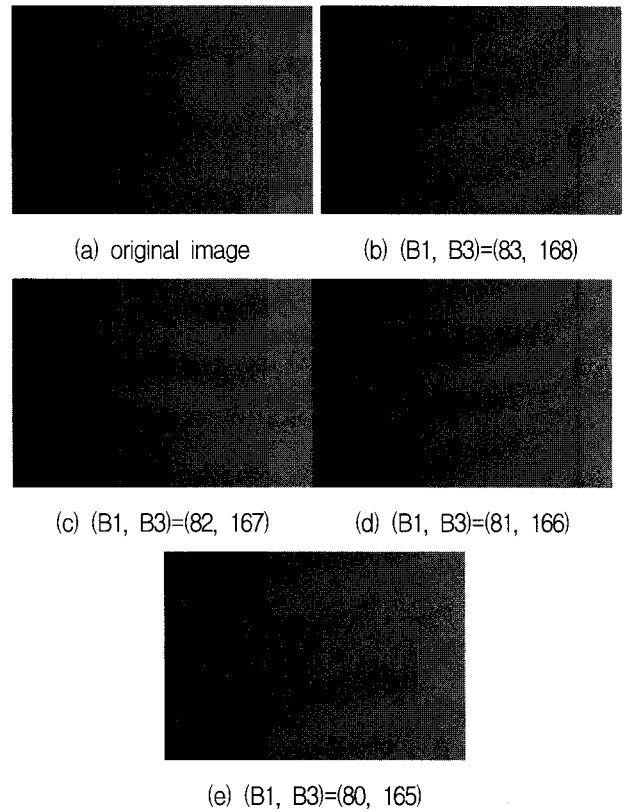


그림 7. B1과 B3의 값에 따른 회색조 ramp의 멀티토닝 결과의 한 부분

Fig. 7. A section of multitone results for gray ramp corresponding to the value of B1 and B3.

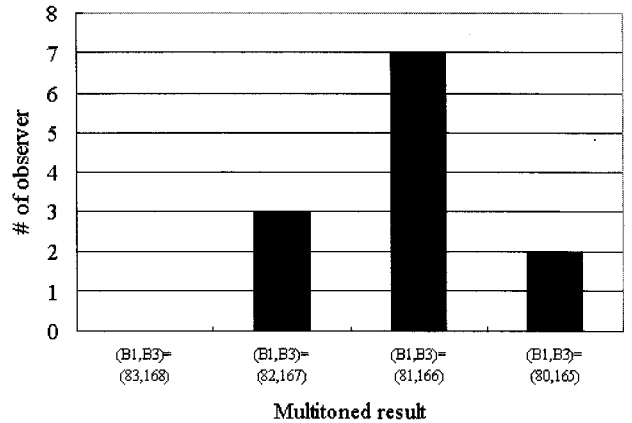


그림 8. B1과 B3의 값에 대한 주관적인 평가 결과

Fig. 8. Subjective evaluation result for the value of B1 and B3.

3.2. 이웃 출력 잉크의 혼합을 위한 양자화 과정

만일 3.1절에서 수행된 양자화의 결과가 다수 출력 잉크가 아니라면, 수식 (4)에서 보는 바와 같이 프린터 출력 레벨에서의 계조 표현뿐만 아니라 평균 밝기를 유지하기 위하여 이웃 출력 잉크를 도입하여야 한다. 그러므로 본 논문에서는 이웃 출력 잉크의 도입 비율을

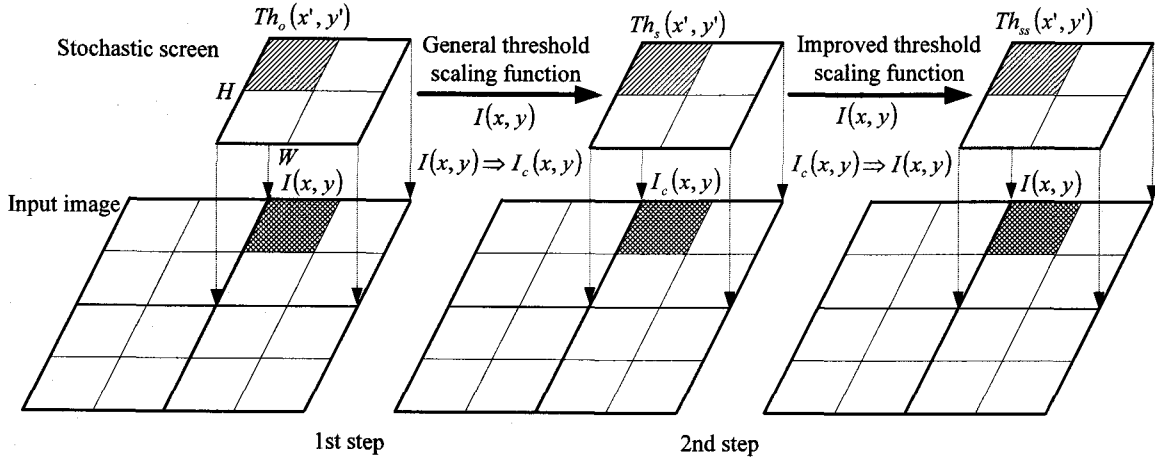


그림 9. 제안한 방법의 전체적인 도식도

Fig. 9. Schematic diagram of the proposed method.

조절하여 잉크 분포를 조정하는 개선된 임계값 배율 조정 함수를 제안한다. 제안된 배율 조정 함수는 각 banding 영역에서 이웃 출력 잉크가 혼합되는 시점을 결정하는 두 인자를 가지고 있다. 또한 수식 (1)을 이용하여 한번 변환된 임계값을 다시 변환하기 때문에 본 논문에서는 임계값 이중 배율 조정 함수 (threshold double-scaling function)라고 하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{cases}
 Th_s(x', y') = \frac{85}{255} \times Th_o(x', y') \\
 Th_{ss}(x', y') = B1 + [Th_s(x', y') - B1] \times 2 \\
 \text{for } I(x, y) = [B1, 85] \\
 \\
 Th_s(x', y') = 85 + \frac{85}{255} \times Th_o(x', y') \\
 Th_{ss}(x', y') = B1 + [Th_s(x', y') - 85] \times 2 \\
 \text{for } I(x, y) = [86, B2] \\
 \\
 Th_s(x', y') = 85 + \frac{85}{255} \times Th_o(x', y') \\
 Th_{ss}(x', y') = B3 + [Th_s(x', y') - B3] \times 2 \\
 \text{for } I(x, y) = [B3, 170] \\
 \\
 Th_s(x', y') = 170 + \frac{85}{255} \times Th_o(x', y') \\
 Th_{ss}(x', y') = B3 + [Th_s(x', y') - 170] \times 2
 \end{cases} \quad (5)$$

여기서 Th_{ss} 는 초기 임계값 Th_o 에 대응하는 이중 배율 조정된 임계값이며, $B1$ 과 $B3$ 는 앞서 말한바와 같이 각각 출력 레벨 85와 170 영역에서 이웃 출력 잉크의 혼합 시점을 결정하는 인자이다. 이 단계에서 이웃 출력 잉크의 종류는 입력값과 이중 배율 조정된 임계값 사이의 화소 대 화소 비교에 의해 결정되며 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 O(x, y) &= \begin{cases} 170, & \text{if } I(x, y) \geq Th_{ss}(x', y') \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \\
 &\text{for } I(x, y) = [B1, B2] \\
 O(x, y) &= \begin{cases} 255, & \text{if } I(x, y) \geq Th_{ss}(x', y') \\ 85, & \text{otherwise} \end{cases} \\
 &\text{for } I(x, y) = [B3, B4]
 \end{aligned} \quad (6)$$

그림 7은 다양한 $B1$ 과 $B3$ 값에 대한 1024x256 회색조 ramp 영상의 멀티토닝 결과이다. 그림에서 보듯이 $B1$ 과 $B3$ 의 값이 작아질수록 잉크 분포에 있어서 이웃 출력 잉크의 도입 시점이 빨라진다는 것을 알 수 있다. 그 결과 프린터 출력 레벨 영역을 가로지르는 잉크 분포 그래프의 기울기가 평평해진다. 따라서 그림 7과 같이 다양한 $B1$ 과 $B3$ 값을 가진 개선된 임계값 배율 조정 함수를 이용하여 프린터 출력 레벨에서의 잉크 분포를 조사하였다.

본 논문에서는 프린터 출력 레벨 85에서의 결과만을 비교하였는데 이는 다른 출력 레벨에서의 결과가 비슷한 양상을 보이기 때문이다. 그림 8은 12명의 관찰자의 주관적 판단에 의해 그림 7(b), 7(c), 7(d), 7(e) 중에서 부드러운 계조 표현이 뛰어난 결과를 선택한 관찰자의 수를 보여주고 있으며, 이 그림을 통해 $B1$ 과 $B3$ 의 값이 각각 81과 166일 때 (그림 7(d)) 시각적으로 가장 뛰어난 결과를 나타냄을 알 수 있다. 그 결과로써 그림 4에서 보여준 바와 같이 원하는 잉크 분포 그래프를 얻을 수 있다. 그림 9는 제안한 방법의 전체적인 도식도를 나타낸다.

IV. 실험 및 결과

제안한 알고리즘은 채널별 독립적으로 구현이 가능하기 때문에 칼라 멀티토닝 기법으로 쉽게 확장될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 프린터 출력 레벨에서의 공간적인 멀티토닝 패턴에 의한 색 표현력을 평가하기 위하여 S-CIELAB^[8] 색차를 적용하였다. 동일한 MJBNM^[7]을 사용한 기존 멀티토닝 방법, 임계값 변조를 이용한 방법(참고문헌 [2]), over modulation 방법(참고문헌 [3]), 제안한 방법의 멀티토닝 결과에 의한 S-CIELAB 색차를 계산하였다. 또한 프린터 출력 레벨에서의 멀티토닝 패턴을 비교하기 위하여 주관적인 평가를 수행하였다.

실험에서는 1792x2048 칼라 ramp 및 1024x256 회색조 ramp 영상을 사용하였으며, 4 출력 레벨을 가지는 HP desk-jet 948C photo 프린터를 이용하였다. 그림 10(a)는 회색조 원본 ramp 영상의 일부분(계조 64~187)으로 두 개의 프린터 출력 레벨 85와 170을 포함한다. 그림 10(b), 10(c), 10(d), 10(e)은 네 가지 방법에 대한 멀티토닝 결과를 보여준다. 그림 10(b)에 비해 그림 10(c)은 banding artifact가 향상되긴 하였으나 부드러운 계조를 나타내기 위해서는 패턴의 개선이 요구된다. 그림 10(d)은 over modulation 기법으로 인해 이웃 출력 잉크를 도입함으로써 어느 정도 부드러운 계조를 표현함을 알 수 있다. 그러나 대부분의 이웃 출력 잉크가 서로 짙을 이루는 패턴을 형성한다. 이는 over modulation 기법이 더 나은 결과를 보이기 위해서는 screen을 디자인하는 과정에서 패턴사이의 고유 상관관계나 특성이 고려되어야 한다는 것을 의미한다. 이에 반해 그림 10(e)은 보통의 screen을 사용함에도 불구하고 이웃 출력 잉크의 부드러운 혼합으로 인해 연속적인 계조를 표현함을 알 수 있다.

칼라 ramp 영상의 경우, 임계값 변조를 이용한 방법(그림 11(c))에서 banding artifact는 다소 개선되었으나 도입된 이웃 잉크로 인해 경계를 떠는 듯한 패턴이 보이기 때문에 부드러운 계조 표현 및 색재현을 위해서는 이 부분에 대한 개선이 요구된다. Over modulation 방법으로 멀티토닝한 칼라 ramp 영상(그림 11(d))에서는 채널별 잉크의 상호작용으로 인해 프린터 출력 레벨에서 눈에 거슬리는 패턴이 생성됨을 알 수 있다. 이와는 달리, 특정 인자값을 가진 제안한 방법의 결과(그림 11(e))는 부드러운 패턴으로 프린터 출력 레벨에서의 banding artifact를 줄였을 뿐만 아니라 인지적인 색 재

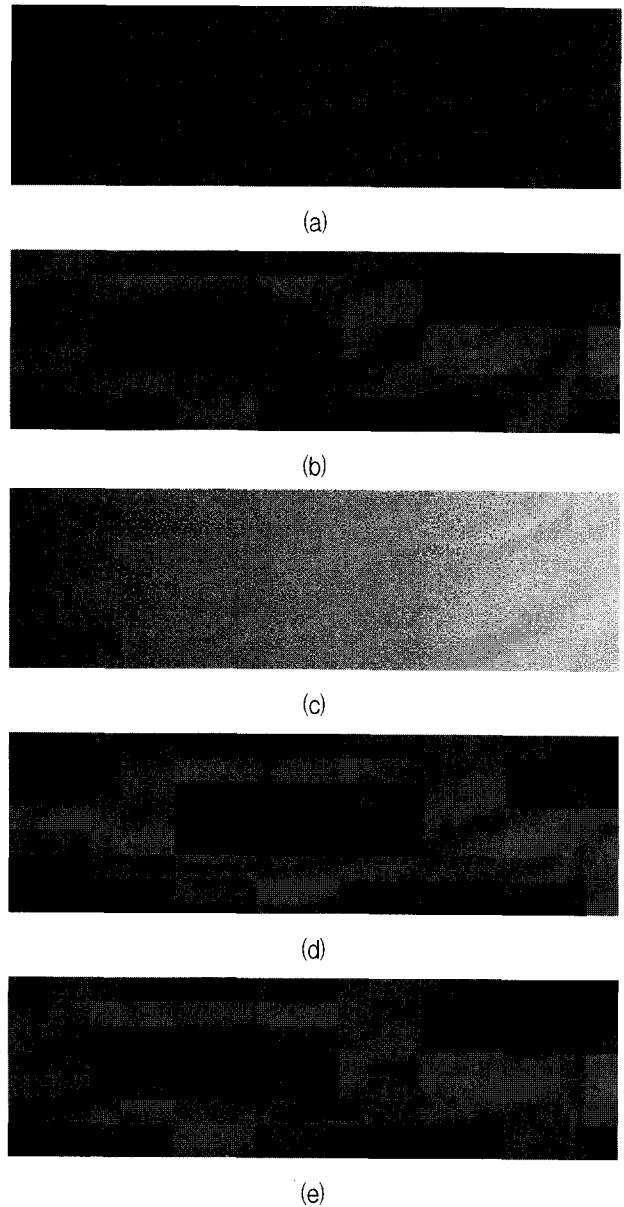


그림 10. 회색조 ramp에 대한 멀티토닝 결과의 한 부분; (a) 원본 영상, (b) 기존 방법, (c) 참고문헌 [2], (d) over modulation 방법(참고문헌 [3]), (e) 제안한 방법

Fig. 10. A section of multitone gray ramp ; (a) original image, (b) conventional method, (c) reference [2], (d) over modulation (reference [3]), (e) proposed method.

현에서도 만족할만한 결과를 나타내었다. 표 1은 S-CIELAB 색차를 수치적으로 보여주고 있다. 세 가지 방법 모두 멀티토닝 기법으로 인해 원본과 거의 인지할 수 없는 색차를 보이지만 제안한 방법에서 색차가 조금 감소하였다.

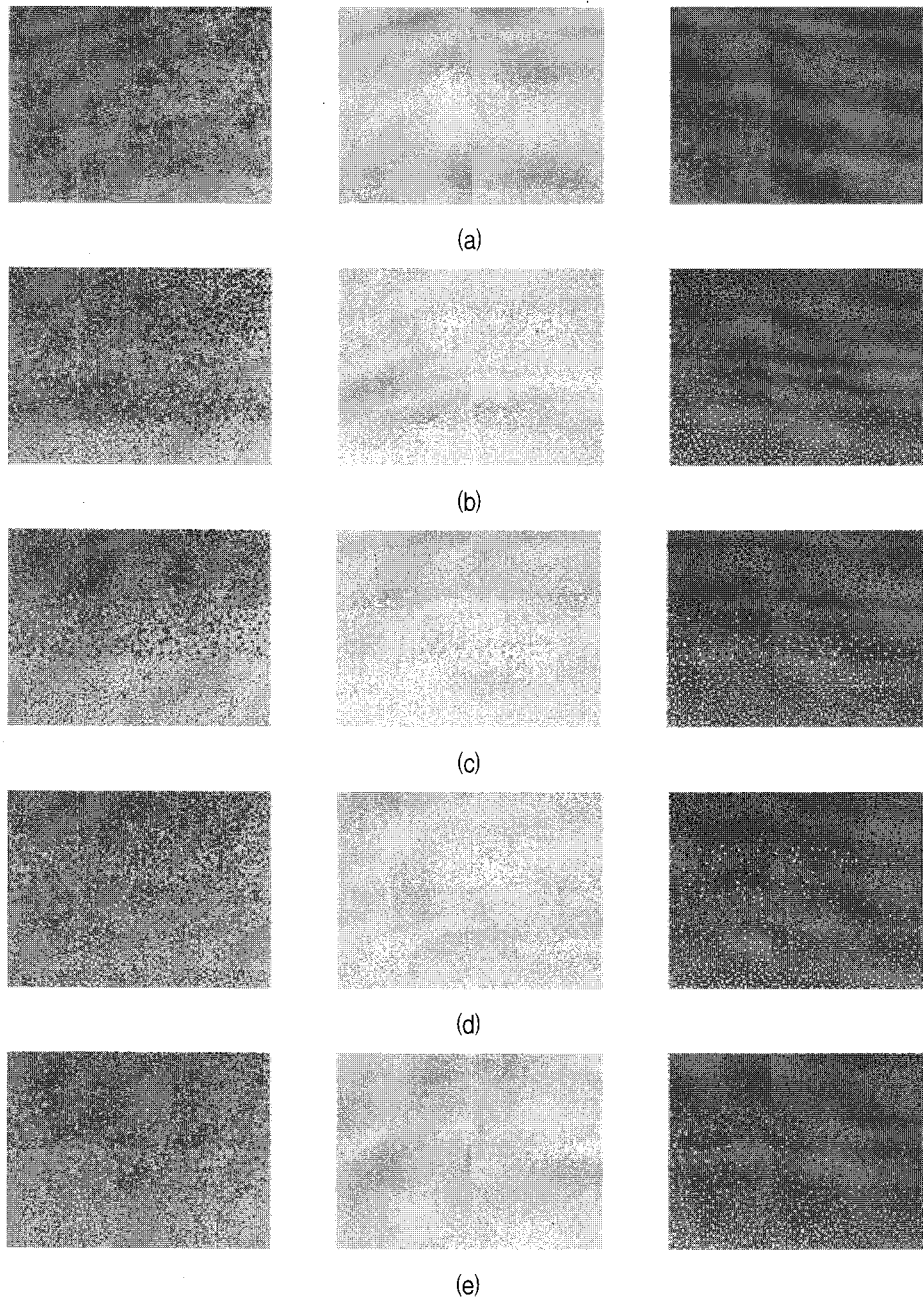


그림 11. 칼라 ramp에 대한 멀티토닝 결과의 한 부분; (a) 원본 영상, (b) 기존 방법, (c) 참고문헌 [2], (d) over modulation 방법(참고문헌 [3]), (e) 제안한 방법

Fig. 11. A section of multitone color ramp ; (a) original image, (b) conventional method, (c) reference [2], (d) over modulation (reference [3]), (e) proposed method.

V. 결 론

본 논문은 프린터 출력 레벨에서의 banding artifact를 줄이기 위하여 개선된 임계값 배율 조정 함수를 이용한 멀티토닝 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 개선된 임계값 배율 조정 함수에서 도입되는 이웃 출력 잉크의 비율을 조절함으로써 잉크 분포를 제어하여 부드

러운 계조를 표현하고자 하였다. 더구나 다양한 인자 값을 가진 임계값 배율 조정 함수에 대해 잉크 분포를 조사함으로써 나온 결과를 나타낼 수 있었다.

관찰자에 의한 주관적인 실험에서는 프린터 출력 레벨에서의 도트 패턴을 조사하였는데 제안한 방법이 회색조 ramp와 칼라 ramp 영상에서 banding artifact를 감소시켰을 뿐만 아니라 멀티토닝 패턴에서도 나온 결

표 1. 칼라 ramp에 대한 S-CIELAB 색차

Table 1. S-CIELAB color difference for color ramp.

S-CIELAB 색차 (ΔE_{ab}^*)			
기존 방법	참고문헌 [2]	over modulation 방법	제안한 방법
2.67	1.51	1.83	1.47

과를 보였다. S-CIELAB 색차를 이용한 색 재현 측면에서도 제안한 방법이 일반적인 screen을 사용하였지만 인지적인 색상이나 패턴, 수치적인 결과에서 나온 성능을 보였다. 하지만 개선된 임계값 배율 조정 함수에서 이웃 잉크의 도입 비율을 결정하는 두 인자 값을 관찰자에 의한 주관적인 판단에 의해 결정하였는데 앞으로 보다 객관적인 기준에 의해 인자 값을 결정하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] R. Ulichney, Digital Halftoning, The MIT Press, 1993.

[2] T. Y. Park, M. Y. Lee, C. H. Son, and Y. H. Ha, "Banding Artifacts Reduction Method in Multitoning Based on Threshold Modulation of MJBNM," *The Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 43, no. 2, pp. 40-47, Mar. 2006.

[3] F. Faheem, G. R. Arce, and D. L. Lau, "Digital Multitoning Using Gray Level Separation," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 46, no. 5, pp. 385-397, Sep./Oct. 2002.

[4] Q. Yu, K. J. Parker, K. Spaulding, and R. Miller, "Digital Multitoning with Overmodulation for Smooth Texture Transition," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 8, no. 3, pp. 311-321, July 1999.

[5] T. Mitsa and K. J. Parker, "Digital Halftoning Technique Using a Blue-Noise Mask," *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 9, no. 11, pp. 1920-1929, Nov. 1992.

[6] Q. Yu and K. J. Parker, "Stochastic Screen Halftoning for Electronic Imaging Devices," *Journal of Visual Communication and Representation*, vol. 8, no. 4, pp. 423-440, Dec. 1997.

[7] 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, 2001.

[8] X. M. Zhang and B. A. Wandell, "A Spatial Extension to CIELAB for Digital Color Image Reproduction," *Society of Information Display Symposium Technical Digest*, vol. 27, pp. 731-734, 1996.

저 자 소 개

박 태 용(학생회원)
대한전자공학회 논문지
제 41권 SP편 제5호 참조

박 기 현(학생회원)
대한전자공학회 논문지
제 41권 SP편 제6호 참조

하 영 호(정회원)
대한전자공학회 논문지
제 38권 SP편 제3호 참조