

論文2000-37SP-5-8

벡터 오차 확산법을 이용한 색보정 기반의 칼라 중간조 처리법

(Color halftoning based on color correction using vector error diffusion)

崔瑗熙*, 李徹熙**, 金正燁*, 金燻樹*, 河永浩*

(Woen Hee Choi, Cheol Hee Lee, Jeong Yeop Kim, Hee Soo Kim, and Yeong Ho Ha)

요 약

본 논문에서는 벡터오차 확산법을 이용한 색수정 방법으로 장치간 색재현시 필연적으로 발생하는 색차를 줄이는 칼라 하프토닝(halftoning)법을 제안하였다. 각 장치의 출력색을 추정하기 위하여 신경망을 이용하였으며 장치 특성화 과정의 평균 추정 오차를 정의하여 이를 색수정의 임계치로 정의하였다. 즉 화소 단위로 색차를 비교하여 최대 허용 색차(임계치)보다 클 경우 그 화소의 프린팅을 위한 이진 도트 집합은 벡터 오차 확산법을 이용해 재배열된다. 제안된 방법은 선택적으로 벡터 오차 확산법을 적용함으로써 기존의 벡터 오차 확산법이 갖는 스미어 현상(smear effect)을 줄일 수 있으며 색수정을 통하여 필연적으로 발생하는 장치간 색차를 줄일 수 있었다.

Abstract

This paper proposes a new color halftoning method using color correction by vector error diffusion to reduce color difference, necessarily appears on cross-media color reproduction. In order to predict output colors on each device, a neural system is applied and mean prediction errors in device characterization for monitor and printer are defined to calculate the thresholds for color correction. Thus, color difference between monitor and printer is compared per each pixel. If color difference is larger than the predetermined mean prediction errors, the halftoned dots to the current pixel are rearranged by vector error diffusion. The proposed method can reduce the smear artifact by selective vector error diffusion and decrease color difference on cross-media color reproduction by color correction.

I. 서 론

디지털 하프토닝은 자연 영상이나 컴퓨터 그래픽과

같은 복수 계조 영상들을 이진 영상으로 표현하는 것을 말한다. 이러한 하프토닝 처리 방법들 중에서 주목할 만한 것으로 순서 디더링(order dithering), 오차 확산법(error diffusion), 그리고 블루노이즈 하프토닝 처리법이 있다. 순서디더링은 미리 정해진 임계행렬에 의해 화소의 이진화를 결정하기 때문에 빠른 출력을 얻을 수 있는 장점이 있지만, 고정된 임계행렬로 인해 출력물에 일정한 모양의 패턴이 나타나므로 저해상도의 프린터에서는 화질의 열화가 심한 단점이 있다. 이에 비해 오차 확산법은 화질의 열화를 막기 위해 화소의

* 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部

(School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University)

** 正會員, 慶雲大學校 컴퓨터工學科

(Computer Eng., Kyungwoon University)

接受日字:2000年3月21日, 수정완료일:2000年7月15日

이진화로 인한 양자화 오차를 주변화소로 확산시키는 방법으로 우수한 화질을 얻을 수 있다. 그러나 오차 보상을 위한 많은 연산량으로 인해 수행속도가 느리며 일정한 명암도에서 벌레 모양의 패턴(worm-like pattern)이 발생하는 단점이 있다.^{[1][2][3]} 다음으로 블루노이즈 마스크를 이용한 하프토닝 처리 방법은 임계치로 구성된 마스크를 이용하여 입력영상과 비교만으로 블루노이즈 특성을 갖는 이진화된 영상을 얻는 방법을 말한다. 이러한 방법은 오차 확산법에 비해 속도가 빠르며 특정 입력 값에 대해 원하지 않는 패턴이 발생하지 않지만 블루노이즈 마스크의 특성으로 인한 양자화 오차 때문에 결과 영상에 잡음(noise)이 나타나며, 정확한 색을 표현하지 못하는 단점을 가진다.^{[4][5]} 이러한 방법들을 칼라 영상에 적용할 경우, 동일한 하프토닝 방법을 RGB 각 채널에 대하여 독립적으로 적용하므로 칼라 영상에 대한 처리시 채널간에 존재하는 상관도를 고려하지 못하는 단점이 있으며 모니터와 프린터 등 매체에 따른 색의 출력 특성을 고려하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 출력색 추정을 바탕으로 벡터오차 확산법을 이용하여 프린터 출력색을 수정함으로써 출력 장치에 따른 색차를 줄이는 하프토닝 방법을 제안하였다. 제안된 하프토닝 처리법은 정확한 색재현을 위해 모니터와 프린터에서 표현된 영상이 CIELAB 색공간에서 최소 색오차를 갖도록 색을 표현하는 것을 그 목적으로 하며, 모니터의 출력색을 기준색으로 정의하고 프린터의 출력색을 수정하여 모니터의 출력에 근접하도록 색수정을 한다. 입력영상에 대한 블루노이즈 마스크를 이용하여 초기 하프토닝 처리된 영상을 얻은 후, 화소 단위로 모니터 출력 영상과 초기 하프토닝 처리된 영상과의 색오차를 비교한다. 이때 주어진 화소의 색오차가 신경망에 의한 추정오차 보다 클 경우 색차를 벡터 오차 확산법을 이용하여 선택적으로 보상해 줌으로써 장치간 발생하는 색차극의 차이를 국부적으로 보상해 준다.

II. 장치 특성화

장치 특성화(device characterization)란 색재현 시스템의 입출력 관계를 결정하는 것으로 색재현 장치의 입출력 특성 모델링을 말한다. 본 연구에서는 프린터와 모니터의 특성을 각각 CMY입력 CIELAB출력 그리고 RGB입력 CIELAB출력으로 모델링하여 주어진 입력에

대한 프린터와 모니터의 출력 특성을 예측하였다. 입출력 특성 모델링을 위하여 RGB와 CMY에 대하여 각각 $10 \times 10 \times 10$ 개의 색시료를 만들고 이를 CIELAB값으로 측정하여 장치의 입출력 특성 데이터를 얻었다. 다음, 주어진 입출력 특성 데이터를 신경망의 학습 데이터로 사용하여 각 장치의 비선형적인 입출력 변환 관계를 모델링하였다.

신경망은 그림 1과 같이 3-30-3구조의 다층 퍼셉트론(multi-layer perceptron; MLP)^{[9][10]}을 사용하였다. 그림 1에서 X는 1차원 입력층 특징벡터이며, H는 30차원의 은닉층 출력 벡터이고 O는 1차원의 출력층 특징벡터를 나타낸다. 그리고 W^1 와 W^2 는 각각 입력층과 은닉층 및 은닉층과 출력층 사이의 가중치 행렬을 나타낸다.

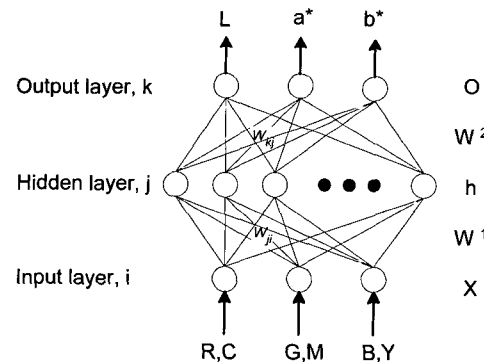


그림 1. 3-30-3 신경 회로망 구조

Fig. 1. Structure of 3-30-3 neural network.

다층 퍼셉트론 구성 후 가중치를 결정하기 위해 오류 역전파(back propagation) 알고리즘을 사용하였다. 오류 역전파 알고리즘은 신경 회로망을 학습시킬 때 신경 회로망 출력층 노드에 대하여 원하는 출력과 신경 회로망의 입력된 패턴에 대한 출력간의 오차를 최소화하는 방법이다.

III. 제안된 벡터오차 확산법을 이용한 색수정 방법

제안된 하프토닝 처리법은 정확한 색재현을 위해 모니터와 프린터에서 표현된 영상이 CIELAB 색공간에서 최소 색오차를 갖도록 색을 표현하는 것을 그 목적으로 한다. 본 연구에서는 모니터의 출력색을 기준색으로

정의하고 프린터의 출력색의 수정하여 모니터의 출력에 근접하도록 색수정을 한다. 즉, 입력영상에 대해 블루노이즈 마스크를 이용하여 초기 하프토닝 처리된 영상을 얻은 후, 화소 단위로 모니터 출력 영상과 초기 하프토닝 처리된 영상과의 색오차를 비교한다. 이때 주어진 화소의 색오차가 신경망에 의한 추정오차 보다 클 경우 색차를 벡터 오차 확산법을 이용하여 선택적으로 보상해 줌으로써 장치간 발생하는 색차극의 차이를 국부적으로 보상해 준다. 색수정이 끝난 후 수정된 입력신호를 블루노이즈 마스크를 이용하여 하프토닝하여 출력한다.

1. 색오차의 임계치 결정

입의의 블록 내에서 평균 색차란 CIELAB 색공간에서 영상의 한 화소에 대한 출력색 차이의 색차, ΔE_{ab}^* 를 말한다^[8]. 그러나 모니터와 프린터 사이의 해상도가 다르므로 동일한 크기의 패치에 대한 색차를 평균 색차로 정의하기 위하여 모니터와 프린터 패치에 대한 한 화소에 대한 크기를 동일하게 정의하였다. 모니터의 해상도가 78~82 [dpi]일 때 모니터에 출력된 영상을 물리적인 크기의 변화 없이 300 [dpi]의 해상도를 갖는 프린터로 출력하기 위해 한 화소가 4×4 도트집합으로 표현되어야 하므로 본 논문에서의 각 화소의 평균 색차는 식 (1)과 같이 정의한다.

$$\overline{\Delta E_{ab}^*} = \frac{1}{16} \sum_i \sum_j \Delta E_{ab}^*(i, j) \quad (1)$$

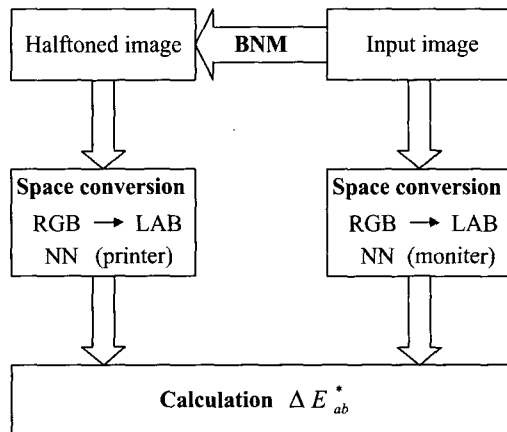


그림 2. 제안한 알고리즘에서 사용된 ΔE_{ab}^* 연산 과정
Fig. 2. ΔE_{ab}^* calculating process used in the proposed algorithm.

위와 같은 평균 색차는 앞에서 기술된 모니터와 프린터 각각에 대한 신경망을 이용한 색공간 변환방법으로 RGB 및 CMY입력에 대한 CIELAB출력을 그림 2와 같은 방법으로 구하게 된다.

화소에 대한 색수정 여부를 결정하기 위한 임계치는 두 시스템에서 발생할 수 있는 최대 추정 오차로 정하였다.^[11] 모니터와 프린터에 의한 색정보 벡터를 각각 원래의 벡터(X_r)와 시스템 추정 오차로 인한 벡터(X_e)의 합으로 표현하면 식 (2)과 같이 나타나며, 두 시스템에서 나타나는 색차는 식 (3)으로 표현되는데 이는 Schwartz부등식^[12]에 의해 식 (4)와 같이 나타나므로 시스템에서 예측되는 최대 오차는 두 시스템 오차의 합임을 알 수 있다.

$$\vec{M} = \vec{M}_r + \vec{M}_e, \quad \vec{P} = \vec{P}_r + \vec{P}_e \quad (2)$$

$$\Delta E_{ab}^* = \|\vec{M} - \vec{P}\| = \|(\vec{M}_r + \vec{M}_e) - (\vec{P}_r + \vec{P}_e)\| \quad (3)$$

$$= \|\vec{M}_r - \vec{P}_r + \vec{M}_e - \vec{P}_e\|$$

$$\Delta E_{ab}^* \leq \|\vec{M}_r - \vec{P}_r\| + \|\vec{M}_e - \vec{P}_e\| \quad (4)$$

$$\leq \|\vec{M}_r - \vec{P}_r\| + \|\vec{M}_e\| + \|\vec{P}_e\|$$

$$\text{Threshold} = \|\vec{M}_e\| + \|\vec{P}_e\| = \Delta E_{ab_me}^* + \Delta E_{ab_pe}^* \quad (5)$$

따라서, 식 (5)와 같이 모니터와 프린터의 색공간 변환에 의한 LAB값과 직접 측정하여 얻은 LAB값의 차이인 $\Delta E_{ab_me}^*$ 와 $\Delta E_{ab_pe}^*$ 의 합으로 표현된다. 앞의 그림 2에서 보는 바와 같이 각각의 시스템을 경유하는 시스템 오차를 고려하지 않기 위해 색차는 식 (5)의 임계치 이상으로 값이 표현되어야 한다. 임계치는 그림 3와 같은 방법을 이용하여 얻을 수 있다.

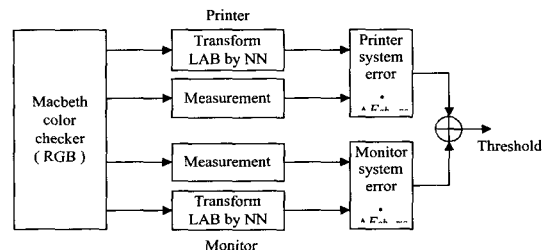


그림 3. 색오차 판별을 위한 임계치 계산구조
Fig. 3. Threshold calculating processor for judging color difference.

즉 각 화소에서 모니터와 프린터의 색차는 추정 오차와 실제 자극값으로 표현되며 각 화소의 색차가 최대 색공간 변환시 발생하는 최대 추정 오차인 임계치보다 클 경우 이는 실제 색자극의 차이가 존재한다는 것을 말하므로 이러한 화소에 대해서는 벡터 오차 확산법을 적용하여 초기 하프토닝된 이진 도트를 수정하게 된다.

2. 벡터 오차 확산법을 이용한 색수정^{[6][7]}

입력영상 4×4 도트집합의 평균 색오차 ΔE_{ab}^* 에 대해 앞에서 미리 구해둔 임계치 이상의 값은 블루노이즈에 의한 색잡음으로 판단하여 그 도트집합에 대해서는 측색적 색재현에 적합한 벡터 오차 확산법(vector error diffusion; VED)을 이용하여 입력영상의 값이 블루노이즈 마스크 하프토닝 처리를 했을때 프린터로 출력한 결과영상이 모니터에 출력된 입력영상과 최소 색오차를 갖도록 수정한다. 이것은 벡터 오차 확산법이 색재현에는 적합하나 입력영상 전체에 적용한 경우에 속도가 너무 느리며 급격히 변화하는 색을 제대로 표현하지 못하고 주변화소로 번지는 현상(smear effect)이 나타나는 단점이 있기 때문에 본 논문에서는 벡터 오차 확산법을 선택적으로 사용한다.

일반적인 오차 확산법은 흑백 영상에 대해 고안된 방법이므로 칼라영상에 대해 서로 상관 관계를 갖는 색정보 RGB의 각 성분의 상관관계에 대한 고려를 하지 않고 각각에 대해 오차 확산법을 적용하여 하프토닝 처리된 칼라영상을 표현한다. 반면, 벡터 오차 확산법은 한 화소에 대해 RGB 세 성분의 상관관계를 고려하기 위해 RGB를 LAB로 색공간을 변환하여 한 화소의 LAB를 한 개의 벡터로 간주하고, 잉크젯 프린터로 표현이 가능한 색들과의 거리비교에서 최소 거리를 갖는 색을 결과값으로 간주하고 입력화소와의 오차를 오차 확산법에 적용한다. 이렇게 함으로써 기존의 단순한 오차 확산법에 비해 장치 특성을 고려한 좀더 정확한 색을 표현할 수 있게 된다. 이러한 벡터 오차 확산법은 (m,n) 위치의 입력화소(s_{mn})와 이전 화소에서의 오차(e_{mn})에 의해 보상된 입력(v_{mn})이 LAB 색공간에서 기존의 오차 확산법과 동일한 방법으로 식 (6)과 같이 표현될 수 있으며, $w_{i,j}$ 는 스칼라 오차 확산법의 기중치 행렬로 논문에서는 Floyd-Steinberg의 것을 이용하였다.^[3]

$$v_{mn} = s_{mn} + \sum_{i,j} w_{i,j} e_{m-i,n-j} \tag{6}$$

$$c_{mn} = \{ v_i \mid \min(\|v_{mn} - v_i\|), \text{ where } 0 \leq i \leq 7 \} \tag{7}$$

$$e_{mn} = v_{mn} - c_{mn} \tag{8}$$

그러나, 벡터 오차 확산법의 결과(c_{mn})는 임계치에 의해 결과가 결정되는 스칼라 오차 확산법과는 달리 식 (7)로 결정된다. 이 식에서 $\| \cdot \|$ 은 유클리디언 기하 거리를 표현하며, v_i 는 CMYK 4색 프린터로 하프토닝 처리방법을 쓰지 않고 백색의 종이 위에 표현할 수 있는 주된 8색들(eight primary colors; Red, Green, Blue, Cyan, Magenta, Yellow, K(black), White) 중 한 개의 벡터이며, 이들 중 보상된 색(v_{mn})에 가장 가까운 색이다. 벡터 오차 확산법으로 선택된 색(c_{mn})과 보상된 색(v_{mn}) 사이의 차인 오차 벡터(e_{mn})는 위의 식 (8)과 같다. 각 입력화소는 위와 같이 8색들과 비교하여 최소 거리를 갖는 성분을 선택하여 8색 중의 하나를 프린터로 출력한다. 따라서, 입력영상의 각 화소의 색정보는 LAB를 한 개의 벡터로 하여 표 1에서 보는 바와 같이 연속된 영상의 측정으로 얻어진 프린터 8색 LAB에 의해 최소거리를 갖도록 칼라 양자화를 수행하고 벡터의 차를 스칼라의 오차 확산법과 같은 방법으로 LAB공간에서 확산한다.

표 1. 주요 8색들의 LAB 값들

Table 1. LAB values of eight primary colors.

	Red	Green	Blue	Cyan	Magenta	Yellow	K(black)	White
L*	45.3496	54.7525	36.8656	67.2049	55.3168	87.1605	19.4096	93.1294
a*	53.1342	-59.9455	16.642	-31.8651	49.8423	-2.8101	0.4468	2.7670
b*	26.9419	32.3285	-43.9288	-35.0469	-22.2771	63.3097	1.1680	-9.6726

이와 같은 방법으로, 입력영상을 블루노이즈 하프토닝 처리방법으로 칼라 하프토닝 처리를 하고 그로 인해 칼라 양자화 오차가 커진 부분은 색오차를 입력영상에 보상해 준다. 흑백영상과 색오차가 크지 않은 부분에 대해서는 수정을 하지 않은 입력영상 전체에 대해 블루노이즈 마스크를 이용한 하프토닝 처리를 함으로써 모니터와 프린터간의 최소 색오차를 갖는 결과영상을 생성하는 하프토닝 처리방법을 제안했다. 제안한 하프토닝 처리 방법은 그림 4로 설명될 수 있다.

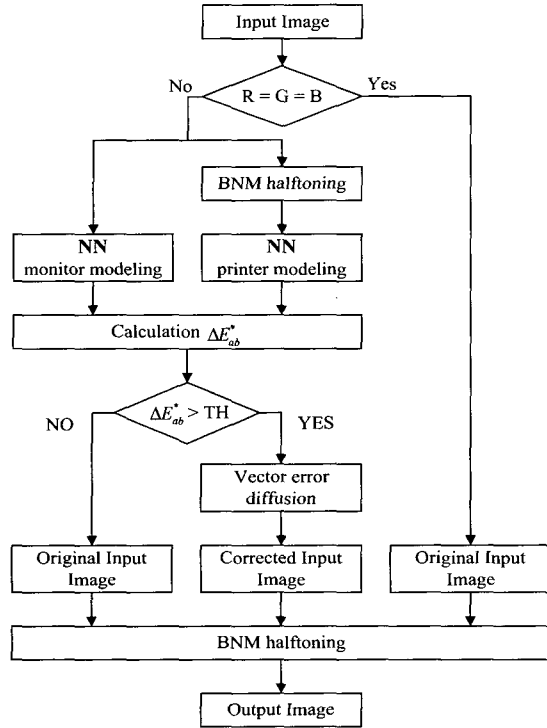


그림 4. 제안된 하프토닝 처리 방법의 블록도
Fig. 4. Block diagram of the proposed halftoning method.

IV. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용시키기 위해 몇 개의 인자 결정을 위한 실험을 수행하였으며, 제안한 알고리즘과 기존의 하프토닝 처리방법들의 색재현 정도를 검증하기 위해 측정을 통해 수치적으로 비교하였고 실험영상으로 기존의 방법들과 시각적 비교를 하였다. 이 실험을 위해 모니터는 삼성 SyncMaster 700s를 사용하였고, Minolta CS-100 색도계(chromameter)로 측정하였다. 실험에서 사용된 프린터는 HP Deskjet 895C 이고 프린터 출력을 위해 잉크젯 전용지를 사용하였으며 Minolta CM-3600d 분광 광도계(spectrophotometer)로 측정하였다.

1. 신경 회로망 학습과 색차의 임계치 결정을 위한 실험.

RGB와 LAB 색공간 변환을 위해 다음의 과정을 거쳐 신경회로망 학습을 하였다.

Step 1. RGB에서 같은 간격으로 선택된 1000개에 해

당하는 표본을 생성한다.

Step 2. 각 표본들을 모니터에 재현하고 그것을 색도계를 이용하여 XYZ 데이터를 얻는다.

Step 3. RGB 표본들을 블루노이즈 마스크를 이용한 하프토닝 처리로 프린터 전용지에 출력한다.

Step 4. 출력된 각 표본들을 분광 광도계를 이용하여 XYZ 데이터를 얻는다.

Step 5. 측정으로 얻은 각각의 XYZ 데이터들을 식(1)~(4)를 사용하여 LAB 값들로 바꾼다.

Step 6. 얻어진 데이터들로 신경 회로망에 학습을 시킨다.

위와 같은 과정을 통해 임의의 RGB 값에 대해 CIELAB 색공간의 값으로 변환시켜 주도록 노드들의 가중치를 모니터와 프린터에 대해 각각 구하였다.

임계치 결정을 위해 Macbeth color checker 입력에 대한 모니터와 프린터 출력값을 측정하고 두 시스템을 모델링한 신경망 색공간 변환기를 이용하여 RGB 및 CMY값들을 LAB로 변환한다. 측색된 CIELAB값과 신경망 색공간 변환기를 이용하여 추정된 CIELAB값의 평균 색차가 모니터와 프린터의 시스템 오차이며 이는 표2와 같다. 표 2에서 프린터의 시스템 오차가 상대적으로 크게 나타난 이유는 연속 계조의 안료로 만들어진 Macbeth color checker와 하프토닝 처리된 프린트 출력물을 비교했기 때문이다.

표 2. 각 시스템의 신경망 모델에 의한 오차들

Table 2. Each system error by the neural network models.

	Monitor (Samsung SyncMaster 700s)	Printer (HP Deskjet 895C)
System error	5.9436	20.7449

2. 기존 방법들과의 비교

색재현의 정도를 수치적으로 판별하기 위해 기존의 방법들과 제안한 알고리즘으로 다음과 같은 과정의 실험을 하였다.

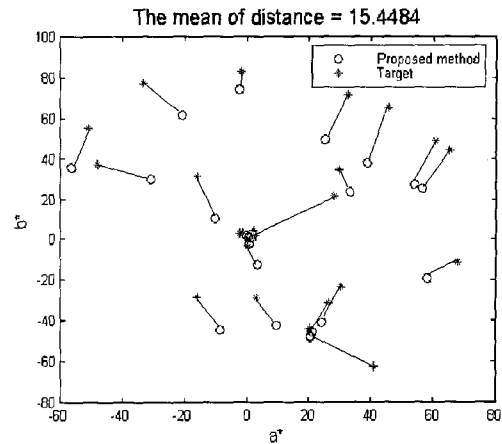
Step 1. macbeth color checker의 칼라 영상을 하프토

닝 처리하여 프린터로 출력한다.

Step 2. 재현된 색을 분광 광도계를 이용하여 LAB값을 얻는다.

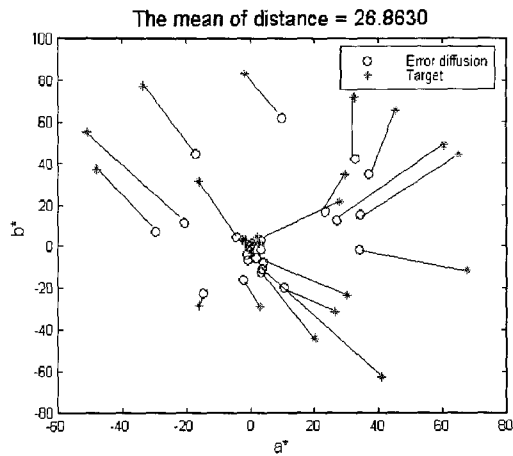
Step 3. 모니터에 대한 LAB값과의 ΔE^*_{ab} 를 구한다.

위의 실험으로 얻어진 모니터와 프린터에 대한 LAB값들과 각각의 LAB값에 의한 평균 ΔE^*_{ab} 는 그림 5와 같이 표현됨을 알 수 있었다. 그림 5의 (a)는 오차확산, (b)는 블루노이즈 하프토닝에 대한 기준색도와의 색오차를 나타낸 것이다. 색도 평면 외곽의 색포화도가 높은 영역에서의 오차가 중심의 색포화도가 낮은 영역에 비해 크게 나타남을 볼 수 있다. 제안한 그림 5의 (c)에서는 색포화도가 높은 영역에서도 오차확산 및 블루노이즈 하프토닝 방법에 비하여 색오차가 크게 감소하였음을 알 수 있다.

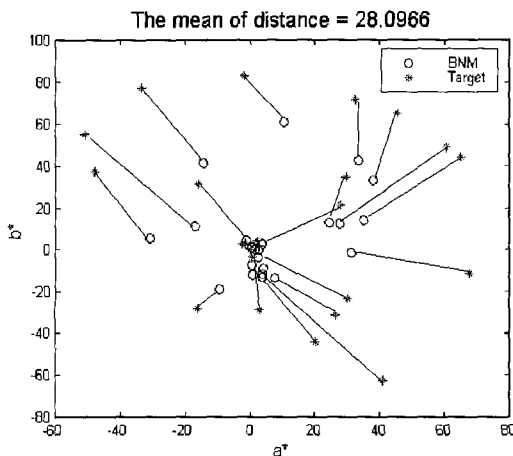


(c)

그림 5. 모니터와 하프토닝 처리방법을 이용한 프린터의 색오차 (a)오차 확산법 (b)블루노이즈 하프토닝 처리방법 (c)제안한 하프토닝 처리방법
Fig. 5. Color differences between the image displayed by monitor and the halftoned image by printer (a)error diffusion, (b)BNM halftoning method, and (c)proposed halftoning method.

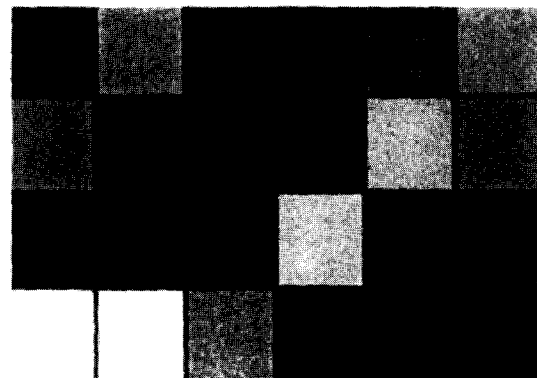


(a)

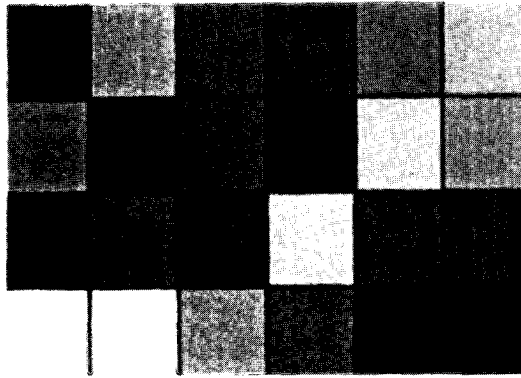


(b)

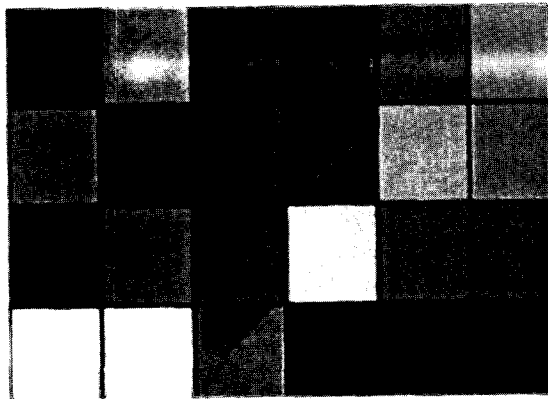
기존의 알고리즘과 제안한 방법을 비교하기 위해 그림 6과 같이 실험영상에 적용시켜 보았다. 그림 6은 Macbeth입력 영상에 대하여 스칼라 오차 확산법, 스칼라 블루노이즈 하프토닝 처리법, 벡터 오차 확산법, 제안된 벡터 오차 확산법의 방법으로 각각 출력한 후 스캔한 영상이다. 그림에서 보는 것과 같이 제안된 방법은 (a), (b)의 스칼라 하프토닝 처리법과 비교할 때 비교적 색수정이 잘되었으며 또한 (c)의 벡터 오차 확산법에서 나타나는 smear effect ((2,4) (4,3) 샘플)도 거의 눈에 띄지 않음을 알 수 있다.



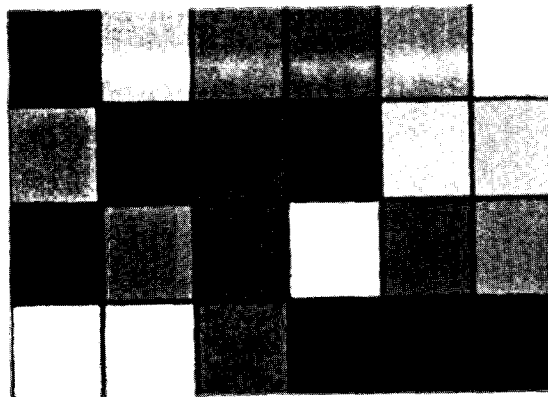
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 6. Macbeth color checker 영상 (a) 스칼라 오차 확산법 (b) 스칼라 블루노이즈 하프토닝 처리방법 (c) 기존의 벡터 오차 확산법 (d) 제안한 하프토닝 처리방법

Fig. 6. Macbeth color checker image (a) scalar error diffusion, (b) scalar BNM halftoning method, (c) conventional vector error diffusion, and (d) proposed halftoning method.

V. 결 론

본 논문에서는 블루노이즈 마스크 하프토닝 처리방법의 단점인 두꺼운 경계와 출력영상에서의 노이즈 특성을 개선하고 장치간의 정확한 색재현을 위한 방법을 제안하였다. 이것은 인간 시각에 거슬림이 없는 블루노이즈 마스크를 이용하면서 블루노이즈 마스크로는 정확한 색을 표현할 수 없는 특징을 고려하여 색성분을 갖는 입력영상과 블루노이즈 마스크 하프토닝 처리한 결과영상간의 색오차를 찾아 벡터 오차 확산법으로 입력영상의 값에 오차를 보상시킴으로써 색오차를 줄이는 방법이다.

기존의 방법으로 하프토닝 처리된 결과영상과 비교할 때, 제안한 방법은 경계가 선명하게 나타날 뿐만 아니라 장치특성을 고려함으로써 모니터에서 나타난 영상과 가까운 색을 표현할 수 있었다. 또한 밝은색과 같이 블루노이즈 하프토닝 처리를 했을 때 노이즈로 인해 시각에 거슬리는 부분을 벡터 오차 확산법을 사용함으로써 효율적으로 표현하였다. 그러나 정확한 색을 표현하기 위해 사용한 모니터와 프린터에 대한 모델의 정확성이 좀더 요구되며 벡터오차 확산법 적용시 색공간 변환으로 인한 수행속도의 증가를 개선시킬 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] Robert Ulichney, Digital Halftoning, The MIT Press, 1993.
- [2] Keith T. Knox, "Evolution of Error Diffusion," SPIE Conf. on Device-Independent Color Imaging, vol. 3648, pp. 448~458, Jan. 1999.
- [3] Floyd, R. and Steinberg, L., "An adaptive algorithm for spatial gray scale," SID 1975 Symp. Dig. Tech. Papers, pp. 36-37, 1975.
- [4] 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.
- [5] Meng Yao and Kevin 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.

[6] Hideaki Haneish, Toshiaki Suzuki, Nobukatsu Shimoyama, and Yoichi Miyake, "Color digital halftoning taking colorimetric color reproduction into account," Journal of Electronic Imaging, vol. 5, no. 1, pp. 97~106, Jan. 1996.

[7] Masahiro Kouzaki, Tetsuya Itoh, Takayuki Kawaguchi, Norimichi Tsumura, Hideaki Haneishi, and Yoichi Miyake, "Evaluation of Digital Halftone Image by Vector Error Diffusion," SPIE Conf. on Device-Independent Color Imaging, vol. 3648, pp. 470~479, Jan. 1999.

[8] Mark D. Fairchild, Color Appearance Models, Addison Wesley, 1998.

[9] Richard P. Lippmann, "An introduction to computing with neutral nets," IEEE ASSP MAGAZINE, pp. 4~22, April 1987.

[10] Yoh-Han Pao, Adaptive pattern recognition and neural networks, Addison Wesley, pp. 120~129, 1989.

[11] Albert D. Helfrick and William D. Cooper, Modern electronic instrumentation and measurement techniques, Prentice-Hall, Inc., 1990.

[12] Jack L. Goldberg, Matrix theory with applications, MacGraw-Hill, Inc., 1991.

저 자 소 개



崔 瑗 熙(學生會員)
1998년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2000년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사).
주 관심분야는 칼라 영상처리, 디지털 하프토닝, 색재현 등임

李 徹 熙(正會員)
1995년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사) 1997년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2000년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사). 2000년 3월~현재 경운대학교 컴퓨터 공학과 전임강사. 주관심분야는 영상처리, 칼라 프린팅, 색재현, 광원 추정 등임



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



金 燾 樹(正會員)
1991년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1993년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1993년 3월~1994년 12월 한국통신 통신망연구소 근무. 1995년 2월~1998년 1월 SK텔레콤 중앙연구원 근무. 1996년 3월~현재 경북대학교 전자공학과 박사과정. 주관심 분야는 영상처리, 멀티미디어 콘텐츠 보호 및 관리 기술, 디지털 워터마킹 등임.

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