논문 2004-41SP-5-9

휘도를 고려한 기준색 선택 기반의 다단계 벡터 오차 확산법

(Multi-level Vector Error Diffusion Based on Primary Color Selection Considering Lightness)

박 태 용*, 조 양 호*, 이 명 영*, 하 영 호*

(Tae-Yong Park, Yang-Ho Cho, Myong-Young Lee, and Yeong-Ho Ha)

요 약

본 논문에서는 64개 기준색을 사용한 다단계 벡터 오차 확산법에서 나타나는 밝은 영역에서의 색 자극 문제를 개선하는 방법을 제안하였다. 벡터 오차 확산법은 양자화 과정에서 입력 벡터와 기준색 벡터간의 기하학적 거리만을 이용하기 때문에 밝은 영역에서 어두운 기준색이 선택되는 색 자극이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 오차 보정된 입력 벡터의 채도를 계산하여 유채색과 무채색으로 나누고, 유채색일 경우 입력 벡터의 휘도를 이용하여 밝은 영역, 중간 밝기 영역, 어두운 영역으로 구분한다. 밝은 영역일 경우 60개 유채색 기준색중에서 입력 벡터와의 휘도차가 작은 N개의 후보 기준색을 구성한다. 최종 기준색을 선택할 때는 N개의 후보 기준색과 4개의 무채색 기준색중에서 오차 보정된 입력 벡터와의 최소 기하학적 거리를 가지는 기준색을 출력색으로 결정한다. 실험 결과, 제안한 방법은 밝은 영역에서 색 자극이 줄어들어 시각적으로 보기 좋은 결과를 보였다.

Abstract

This paper proposes a multi-level vector error diffusion method using 64 primary colors to improve color impulse artifact in bright region. Vector error diffusion method causes color impulse artifact in bright region because we only use the Euclidean distance measure in quantization process. In order to reduce this artifact, the proposed method divides input color into chromatic color and achromatic color according to chroma value. In the case of chromatic color, input color is classified into bright region, middle bright region, and dark region according to lightness value. N candidate primary color is organized using lightness difference between input vector and 60 chromatic primary color vector in the case of bright region. Then, primary color with minimum vector norm between input vector and N candidate primary color in addition to 4 achromatic primary colors is selected as output color. As a result of experiments, the proposed method showed visually pleasing halftone output.

Keywords: 중간조 처리 기법, 다단계 벡터 오차 확산법, 64개 기준색, 색 자극, 휘도 차,

I. 서 론

칼라 영상을 색 재현할 때 색 충실도(color fidelity)를 높이는 것은 디지털 칼라 중간조(digital color halftoning)의 중요한 목적중의 하나이다[1,2]. 따라서 칼라 영상의 정확한 색 재현을 위한 다양한 디지털 칼라 중간조 처리 기법들이 연구되고 있을 뿐 아니라 널리 사용되고 있다. 최근에는 적합한 다단계 중간조 처리 기법(multi-level halftoning)을 연구하기 위해 중요한 연구적 노력이 집중되고 있다[3,4]. 기존의 중간조 처리 기법과는 달리, 다단계 중간조 처리 기법은 기존의 흑색과 백색으로만 표현하는 디지털 중간조 처리기법의 확장으로 더 많은 중간 단계를 표현할 수 있는 중간조 처리 기법이다. 이러한 중간 단계는 다양한 크기와 농도의 잉크 도트와 그 도트들의 조합으로 표현될 수 있다. 따라서 다단계 중간조 처리 기법을 사용하게 되면

* 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National Univ.)
※ 본 연구는 과학기술부 NRL 사업(M10412000102-04J0000-03910) 지원에 의해서 수행되었습니다.
접수일자: 2003년12월19일, 수정완료일: 2004년9월14일

고화질의 출력 영상을 얻게 될 뿐만 아니라 기존의 중간조 처리기법에서 발생하는 인간시각에 거슬리는 패턴으로 인한 화질의 열화 현상도 많이 줄어들게 된다.

벡터 오차 확산법은 CIEXYZ나 CIELAB와 같은 장치 독립적인 색 공간에서 수행된다[5-8]. RGB 색 공간에서 표현된 입력값은 색 공간 변환을 통해 XYZ나 LAB 값으로 구성된 벡터 형식으로 표현되고, 8개의 기준색(eight primary colors; red, green, blue, cyan, magenta, yellow, white, black)은 측정을 통해 XYZ나 LAB 값을 가진다[9,10]. 벡터 오차 확산법은 벡터 연산에 기반하여 적절한 도트 패턴을 생성함으로서 측색적인 색 재현을 가능하게 한다. Haneishi et al.[6]은 CIELAB 색 공간을 사용한 벡터 오차 확산법이 가장 뛰어난 결과를 보인다고 제안하였다. 그러나 벡터 오차 확산법은 양자화 과정에서 입력과 기준색 벡터간의 기하학적 거리(Eucli-dean distance)만을 이용하기 때문에 밝은 영역에서 어두운 기준색이 선택되는 색 자극 문제(color impulse artifact)가 발생한다[9]. 이는 다단계로 구현하기 위해 8개 이상의 기준색을 사용할 경우, 기준색이 CIELAB 공간상에서 넓은 영역에 걸쳐 조밀하게 분포하기 때문에 더욱 더 발생하기 쉽다. 벡터 오차 확산법에서는 오차 확산 기법을 사용하여 이웃 화소에서 양자화 오차를 보상해 주기 때문에 좋은 결과를 나타낸다는 장점이 있지만 큰 양자화 오차의 확산으로 인해 밝은 영역에서의 색 자극 문제를 더욱 가중 시킬 뿐만 아니라 경계 영역에서 색 번짐(smear artifact)이 발생한다. 이런 영역에서 양자화 오차의 균형을 맞춤으로서 입력색에 가까운 색을 나타내지만 잘못된 경계를 발생하게 되는 것이다. 따라서 큰 오차의 확산을 방지하기 위해 오차 확산 과정에서의 제한 조건이 필요하다[6].

본 논문에서는 64개 기준색을 사용한 다단계 벡터 오차 확산법에서 나타나는 밝은 영역에서의 색 자극 문제를 개선하기 위하여 휘도차를 고려한 기준색 선택 방법을 제안한다. 실험에서 64개의 기준색을 모두 사용한 다단계 벡터 오차 확산법과 제안한 방법을 적용한 다단계 벡터 오차 확산법의 결과를 비교하였을 때, 제안한 방법에서 색 자극이 줄어들고 시각적으로 나은 결과를 보였다.

본 논문은 먼저 Ⅱ장에서 다단계 벡터 오차 확산법과 문제점을 기술하고, Ⅲ장에서 제안된 다단계 벡터 오차 확산법을 설명한다. Ⅳ장에서 실험 및 고찰을 통해, Ⅴ장에서 결론을 맺고자 한다.

Ⅱ. 다단계 벡터 오차 확산법

2.1. 다단계 벡터 오차 확산법

벡터 오차 확산법은 스칼라 오차 확산법과는 달리 채널간의 상관관계를 고려하기 위해 CIEXYZ나 CIELAB와 같은 장치 독립적인 색 공간에서 수행된다. 또한 스칼라 오차 확산법이 임계치를 이용하여 양자화를 수행하는 반면 벡터 오차 확산법은 벡터 공간에서 기하학적 거리를 이용하여 양자화 과정을 수행한다. 이 방법은 벡터 연산에 따라 적절한 도트 패턴을 생성함으로서 측색적인 색 재현을 가능하게 한다. 즉, 벡터 공간에서 출력값을 결정하기 위해서 오차 보정된 입력 벡터와 기준색 벡터와의 기하학적 거리를 계산하여 최소 기하학적 거리를 가지는 기준색을 그 입력에 대한 결과 값으로 결정한다. 여기서 기하학적 거리는 벡터 공간상에서 두 벡터 사이의 거리를 나타낸다. 다단계 벡터 오차 확산법은 출력 비트의 수에 따라 8개 이상의 기준색을 사용한다[6]. 다단계 벡터 오차 확산법은 기준색의 개수가 증가한 것을 제외하고는 이진화 벡터 오차 확산법과 동일하다. 그림 1은 다단계 벡터 오차 확산법을 이용한 중간조 처리 방법의 흐름도를 나타내고 있다. 전체 과정을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$x_{mn} = f_{mn} + \sum_{ij} h_{ij} e_{m+i,n+j} \tag{1}$$

$$b_{mn} = p_s \min\{ x_{mn} - p_s \}, \tag{2}$$

where $0 \le s \le 63$

$$e_{m+i,n+j} = x_{m+i,n+j} - b_{m+i,n+j} \tag{3}$$

이러한 벡터 오차 확산법에서 (m, n) 위치의 입력 백

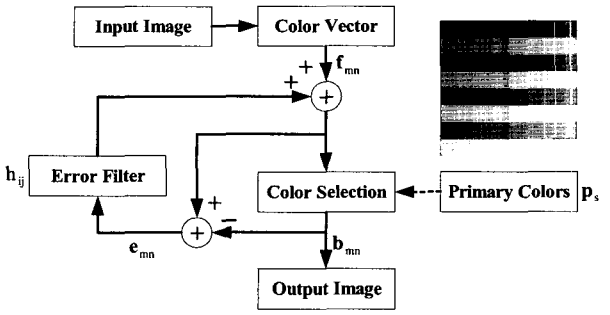
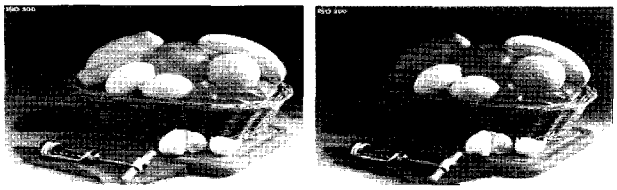


그림 1. 다단계 벡터 오차 확산법의 흐름도
Fig. 1. Block diagram of multi-level vector error diffusion.



(a) (b)

그림 2. 벡터 오차 확산법의 결과 영상 (a) 이진화 벡터 오차 확산법 (b) 채널당 2비트 출력을 가지는 다단계 벡터 오차 확산법

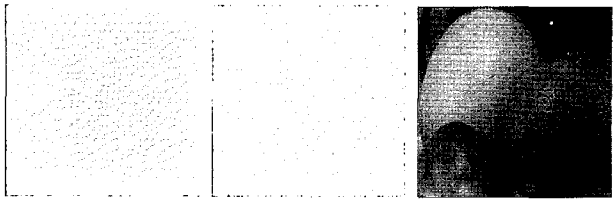
Fig. 2. The halftone images of vector error diffusion; (a) bi-level vector error diffusion, (b) multi-level vector error diffusion with 2-bit output per channel.

터 f_{mn}과 이전 화소에서의 오차 벡터 e_{mn}에 의해 보정된 입력 벡터 x_{mn}는 CIELAB 색 공간에서 식 (1)과 같이 표현될 수 있으며, h_{ij}는 스칼라 오차 확산법과 같은 가중치 행렬이다. 그러나 벡터 오차 확산법의 결과 b_{mn}은 임계치에 의해 결과가 결정되는 스칼라 오차 확산법과는 달리 식 (2)에 의해서 결정된다. 이 식에서 • 은 기하학적 거리를 표현하며 p_s는 64개의 기준색이 가지는 각각의 벡터를 의미한다. 이들 중 보정된 입력 벡터 x_{mn}와 최소 기하학적 거리를 가지는 기준색 벡터가 선택되고, 선택되어진 벡터 b_{mn}과 보정된 입력 벡터 x_{mn} 사이의 차를 나타내는 오차 벡터 e_{mn}은 식 (3)과 같다. 따라서 채널당 2비트 출력을 가지는 다단계 벡터 오차 확산법은 기준색 개수의 증가로 인해 양자화 오차가 작아지므로 기존의 이진화 벡터 오차 확산법에 비해 우수한 색 재현을 얻을 수 있다. 그림 2는 벡터 오차 확산법으로 얻은 결과 영상으로 (a)는 이진화 벡터 오차 확산법, (b)는 채널당 2비트 출력을 가지는 다단계 벡터 오차 확산법을 적용한 결과이다. 채널당 2비트 출력을 가지는 다단계 벡터 오차 확산법을 적용할 경우 결과 영상에서 채도가 더 잘 표현되고 고화질의 출력 영상을 얻게 될 뿐 아니라 인간 시각에 거슬리는 패턴으로 인한 화질의 열화 현상도 많이 줄어들게 된다.

2.2. 단계 벡터 오차 확산법의 문제점

가. 밝은 영역에서의 색 자극 문제

다단계 벡터 오차 확산법은 양자화 과정에서 입력 벡터와 기준색 벡터간의 기하학적 거리만을 이용하기 때문에 밝은 영역에서 어두운 기준색이 선택되는 색 자극 문제가 발생한다[9]. 즉, 보정된 입력 벡터와 기준색 벡터간의 최대 허용 색차를 비교, 판단하는 것이 아니라 단순히 최소 기하학적 거리를 가지는 기준색이 출력색으로 선택된다. 이는 다단계로 구현하기 위해 8개 이상의 기준색이 사용될 경우 기준색이 CIELAB 공간상에서 넓은 영역에 걸쳐 조밀하게 분포하기 때문에 더욱 발생하기 쉽다. 그림 3은 채널당 2비트 출력을 가지는 다단계 벡터 오차 확산법을 적용한 결과 영상에서 눈에 두드러져 보이는 기준색이 선택되는 색 자극 문제가 나타나는 부분을 확대한 영상이다. 그림 3(a)과 3(b)은 각각 Macbeth ColorChecker 영상의 (1,6), (3,4) 패치를 나타내고, 그림 3(c)은 Bike 영상의 작은 바퀴 앞에 있는 과일 부분을 나타낸다. 밝은 영역에 찍힌 어두운 기준색으로 인한 색 자극이 인간 시각에 거슬리게 나타나는 것을 알 수 있다.



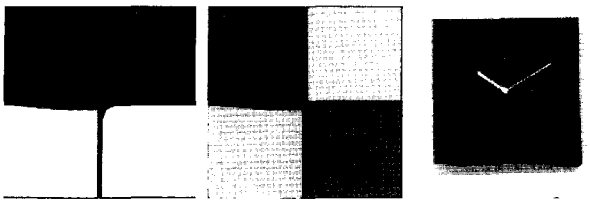
(a) (b) (c)

그림 3. 색 자극 문제를 가진 중간조 처리 영상의 확대 (a) Macbeth ColorChecker 영상의 (1,6) 패치 (b) (3,4) 패치 (c) Bike 영상의 과일

Fig. 3. The magnified halftone image with color impulse artifacts; (a) (1,6) patch, (b) (3,4) patch in Macbeth ColorChecker image, and (c) fruits in Bike image.

나. 경계 영역에서의 색 번짐 문제

벡터 오차 확산법은 오차 확산 기법을 사용하여 현재 화소에서 발생한 양자화 오차를 이웃 화소에서 보상해 주기 때문에 좋은 결과를 나타낸다는 장점이 있지만 경계 영역에서 큰 양자화 오차 때문에 색 번짐 현상이 발생한다[6-8]. 경계 영역에서 양자화 오차의 균형을 맞춤으로서 입력색에 가까운 평균색을 나타내긴 하지만 잘못된 경계를 발생하게 되는 것이다. 그림 4는 채널당 2비트 출력을 가지는 다단계 벡터 오차 확산법을 적용한 중간조 영상의 경계 영역에서 색 번짐 현상이 나타난 부분을 확대한 영상이다. 그림 4(a)와 4(b)는 각각 Macbeth ColorChecker 영상의 (4,1)과 (4,2), (4,3)과 (4,4) 패치를 나타내고, 그림 4(c)는 Bike 영상의 시계



(a) (b) (c)

그림 4. 색 번짐 문제를 가진 중간조 처리 영상의 확대; Macbeth ColorChecker 영상의 (a) (4,1), (4,2) 패치 (b) (4,3), (4,4) 패치 (c) Bike 영상의 시계

Fig. 4. The magnified halftone image with smear artifacts; (a) (4,1) and (4,2) patches, (b) (4,3) and (4,4) patches in the Macbeth ColorChecker image, and (c) the clock in the Bike image.

부분을 나타내고 있다.

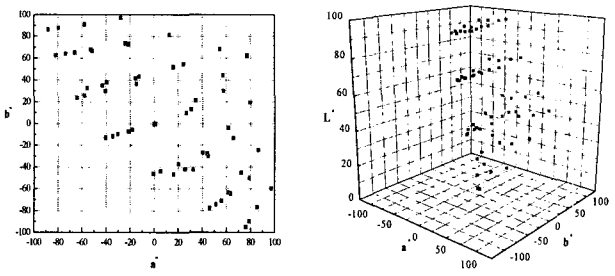
Ⅲ. 제안한 다단계 벡터 오차 확산법

본 논문에서는 휘도를 고려한 기준색 선택 기반의 다단계 벡터 오차 확산법을 제안한다. 제안한 방법은 CMY 각 채널에 대해 2비트의 출력을 표현하기 때문에 64개의 기준색을 필요로 한다. 그래서 기존의 8개의 기준색을 사용하는 이진 벡터 오차 확산법에 비해 기준색의 개수가 8배 증가한다. 64개의 기준색은 그림 5(a)에서 보여주는 것처럼 a^*b^* 색 공간에서 널리 분포되어 있으며, 그림 5(b)에서 보여주는 것처럼 $L^*a^*b^*$ 색 공간에서 공간적으로 넓은 영역에 퍼져있다. 이로 인해 보다 많은 중간 단계를 표현할 수 있어 고화질의 출력 영상을 얻을 뿐만 아니라 양자화 오차의 감소로 인해 인간 시각에 거슬리는 패턴들이 많이 줄어들게 된다. 하지만 증가된 기준색의 개수는 누적된 양자화 오차의 확산, 특히 휘도가 누적된 양자화 오차에 민감하여 밝은 영역에서 눈에 두드러져 보이는 기준색이 선택되는 색 자극 문제가 나타날 뿐만 아니라[9], 벡터 연산에 의한 누적된 양자화 오차의 확산으로 인해 경계 영역에서 색 번짐 문제가 발생한다[6].

따라서 이러한 결점을 줄이기 위해 본 논문에서는 휘도를 고려하여 후보 기준색을 선택하는 양자화 방법을 제안한다. 제안한 방법의 전체 흐름도는 그림 6에 잘 나타나있다.

3.1. 휘도를 고려한 기준색 선택 방법

RGB 색 공간에서 표현된 입력 영상은 순방향 사면



(a) (b)

그림 5. 4개 기준색의 위치 (a) a^*b^* 좌표 (b) $L^*a^*b^*$ 좌표

Fig. 5. Position of the 64 primary colors; (a) $L^*a^*b^*$ plane, (b) a^*b^* plane.

체 보간(forward tetrahedral interpolation)을 이용하여 균등 색 공간인 CIELAB 색 공간으로 변환되며 3차원 칼라 공간상에서 하나의 벡터로 표현되게 된다[10]. 또한, 64개 기준색의 벡터값은 다단계 프린터로 출력한 패치를 분광 광도계(spectrophotometer)로 측정하여 얻은 값으로 설정한다. 기준색 역시 $L^*a^*b^*$ 값을 가지는 벡터로 표현되기 때문에 CIELAB 공간상에서 프린터 색역을 형성하고 LUT에 저장되어 입력 벡터들과의 기하학적 거리를 계산하여 출력색을 결정하는 양자화 과정에 사용된다.

그러나 다단계 벡터 오차 확산법은 양자화 과정에서 입력 벡터와 기준색 벡터간의 기하학적 거리만을 이용하기 때문에 밝은 영역에서 어두운 기준색이 선택되는 색 자극이 발생한다. 즉, 보정된 입력 벡터와 기준색 벡터간의 최대 허용 색차를 비교, 판단하는 것이 아니라 단순히 최소 기하학적 거리를 가지는 기준색이 출력색으로 선택된다. 이는 다단계로 구현하기 위해 8개 이상의 기준색이 사용될 경우 기준색이 CIELAB 공간상에서 넓은 영역에 걸쳐 조밀하게 분포하기 때문에 더욱 발생하기 쉽다.

따라서 본 논문에서는 오차 보정된 벡터의 채도를 계산하여 무채색 영역과 유채색 영역으로 구분한다. 유채색일 경우 오차 보정된 벡터의 휘도값이 62.5보다 큰 밝은 영역일 경우에만 휘도차를 계산하게 된다. 밝은 영역에서 기준색을 선택할 때, 오차 보정된 입력 벡터와 입력 벡터와 기준색 벡터와의 휘도차를 계산하여 9.24보다 작은 기준색으로 후보 기준색을 먼저 구성한 후, 후보 기준색과 4개의 무채색 기준색중에서 오차 보정된 입력 벡터와의 최소 기하학적 거리를 가지는 기준

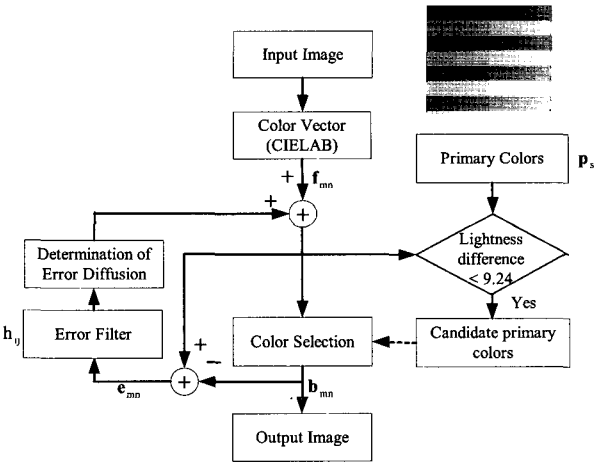


그림 6. 제안한 다단계 벡터 오차 확산법의 전체 흐름도
Fig. 6. Block diagram of the proposed multi-level vector error diffusion.

색을 출력색으로 결정한다. 무채색이거나 밝은 영역이 아닐 경우에는 기존의 벡터 오차 확산 방법과 같이 64개의 기준색 벡터와 기하학적 거리를 계산하여 최소 기하학적 거리를 가지는 기준색을 선택한다. 64개의 기준색중에서 후보 기준색을 선택하는 척도인 휘도 차를 9.24로 정한 것은 CIELAB 공간에 걸쳐 휘도와 채도가 균등하게 분포되어 있는 Macbeth ColorChecker 영상의 24개 패치들을 중간조 처리한 결과를 바탕으로 설정하였다. 24개의 패치 중에서 색 자극이 나타나는 패치들에 대한 기준색의 휘도값을 직접 조사하여 표 1에 나타내었다. 이 패치에 찍힌 기준색의 휘도값을 비교해 보면 색 자극을 일으키는 기준색의 휘도값이 다른 기준색의 휘도값보다 약 9.24이상 차이가 난다는 것을 알 수 있다. 표 2에서 위의 4 줄은 밝은 영역에서 색 자극을 일으키지 않는 기준색의 휘도값을 나타내고, 아래 2줄은 밝은 영역에서 색 자극을 일으키는 기준색의 휘도값을 나타낸다. 이와 같이 입력색과 기준색 사이의 휘도차를 이용하여 색 자극을 일으키는 후보 기준색을 제거하기 때문에 밝은 영역에서 눈에 두드러진 기준색 선택으로 인한 색 자극을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 기하학적 거리를 계산하는 연산량이 감소하기 때문에 전체 수행시간이 줄어든다. 휘도차를 이용한 기준색 선택 과정을 수식적으로 나타내면 다음과 같다.

$$x_{mn} = \{x_{mn} \; C_{x_{mn}} > 1.5 \text{ and } L_{x_{mn}} > 62.5\} \quad (4)$$

$$p_{candidate} = \{p_{chromatic} \; L_{x_{mn}} - L_{p_{chromatic}} < 9.24\} \quad (5)$$

$$b_{mn} = p \min\{ \; x_{mn} - (p_{candidate} + p_{achromatic}) \; \} \quad (6)$$

표 1. 중간조 처리된 Macbeth ColorChecker 영상의 24개 패치 중에서 색 자극이 발생하는 패치들에 대한 기준색의 휘도값
Table 1. Lightness values of the primary color in patches that occur color impulses in the halftoned Macbeth ColorChecker image.

	색 자극이 발생하는 패치			
	(1,6) 패치	(2,1) 패치	(3,2) 패치	(3,4) 패치
색 자극을 일으키지 않는 기준색의 휘도값	93.5	57.5	62.1	95.2
	90.7	76.8	63.4	90.7
	91.2	75.2	64	85.26
			66.9	
색 자극을 일으키는 기준색의 휘도값	64	48.3	91.2	68.5
	63.4		88.7	

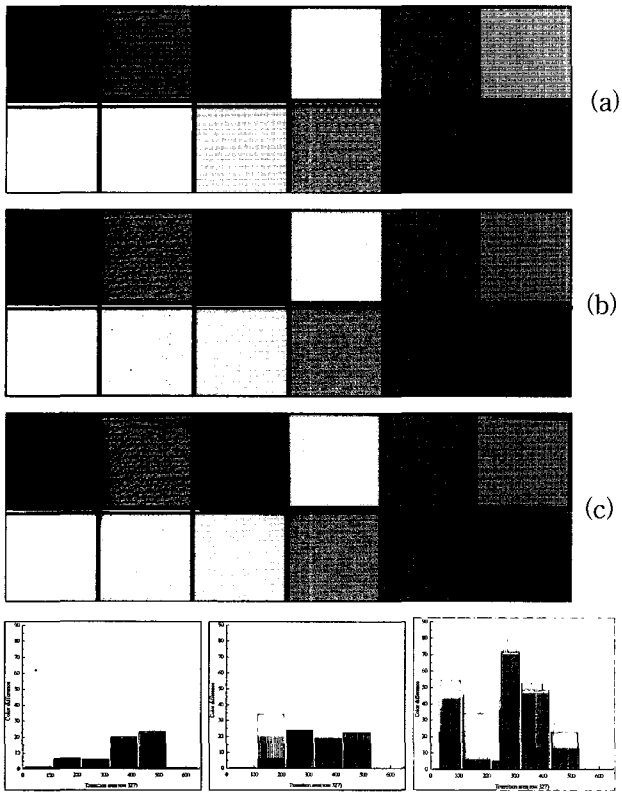
식 (4)에서 $C_{x_{mn}}$은 오차 보정된 입력 벡터 x_{mn}의 채도를 나타내고, $L_{x_{mn}}$은 x_{mn}의 휘도를 나타낸다. 식 (5)은 오차 보정된 입력 벡터의 휘도 $L_{x_{mn}}$와 유채색 기준색의 휘도 $L_{p_{chromatic}}$ 사이의 휘도차가 9.24보다 작은 후보 기준색을 선택하는 과정이다. 식 (6)에서는 식 (5)에서 선택된 후보 기준색과 4개의 무채색 기준색 중에서 오차 보정된 입력 벡터와의 최소 기하학적 거리를 가지는 기준색을 출력색으로 선택한다.

3.2. 색차 변화 그래프를 이용한 임계치 결정

색 번짐 현상을 줄이기 위해 Haneishi et al.[10]에 위해 제안된 방법을 사용할 때, 어떤 임계치를 사용하느냐에 따라 경계 영역에서의 색 번짐 현상 제거와 전 영역에서의 색 재현 충실도에 크게 영향을 미치게 된다.

본 논문에서는 임계치의 크기에 따라 오차 확산의 여부가 결정되고 결과적으로 경계 영역에서의 색 번짐 감소와 색 재현 충실도에 영향을 준다는 사실을 확인하고 색 번짐 현상이 발생하는 경계 영역에서 임계치의 크기에 대한 색차(color difference) 변화 그래프를 분석하여 색 번짐 감소와 색 재현 충실도를 모두 만족시킬 수 있는 적절한 임계치를 실험적으로 구한다. 이 방법 역시 적절한 임계치를 결정하기 위해 몇 번의 실험을 수행해야 하지만 객관적인 데이터를 비교, 분석하기 때문에 쉽게 적절한 임계치를 결정할 수 있다.

그림 7은 임계치의 크기가 경계 영역에서의 색 번짐 감소와 전 영역에서의 색 재현 충실도에 얼마나 영향을



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

그림 7. 임계치 크기에 따른 중간조 처리 결과 영상과 색차 변화 그래프 (a),(d)임계치가 작은 경우 (b),(e)임계치가 적절한 경우 (c),(f)임계치가 큰 경우

Fig. 7. Halftone images and graphs of the variation of color difference according to threshold values; (a),(d) a small threshold value, (b),(e) a appropriate threshold value, and (c),(f) a large threshold value.

주는가를 알아보기 위해 중간조 처리된 Macbeth ColorChecker영상의 일부분과 경계 영역에서 임계치의 크기에 대한 색차 변화 그래프를 보여주고 있다. 그림 7(a), 7(d)은 임계치가 작을 경우인데 (2,1), (2,2), (2,3), (2,6)번 패치에서는 색차의 변화가 발견되지 않고, 6개 패치 사이의 경계가 명확하다는 것을 알 수 있다. 흰색과 검은 색을 나타내는 (2,1)번 패치와 (2,6)번 패치를 제외한 (2,2)번 패치와 (2,3)번 패치에서 색차의 변화가 없다는 것은 그 영역에서 색 재현이 제대로 이루어지지 않았음을 의미한다. 즉, 하나의 기준색만 출력되기 때문에 색차의 변화가 없는 것이다. 그리고 6개 패치 사이의 경계가 확실히 구분된다는 것은 경계 영역에서 색 번짐 현상이 나타나지 않았다는 것을 의미한다. 한편 임계치가 큰 그림 7(c), 7(f)의 경우, 전체적으로 색차의 변화가 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 이는 기하학적 거리가 가장 작은 기준색들이 적절히 선택되기 때문에 나타나는 현상으로 평균적인 색 재현이 이루어지고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 (2,1), (2,3)번 패치의 끝 부분에서 색차의 변화가 크고, 6개 패치 사이의 경계가 명확히 구분되지 않는다는 것은 경계 영역에서 색 번짐 현상이 발생하고 있다는 것을 의미한다. 그러나 임계치가 적절할 경우, 흰색과 검은 색을 나타내는 (2,1)번 패치와 (2,6)번 패치를 제외한 영역에서는 색차의 변화가 어느 정도 나타나지만 평균적인 색 재현이 이루어지고 있음을 확인 할 수 있다. 또한 6개 패치 사이의 경계 부분이 명확하다는 것은 경계 영역에서 색 번짐 현상이 일어나지 않는다는 것을 그림 7(b), 7(e)에서 보여주고 있다.

Ⅳ. 실험 및 고찰

4.1. 칼라 패치의 CIELAB 색차 계산

입력 영상과 중간조 처리된 영상의 색차를 최소로 만들기 위해 두 영상간의 색 오차를 계산해야 되는데, 그 대표적인 방법은 인간 시각 특성을 바탕으로 만들어진 균등 색 공간인 CIELAB를 사용하여 색 오차를 찾는다. 칼라 영상의 비 균등 색 공간인 RGB 값들은 균등 색 공간인 CIELAB로 변환되어야 하는데 그 과정에서 장치 의존적인 색 공간인 RGB는 장치 독립적인 XYZ로 변환하고 그 값을 다시 LAB로 변환하는 과정을 거치게 된다. XYZ에서 LAB로의 변환은 아래와 같은 수식들에 의해 가능하다.

$$L^* = 116f(Y/Y_n - 16) \tag{7}$$

$$a^* = 500\,[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \tag{8}$$

$$b^* = 200\,[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \tag{9}$$

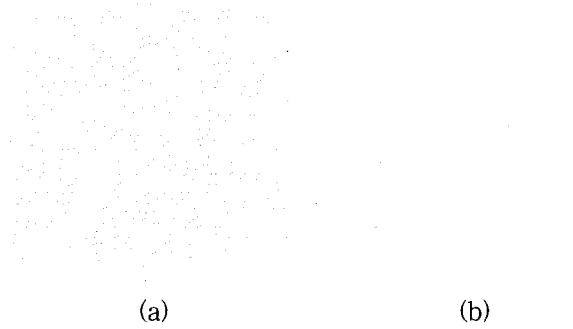
$$f(w) = \begin{cases} w^{1/3}, & w > 0.008856 \\ 7.787w + 16/116, & w \le 0.008856 \end{cases} \tag{10}$$

이 때, 위 식에서 X_n, Y_n, Z_n은 기준색색의 삼자극치이며 Y_n은 100으로 고정된다. CIELAB 색 공간에서의 기하학적 거리를 나타내는 색차식 $\triangle E^*_{ab}$는 로 표현된다.

$$\begin{aligned} \triangle E^*_{ab} &= \sqrt{(\triangle L^*)^2 + (\triangle a^*)^2 + (\triangle b^*)^2} \\ &= \sqrt{(L^*_m - L^*_p)^2 + (a^*_m - a^*_p)^2 + (b^*_m - b^*_p)^2} \end{aligned} \tag{11}$$

표 2. 여섯 개의 패치에 대한 색차 비교
Table 2. Comparison of color difference for six patches.

	패치 1	패치 2	패치 3	패치 4	패치 5	패치 6	평균
64개 기준색을 모두 사용한 다단계 벡터 오차 확산법	13.10	25.14	16.38	26.84	22.35	15.76	19.93
제안한 다단계 벡터 오차 확산법	11.89	23.24	16.08	20.23	22.30	15.70	18.24



(a) (b)

그림 8. 패치 4에 대한 중간조 영상의 점의 분포 (a) 64개 기준색을 모두 사용한 다단계 벡터 오차 확산법 (b)제안한 다단계 벡터 오차 확산법

Fig. 8. Distribution of dots in halftoned patch 4 image; (a)multi-level vector error diffusion using 64 primary colors, (b)The proposed multi-level vector error diffusion.

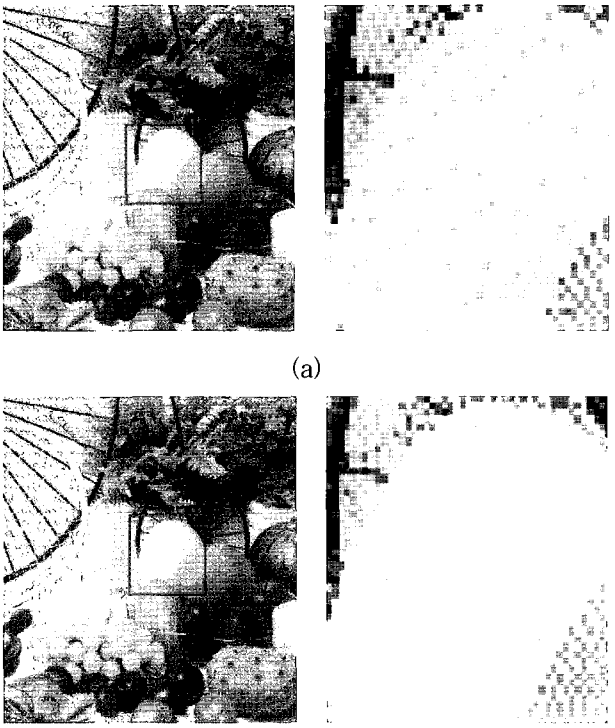
여기서 L_m^*, a_m^*, b_m^*과 L_p^*, a_p^*, b_p^*는 각각 모니터와 프린터의 대한 L^*, a^*, b^*이다.

Macbeth ColorChecker의 패치 중에 임의의 6개의 패치를 제안한 다단계 벡터 오차 확산법과 64개의 기준색을 모두 사용한 다단계 벡터 오차 확산법으로 중간조 처리하여 CIELAB 색차를 구해 보았다[11].

표 2는 256×256 크기의 6개의 패치에 대한 각각의 CIELAB 색차와 평균을 보여주고 있다. 제안한 방법에 의해 중간조 처리된 패치의 색차가 전체적으로 작게 나타났으며 평균적으로는 약 1.7 정도의 색차가 줄어들어 제안한 방법으로 인해 밝은 영역에서 눈에 두드러져 보이는 기준색이 선택되는 색 자극 현상이 감소하였음을 알 수 있다.

4.2. 점의 공간적 분포 비교

앞장에서 색차를 구하는데 사용한 Macbeth Color-Checker의 6개 패치 중에서 패치 4에 찍힌 점들의 분포와 확대했을 때의 영상을 비교해 보았다. 그림 8은 패치 4에 대한 중간조 결과 영상인데 확대한 영상에서



(a)

(b)

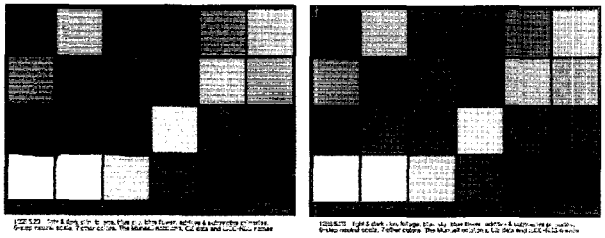
그림 9. Bike 영상에 대한 중간조 결과의 점의 분포 (a)64개 기준색을 사용한 다단계 벡터 오차 확산법 (b)제안한 다단계 벡터 오차 확산법

Fig. 9. Distribution of dots in halftoned Bike image; (a)multi-level vector error diffusion using 64 primary colors, (b)The proposed multi-level vector error diffusion.

보듯이 밝은 청록색 배경위에 찍힌 어두운 녹색이 제안한 방법의 결과에서 줄어들어 부드러운 톤을 표현할 수 있었다. 그리고 그림 9에서는 Bike 영상을 두 방법으로 중간조 처리한 결과 영상에서 색 자극이 나타나는 부분을 확대한 영상을 보여주고 있다. 확대한 영상은 Bike 영상에서 자전거의 작은 바퀴 앞에 있는 과일부분인데 오렌지색 배경위에 찍힌 어두운 노란색이 제안한 방법에 의해 많이 줄어든 것을 알 수 있다.

4.3. 주관적 화질 평가

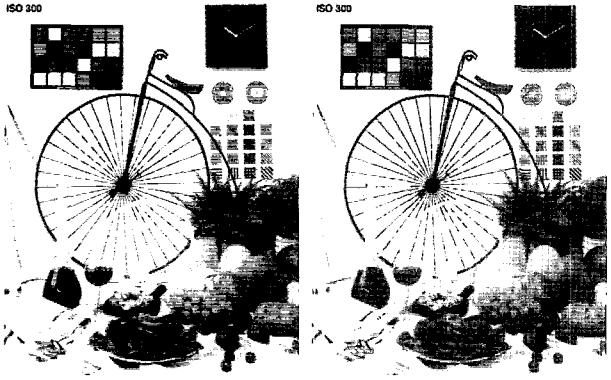
입력 영상은 장치 의존적인 색 공간인 RGB 색 공간에서 표현되고 중간조 처리는 장치 독립적인 색 공간인 CIELAB 색 공간에서 수행된다. 그러므로 중간조 처리를 수행하기 전에 공간 변환 과정을 거쳐야 하는 데 논문에서는 측색된 $L^*a^*b^*$ 값을 기반으로 한 사면체 보간(tetrahedral interpolation)방법을 사용하였다. 이 때 모니터의 패치 값을 얻기 위해 SAMSUNG Sync



(a) (b)

그림 10. Macbeth ColorChecker 결과 영상 (a) 64개의 기준색을 이용한 다단계 벡터 오차 확산법 (b) 제안한 다단계 벡터 오차 확산법

Fig. 10. The halftone images of Macbeth ColorChecker; (a) multi-level vector error diffusion using 64 primary colors, (b) the proposed multi-level vector error diffusion.



(a) (b)

그림 11. Bike 결과 영상 (a) 64개의 기준색을 이용한 다단계 벡터 오차 확산법 (b) 제안한 다단계 벡터 오차 확산법

Fig. 11. The halftone images of Bike; (a) multi-level vector error diffusion using 64 primary colors, (b) the proposed multi-level vector error diffusion.

-Master 907DF 모니터를 사용하여 Minolta CS-1000 분광 방사 휘도계로 측정하였고, 프린터 패치 값을 얻기 위해서는 HP 948C 다단계 프린터를 사용하여 Minolta CM-3600d 분광 광도계로 측정하였다.

이 장에서는 Macbeth ColorChecker 영상과 Bike 영상의 중간조 처리 결과에 대해 영상의 밝은 영역에서의 색 자극 문제와 경계 영역에서의 색 번짐 현상을 평가하였다[12,13]. 그림 10(a)와 11(a)는 64 기준색을 모두 사용한 다단계 벡터 오차 확산법에 의한 중간조 처리된 영상이고, 그림 10(b)와 11(b)는 오차 확산 제한 조건을 적용한 제안한 다단계 벡터 오차 확산법에 의한 중간조 처리된 영상이다. 그림 10(b)의 (1,6), (2,1), (3,4) 패치에서 눈에 두드러져 보이는 색 자극 문제가 줄어들었음을 확인 할 수 있고, (3,6), (4,1), (4,3), (4,4) 패치의 경계 영역에서 색 번짐 현상이 감소하였음을 볼 수 있다. 특히 그림 11(b)의 작은 자전거 바퀴 앞에 있는 과일부분에서 색 자극이 감소하였고, 시계 아래 부분의 경계 영역에서 색 번짐 현상이 감소하였음을 확인 할 수 있다. 그 결과, 제안한 방법의 색 재현이 향상되었고 전체적으로 균일한 패턴을 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서는 64개 기준색을 사용하여 채널당 2비트의 출력을 가지는 다단계 벡터 오차 확산법에서 나타나는 밝은 영역에서의 눈에 두드러져 보이는 색 자극 문제와 경계 영역에서의 색 번짐 현상을 줄이는 방법을 제안하였다. 기준색을 선택하는 양자화 과정에서는 64개 기준색중에서 무채색 기준색의 채도값과 입력색과 기준색의 휘도차를 이용하여 후보 기준색을 선택하고, 후보 기준색과 무채색 기준색 중에서 오차 보정된 입력 벡터와의 최소 기하학적 거리를 가지는 기준색을 선택한다. 기하학적 거리를 계산하는 데 있어서 영상의 밝은 영역에서 눈에 두드러져 보이는 기준색이 줄어들어 시각적으로 보기 좋은 결과를 나타내었다. 또한 경계 영역에서의 누적된 큰 양자화 오차의 확산을 막기 위해서 현재 화소에서의 오차 보정된 벡터와 이웃 화소에서의 원래 벡터 사이의 차에 대한 크기를 미리 결정된 임계치와 비교하는 과정을 수행한다. 이 때 사용된 임계치의 크기는 경계 영역에서의 색 번짐 감소와 영상 전체에서의 색 재현 충실도에 영향을 크게 미친다. 본 논문에서는 경계 영역에서의 색차 변화 그래프를 통해 색 번짐을 현상을 줄이고 색 재현 충실도를 높일 수 있는 적절한 임계치를 결정하였다.

참 고 문 헌

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

[2] H. R. Kang, *Digital Color Halftoning*, The SPIE Optical Engineering Press, 1999.

[3] V. stromoukhov, R. D. Hersch, "Structure artifact free multi level error diffusion algorithm," *SPIE Conf. on Device Independent Color Imaging*, vol. 3409, pp. 215-219, Sep. 1998.

[4] 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. 385-396, Sep./Oct. 2002.

[5] C. H. Lee, W. H. Choi, E. J. Lee, and Y. H. Ha "Digital halftoning based on color correction using neural network with uniform color sam -ples and vector error diffusion," *SPIE Conf. on Device Independent Color Imaging*, vol. 3963, pp. 415-422, Jan. 2000.

[6] H. Haneishi, T. Suzuki, N. Shimonyama, and Y. Miyake, "Color digital halftoning taking colorime -tric color reproduction into account," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 5, no. 1, pp. 97-106, Jan. 1996.

[7] S. C. Lee, Y. T. Kim, Y. H. Cho and Y. H. Ha, "Improvement vector error diffusion for reduction of smear artifact in the boundary region," *SPIE Conf. on Device Independent Color Imaging*, pp. 455-466, Jan. 2003.

[8] Z. Fan, "Boundary artifacts reduction in vector error diffusion." *SPIE Conf. on Device Indepen -dent Color Imaging*, vol. 3648, pp. 480-484, Jan. 1999.

[9] L. Akarun, Y. Yardimci, and A. E. Cetin, "Adapti -ve methods for dithering color images, " *IEEE Tran. on Image Processing*, vol. 6, no. 7, pp. 950-955, July 1997.

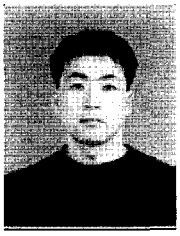
[10] P. C. Hung, "Colorimetric calibration in electro -nic imaging devices using a look-up table model and interpolation," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 36, no. 1, pp. 53-61, Jan. 1993.

[11] X. M. Zhang and B. A. Wandell, "A Spatial Extension to CIELAB for digital color image reproduction," *Society for Information Display Symposium Technical Digest*, vol. 27, pp. 731-734, 1996.

[12] M. Kouzaki, T. Itoh, T. Kawaguchi, N. Tsumu -ra, H. Haneishi, and Y. Miyake, "Evaluation of digital halftone image by vector error diffusion, " *SPIE Conf. on Device Independent Color Imaging*, vol. 3648, pp. 470-479, Jan. 1999.

[13] 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.

저 자 소 개



박 태 용(정회원)
2001년 경북대학교 전자전기 공학부 학사 졸업.
2004년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업.
2004년~현재 경북대학교 전자 공학과 박사과정 재학 중
<주관심분야: 디지털 칼라 프린팅, 색 재현>

조 양 호(정회원)
제 41권 SP편 제 2호 참조

이 명 영(정회원)
제 41권 SP편 제 1호 참조

하 영 호(정회원)
제 38권 SP편 제 3호 참조