

# 적응적 패치 선택에 기반한 고속 멀티레벨 벡터 오차 확산법

박 태 용, 이 명 영, 조 양 호, 하 영 호  
경북대학교 전자전기 컴퓨터학부  
전화 : 053-940-8635 / 핸드폰 : 011-542-3916

## Fast multilevel vector error diffusion based on adaptive selection of patch

Tae-Yong Park, Myong Young Lee, Yang Ho Cho, Yeong Ho Ha  
Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook University  
E-mail : vha@ee.knu.ac.kr

### Abstract

This paper proposes a multilevel vector error diffusion for fast and accurate color reproduction. Proposed method considered both hue angle and Euclidean distance during the multilevel vector error diffusion procedure to improve time complexity and output image quality. In the error diffusion process, it can be determined whether error is diffused or not by comparing the vector norm and lightness value between original vector and error corrected vector of neighborhood pixels. For adaptive selection of output patch, this paper computes chroma value of error corrected vector and compares the hue angle between error corrected input vector and 64 primary color vectors.

### I. 서론

멀티레벨 칼라 중간조 처리 기법은 기존의 흑색과 백색으로만 표현하는 디지털 중간조 처리기법[1,2]의 확장으로 더 많은 중간 단계를 표현할 수 있는 중간조 처리 기법이다. 따라서 멀티레벨 중간조 처리 기법을 사용하게 되면 고화질의 출력 영상을 얻게 될 뿐만 아니라 기존의 중간조 처리기법에서 발생하는 인간시각에 거슬리는 패턴으로 인한 화질의 열화 현상도 많이

줄어들기 때문에 멀티레벨 중간조 처리기법에 대한 연구는 필수적이다.

본 논문은 기존의 이진화 벡터 오차 확산법을 멀티레벨 벡터 오차 확산법에 적용시킬 경우 나타나는 연산량 증가의 문제와 많은 기준색의 사용으로 인해 원하는 색이 아닌 다른 기준색이 선택되는 문제를 해결하는 방법을 제안한다. 양자화 과정에서 발생된 오차를 확산할 때 기하학적 거리와 휘도 성분의 JND(Just Noticeable Difference)를 계산하여 오차 확산 여부를 판단하고, 기준색을 선택하는 과정에서는 입력 벡터의 채도 성분과 색상 성분을 계산하고 임계치와 비교하여 적용적으로 기준색을 선택하게 함으로서 보다 빠르고 정확한 색 재현을 구현해 보고자 한다.

### II. 멀티레벨 벡터 오차 확산법

#### 2.1 멀티레벨 벡터 오차 확산법의 흐름도

멀티레벨 벡터 오차 확산법[3,4]은 기존의 8개의 기준색을 사용하는 이진화 벡터 오차 확산법을 멀티레벨 프린팅 장치에 따라 64개의 기준색을 사용하여 멀티레벨로 구현하는 중간조 처리기법이다. 최종 출력값은 기하학적 거리를 계산하고 그 기하학적 거리가 가장

작은 기준색을 선택하게 된다. 멀티레벨 벡터 오차 확산법은 크게 양자화 오차를 확산시키는 오차 확산 과정과 기준색을 선택하는 양자화 과정으로 구성되어 있으며 전체적인 흐름도는 그림 1과 같다.

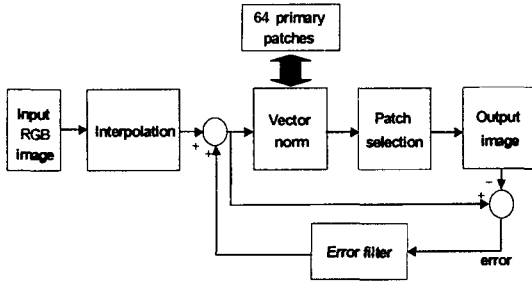


그림 1. 멀티레벨 벡터 오차 확산법의 흐름도

### III. 제안한 멀티레벨 벡터 오차 확산법

#### 3.1 제안한 멀티레벨 벡터 오차 확산법의 흐름도

제안한 멀티레벨 벡터 오차 확산법은 현재 처리한 벡터로 인해 생긴 양자화 오차를 이웃 화소로 확산시킬 것인지 판단하는 부분이 오차 확산 과정에 첨가되고 양자화 오차를 받은 보정된 입력 벡터에 대해 채도 성분과 색상 성분을 계산하고 기하학적 거리를 이용하여 선택적으로 기준색을 선택하는 과정이 양자화 과정에 포함되어 그림 2에 나타나 있다.

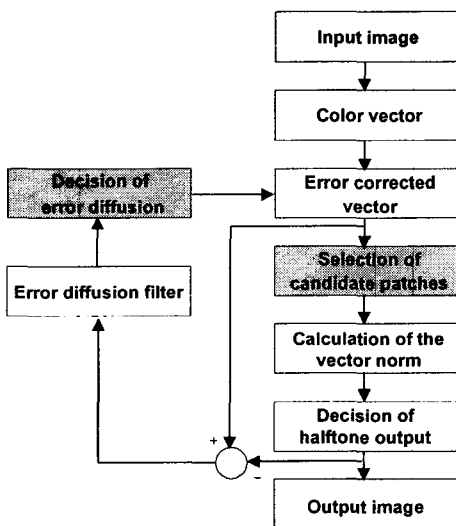


그림 2. 제안한 멀티레벨 벡터 오차 확산법의 흐름도

#### 3.2 오차 확산 결정 방법

현재 처리한 벡터로 인한 양자화 오차를 확산 받은 이웃 화소의 벡터( $x_{m+i,n+j}$ )와 원래 이웃 화소의 벡터( $f_{m+i,n+j}$ )사이의 휘도 성분의 차( $R1$ )와 기하학적 거리( $R2$ )가 어떤 임계치 값( $th1$ )보다 작을 경우에만 그 양자화 오차는 확산과정에 포함된다[3]. 그림 3에서 현재 처리하고 있는 화소의 위치는  $(m, n)$ 이며 임계치 값  $th1$ 은 8.73이다. 즉, 인간 시각에 민감한 두 벡터의 휘도 성분의 차가 8.73보다 클 경우에는 오차 확산 과정에서 제외된다. 이 때 8.73이란 수치는  $(255, 255, 255)$ 의 RGB 입력값을  $L^*a^*b^*$ 값으로 변환했을 때 그 때의 휘도 성분에 대한 JND값으로 아래와 같이 표현되어진다.

$$8.73 = 0.0594 \times (1.219 + 93.54^{0.4})^{2.5} \quad (1)$$

그 다음 이 두 벡터의 기하학적 거리( $R2$ )가 어떤 임계치 값( $th2$ )보다 클 경우 누적된 오차가 크다고 판단하고 그 오차는 확산 과정에서 제외된다. 이 때 사용한 임계치  $th2$ 는 9.5이며 실험에 의해 구해진 값이다. 따라서 두 경우를 만족하게 되면 이웃 화소의 오차 보정된 벡터는 처음 입력 벡터가 된다. 이와 같이 오차를 확산시킬 것인가의 여부는 오차를 확산시켜 주었을 때의 결과에 의해 판단하는 것이다.

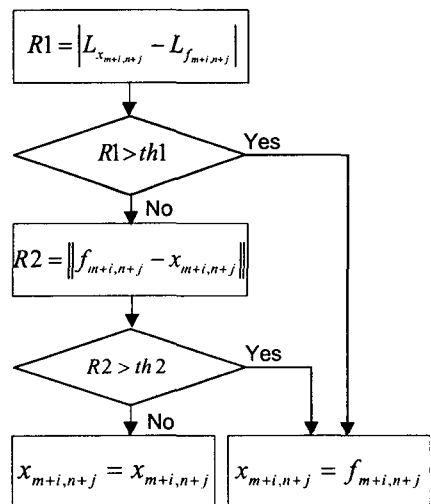
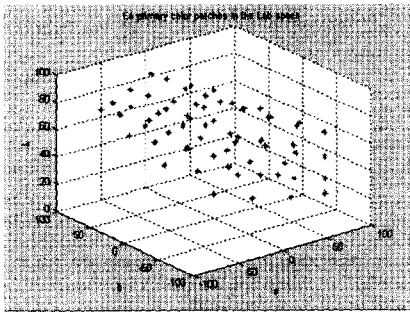


그림 3. 오차 확산 결정의 흐름도

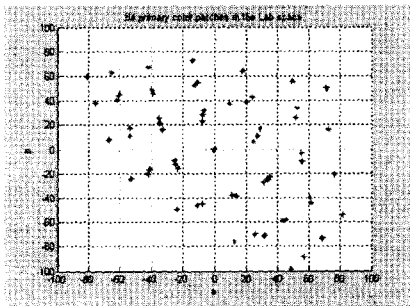
3.3 기준색 선택 방법

RGB 색 공간에서 표현된 입력 영상의 한 화소값이 순방향 사면체 보간을 이용하여 균등 색 공간인 CIELAB 색 공간으로 변환되면 3차원 칼라 공간상에서 하나의 벡터로 표현되게 된다. 오차 확산 과정을 거친 이 벡터의 채도성분을 구해서 무채색과 유채색으로 구분하고 유채색일 경우 색상성분을 구해서 후보 기준색을 선택한 다음, LUT에 저장된 64개 기준색의 벡터들과 기하학적 거리를 계산하여 최소 기하학적 거리를 가지는 기준색을 선택한다. 이 때 LUT에 저장된 64개의 기준색들 역시  $L^*a^*b^*$  값을 가지는 벡터로 표현되어져있기 때문에 아래 그림 4의 (a)와 같이 CIELAB 공간상에서 프린터 색역을 형성하게 된다. 2차원  $a^*b^*$  좌표로 투영시키게 되면 색상 성분의 분포를 그림 4(b)에서 확인 할 수 있다.  $L^*a^*b^*$ 로부터 색상 성분은 식 (2)로부터 구할 수 있다.

$$h_{ab} = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (2)$$



(a)



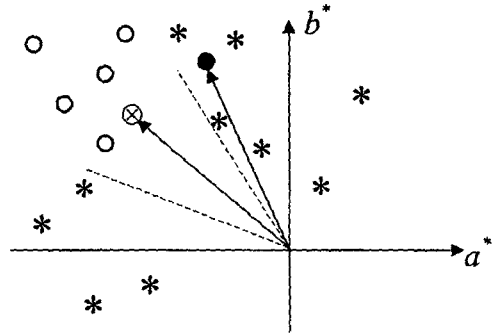
(b)

그림 4. (a) 64개 기준색의  $L^*a^*b^*$  위치

(b) 64개 기준색의  $a^*b^*$  위치

(1) 후보 기준색 선택

그림 5에서는 기준색의 색상 성분의 분포 특성을 고려하여 오차 보정된 벡터의 색상 성분과 LUT에 미리 계산하여 저장된 60개 기준색의 색상 성분과의 차를 구한 후 큰 차를 가지는 기준색은 출력값 결정 과정에서 제외되게 된다. 이는 오차 확산 과정에서 휘도 성분이 큰 오차는 확산 과정에서 제외되었기 때문에 큰 색상 성분 차를 가지는 기준색은 당연히 큰 기하학적 거리를 가지게 때문에 출력값으로 선택되지 않기 때문이다.



\* Primary color vectors

○ Primary color vectors within threshold

● Original vector

⊗ Error corrected vector

그림 5. 색상 성분 크기 비교를 통한 후보 기준색 선택

(2) 최종 기준색 선택

64개의 기준색의 채도 성분을 구해보면 4개의 무채색의 채도 성분이 거의 0에 가깝다는 것을 알 수 있다. 그래서 오차 보정된 입력 벡터의 채도 성분을 계산하여 무채색의 가장 큰 채도 성분보다 작을 경우 무채색 영역이라 판단하고 4개의 기준색과의 기하학적 거리만으로 최종 출력값을 결정하게 된다. 할 경우에는 색상 성분을 이용하여 선택된 후보 기준색만 기하학적 거리를 계산하는 과정에 포함되게 된다. 물론 이 때 색상 성분이 없는 4개의 기준색도 기하학적 거리를 계산하는 과정에 포함되게 된다. 만약 임계치보다 큰 기준색까지 기하학적 거리를 계산하는 데 포함시키게 되면 계산량이 증가할 뿐만 아니라 이러한 기준색들이 선택되는 문제가 발생한다. 이는 오차 확산 과정에서 확산된 오차들이 누적될 경우 색상 성분이 크게 변하게 되어 원하는 색이 아닌 다른 색이 선택되기 때문이다

다. 최종 출력값은 최소 기하학적 거리를 갖는 기준색이 선택되어 지고 입력 벡터와의 오차를 구한 다음 확산 여부를 결정하는 과정으로 넘어가게 된다. 그림 6에 이러한 최종 기준색 선택 과정의 흐름도를 나타내었다

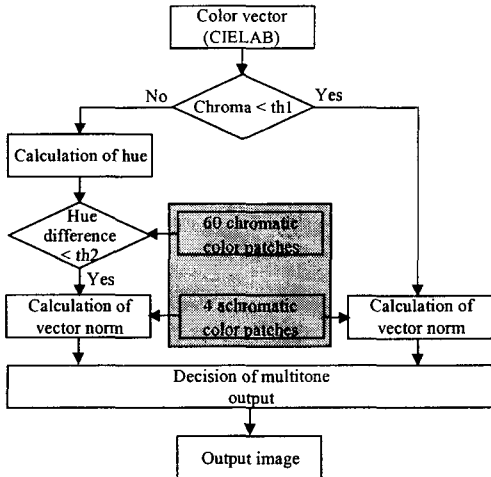
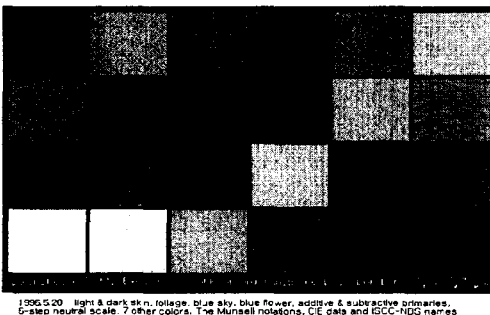


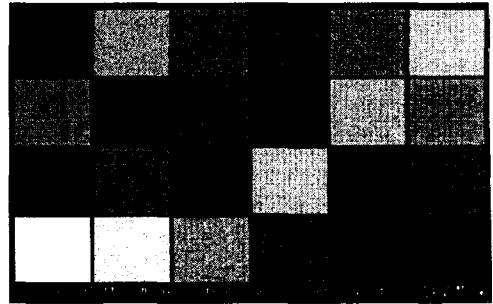
그림 6. 채도 성분과 기하학적 거리를 통한 최종 기준색 선택

#### IV. 실험 및 고찰

본 논문에서는 MacBeth ColorChecker영상을 이용하여 제안한 방법으로 중간조 처리하여 S-CIELAB 색차를 구하였다. 그림 7(a)는 64개의 기준색을 사용한 멀티레벨 벡터 오차 확산법으로 중간조 처리한 영상이며 그림 7(b)는 제안한 방법으로 중간조 처리한 영상이다. 각 중간조 처리된 영상의 S-CIELAB 색차를 비교해 보면 그림 7(a)는 1.451, 7(b)는 1.263의 색차를 나타내었다. 하지만 그림 7(a)와 (b)의 (2,1),(2,6),(2,5),(3,4) 부분을 보면 제안한 방법에서 눈에 띄는 기준색 선택 문제가 많이 해결되었음을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 7. (a) 64개의 기준색을 사용한 멀티레벨 벡터 오차 확산법, (b) 제안한 멀티레벨 벡터 오차 확산법

#### V. 결론

본 논문에서는 이진화 벡터 오차 확산법을 단순히 멀티레벨 오차 확산법에 적용시킬 경우 나타나는 연산량 증가의 문제와 많은 기준색의 사용으로 인해 색상 성분이 다른 기준색이 선택되는 문제를 해결하는 방법을 제안하였다. 64개의 기준색을 이용한 멀티레벨 오차 확산법은 하나의 벡터 입력에 대해 64번의 기하학적 거리를 계산하고 그 중에서 최소 기하학적 거리를 가지는 기준색이 선택되므로 작은 양자화 오차의 누적과 많은 기준색의 사용으로 인해 눈에 띄는 기준색이 선택되는 문제가 발생한다. 그러나 제안한 방법을 사용함으로써 연산량이 4배정도 줄었을 뿐만 아니라 눈에 띄는 기준색이 선택되는 문제도 많이 해결되어 전체적으로 색차가 줄어들었고 시각적으로 더 좋은 중간조 결과 영상을 얻을 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] R. Ulichney, *Digital Halftoning*, The MIT Press, 1993.
- [2] H. R. Kang, *Digital Color Halftoning*, The SPIE Optical Engineering Press, 1999.
- [3] H. Haneishi, T. Suzuki, N. Shimonyama, and Y. Miyake, "Color digital halftoning taking colorimetric color reproduction into account," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 5, no. 1, pp. 97-106, Jan. 1996.
- [4] V. Ostromoukhov, P. Emmel, N. Rudaz, I. Amidror, R. D. Hersh, "Multi-level Color Halftoning Algorithm," *Intl. Symposium on Advanced Imaging and Network Technologies, Berlin*, vol. 2949, pp. 332-340, Oct. 1996.