

경계 영역에서 색 번짐 감소를 위한 멀티레벨 벡터 오차 확산법

박태용, 조양호, 김윤태, *하영호
경북대학교 전자전기컴퓨터학부
e-mail : yha@ee.knu.ac.kr

Multi-level Vector Error Diffusion for Smear Artifact Reduction in the Boundary Regions

Tae-Yong Park, Yang-Ho Cho, Yun-Tae Kim, and *Yeong-Ho Ha
School of Electrical Engineering and Computer Science
Kyungpook National University

Abstract

This paper proposes the multi-level vector error diffusion for smear artifact reduction in the boundary regions. Smear artifact mainly results from a large accumulation of quantization error. Accordingly, to reduce these artifacts, the proposed method excludes the large quantization error in the error diffusion process by comparing the magnitude of the error vector with predetermined first threshold. In addition, if the vector norm of the difference between the error adjusted input vector and the primary color that has minimum vector norm for the error adjusted input vector is larger than second threshold, the error is excluded. As a result, the proposed method reduce smear artifact in the boundary region and produces visually pleasing halftone pattern.

I. 서론

일반적으로 이진 벡터 오차 확산법은 8개의 기준색 (eight primary colors ; R, G, B, C, M, Y, W, K)을 사용하는 반면 멀티레벨 벡터 오차 확산법은 더 많은 중간 단계를 표현하기 위해 멀티레벨 프린팅 장치에 따라 8개 이상의 기준색을 사용한다. 본 논문에서는 CMY 색 공간에 균등하게 분포된 64개의 기준색을 사용하여 4-레벨 벡터 오차 확산법을 구현한다. 그러나 출력 영상의 경계 영역에서 누적된 큰 양자화 오차의 확산으로 인해 색 번짐 현상이 발생한다[1].

이러한 결점을 제거하기 위해 본 논문에서는 오차 확산 과정에서 큰 양자화 오차의 확산을 금지시킨다. 먼저 확산될 오차의 크기를 미리 결정된 임계치와 비교하여 클 경우 확산 과정에서 제외시키고, 그 다음 오차 보정된 입력 벡터와 그것과 가장 가까운 기준색

벡터와의 차의 크기를 임계치와 비교하여 클 경우 확산 과정에서 제외시킨다. 결과 평가에서는 64개 기준색을 이용하여 4-레벨로 구현한 Haneishi et al. 방법 [1]과 비교, 분석한다.

II. 4-레벨 벡터 오차 확산법

최근에는 멀티레벨 칼라 잉크젯 프린터와 같은 프린팅 장치의 보급으로 다양한 멀티레벨 중간조 처리 기법이 요구되고 있다[2]. 그 중에서 벡터 오차 확산법은 중간조 처리 과정에서 세 채널을 동시에 고려하기 위해 CIEXYZ 또는 CIELAB와 같은 장치 독립적인 칼라 공간을 이용하는데, 이런 칼라 공간은 인간의 시각 특성을 반영한다. 기존의 이진 벡터 오차 확산법은 CMY 잉크의 ON, OFF로 인해 8개의 기준색을 사용하지만, 4-레벨 벡터 오차 확산법은 더 많은 중간 단계를 표현하기 위해 CMY 색 공간에 균등하게 분포된 64개(4³)의 기준색을 사용한다. 전체 중간조 처리 과정은 그림

본 연구는 과학기술부 NRL 사업 (M10203000102-03J0000-04810) 지원에 의해서 수행되었습니다.

1과 같이 오차를 보정 받은 입력 벡터와 가장 작은 기하학적 거리를 가지는 기준색을 선택하는 양자화 과정과 양자화 오차를 아직 처리하지 않은 이웃 화소로 확산하는 오차 확산 과정으로 구성되어 있다. 그러나 오차 확산 과정에서 큰 양자화 오차를 확산시키게 되면 경계 부분에서 원하지 않는 색이 표현되는 색 번짐 현상이 발생한다. 이러한 결점을 제거하기 위해서 Haneishi et al.[1]는 현재화소의 오차 보정된 입력 벡터와 이웃 화소의 원래 벡터간의 차의 크기를 경험적으로 구한 임계치와 비교하여 오차 확산 여부를 결정하였다. 그러나 벡터 크기를 경험적으로 구한 임계치와의 단순한 비교만으로는 경계부분의 결점을 완전히 제거할 수 없게 된다.

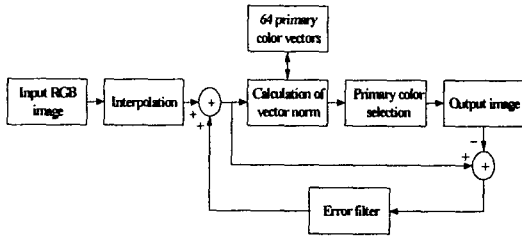


그림 1. 4-레벨 벡터 오차 확산법의 흐름도

III. 제안한 4-레벨 벡터 오차 확산법

그림 2는 경계 영역에서 색 번짐 결점을 제거하기 위하여 제안한 4-레벨 벡터 오차 확산법의 전체 흐름도를 보여주고 있다. RGB 색 공간에서 표현된 입력 영상의 한 화소값은 순방향 사면체 보간(forward tetrahedral interpolation)을 이용하여 균등 색 공간인 CIELAB 색 공간으로 변환되고, 3차원 칼라 공간상에서 하나의 벡터로 표현되게 된다. 벡터로 표현되는 하나의 입력색에 대하여 출력색을 결정하는 양자화 과정은 오차 보정된 입력 벡터에 대하여 최소 기하학적 거리를 가지는 기준색을 선택한다. 이 때 발생한 양자화 오차를 아직 처리 하지 않은 이웃 화소로 확산시킬 경우 경계 영역에서 색 번짐 현상이 발생하기 때문에 오차 확산 여부를 결정하는 제한 조건이 필요하다. 먼저, 현재 위치에서 발생한 양자화 오차를 이웃 화소로 확산 시킬 것인가를 결정하기 위해 이웃 화소의 오차 보정된 입력 벡터와 원래 입력 벡터 사이의 기하학적 거리를 계산하고 미리 결정된 임계치와 비교한다. 만일 임계치보다 클 경우에는 오차 확산을 금지하고, 작을 경우에는 다음 단계를 수행하게 된다. 즉, 이웃 화소의

오차 보정된 입력 벡터와 그것과 기하학적 거리가 가장 작은 기준색 벡터와의 차의 크기를 두 번째 임계치와 비교하여 작을 경우 오차를 확산하게 된다.

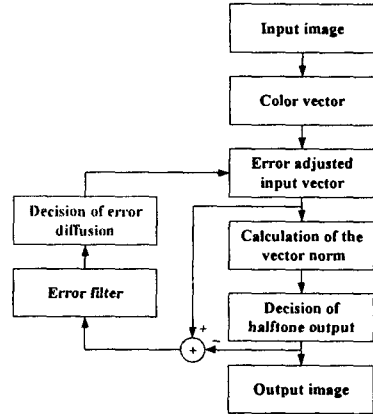


그림 2. 제안한 4-레벨 벡터 오차 확산법의 흐름도

3.1 최적의 임계치 결정

누적된 양자화 오차의 확산을 금지하기 위해 먼저 이웃 화소의 오차 보정된 입력 벡터와 원래 입력 벡터 사이의 기하학적 거리를 계산하고 미리 결정된 임계치와 비교하는 과정을 수행한다. 하지만, 이 때 사용하는 임계치의 크기에 따라 오차 확산 여부가 결정되어 결과 영상에 있어서 색 번짐 현상 제거와 색 재현 충실도에 크게 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 결과 비교에 사용될 Haneishi et al. 방법[1]에서는 임계치를 결정하는데 있어서 몇 번의 시행착오 후에 경험적으로 선택하는 방법을 사용하였다.

본 논문에서는 Macbeth Color Checker와 Bike 영상에서 색 번짐 현상이 발생하는 영역에 대해 임계치의 크기에 대한 색차(color difference) 변화 그래프를 분석하여 경계 영역에서 색 번짐 감소와 색 재현 충실도를 동시에 만족시킬 수 있는 최적의 임계치를 실험적으로 구하였다. 그림 3은 색 번짐 현상이 나타나는 부분을 표시하고 있다. 그림 3(a)은 Macbeth Color Checker 영상의 세 번째 열(row) 패치와 네 번째 열(row) 패치 사이의 경계 영역이고, 그림 3(b)은 Bike 영상의 시계 아래 부분의 경계 영역이다.

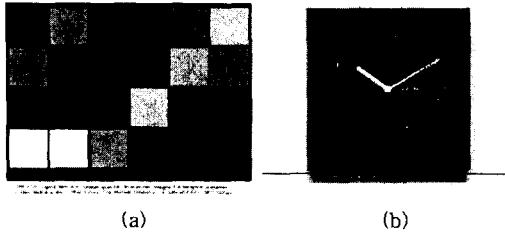


그림 3. 임계치의 크기에 대한 색차 변화 그래프를 그린 영역 (a) Macbeth Color Checker 영상 (b) Bike 영상

3.1.1 Macbeth Color Checker영상의 색차 변화 그래프

그림 4는 그림 3(a) 영역에서 임계치의 크기가 작을 때(그림 4(a)), 클 때(그림 4(b)), 최적일 때(그림 4(c))의 색차 변화 그래프를 보여주고 있다. 그림 4(a)는 6개의 패치에 대한 경계가 뚜렷하기 때문에 색 번짐 현상이 나타나지 않는다. 하지만, 흰색(첫 번째)과 검은색(여섯 번째)을 제외한 두 번째와 세 번째 패치에서 색차 변화가 거의 없기 때문에 색 재현이 잘 이루어지지 않음을 알 수 있다. 그림 4(b)는 첫 번째와 세 번째 패치의 끝 부분에서 색 번짐 현상이 발생하기 때문에 갑자기 큰 색차 변화를 나타내고 있다. 또한 전체적으로 큰 색차를 보이고 있기 때문에 원하지 않는 기준색이 선택되는 현상이 나타남을 확인할 수 있다. 그림 4(c)는 색 번짐 현상이 나타나지 않기 때문에 여섯 개 패치사이의 경계가 명확하고, 색 재현이 잘 이루어지기 때문에 큰 색차도 나타나지 않음을 알 수 있다.

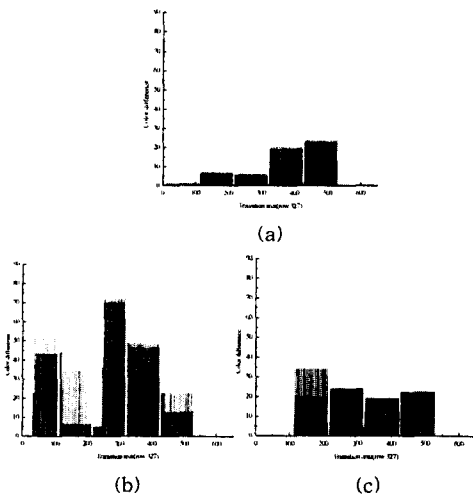


그림 4. 그림 3(a) 영역에서의 색차 변화 그래프 (a)

임계치가 작을 때 (b) 임계치가 클 때 (c) 임계치가 최적일 때

3.1.2 Bike 영상의 색차 변화 그래프

그림 5는 그림 3(b) 영역에서 임계치의 크기 변화에 대한 색차 변화 그래프이다. 그림 5(a)는 임계치의 크기가 작을 경우인데, 전체적으로 색차가 작지만 색차 변화가 없는 구간이 있어 색 재현이 충실하지 못함을 알 수 있다. 그림 5(b)는 임계치가 큰 경우인데, 색차가 큰 구간이 많다. 특히 430 ~ 460 영역에서는 갑자기 색차가 커져 색 번짐 현상이 나타남을 알 수 있다. 그림 5(c)는 전체적으로 색차가 고르게 분포하고, 색차 변화가 큰 영역이 없기 때문에 색 번짐 현상이 없으며 색 재현이 잘 이루어짐을 알 수 있다.

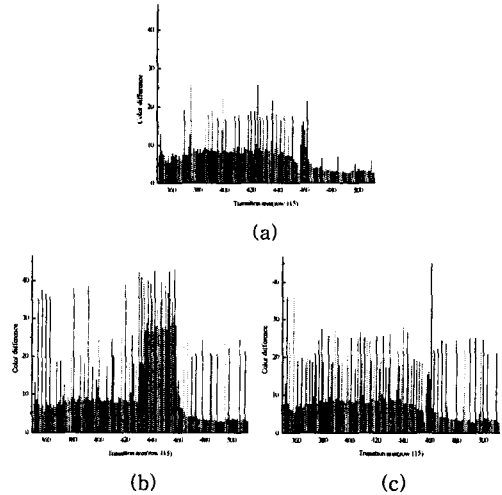


그림 5. 그림 3(b) 영역에서의 색차 변화 그래프 (a) 임계치가 작을 때 (b) 임계치가 클 때 (c) 임계치가 최적일 때

3.2 오차 확산의 결정

실험적으로 구한 최적의 임계치는 그림 6의 오차 확산 흐름도에서 첫 번째 임계치로 사용된다. 첫 번째 조건에서 임계치보다 작을 경우, 오차 보정된 입력 벡터와 그 벡터와의 최소 기하학적 거리를 가지는 기준 색 벡터와의 차의 크기가 두 번째 임계치보다 작으면 최종적으로 오차를 확산하게 된다. 이 때 사용되는 두 번째 임계치는 몇 번의 시행착오 후에 경험적으로 구해졌다. 그림 6은 오차 확산 과정을 수식적으로 표현한 것인데, 여기서 $\{n, \dots\}$ 은 이웃 화소의 원래 벡터를

나타내고, $x_{m+1,n+j}$ 은 이웃 화소의 오차 보정된 벡터를 나타낸다. p_i 는 64개 기준색이 가지는 벡터를 의미하며, p_i 은 오차 보정된 입력 벡터와의 최소 기하학적 거리를 가지는 기준색을 나타낸다.

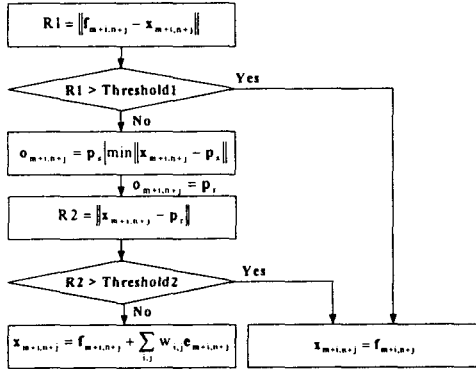
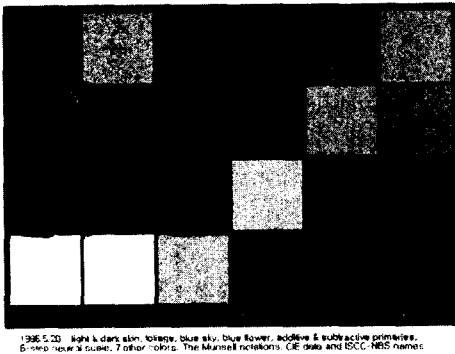


그림 6. 오차 확산 결정의 흐름도

IV. 결과 비교

그림 7은 Macbeth Color Checker 영상에 대해 Haneishi et al. 방법을 4-레벨로 구현한 벡터 오차 확산의 결과를 보여주고 있다[3]. Haneishi et al. 방법[1]을 적용한 결과 영상(그림 7(a))에서는 경계 부분의 색 번짐 현상이 여전히 나타나는 반면, 제안한 방법의 결과 영상(그림 7(b))에서는 색 번짐 현상이 많이 줄어들어 눈으로는 거의 확인할 수 없음을 알 수 있다. 특히 네 번째 열(row)의 첫 번째, 세 번째, 네 번째 패치의 경계 부분에서 색 번짐 현상이 감소되어 시각적으로 좋은 결과를 보여주고 있다.



(a)



(b)

그림 7. Macbeth Color Checker 영상의 중간조 처리 결과 (a) Haneishi et al. 방법 (b) 제안한 방법

V. 결론

본 논문에서는 4-레벨 벡터 오차 확산법에서 경계 부분의 색 번짐 현상을 제거하기 위한 방법을 제안하고, Haneishi et al. 방법[1]과의 결과를 비교하였다. 경계 부분의 색 번짐 현상은 누적된 양자화 오차의 확산으로 인해 발생하기 때문에 오차 확산 과정에서 실험적으로 구한 최적의 임계치를 이용함으로써 중간조 결과 영상에서 Haneishi et al. 방법[1]보다 색 번짐 현상이 많이 줄어들어 시각적으로 좋은 결과를 나타내었다. 이 때 사용한 임계치는 중간조 처리 영상의 색 번짐 제거와 색 재현 충실도를 모두 고려하여 실험적으로 결정하였다.

참고문헌

- [1] H. Haneish, 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.
- [2] V. Ostromoukhov and R. D. Hersch, "Structure artifact free multi-level error diffusion algorithm," *Proceedings Europto Conf. Series, SPIE*, vol. 3409, May 1998.
- [3] K. Miyata and M. Saito, "An evaluation method for the images obtained by multi-level error diffusion technique," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 42, no. 2, pp. 115-120, March/April, 1998.