

# 영상의 국부적 특성을 고려한 개선된 오차확산방법

양운모, 광내정, 윤태승, 안재형  
충북대학교 정보통신공학과

## The improved error diffusion method using local feature

Wun-Mo Yang, Nae-Jung Kwak, Tae-Sung Yun, Jae-Hyung Ahn  
Department of Computer and Communication Engineering,

Chungbuk National University

E-mail : ebaot@hanmai.net

### 요 약

본 논문에서는 영상의 국부적인 특성을 고려한 임계값 변조치를 적용한다. 먼저 원영상과 헤프토닝 영상의 선형이득을 이용해 평탄영역에 대한 오차를 최소화하는 임계값 변조치를 구한다. 그리고 이 값들에 경계정보에 따른 보정값을 주어 경계영역을 표현한다. 제안방법은 헤프토닝시 발생하는 오차를 줄여 오차로 인해 발생하는 영상내의 뭉쳐짐 현상과 워프 현상등을 최소화하여 기존의 방법에 비해 더 좋은 화질을 얻을 수 있다.

### 1. 서 론

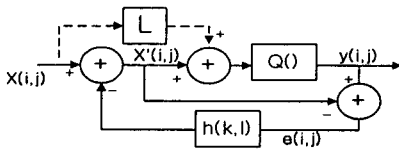
디지털 영상 헤프토닝(halftoning)은 이진장치로 화면출력이나 프린팅하기 위하여 픽셀당 1비트로 그레이스케일(grayscale) 영상을 양자화한다. 이런 방법 중에 하나인 오차확산방법에 대해 Ulichney는 양자화 오차가 입력 신호에 독립적이라 가정하고 양자화기를 추가적인 잡음을 더해주는 방법으로 오차확산 방법을 모델링하였다[1]. 그러나 Knox는 각 픽셀(pixel)에 대한 이런 양자화 오차 영상은 입력 영상에 대하여 상관되어지며, 위와 같은 양자화기는 양자화 오차가 입력과 상관되지 않는다고 가정한 것이 잘못임을 보였다[2][3]. 또한 Knox는 오차영상과 입력영상에 상관관계(correlation)가 높아질수록 헤프토닝 되어진 영상에 뭉쳐짐 현상이 증가되어지는 것을 보였다[2][4]. Knox와 Eschbach는 오차확산방법의 이런 뭉쳐짐을 제어하는 수단으로 원영상의 정수배를 양자화전에 더하여 임계값을 변조하는 방법을 제안하였다[5]. 이때 임계값 변조에 적용되어지는 정수값들이 작을수록 뭉개짐 현상을 일으키고, 커질수록 뭉쳐짐 현상을 일으키게

된다. 이때 선택되어지는 정수값은 뭉쳐짐 현상을 줄이는 값으로 정해지게 된다[6]. 이런 점들을 고려하여 Kite 등은 잡음이 더해진 선형이득(A linear gain plus additive noise)모델을 이용한 양자화 모델을 제안했으며, 임계값 변조 방식의 개선된 방법으로 양자화 오차를 최소화함으로 뭉쳐짐 현상 없이 신호의 성분이 헤프토닝 되도록 하는 최적의 임계값 변조치를 구하는 방법을 제안했다[7]. 하지만 이 방법은 전체적으로 양자화 오차를 최소화하는 신호이득을 구하여 임계값 변조치를 구한 후 일률적으로 영상에 적용함으로 국부영역을 고려하지 못하여 국부영역의 뭉쳐짐 현상을 유발하며 모든 입력영상마다 양자화 오차를 최소화하는 값을 구해야 하는 어려움을 가진다. 본 논문에서는 이런 단점을 보완하기 위한 방법으로 선형이득을 이용해 각각의 그레이스케일 레벨의 평탄영역에 대한 양자화 오차를 최소화하는 임계값 변조치를 구한 뒤 평탄영역에는 구해진 값들을 적용하여 양자화 오차를 최소화하도록 하고 경계영역에 대해서는 해당 그레이스케일 레벨의 평탄영역의 양자화 오차를 최소화하는 임계값 변조치에 경계정보를 보정해주는

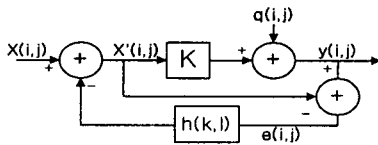
방법으로 해프토닝 영상의 화질을 개선하는 방법을 제안한다.

## 2. 기존의 오차 확산 방법

오차확산방법은 입력에 대해 양자화기를 통해 이진 값을 생성하는 과정과 이진화 오차를 주위 화소로 전파하여 주위 화소의 계조값을 수정하는 과정으로 이루어진다. 이때 오차의 전파에 의해 그레이레벨 값이 수정될 주위 화소의 위치와 오차의 전파 가중치는 오차확산 계수에 의해 결정된다.



(a) 오차확산방법 블록도



(b) 델타-시그마 변조 블록도

그림 1. 오차확산 블록도와 등가회로의 델타-시그마 변조 블록도

그림 1(a)는 오차확산방법의 블록도로  $x(i,j)$ 는  $(i,j)$  위치에서의 입력영상의 화소값,  $x'(i,j)$ 는  $x(i,j)$ 에 양자화오차  $e(i,j)$ 가 더해진 값으로 양자화기 입력,  $h(k,l)$ 은 오차확산필터를 나타낸다. 이때 양자화기는 입력 화소값을 임계값(0)과 비교하여 입력값이 크면 0.5를 작으면 -0.5의 값을 출력  $y(i,j)$ 하게 된다.

만약 양자화오차가 입력신호에 독립적이라 가정하면 양자화기를 입력에 잡음이 추가되는 것으로 표현할 수 있다. 이것이 2차원 델타 시그마(Delta-sigma) 변조이다. Kite 등은 그림 1(b)와 같은 잡음이 추가된 선형이득을 갖는 것으로 양자화기를 표현했다. 그림 1(b)에서 K는 입력과 출력사이의 선형이득으로 상수이고,  $a(i,j)$ 가 입력 신호에 대하여 독립적인 백색잡음(white noise)으로 양자화 오차는 다음과 같이 식으로 표현할 수 있다.

$$e(i,j) = Q[x'(i,j)] - x'(i,j) \quad (1)$$

식(1)을 신호성분과 백색 잡음 성분으로 나누어 표현하면 다음과 같다.

$$e(i,j) = (K-1)x'(i,j) + q(i,j) \quad (2)$$

위 식에서 신호 성분만을 전개하면 다음과 같다.

$$e(i,j) = (K_s - 1)x(i,j) \quad (3)$$

$$y_s(i,j) = K_s x(i,j) \quad (4)$$

$y_s$ 는 이진화 되어진 신호의 성분,  $K_s$ 는 신호성분의 선형이득(gain)이다. 하나의 영상에 대하여  $K_s$ 가 고정되어진 값이라고 가정하면, 가장 좋은  $K_s$ 값은 해프토닝 영상과 원본영상간에 양자화 오차를 최소화하는 값으로 정할 수 있게 된다. 이때  $K_s$ 는 오차의 제곱을 최소로 하는 값으로 다음과 같이 구한다.

$$K_s = \frac{E[|x'(i,j)|]}{2E[x'(i,j)^2]} \quad (5)$$

그림 1(a)의 점선부분은 임계값 변조를 사용한 오차확산방법으로 Kite 등은 필터계수의 합이 1인 경우에 대해 신호를 평탄하게 만들어 양자화 오차를 0로 만드는 임계값 변조치를 적용함으로써 해프토닝 되어진 오차 영상이 완전한 잡음만으로 구성되어지게 하여 [7], 오차영상과 원본영상간의 상관관계가 낮아지게 하는  $K_s$ 와 L값을 구하는 방법을 제안했다. 이때 L값은 다음과 같다.

$$L = \frac{1 - K_s}{K_s} \quad (6)$$

이와 같이하여 Kite 등은 원본영상에 대하여 양자화 오차를 최소화하는 L값을 구하여 해프토닝 영상을 출력함으로써 멍쳐짐 현상을 최소화하는 방법을 제안하였다. 하지만 Kite의 방법은 모든 영상에 대하여 각각의 L값을 구하는 번거로움이 있고, 전체적으로 양자화 오차를 최소화하는 신호이득을 구하여 하나의 L값을 구한 후 일률적으로 영상에 적용함으로써 인해 국부적인 여러 그레이레벨영역의 양자화 오차를 최소화하는 L값을 적용하지 못하는 경우가 발생하게 된다. 따라서 국부영역의 멍쳐짐 현상을 유발하는 단점을 가진다.

## 3. 제안 방법

본 논문의 제안방법에 대하여 살펴보면 다음과 같다. 먼저 각각의 256×256 크기의 -0.5~0.5의 단일 그

레이 스케일 영상을 오차확산방법을 적용하여 해프토닝한 다음 각각의 그레이 영상에 대한 양자화 오차를 최소화하는  $K_s$  값을 식 (5)로 구한다. 그리고  $K_s$ 를 이용하여 특정 그레이스케일 레벨의 양자화 오차를 최소화하여 뭉쳐짐 현상을 줄이는 임계값 변조치  $L_g(\cdot)$ 를 구한다. 구해진  $K_s$ ,  $L_g(\cdot)$ 는 -0.5 ~ 0.5의 각각의 평탄한 그레이스케일 레벨에 대한 양자화 오차를 최소화하여 뭉쳐짐 현상을 줄이도록 구해진 값이므로 화소값에 변화가 생기는 경계영역에 적용되어질 경우에는 부적절하다. 따라서 본 논문에서는  $L$ 값이 커지면 해프토닝 영상에서 뭉쳐짐 현상이 커지고,  $L$ 값이 작아지면 뭉쳐짐 현상이 작아지는 성질[5]을 이용하여 화소값의 변화가 생기는 경계영역정보를 입력영상내의 최대경계값에 대한 현재 국부영역의 경계값의 비율적인 가중치로 하여  $L_g(\cdot)$ 값에 부가해 표현하도록 하였다. 이때 사용되어질 경계정보는 소벨 연산자(Sobel)를 사용하여 구하였다. 다음은 수평 마스크를 이용해 수평방향 경계정보를 구하는 식이다.

$$S_h(i, j) = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 h_{mask}(k, l)x(i+k, j+l)$$

$h_{mask}$ 는 수평마스크로 그림 2(b)와 같다. 이와 같은 방법으로 그림 2(a)의 수직 마스크를 이용해 수직방향 경계정보  $S_v(i, j)$ 값을 구하여 (i,j)위치의 경계정보를 구하면 다음과 같다.

$$S(i, j) = \sqrt{S_h(i, j)^2 + S_v(i, j)^2} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

(a) 수직마스크 ( $v_{mask}$ ) (b) 수평마스크 ( $h_{mask}$ )

그림 2. 소벨연산자의 수직, 수평마스크

다음으로 소벨연산자를 통해 구해진 경계정보를 이용해 다음과 같은 수식을 통해 경계영역과 평탄영역에 대한 정보를 표현하게 된다.

$$A(i, j) = \frac{S_{Max} - S(i, j)}{S_{Max}}(-\alpha) + (\alpha)$$

$$W(i, j) = A(i, j) + L_g(i, j) \quad (10)$$

위 수식에서  $S_{Max}$ 는 입력영상에서 나올 수 있는 최대 경계값이고,  $\frac{S_{Max} - S(i, j)}{S_{Max}}$ 는 최대 경계값에 대해 현재 경계값이 차지하는 비율을 0 ~ 1사이로 정규화

해주는 비율값이다. 그리고  $\alpha$ 값은 영상내의 최대 경계영역에서의 임계값에 대한 최대 보정치로 평탄 영역의 그레이스케일 레벨의 양자화 오차를 최소화하는  $L$ 값에 부가되어져 경계정보를 보정하는 값이다. (10) 수식을 통해 얻을 수 있는 임계값 변화치는  $L_g(\cdot) \sim L_g(i, j) + \alpha$ 의 값이 된다. 본 논문에서는 영상내의 최대 경계영역에 대한 보정치로  $\alpha = -0.1$ 를 사용하였다. 그림 3은 제안방법의 블록도이다.

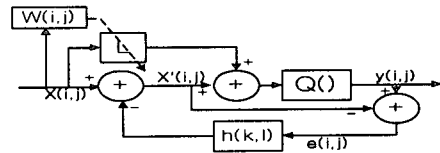


그림 3. 제안방법의 블록도

#### 4. 실험 및 고찰

제안 방법의 성능을 평가하기 위해 오차확산 방법 중 Kite 등이 제안한 방법과 본 논문의 성능을 비교하였다. 영상은 256X256 Bridge, Airplane등으로 하였으며, 비교 척도로는 입력영상과 오차영상의 상관관계를 사용했다. 본 논문에서는 오차 확산필터로 Jarvis의 제안 필터를 사용하여 실험하였다[8].

오차확산영상과 입력영상사이의 오차영상은 입력영상과 상관관계가 존재하며, 상관관계가 높을수록 해프토닝 영상에서의 뭉쳐짐이 많이 나타나게 된다[5]. 따라서 오차영상과 입력영상간의 상관관계가 높다면 해프토닝 영상의 화질은 저하되며 이것은 해프토닝 영상이 원영상에 대해 오차가 많음을 의미한다. 입력영상과 오차영상의 상관관계는 다음과 같이 구한다[7].

$$C_{RI} = \frac{|Cov[R, I]|}{\sigma_R \sigma_I}, Cov[R, I] = E[(R - \mu_R)(I - \mu_I)]$$

$R$ 은 오차영상을  $I$ 는 입력영상을 그리고  $E[\cdot]$ 는 기댓값(expectation)을  $\mu_R$ ,  $\mu_I$ 는 오차영상과 입력영상의 평균값을 의미하고  $\sigma_R$ ,  $\sigma_I$ 는 오차영상, 입력영상의 표준편차를 의미한다. 표 1은 (11)식을 이용하여  $I$ 와  $R$ 의 상관관계를 구한 결과이다. 상관계수와 오차영상(입력영상 - 해프토닝 영상)을 살펴보면 본 논문의 제안방법이 Kite 등이 제안한  $L_{opt}$ 를 사용한 방법보다 상관관계가 낮아졌으며 이것은 입력영상의 뭉쳐짐 현상이 개선되어졌음을 의미하며 또한 기존의 방

법에 비해 오차가 적어졌음을 나타낸다.

표 1. 원본영상과 오차영상간의 상관계수

	Bridge	Airplane
Kite et al - 원본영상	0.0389	0.0139
제안방법 - 원본영상	0.0035	0.0051



(a) 원본영상



(b) Kite 영상(L=-0.6726)

(c) 제안방법 영상(a=-0.1)

그림 4. 일반영상의 헤프토닝 영상

그림 4는 256X256 크기의 bridge 영상에 Kite 등이 방법과 제안방법을 적용한 결과 영상이다. 그림 4(b)의 Kite 등의 결과 영상과 (c)의 제안방법의 결과 영상의 경계영역에서 제안방법의 결과영상은 Kite 등의 영상보다 더 자연스럽게(smooth) 보여진다. 이것은 제안방법이 경계정보를 이용해 경계영역의 뭉쳐짐을 보정치  $\alpha$ 를 이용하여 제어함으로써 Kite 등의 방법보다 원영상에 더 가까운 화질을 재현함을 의미한다.

## 5. 결과

기존의 오차확산방법에 의해 생성되어지는 영상에는 뭉쳐짐 현상이 나타나게 된다. 이런 현상을 줄이기 위한 방법으로 Kite 등은 입력 신호에 대한 양자화

오차를 최소화하는  $K$ ,를 구하여 임계값 변화치를 구하는 방법을 제안하였다. 하지만 Kite 등의 제안 방법은 한 영상의 뭉쳐짐을 최소화하는 임계값 변화치를 구하여 영상내의 모든 영역에 대하여 일률적으로 적용함으로써 국부영역에 나타날 수 있는 그레이스케일 레벨에 대한 양자화 오차를 최소화하지 못함으로 화소의 영킴 현상과 뭉쳐짐 현상등이 나타나게 된다. 제안방법을 적용한 결과 오차영상과 원영상과의 상관관계가 Kite등의 방법보다 낮아졌다. 이것은 제안방법의 헤프토닝 영상이 뭉쳐짐 현상과 영킴 현상을 감소시켜 화질을 개선함을 보여준다.

## [참고문헌]

- [1] R. Ulichney, Digital halftoning, MIT Press, Cambridge Mass., 1987.
- [2] K. Knox, "Error image in error diffusion," in Proc. SPIE Image Proc. Alg. Tech., vol. 1657, Feb. 1992, pp.268-279.
- [3] T. D. Kite, B. L. Evans, and A. C. Bovik, and T. L. Scully, "Digital halftoning as 2-D delta-sigma modulation," in Proc., IEEE Conf. Image Proc., vol. 1, pp. 799-802, Oct 1997.
- [4] D. Anastassiou, "Error diffusion coding for A/D conversion," IEEE Trans. Circuits Syst., vol. 36, pp. 1175-1186, Sept.1989.
- [5] R. Eschbach and K. Knox, "Error-diffusion algorithm with edge enhancement," J. Opt. Soc. Amer. A., vol. 8, pp. 1844-1850, Dec 1991.
- [6] N. Damera-Venkata and B. L. Evans, "Adaptive threshold modulation for error diffusion halftoning," IEEE Trans. Image Proc., vol. 10, no. 1, pp. 104-116, Jan 2001.
- [7] T. D. Kite, B. L. Evans, and A. C. Bovik, "Modeling and quality assessment of halftoning by error diffusion," IEEE Trans. Image Proc., vol. 9, pp. 909-922, May 2000.
- [8] J. Jarvis, C. Judice, and W. Ninke, "A survey of technique for the display of continuous tone pictures on bilevel displays," Comput. Graph. Image Process., vol. 5, pp 13-40, 1976.