

국부적 특성 가중치를 이용한 에지 강조 오차 확산 방법

*곽내정, 윤태승, 유성필, 안제형
충북대학교 정보통신공학과
e-mail : knj0125@lycos.co.kr

The Edge Enhanced Error Diffusion Using Local Characteristic Weights

*Nae-joung Kwak^o, Tae-seung Yun, Soung-pil Ryu
and Jae-hyeong Ahn

Dept. Computer and Communication Engineering,
Chungbuk National University.

Abstasct

Among digital halftoning methods, error diffusion is a procedure for generating high quality bilevel images from continuous-tone images but blurs the edge information in the bilevel images. To solve the problem, we propose the edge enhanced error diffusion using the edge infotmation of the original images. The edge enhanced weights is computed by adding local characteristic weights and input pixels multiplied a constant. Also, we combined the edge enhanced method with the adaptive error diffusion using human spatial and frequency perception characteristic.

The performance of the proposed method is compared with conventional method by measuring the edge correlation. The halftoned images applied the proposed method get more fine quality due to the enchanced edge and better quality in halftoned image. And the detailed edge is preserved in the halftoned images by the proposed method.

I. 서론

영상의 출력장치에서 연속 계조를 제한된 계조 및 칼라로 표현해야 하는 경우 주어진 연속 계조 영상을 이진 영상으로 근사화 시키는 처리를 해프토닝이라 한다. 해프토닝 방법중 오차 확산방법[1][2]은 사람의 시각특성에 적합한 우수한 화질의 이진 영상을 생성하지만 눈에 거슬리는 노이즈 패턴을 발생시키는 문제점이 있다. Wong[3]은 오차 가중치를 인간 시각 시스템의 공간 지각 능력을 반영하도록 제정의함으로 더 좋은 화질을 얻는 방법을 제안했다. 그러나 이러한 방법들은 오차확산 필터가 원영상의 평균 계조도를 유지하도록 설계되므로 에지 정보의 열화를 가져온다. 이를 개선하기 위해 에지를 강조하여 보다 선명한 이진 영상을 얻기 위한 에지 강조 오차확산방법이 Knox[4]에 의해 제안되었다. 이

방법은 처리하는 현재 화소의 계조에 확산되는 오차를 더하는 과정에서 현재 화소의 가중 값을 줌으로 에지를 강조하는 방법이다. 에지강조 오차확산법은 에지가 강조되어 영상은 명확해지지만 영상의 국부적인 특성을 고려하지 않고 에지를 강조함으로써 미세 영역의 에지는 보존되지 못하고 강조된 에지가 두드러져 보이는 단점이 있다.

본 논문은 에지가 인간의 시각에 더 적합하게 표현되도록 하여 영상의 화질을 향상하는 방법을 제안한다.

2장에서는 기존의 오차확산방법에 대해 알아보고 3장에서는 제안 방법인 국부적 특성에 따른 에지 강조 오차 확산 방법을 설명한다. 4장은 기존의 오차확산방법과 제안한 방법에 의한 해프톤 영상을 에지 상관도를 이용해서 성능을 분석하며 5장에서 결론을 제시한다.

II. 오차 확산 방법

Floyd-Steinberg 등에 의해 제안된 오차 확산 방법은 그림 1에서 점선 부분을 제외하고 표현된다. 이것은 입력 $x(i, j)$ 를 양자화기 $Q(\cdot)$ 를 이용해 이진값 $k(i, j)$ 를 생성하는 과정과 이진화 오차 $a(i, j)$ 를 주위 화소로 전파하여 주위 화소의 계조값을 수정하는 과정으로 이루어진다. 이때 오차의 전파에 의해 계조값이 수정될 주위 화소의 위치와 오차의 전파 가중치는 오차확산 계수 $h(k, l)$ 에 의해 결정된다.

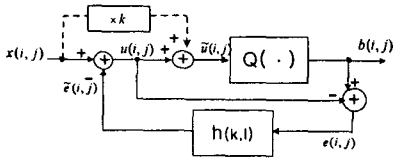


그림 1. 오차확산 방법의 블록도

식 (1)은 Floyd-steinberg 의 오차확산 계수이다.

$$\begin{bmatrix} h(0,0) & h(0,1) & h(0,2) \\ h(1,0) & h(1,1) & h(1,2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/16 & 5/16 & 3/16 \\ 7/16 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

오차 확산 방법은 시각적으로 뛰어난 화질을 생성하지만 눈에 거슬리는 노이즈 패턴을 발생시키는 문제점이 있다. 이러한 패턴을 감소시키기 위해 Wong[3]은 오차 가중치를 인간 시각 시스템의 공간 지각 능력을 반영하도록 정의한 후 LMS 기법을 이용하여 오차를 최소화시키는 오차 확산 계수를 구했다. 오차확산 계수는 다음과 같이 구해진다.

$$h(k, l)_{new} = h(k, l)_{old} - \mu \frac{\partial M(i, j)}{\partial h(k, l)_{old}} \quad k, l \in R \quad (2)$$

여기서 $h_{old}(k, l)$ 는 오차 확산 계수의 위치 (k, l) 의 오차 확산 계수, $h_{new}(k, l)$ 는 새로운 오차확산 계수이고 새로운 μ 는 수렴을 조절하는 계수이다. 이때 새로운 오차 확산 계수를 만드는 에러에 대한 필터계수의 미분항은 다음과 같다.

$$\frac{\partial M(i, j)}{\partial h_{old}(k, l)} = -2\alpha(i-k, j-l)(a(i, j) - \sum_{(k', l') \in R} h(k', l')\alpha(i-k', j-l')) \quad (3)$$

$M(i, j)$ 는 (i, j) 위치의 에러, $a(i, j)$ 는 이진 영상과 연속 계조 영상의 오차를 인간의 시각 시스템이 인지하는 정도를 반영한 가중치의 근사값과 에러의 콘볼루션 값이다.

이러한 오차 확산 방법은 평균 계조도를 유지하지만 에지 정보는 열화되는 단점이 있다. 이를 개선하기 위해 Knox[4]는 처리하는 현재 화소의 계조에 확산되는 오차를 더하는 과정에서 현재 화소의 가중값을 줌으로 에지를 강조하는 방법을 제안했다. 이것은 그림 1에서 굵은 점선부를 추가한

것으로 $k(i, j)$ 를 양자화기 입력으로 하여 양자화함으로 에지가 강조된 이진 영상을 얻을 수 있다.

III. 국부적 특성 가중치를 이용한 에지 강조 오차 확산방법

본 논문에서는 오차 확산 방법의 화질을 개선하기 위해 인간의 공간지각 특성을 반영한 오차 척도를 이용하여 LMS 기법을 사용함으로 영상에 적응적인 오차 확산 계수를 구하는 Wong이 제안한 방법과 오차확산 방법의 단점인 에지 부분의 열화를 보완하기 위해 에지 강조 방법을 결합한다. Knox가 제안한 에지 강조 방법은 에지 강조 가중치가 입력 화소의 계조 값과 상수의 곱으로 결정된다. 따라서 이 방법은 에지는 강조되지만 영상의 국부적 특성을 고려하지 않으므로 부분적인 에지 영역이 명확하지 않은 단점이 있다. 또한 미세한 영역의 에지가 보존되지 못한다.

제안방법은 Knox의 방법을 개선하여 입력 화소 값과 국부적 특성을 이용하여 에지 강조 가중치를 구한다. Knox가 에지 강조 가중치로 제안한 입력 화소의 상수 배에 국부적 특성 가중치(LCW)를 더하여 에지 강조 가중치를 구한다. 국부적 특성 가중치는 일정한 비율로 가중된 에지 값을 사용한다.

제안 방법은 먼저 영상의 에지를 3×3 소벨 연산자를 이용하여 구한다[5]. 다음은 수평 마스크를 이용해 수평 방향 에지를 구하는 식이다.

$$s_h(i, j) = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 h_m(k, l)x(i+k, j+l) \quad (4)$$

h_m 는 소벨 연산자의 수평마스크이다. 이와 같은 방법으로 수직 마스크를 이용해 수직방향 에지 $s_v(i, j)$ 값을 구하여 (i, j) 위치의 에지를 구하면 다음과 같다.

$$s(i, j) = \sqrt{s_h(i, j)^2 + s_v(i, j)^2} \quad (5)$$

소벨 연산자를 이용해 구해진 에지를 이용해 에지 강조 가중치 $W(i, j)$ 를 구하는 식은 다음과 같다.

$$LCW(i, j) = \frac{s(i, j)}{\alpha \times (ED(i, j) + 1.0)} \times (b + c \times \cos(\pi \times ED(i, j))) \quad (6a)$$

$$ED(i, j) = \frac{s(i, j)}{s_{max}} \quad (6b)$$

$$W(i, j) = \alpha \times x(i, j) + LCW(i, j) \quad (6c)$$

여기서 $ED(i, j)$ 는 (i, j) 위치의 에지 $s(i, j)$ 를 0~1 사이의 값으로 정규화 시켜준 값이다. $\cos(\cdot)$ 는 정규화 에지의 값에 따라 에지가 0일 때 최대값 1을, 에지가 최대일 때 최소값 -1를 생성한다. (i, j) 위치의 LCW는 $\cos(\cdot)$ 의 결과와 상수 b 와 c , $\alpha \times (ED(i, j) + 1.0)$ 로 에지를 일정한 비율로 스케일함으로 구해진다. 즉, LCW는 에지의 값이 최대값에 가까운 경우는 $(b-c)$ 에 가까운 값으로 에지 값을 스케일하며 에지 정보가 0에 가까운 경



그림 3. 기존 방법과 제안방법의 결과 영상

우는 (b+c)에 가까운 값으로 스케일한다. 이때 $\alpha \times (ED(i,j) + 1.0)$ 는 에지의 크기를 보정하는 계수로 너무 큰 에지의 영향으로 에지가 두드러지는 것을 방지하기 위한 값이다. 에지 강조 가중치 $W(i,j)$ 는 입력화소에 d 배를 하여 LCW를 더함으로 결정된다. 그림 2는 본 논문에서 제안하는 에지 강조 가중치 결정 과정을 나타낸 블록도이다.

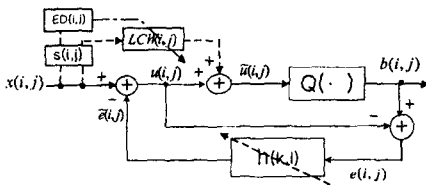


그림 2. 제안방법 블록도

IV. 실험 및 고찰

제안방법의 성능을 평가하기 위해 본 논문에서는 Wong 방식과 Knox에 의해 제안된 에지 강조 오차확산 방법을 적용한 결과를 비교한다. 테스트 영상은 256×256 lena, brigde, airplane 영상을 사용했다. 이때 Knox 방법은 $k=2$, 제안방법은 $a=3.0$, $b=0.7$, $c=0.8$, $d=1.0$ 을 적용하여 결과를 구했다.

영상의 중요한 정보는 대부분 에지 부분에 존재한다. 따라서 원영상과 해프톤 영상간의 에지 상관도(edge correlation)를 측정하는 것이 객관적인 화질 평가의 의미를 지닌다. 이의 에지 상관도 함수는 다음과 같다[6].

$$C_E = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} \left(\sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M W_k D_A(k,l) D_B(k,l) \right) \quad (7)$$

여기서 가중치 W_k 은 수평과 수직, 대각 방향에 대한 가중값으로 수평과 수직에 대한 대각방향 비를 $1:\sqrt{2}$ 가

되도록 하고, 계수의 합이 1이 되도록 정규화 하였다. 이때 수평, 수직 방향은 0.1465, 대각 방향은 0.1035의 값을 갖는다. 또한 $D_A(k,l)$ 와 $D_B(k,l)$ 는 다음과 같이 구한다.

$$D_A(k,l) = I_A(i,j) - I_A(i-k,j-l) \quad (8a)$$

$$D_B(k,l) = B_A(i,j) - B_A(i-k,j-l) \quad (8b)$$

여기서 $I_A(m,n)$ 은 원영상, $B_A(m,n)$ 은 HVS 특성을 고려하여 7×7 윈도우의 지역 통과 필터를 구성하고, 이로서 이진 영상을 필터링하여 복원한 영상이다. 에지 상관도는 원영상과 이진영상에 대한 에지 부분의 표현 능력을 평가하는 함수로서 C_E 의 값이 클수록 에지 부분이 잘 일치한다고 판단할 수 있다.

표 1은 테스트 영상을 식(7)에 의해 원영상과 해프톤 영상의 복원 영상의 에지 상관도를 구한 결과이다. Knox 방법은 floyd 방법에 비해 에지 상관도에서 개선되었다.

표 3. 기존 방법과 제안방법의 에지 상관도

관측거리 (inch)	영상	방법		
		Wong	Knox	제안방법
10	lena	105.43	107.93	109.10
	bridge	110.23	114.66	116.71
	airplane	121.83	124.69	126.50
20	lena	71.08	72.30	73.05
	bridge	73.72	75.75	77.05
	airplane	81.24	82.83	84.33

제안방법은 기존의 방법보다 에지 상관도가 더 높은 결과를 보인다. 이것은 제안 방법의 해프톤 영상이 기존 방법의 해프톤 영상보다 경계영역에서 잘 재현됨을 의미한다.

그림 3은 lena 영상에 기존의 방법과 제안 방법을 적용한 결과 영상이다 (a)는 256×256 크기의 원영상이다. (b)는 Knox 방법에 의한 결과 영상으로 모자 영역의 미세한 에지가 보존되지 못하였다. 제안 방법은 모자의 기

털 부분이나 머리 카락등에서 에지가 명확해졌고 눈 등에서 좋은 결과를 보여준다. 또한 모자의 미세한 에지도 잘 보존되었다.

V. 결론

오차확산 방법은 영상의 출력 장치에서 제한된 계조로 자연색 영상을 출력할 경우 일정한 거리에서 관측시 원영상과 이진 영상이 유사하게 보이도록 하는 기법이다. 본 논문에서는 기존의 오차확산방법의 에지가 흐려지는 특성을 개선하기 위하여 영상의 국부적 특성을 반영한 에지 강조 오차 확산 방법을 제안한다. 에지정보와 \cos 함수를 이용하여 국부적 특성 가중치를 구하여 입력 영상의 상수배에 더함으로 에지 강조 가중치를 구한다. 또한 인간의 시각에 더 적합한 화질을 얻기 위해 인간의 공간 지각 특성을 고려한 적응적 오차확산방법과 결합하였다.

제안방법은 기존의 에지 강조 오차확산 방법에 비해 에지 상관도에서 개선되어졌다. 또한 미세한 에지도 기존의 방법에 비해 잘 보존하였으며 에지를 적절히 강조함으로 기존의 방법에 비해 개선된 화질을 보여준다.

참고문헌

- [1]R.A. Ulichiney, Digital Halftoning, MIT Press, 1987.
- [2]R.W.Floyd and L.Steinberg, " An adaptive algorithm for spatial scale," Proc. Soc. Inf. Disp., 17, pp. 75-77, 1976.
- [3]P.W.Wong, "Adaptive error diffusion and its application in multiresolution rendering," IEEE Trans. Image Processing, vol. 5, pp.1184-1196, July 1996.
- [4]R.Eschbach and K.Knox, "Error diffusion algorithm with edge enhancement," J.Opt. Soc.Am. A, Vol. 8, no.12, pp.1844-1850, 1991.
- [5]R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, Addison Wesley, pp. 458-465, 1992.
- [6]이울환, 박장식, 박창대, 김재호, "청색 잡음 마스크 임계값 변조를 이용한 에지강조 오차 확산법," 전자 공학회 논문지, 제36권 S편, 10호, pp.72-82, 1999.