

원영상의 기울기 성형을 이용한 경계강조 오차확산법

강 태 하(姜泰夏), 황 병 원(黃秉元)

한국항공대학교 전자공학과

전화 : (042) 472-8870 / 팩스 : (042) 821-2221

Edge Enhanced Error Diffusion based on Gradient Shaping of Original Image

Tae Ha Kang, Byong Won Hwang

Dept. of Avionics, Hankuk Aviation University

E-mail : thkang@sunam.kreonet.re.kr

Abstract

The error diffusion is good for reproducing continuous image to binary image. However the reproduction of edge characteristics is weak in power spectrum analysis of display error. It is suggested for us an edge-enhanced error-diffusion method that is included pre-processing algorithm for edge characteristic enhancement. Pre-processing algorithm is organized horizontal and vertical directional 2nd order differential values and weighting function of pre-filter. The improved Error diffusion using pre-filter, presents a good results visually which edge characteristics is enhanced. The performance of the proposed algorithm is compared with that of the conventional edge-enhanced error diffusion by measuring the RAPSD of display error, the edge correlation and the local average accordance.

I. 서론

하프토닝(halftoning)은 연속계조 영상을 이진 영상으로 생성하는 처리로서, 일정한 거리에서 관측시 원영상과 유사하게 보이도록 하는 기법이다. 이의 연구에서 우수한 특성을 보이는 오차확산(error diffusion) 기법은 현재 화소를 양자화할 때 발생하는 오차를 추후의 처리를 위한 주변화소들에 적절히 분산시켜 평균 에러를 영으로 만드는 방법으로서, Floyd^[1] 등에 의해 제안되었다.

오차확산법의 주요 연구동향은 변형된 확산필터의

설계^[3]와 로컬(local) 오차를 최소화하도록 필터계수를 적응적으로 조정^[4], 인간의 시각체계(Human Visual System : HVS)의 특성 도입^[5], 프린터 모델의 적용^[6] 등으로 특성개선을 위한 다양한 연구가 수행되었다. 특히 경계를 강조하여 보다 선명한 이진 영상을 얻기 위한 경계강조 오차확산법은 Eschbach 등에 의해 제안되었고^[7], Kim^[8]에 의해 개선되었다. 이 기법은 처리하는 현재화소의 밝기값과 확산되는 오차값을 더하는 과정에서 현재화소의 밝기값에 가중값을 줌으로써 경계를 강조하는 방법이다.

본 논문은 경계강조를 위한 오차확산법에 관련한 연구로서, 경계부의 공간정보 열화를 개선하기 위한 전처리 필터를 제안하였다. 제안한 필터는 원영상의 공간 영역(spatial domain)에 대한 수평 및 수직 방향의 2차 미분값 및 이를 활용하는 필터의 가중치 함수로 구성된다. 최종적으로 양방향에서 얻어진 전처리의 출력값을 합산한 후, 이들간의 크기 비율에 관련된 함수를 곱하여 오차확산법의 양자화에 입력되는 신호에 추가하여 경계를 강조한다. II장은 특성비교 방법, III장은 제안한 전처리 필터를 설명하였다. IV장에서는 제안한 기법과 기존의 기법^[8]과의 특성을 비교하였다.

II. 이진 영상의 화질평가 방법

1. 표시오차에 대한 환상 평균 전력 스펙트럼

일정한 밝기값을 가진 이진 영상의 바람직한 패턴은 방향성 결함(artifacts)이 없는 경우이다. 이것을 판별하는 방법으로, 그림 1과 같이 정사각형의 전력 스펙트럼을 일정한 폭 Δ 의 환상 고리 모양으로 분할하여 1차원 함수로 표현하는 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도

(radially averaged power spectrum density : RAPSD)를 사용한다.^{19,10)}

본 논문에서는 원영상과 이진영상간의 차이, 즉 이를 표시오차(display error)라 정의하고, 이를 RAPSD의 함수로서 특성을 비교한다. 샘플 크기가 $M \times N$ 인 원영상을 $i(m, n)$, 오차확산된 이진영상을 $b(m, n)$ 이라 할 때, 2차원 푸리에 변환을 $\mathcal{F}[\cdot]$ 으로 나타낸다면, 전력 스펙트럼 밀도는 식 (1)과 같다.

$$\hat{P}(u, v) = \frac{1}{MN} |\mathcal{F}[i(m, n) - b(m, n)]|^2 \quad (1)$$

RAPSD $P_r(f_r)$ 는 폭 Δ 의 환상고리 영역으로 분할된 각 고리내의 전력 스펙트럼을 합산하고 해당 주파수 구간의 샘플 개수로 나누어 얻어지는 평균으로 식 (2)와 같이 정의한다. 여기서 $N_r(f_r)$ 은 각 환상고리에 포함되어 있는 주파수 샘플의 개수이다.

$$P_r(f_r) = \frac{1}{N_r(f_r)} \sum_{i=1}^{N_r(f_r)} \hat{P}(u, v) \quad (2)$$

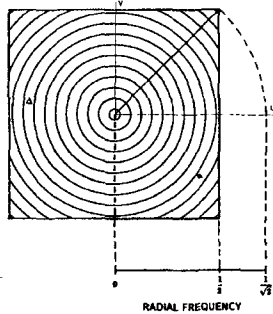


그림 1. 전력 스펙트럼의 분할
Fig. 1. Segmentation of the power spectrum

2. 경계상관도

영상의 중요한 정보는 대부분 경계부분에 존재한다. 따라서 경계에 대한 상관 정도를 측정하는 것이 객관적인 화질평가의 의미를 지닌다. 경계상관도(edge correlation) 함수는 식(3)-(5)로 설정하였다.^{19,12)}

$$C = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{ij} D_f(i, j) D_b(i, j) \right) \quad (3)$$

$$D_f(i, j) = I_h(m, n) - I_h(m-i, n-j) \quad (4)$$

$$D_b(i, j) = B_h(m, n) - B_h(m-i, n-j) \quad (5)$$

여기서 $I_h(m, n)$ 은 원영상, $B_h(m, n)$ 은 거리에 따른 저역통과 필터(7x7)를 구성하고, 이로서 이진영상을 필터링하여 복원한 영상이다. 가중치 W_{ij} 는 수평, 수직과 대각방향에 대한 가중값이다. 이의 경계상관도는 원영상과 이진 영상에 대한 경계부분의 표현능력을 평가하는 함수로, C의 값이 클수록 경계부분이 잘 일치한다.

3. 로컬 평균 일치도

경계정보의 중요성과 더불어 원영상의 로컬 평균을

보존하는 능력도 중요한 요인이 된다. 여기서 로컬 평균 일치도(local average accordance)라는 평가함수¹³⁾를 사용하였다. 먼저 영상을 특정크기로 분할하여 각 부분에 대한 로컬 평균을 구하는데, 원영상에 대한 로컬 평균을 L_{mI} 이라 하고, 이진 영상을 위의 2절에서 사용한 7x7 윈도우의 저역통과 필터로 복원하고 이에 대한 로컬 평균을 L_{mB} 라 하면,

$$L_{mI} = \frac{1}{M^2} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} I_h(i, j) \quad (6)$$

$$L_{mB} = \frac{1}{M^2} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} B_h(i, j) \quad (7)$$

가 된다. M^2 은 로컬 평균 영역의 크기이다. 로컬 평균 일치도 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$A_{Lm} = \frac{1}{\frac{1}{N^2} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} (L_{mI(k, l)} - L_{mB(k, l)})^2} \quad (8)$$

식 (8)에서 N^2 은 로컬영역의 개수이며 A_{Lm} 의 값이 클수록 이진 영상과 원영상의 로컬 평균이 잘 일치함을 의미한다.

III. 전처리 필터를 추가한 경계강조

오차확산법의 기본개념은 현재 화소의 양자화 오차를 아직 양자화되지 않은 주변 화소들에 적절히 분산시키는 기법으로서, Floyd 와 Steinberg¹¹⁾가 제안한 알고리즘이다. 이는 그림 2에서 굵은 점선부를 제외한 형태로 표현된다. 그림 2의 $i(m, n)$ 와 $b(m, n)$ 는 화소 (m, n) 에서 입력신호와 이진 출력신호이다. 여기서 $b(m, n)$ 는 0 또는 1의 이진값을 갖는다고 가정하고 $i(m, n)$ 는 $[0, 1]$ 범위의 값을 갖는다고 한다. 에러 확산 알고리즘은 다음의 수식으로 표현된다.

$$b(m, n) = \text{step}[i(m, n) + \sum_{k, l} a(k, l)e(m-k, n-l) - t] \quad (9)$$

$$e(m, n) = b(m, n) - [i(m, n) + \sum_{k, l} a(k, l)e(m-k, n-l)] \quad (10)$$

여기서 $e(m, n)$ 는 이진화소 처리후 생성된 오차값이다. $\text{step}[\cdot]$ 함수는 괄호안의 값이 음이면 0, 양의 값이면 1로 정의된다. t 는 임계값으로 밝기 범위가 $[0, 1]$ 이면 $t=1/2$ 이다. 오차확산 계수는 인접화소의 오차를 현재화소(*)에 추가하는 가중값으로, Floyd의 오차확산법에서는 식(11)과 같다. 식 (10)을 주파수 영역에서 표현하면 식 (12)와 같다¹⁰⁾.

$$\begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} \\ a_{10} & * & * \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/16 & 5/16 & 3/16 \\ 7/16 & * & * \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$B(u, v) = I(u, v) + F(u, v)E(u, v) \quad (12)$$

여기서 $F(u, v)$ 는 Floyd 가 제안한 계수들의 항으로 표현되는 고역통과 필터와 같다.

$$F(u, v) = 1 - \sum_{k, l} a(k, l) \exp[-i(uk + vl)] \quad (13)$$

따라서 식 (12)에서 이진 영상은 입력화소 밝기값에

고역통과한 오차가 더해짐을 알 수 있다.

임계값변조 오차확산법은 식 (9)의 $t=1/2$ 로 표현되는 임계값을 화소에 따라 변화도록 하여 특정한 목적에 이용하는 오차확산법이다. Knox는 오차확산법에서 임계값을 변화시키는 효과를 등가영상 개념을 사용하여 수학적으로 분석하였다^[11]. 등가영상 $I_e(u, v)$ 를 식 (14)와 같이 입력영상과 임계값으로 표현하였다.

$$I_e(u, v) = I(u, v) + F(u, v)T(u, v) \quad (14)$$

임계값 $T(u, v)$ 를 적절히 선정하여 원하는 이진영상을 얻을 수 있게 된다. 경계강조 오차확산법은 그림 2에서 Knox가 제안한 바와 같이 굵은 점선부를 추가하여 임계값을 변조한 것이다. 즉, 임계값 $T(u, v)$ 를

$$T(u, v) = cI(u, v) \quad (15)$$

로 한 것인데, 이를 식 (14)에 대입하면

$$I_e(u, v) = (1 + cF(u, v))I(u, v) \quad (16)$$

이고, 등가영상 $I_e(u, v)$ 는 $c > 0$ 인 경우 입력영상을 고역통과한 등가영상이 되어 오차확산 되므로 경계를 강조하는 효과를 갖게 된다.

본 논문에서는 Knox가 제안한 경계강조 알고리즘의 특성을 개선하기 위한 전처리 필터를 설계한 것으로, 그림 2의 점선부와 같이 시스템을 구성하였다.

Knox는 $\times(k-1)$ 가 경계강조를 위해 양자화기에 추가되는 반면, 그림 2에서는 P_{mn} 으로 구성된 함수가 경계강조를 위해 양자화기에 추가된다. 수평방향에 대한 2차 미분값에 대하여 수식으로 정리하면 다음과 같다.

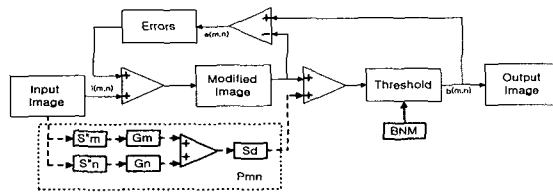


그림 2. 전처리 필터를 추가한 경계강조 에러확산
Fig. 2. Edge enhanced error diffusion with prefilter

$$S_{m1} = \sum_{l=1}^2 i(m, n+l) - \sum_{l=1}^2 i(m-1, n+l) \quad (17)$$

$$S_{m2} = \sum_{l=1}^2 i(m+1, n+l) - \sum_{l=1}^2 i(m, n+l) \quad (18)$$

$$S_m = S_{m1} - S_{m2} \quad (19)$$

식 (17)과 식(18)은 원영상에서 현재화소를 기준으로 수평방향으로 기울기 변화율을 얻는 함수이다. 이들의 결과를 활용하여 식 (19)와 같이 2차의 기울기 변화율을 얻는다. 동일한 개념을 활용하여 수직방향의 2차의 기울기 변화율을 얻을 수 있다.

$$G_m = \frac{a_m}{1 + b_m \times |S_m|} \times \text{sign}(S_m) \quad (20)$$

$$S_d = \left(\frac{1-w}{2}\right) \times \cos(4\theta) + \left(\frac{1+w}{2}\right) \quad (21)$$

$$P_{mn} = [S_m \times G_m + S_n \times G_n] \times S_d \quad (22)$$

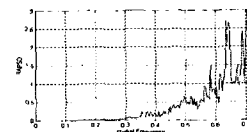
식 (20)은 수평방향의 필터에 대한 가중치 함수로서, 식 (19)의 2차 미분값의 크기를 포함하는 함수와 미분값의 부호로 구성된다. 수직방향의 필터에 대한 가중치 함수도 식 (20)과 동일한 개념을 적용하여 G_n 을 얻을 수 있다. 식(21)은 각도별 감응도 함수로서, 수평과 수직방향의 2차 미분값의 크기를 조절하기 위한 함수이다. 최종적으로 경계강조를 위하여 양자화기에 제공되는 값은 식 (22)의 형태로 구성된다.

IV. 실험 및 고찰

필터의 특성을 평가실험으로 Floyd^[11], Kim^[8] 및 제안한 필터를 적용한 오차확산의 이진영상 모습 및 표시오차의 RAPSD ($\Delta=0.004$)를 그림 3~5로 비교한다. 그리고 (표 1)과 (표 2)에서 경계상관도 및 로컬 평균 일치도 특성을 비교한다.



(a) halftone image



(b) RAPSD

그림 3. Floyd의 이진 영상 특성

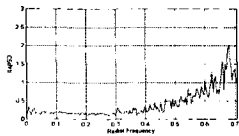
Fig. 3. Floyd's halftone image characteristics

제안한 전처리 필터를 적용한 결과의 특성분석에서, Kim^[8]의 경계강조 오차확산법과의 비교시, 경계가 보다 강조되어 시각적으로 선명한 이진 영상의 모습을 확인할 수 있었다. 표시오차에 대한 RAPSD를 비교하였을 때, 제안한 필터를 적용한 경우와 Kim^[8]의 경계강조 오차확산법을 적용한 경우에서, 경계영역의 특성이 포함되는 높은 주파수 대역인 0.5~0.7 부근의 RAPSD 특성이 Floyd의 오차확산법보다 제안한 필터를 적용한 경우와 Kim의 경계강조 오차확산법 모두에서 상당히 감소되는 결과를 보여주고 있다. 이는 (표 1)의 결과와 같이 경계강조의 특성이 반영되어 경계영역의 재현성이 개선되고 있음을 객관적으로 보여줌을

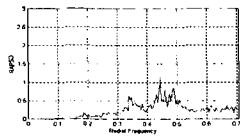


(a) halftone image(K=3)

(a) halftone image(prefilter)



(b) RAPSD(K=3)



(b) RAPSD(prefilter)

그림 4. Kim^[8]의 경계강조 특성
Fig. 4. Kim^[8]'s edge-enhance characteristics

그림 5. 제안한 경계강조 특성
Fig. 5. Proposal Edge-enhanced characteristics

(표 1) 거리에 따른 경계상관도

(Table 1) Edge correlation for distance

| 항목 | 경계상관도(cm) | | | | |
|----------|-----------|---------|---------|----------|----------|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| Floyd | 30.1748 | 37.7280 | 46.3156 | 56.8649 | 66.8007 |
| Kim | 32.7931 | 43.6904 | 56.9063 | 73.7939 | 91.5756 |
| Proposal | 32.1925 | 48.2961 | 71.7940 | 104.8366 | 141.4916 |

(표 2) 거리에 따른 로컬 평균 일치도

(Table 2) Local average accordance for distance

| 항목 | 로컬 평균 일치도(cm) | | | | |
|----------|---------------|---------|---------|---------|---------|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| floyd | 8.8004 | 9.6411 | 10.0751 | 10.3629 | 10.3459 |
| kim | 0.8928 | 0.8583 | 0.8255 | 0.7904 | 0.7572 |
| proposal | 10.4676 | 11.3475 | 11.9449 | 12.2354 | 11.7401 |

알 수 있다. 한편으로 공간 영역에서 평탄한 밝기값을 지니는 영역에 대한 RAPSD는 낮은 주파수 영역으로 분포되는데, 이에 대한 표시오차 RAPSD 분포를 그림 4(b)와 같이 Kim의 경계강조 오차확산법에서는 전체 주파수 대역에서 표시오차 RAPSD가 분포하는 특성을 보이고 있으나, 그림 5와 같이 제안한 필터를 적용한 오차확산법에서는 낮은 주파수 영역인 0~0.3 부근은 그림 3의 경우와 같이 낮은 표시오차 RAPSD 분포를 유지하면서 높은 주파수 영역인 0.5~0.7 부근에서 표시오차의 RAPSD가 감소됨을 보여주고 있다. 이의 특성분석 결과의 고찰에서 제안한 전처리 필터를 적용한 오차확산 기법에서는 공간 영역의 일정한 밝기값에 대

한 평균 계조도를 정상적으로 유지하면서, 경계강조를 위한 영역만을 선별적으로 강조하는 효과를 제시하고 있음을 (표 2)의 결과에서와 같이 객관적으로 확인할 수 있었다.

참고문헌(또는 Reference)

- [1] R. W. Floyd and L. Steinberg, "An adaptive algorithm for spatial greyscale," Proc. SID, Vol. 17, No. 2, pp. 75-77, 1976.
- [2] K. R. Crouse, T. Roska and L. O. Chua, "Image halftoning with cellular neural networks," IEEE Trans. Circuits and Systems - II, Vol. 40, No. 4, pp. 267-283, 1993.
- [3] J. Jarvis, C. Judice, and W. Ninke, "A Survey of Techniques for Display of Continuous-tone Pictures on Bilevel Displays", Comp. Graph. Image Processing, Vol. 5, pp. 13-40, Nov., 1976
- [4] P. W. Wong, "Adaptive error diffusion and its application in multiresolution rendering", IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 5, No. 7, pp. 1184-1196, July, 1996.
- [5] J. Sullivan, R. Miller and G. Pios, "Image halftoning using a visual model in error diffusion," J. Opt. Soc. Am, A, Vol. 10, No. 8, pp. 1714-1724, 1993.
- [6] T. N. Pappas, C. K. Dong and D. L. Neuhoff, "Measurement of printer parameters for model-based halftoning," Journal of Electronic Imaging, Vol. 2, No. 3, pp. 193-204, 1993.
- [7] R. Eschbach and K. Knox, "Error diffusion algorithm with edge enhancement," J. Opt. Soc. Am. A., Vol. 8, No. 12, pp. 1884-1850, 1991.
- [8] Jae Ho Kim, Tae Il Chung, Hyung Soon Kim, Kyung Sik Son, and Yoon Soo Kim, "New Edge-Enhanced Error Diffusion Algorithm Based on The Error Sum Criterion," Journal of Electronic Imaging, Vol. 42, pp. 172-178, April, 1995.
- [9] 이을환, 박장식, 박창대, 김재호, "청색잡음 마스크 임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법," 전자공학회논문지, 제36권 S편, 제10호, pp. 72-82, 1999.
- [10] D. L. Lau, G. R. Arce and N. C. Gallagher, "Green-noise digital halftoning," Proceedings of IEEE, Vol. 86, No. 12, Dec., pp. 2424-2444, 1998.
- [11] K. T. Knox and R. Eschbach, "Threshold modulation in error diffusion," Journal of Electronic Imaging, July, 1993.
- [12] 이태홍, 이동원, "시각모델에 근거를 둔 반복처리에 의한 디지털 하프톤 기법," 한국통신학회 논문지, 제3권 제3호, pp. 780-796, 1995.