

원영상의 기울기 성형을 이용한 경계강조 오차확산법

정회원 강태하*, 황병원*

Edge Enhanced Error Diffusion based on Gradient Shaping of Original Image

Tae-Ha Kang*, Byong-Won Hwang* *Regular Members*

요약

오차확산법은 연속계조 영상을 중간조 영상으로 생성시 우수한 재현성을 보인다. 그러나 표시오차의 전력스펙트럼 분석에서 경계정보의 재현성이 다소 떨어지는 특성을 보인다. 이를 개선하기 위해 원영상의 기울기 정보를 이용하는 경계강조 오차확산법을 제안한다. 제안한 기법은 원영상의 수평 및 수직 방향의 2차 미분값 및 이를 활용하는 필터의 가중치 함수로 구성된다. 첫째, 원영상의 수평 및 수직 방향의 2차 미분값은 현재 화소를 중심으로 3x3 인접화소에서 기울기 변화율로 얻는다. 둘째, 필터의 가중치 함수는 얻어진 미분값의 크기를 포함하는 함수와 미분값의 부호로 구성된다. 제안한 기법을 적용한 중간조 영상은 경계가 강조되어 시각적으로 선명한 결과를 보인다. 표시오차의 RAPSD, 거리에 따른 경계상관도 및 로컬 평균 일치도의 평가함수로 제안한 경계강조 오차확산법과 기존의 경계강조 오차확산법의 특성을 비교한다.

ABSTRACT

The error diffusion algorithm is good for reproducing continuous images to binary images. However the reproduction of edge characteristics is weak in power spectrum analysis of display error. In this paper, an edge enhanced error diffusion method is proposed to improve the edge characteristic enhancement. Spatial gradient information in original image is adapted for edge enhance in threshold modulation of error diffusion. First, the horizontal and vertical second order differential values are obtained from the gradient of peripheral pixels(3x3) in original image. Second, weighting function is composed by function including absolute value and sign of second order differential values. The proposed method presents a good visual result which edge characteristics is enhanced. The performance of the proposed method is compared with that of the conventional edge enhanced error diffusion by measuring the edge correlation and the local average accordance over a range of viewing distances and the RAPSD of display error.

1. 서론

영상의 출력장치에서 제한된 계조 및 칼라를 사용하는 경우가 있다. 예로서, 프린터, 팩스 등의 중간조 신호 처리장치에서 기술적/경제적 이유로 영상 표현을 위한 계조수가 제한되는 경우에 효과적인 디스플레이 방법이 요구된다. 이와 관련된 처리기법을 중간조(halftone) 처리이라 한다. 이는 연속 계조

영상을 중간조 영상으로 생성하는 처리로서, 일정한 거리에서 관측시 원영상과 유사하게 보이도록 하는 기법이다. 다양하게 제시된 기법중에서 우수한 특성을 보이는 오차확산(error diffusion)법은 현재 화소를 양자화시 발생하는 오차를 추후의 처리를 위한 주변화소들에 적절히 분산시켜 평균 에러를 영으로 만드는 방법으로서, Floyd^[1] 등에 의해 제안되었다.

오차확산법의 필터는 원영상의 평균계조도를 유

* 한국항공대학교 항공전자공학과 영상처리연구실
 논문번호 : 00174-0518, 접수일자 : 2000년 5월 18일

지하도록 설계되므로, 이를 사용하여 처리된 중간조 영상은 고주파 성분을 포함하는 경계(edge) 정보의 열화를 수반하게 된다^[2]. 따라서 중간조 영상은 다음의 상호 배타적인 특성을 갖는다. 즉, 평균계조를 정확히 유지하기 위해서는 표시오차 전력 스펙트럼의 DC 성분을 영으로 해야하는 반면, 경계정보의 보존을 위해서는 표시오차의 고주파 전력 스펙트럼을 최소화하여야 한다.

오차확산법은 오차확산 필터의 변형된 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 특성 개선을 위한 다양한 연구가 수행되었다. 특히 경계를 강조하여 보다 선명한 중간조 영상을 얻기 위한 경계강조 오차확산법은 Eschbach^[7] 등에 의해 제안되었고, Kim^[8]에 의해 개선되었다. 이는 처리하는 현재 화소의 계조에 확산되는 오차를 더하는 과정에서 현재 화소의 계조에 가중값을 줌으로서 경계를 강조하는 방법이다.

본 논문은 경계강조를 위한 오차확산법에 관련한 연구로서, 중간조 영상에 내재된 고주파 성분 영역인 경계부의 공간정보 열화를 개선하기 위한 전처리 필터를 제안하였다. 제안한 필터는 원영상의 공간 영역(spatial domain)에 대한 수평 및 수직 방향의 2차 미분값 추출 및 이를 활용하는 필터의 가중치 함수로 구성된다. 첫째, 원영상의 수평 및 수직 방향의 2차 미분값은 현재 화소를 중심으로 3x3 인접화소에서 원영상의 기울기 변화율을 수평 및 수직방향으로 얻는다. 둘째, 필터의 가중치 함수는 얻어진 2차 미분의 크기를 포함하는 함수와 미분의 부호로 구성된다. 최종적으로 양방향에서 얻어진 전처리의 출력을 합산한 후, 이들간의 크기 비율에 관련한 함수를 곱하여 오차확산법의 양자화기에 입력되는 신호에 추가하여 경계를 강조한다. II장에서는 특성비교를 위한 표시오차의 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도, 경계상관도 및 로컬 평균 일치도 함수에 대하여 설명하였다. III장에서는 본 논문에서 제안한 전처리 필터에 대하여 설명하였다. IV장에서는 제안한 기법과 기존의 경계강조 기법^[7]과의 특성을 비교하였고, V장에서 결론을 제시하였다.

II. 중간조 영상의 화질평가방법

중간조 영상의 화질평가를 객관적으로 수행하기 위하여 원영상과 중간조 영상간의 경계부를 정확하

게 표현하는가를 측정하는 방법과 이들간의 로컬 평균(local average)이 얼마나 일치하는가를 측정하는 방법을 사용하고 있다^[12].

1. 표시오차의 환상 평균 전력 스펙트럼

일정한 계조를 가진 중간조 영상의 바람직한 패턴은 방향성 결함(artifacts)이 없는 것으로서, 방사상 대칭인 경우이다. 이것을 판별하기 위한 방법으로 전력 스펙트럼 특성을 사용하고 있다. 전력 스펙트럼은 중간조 영상에 대한 2차원 푸리에 변환 결과의 진폭을 자승한 후, 샘플의 크기로 나누어 2차원 함수의 전력 스펙트럼($\hat{P}(f)$)을 구한다. $\hat{P}(f)$ 는 3차원의 그림으로 표현되는데, 이를 주파수별 특성을 보다 효율적으로 고찰하기 위하여 그림 1과 같이 정사각형의 전력 스펙트럼을 일정한 폭 Δ 의 환상 고리 모양으로 분할하여 1차원의 함수로 표현할 수 있다. 이를 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도(Radially Averaged Power Spectrum Density : RAPSD)이라 한다^[9,10].

본 논문은 오차확산법에서 원영상의 계조에 대한 수평 및 수직방향으로 변화율의 특성을 활용하는 방법으로 전처리 필터를 구성하였다. 그러므로 공간영역에서 일정한 계조의 평탄 영역에 대한 오차확산 처리시, 전처리 필터의 효과는 발생하지 않는다. 이에 따라 전처리 필터의 특성을 살펴보기 위해 원영상과 오차확산된 중간조 영상간의 차이, 즉 이를 표시오차(display error)라 정의하고, 이를 RAPSD 함수로 표현하여 특성을 비교한다. 샘플 크기가 $M \times N$ 인 임의의 원영상을 $i(m, n)$, 오차확산된 중간조 영상을 $b(m, n)$ 이라 할 때, 2차원 푸리에 변환을 $\mathcal{F}[\cdot]$ 으로 나타낸다면, 전력 스펙트럼 밀도는 식(1)과 같다.

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

전력 스펙트럼의 중심을 기준으로 그림 1과 같이 일정한 폭 Δ 의 환상고리 모양으로 분할한다. 여기서 환상 주파수(radial frequency)는 f_r 로서, 환상고리의 중심(0)으로부터 $1/\sqrt{2}$ 까지의 값을 갖는다. 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.

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

여기서 $N_r(f_r)$ 은 각 환상고리에 포함되는 주파수 샘플수이다.

2. 경계상관도

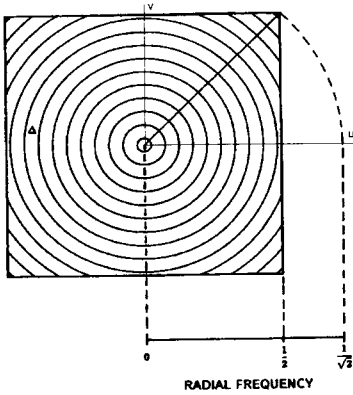


그림 1. 전력 스펙트럼의 분할

영상의 중요한 정보는 대부분 경계부분에 존재한다. 따라서 원영상과 중간조 영상간의 경계상관도(edge correlation)를 측정하는 것이 객관적인 화질 평가의 의미를 지닌다. 이의 경계상관도 함수는 식(3)-(5)로 설정하였다^[9].

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

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

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

여기서 $I_h(m, n)$ 은 원영상, $B_h(m, n)$ 은 HSV 특성을 고려하여 7x7 윈도우의 저역통과 필터를 구성하고, 이로서 중간조 영상을 필터링하여 복원한 영상이다. 가중치 W_{ij} 는 수평, 수직과 대각방향에 대한 가중값으로 수평과 수직에 대한 대각방향 비율 1:√2가 되도록 하고, 계수의 합이 1이 되도록 정규화하였다(수평 및 수직방향은 0.1465, 대각방향은 0.1035). 이의 경계상관도는 원영상과 하프톤 영상에 대한 경계부분의 표현능력을 평가하는 함수로서, C의 값이 클수록 경계부분이 잘 일치한다고 판단할 수 있다.

3. 로컬 평균 일치도

경계정보의 중요성과 더불어 원영상의 로컬 평균을 보존하는 능력도 중요한 요인이 된다. 만일 원영

상의 로컬 평균의 보존정도가 매우 나쁜 기법을 사용하여 중간조 영상을 얻게 되면 출력영상의 전체적인 명암 및 로컬 명암이 원영상과 많이 달라지게 된다. 이에 따라 로컬 평균이 얼마나 잘 일치 정도를 평가할 필요성이 대두된다. 이에 로컬 평균 일치도(local average accordance)라는 평가함수^[13]를 사용한다. 먼저 영상을 특정 크기로 분할하여 각 부분에 대한 로컬 평균을 구하는데, 원영상에 대한 로컬 평균을 L_{mi} 이라 하고, 중간조 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. 여기서 M^2 은 로컬 평균을 구하기 위한 영역의 크기이다. 로컬 평균 일치도 함수는 다음과 같이 정의된다.

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

식(8)에서 N^2 은 로컬영역의 개수이며 A_{Lm} 의 값이 클수록 중간조 영상과 원영상의 로컬 평균이 잘 일치함을 의미한다. 일반적으로 원영상과 중간조 영상과의 로컬 평균의 차이는 전역적인 평균차이와 비례 관계가 존재한다.

III. 전처리 필터를 추가한 경계강조 오차확산

오차확산법은 현재 화소의 양자화 오차를 아직 양자화되지 않은 주변 화소들에 적절히 분산시키는 방법으로서, Floyd^[11] 등이 제안한 기법이다. 이는 그림 2에서 굵은 점선부를 제외한 형태로 표현된다. 그림 2에서 $i(m, n)$ 와 $b(m, n)$ 는 화소 (m, n) 에서 입력 신호와 중간조 신호이다. 여기서 $b(m, n)$ 는 0 또는 1의 이진값으로 가정하고, $i(m, n)$ 는 [0, 1]범위의 값으로 가정한다. 오차확산법은 다음의 식(9)로 표현된다.

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

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

여기서 $e(m, n)$ 는 중간조 처리후 생성된 오차이다. $step[\cdot]$ 함수는 괄호안의 값이 음이면 0, 양의 값이면 1로 정의된다. t 는 임계값으로 연속 $t=1/2$ 계조 영상 밝기의 중간값을 지닌다. 밝기 범위가 $[0,1]$ 이면 이다. 그리고 $a(k, l)$ 는 오차확산 계수로, 인접화소의 오차를 현재화소(*)에 추가하는 가중값으로 Floyd의 기법에서는 식(11)과 같다.

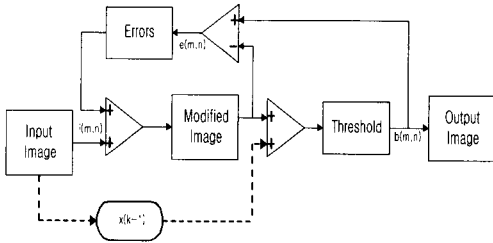


그림 2. Floyd 등의 오차확산법

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

식(10)을 주파수 영역으로 표현하면 식(12)와 같다⁹⁾.

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

여기서 $F(u, v)$ 는 Floyd가 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 중간조 영상은 입력화소 계조에 고역통과한 오차가 더해짐을 알 수 있다.

임계값 변조 오차확산법은 식(9)의 $t=1/2$ 로 표현되는 임계값을 상수로 두지 않고 공간영역에서 처리되는 화소에 따라 가변하여 특정한 목적에 이용하는 오차확산법이다. Knox¹¹⁾ 등은 오차확산법에서 임계값을 변화시키는 효과를 등가영상 개념을 사용하여 수학적으로 분석하였다. 등가영상 $I_e(u, v)$ 를 식(14)와 같이 입력영상과 임계값으로 표현하였다.

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

즉, 오차확산법에서 임계값을 변화시키는 효과는 입력영상과 임계값을 $F(u, v)$ 로 필터링한 값과의

합을 입력영상으로 구성한다면, 고정된 임계값을 갖는 표준 오차확산법과 동일하다. 임계값 $T(u, v)$ 를 적절히 선정함으로써 원하는 중간조 영상을 얻을 수 있게 된다.

경계강조법은 Knox가 제안한 바와 같이 그림 2에서 굵은 점선부를 추가한 것으로, 임계값을 입력 영상을 사용하여 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 입력영상을 c 값에 따라서 필터링한 것이 된다. $c>0$ 인 경우 입력영상을 고역 통과한 것이 등가영상이 되고, 이 등가영상을 표준 오차확산하는 것이 되어 경계를 강조하는 효과를 갖게 된다.

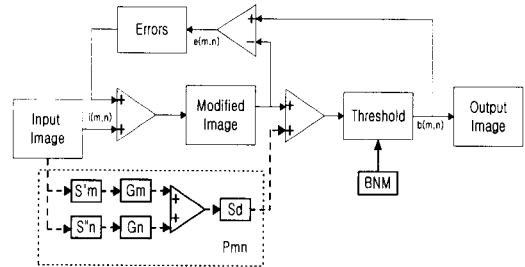


그림 3. 전처리 필터를 추가한 경계강조 오차확산

본 논문에서는 그림 2의 Knox가 제안한 경계강조 알고리즘의 특성을 개선하기 위한 전처리 필터를 설계한 것으로, 그림 3과 같이 시스템을 구성하였다. 첫째, 원영상의 수평 및 수직의 2차 미분값은 현재 화소를 중심으로 하여 인접화소(3x3)간의 기울기 변화율의 특성을 수평 및 수직방향으로 각각 적용하여 얻는다. 둘째, 필터의 가중치 함수는 얻어진 미분값의 크기를 포함하는 함수와 이의 부호로 구성된다. 최종적으로 양방향에서 얻어진 전처리의 출력을 합산한 후, 이들간의 크기 비율에 관련한 함수를 곱하여 오차확산법의 양자화기에 입력되는 신호에 추가하여 경계를 강조한다.

그림 2에서는 $\times(k-1)$ 가 경계강조를 위해 양자화기에 추가되는 반면, 그림 3에서는 Pmn 으로 구성된 함수가 경계강조를 위해 양자화기에 추가된다.

수평방향에 대한 2차 미분값에 대하여 수식으로 정리하면 다음과 같다.

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

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

$$\dot{S}_m = S_{m1} - S_{m2} \quad (19)$$

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

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

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

$$P_{mn} = [\dot{S}_m \times G_m + \dot{S}_n \times G_n] \times S_d \quad (22)$$

식(20)은 수평 방향의 필터에 대한 가중치 함수로서, 식(19)의 2차 미분의 크기를 포함하는 함수와 이의 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 처리 결과의 합산시 크기를 조절하기 위한 함수이다. 최종적으로 경계강조를 위하여 양자화기에 제공되는 값은 식(22)의 형태로 구성된다.

식(17)과 식(18)의 특성은 원영상의 평탄영역에서는 0의 값, rising edge 에서는 음의 값을 가지며, falling edge에서는 양의 값을 갖는다. 그리고 식(19)는 식(17)과 식(18)의 차이를 구한 것으로, 개념적으로 sin함수를 2차 미분하여 음의 부호를 곱한 형태와 동일한 의미를 지닌다. 식(19)의 특성은 공간영역의 계조가 평탄한 영역에서 0의 값을 가지므로, 이를 오차확산에 추가하여 경계강조 처리시, 낮은 f_r 에서 Floyd 기법과 동일한 특성을 갖게 되어, 중간조 영상의 평균 계조도는 원영상과 근사한 특성을 갖게 된다. 식(20)으로 표현되는 G_m 과 G_n 는 수평 및 수직방향의 가중치 함수를 의미한다. 이를 별도로 설정한 것은 본 논문에서 사용하는 Floyd의 필터계수에서 수평방향의 가중치(7/16)가 수직방

향의 가중치(5/16)보다 오차의 전파비중이 커서 과도한 경계의 특성을 초래할 가능성이 있으므로 전처리 필터 추가시에 이를 고려하도록 구분하였다. 그림 3에서 점선으로 표시된 부분이 본 논문에서 제시하는 전처리 알고리즘으로서, 통합하여 식(22)과 같이 P_{mn} 으로 표현한다.

식(20)의 가중치 함수의 계수 a_m 및 b_m 는 경계강조의 특성을 조절하기 위하여 설정하였다. 식(21)의 S_d 는 HVS에서 각도별 감응도 함수로서, $S_r \times G_r$ 와 $S_v \times G_v$ 의 합산 처리시, 45도 및 135도 방향의 과도한 경계강조를 방지하기 위하여 추가하였다. θ 의 값은 수평 필터의 절대값, $|S_r \times G_r|$ 와 수직 필터의 절대값을 $|S_v \times G_v|$ 로 사용하여 이들간의 크기 비율을 \arctan 함수를 적용하여 얻어진다. 그리고 $w = 0.7$ 을 적용하였다. 식(22)의 필터 특성은 그림 4와 같은 주파수 응답 특성을 갖는다.

IV. 실험 및 고찰

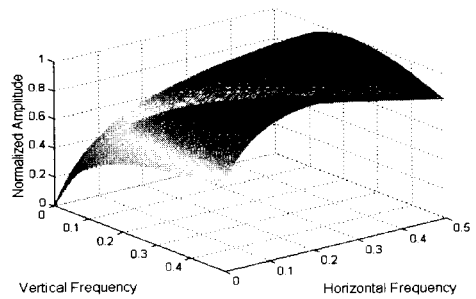
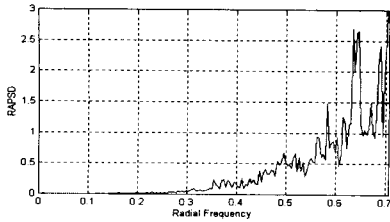


그림 4. 필터의 주파수 응답

Floyd^[1] 등이 제안한 오차확산법을 lena 영상에 적용하여 얻어진 중간조 영상, 표시오차의 RAPSD ($\Delta = 0.004$)를 그림 5에 보인다.



(a) halftone image(lena)



(b) RAPS D(display error, lena)

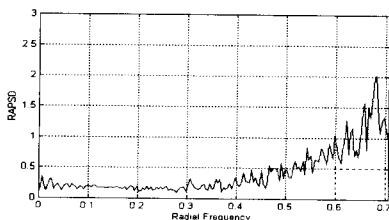
그림 5. Floyd의 중간조 영상 특성

그림 5(b)를 살펴보면, 낮은 $f_r(0\sim0.3)$ 부근은 RAPS D가 매우 적어 Floyd 오차확산 필터특성이 원영상의 평균 계조도를 적절히 표현함을 보인다. 그러나 높은 $f_r(0.5\sim0.7)$ 에서 표시오차의 RAPS D가 집중되어 나타남을 알 수 있다. 이는 경계 영역이 높은 f_r 부근으로 표시됨을 감안할 때, Floyd 오차확산법은 경계부의 표현능력에서 상대적으로 경계 재현성이 낮음을 확인할 수 있다. 그림 6은 Eschbach^[7]등이 사용한 경계강조 오차확산법(K=3 적용)으로 오차확산시의 중간조 영상, 표시오차에 대한 RAPS D의 분포를 보인다.

그림 6(a)는 그림 5(a)와 시각적인 관점으로 비교시, 경계의 재현성이 상당히 개선됨을 알 수 있다.



(a) halftone image(lena)

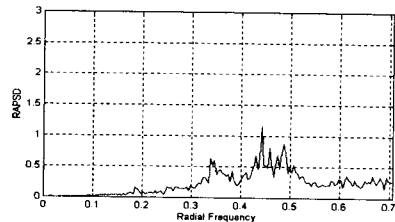


(b) RAPS D(display error, lena)

그림 6. Eschbach의 경계강조 특성(K=3)



(a) halftone image(lena)



(b) RAPS D(display error, lena)

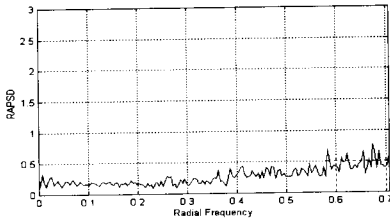
그림 7. 제안필터의 경계강조 특성

그림 6(b)는 원영상과 경계강조법으로 오차확산 처리된 중간조 영상간의 표시오차 RAPS D이다. 이의 결과에서 높은 $f_r(0.5\sim0.7)$ 부근에서 표시오차 RAPS D가 그림 5(b)보다 상당히 낮아진 특성을 보여주고 있다. 이는 경계강조의 특성이 반영된 효과를 보여주는 것으로, 경계 영역을 표현하는 높은 f_r 에서 경계 재현성이 개선되었음을 보인다. 반면에 낮은 f_r 대역에서도 표시오차 RAPS D가 존재하는 특성을 보이고 있다.

본 논문에서 제안한 필터를 적용한 경계강조의 특성 분석을 위하여 중간조 영상모습, 이와 원영상간의 표시오차 RAPS D의 특성을 고찰한다. 이의 가중치 함수 G_m 와 G_n 에서 계수에 $a_m = a_n = 2.5$ 와 $b_m = b_n = 0.02$ 의 값으로 처리를 수행한 후, 얻어진 중간조 영상과 표시오차 RAPS D를 그림 7에 보인다. 그림 7(a)의 중간조 영상은 그림 6(a)의 경계강조 오차확산법의 결과영상보다 경계 영역이 보다 선명한 모습을 보이며, 그림 7(b)의 표시오차 RAPS D도 낮은 $f_r(0\sim0.3)$ 부근은 그림 5(b)의 Floyd 오차확산법과 유사한 특성을 보이고, 높은 $f_r(0.5\sim0.7)$ 부근에서는 그림 5(b) 및 그림 6(b)의 경우보다 상대적으로 감소됨을 보인다. 이는 제안필터 적용시, 낮은 f_r 의 평탄 영역에서는 Floyd 오차확산법의 특성을 유지하면서, 높은 f_r 의 경계 영역의 재현성이 개선됨을 알 수 있다.



(a) half-tone image(lena)

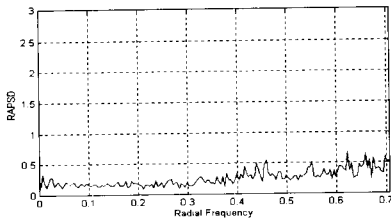


(b) RAPS(D)(display error, lena)

그림 8. 경계강조 오차확산 특성(K=3, RNM)



(a) half-tone image(lena)



(b) RAPS(D)(display error, lena)

그림 9. 경계강조 오차확산 특성(K=3, BNM)

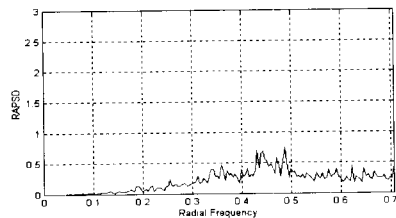
그림 8, 9는 그림 6의 실험조건에서 30%의 랜덤잡음 및 청색잡음(blue noise) 마스크로 각각 임계값 변조하여 얻은 중간조 영상과 표시오차 RAPS(D) 모습을 각각 보인다. 이들의 중간조 영상 비교에서 랜덤잡음 및 청색잡음으로 임계값 변조시에 영상내

의 주기적 패턴이 상당히 감소되거나 전반적인 화질 열화를 동시에 보여주고 있다. 표시오차 RAPS(D)는 그림 6(b)의 경우보다 낮은 $f_r(0.0 \sim 0.3)$ 에서는 변화가 거의 없고 높은 $f_r(0.5 \sim 0.7)$ 부근에서 감소되고 있음을 보인다. 이는 임계값 변조의 처리시, 고주파 영역에서 발생하는 표시오차 특성이 개선됨을 의미한다.

그림 10, 11은 그림 7의 실험조건에서 30%의 랜덤잡음 및 청색잡음(blue noise) 마스크로 임계값 변조하여 얻은 중간조 영상과 표시오차 RAPS(D)를 보인다. 이들 중간조 영상의 비교에서는 랜덤잡음 및 청색잡음 마스크로 임계값 변조를 수행한 경우에 영상내의 주기적 패턴이 상당히 감소되는 특성을 보이나 전반적으로 화질의 특성이 열화되는 결과를 동시에 보여주고 있다. RAPS(D)의 특성은 그림 7(b)의 경우보다 중간 $f_r(0.3 \sim 0.5)$ 부근에서 표시오차 RAPS(D) 첨두치 특성이 감소되나, 반면에 낮은 f_r 영역($0.0 \sim 0.3$) 및 높은 f_r 영역($0.5 \sim 0.7$)에서 특성변화가 거의 없다. 이는 임계값 변조시, 제안필터가 평탄영역의 중간조 처리에서 경계강조의 효과가 없음에 따라 Floyd의 오차확산에서 주기적 패턴이 발생하는 특성을 임계값 변조로서 감소시켜줌으로서 중간 f_r 영역인 $0.3 \sim 0.5$ 부근에서 화질특성이 개선되었음을 보여준다. 또한 랜덤잡음의 경우보다 청색잡음의 경우에 상대적으로 개선효과를 많음을 알 수 있다.



(a) half-tone image(lena)

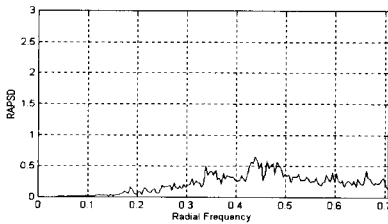


(b) RAPS(D)(display error, lena)

그림 10. 제안필터의 경계강조 특성(with RNM)



(a) halftone image(lena)



(b) RPSD(display error, lena)

그림 11. 제안필터의 경계강조 특성(with BNM)

표 1, 2는 10, 15, 20, 25 그리고 30 inch의 관측거리에서 HVS 함수를 사용하여 7x7의 저역통과 필터를 구성하고, 이의 필터로 실험대상(lena)인 중간조 영상을 복원한 후, 식(3), (8)을 사용하여 원영상과 복원한 영상간의 경계상관도와 로컬 평균 일치도를 측정된 값이다. 항목 구분은 1번이 Floyd의 오차확산법이고, 2번은 Eschbach의 경계강조법, 3번은 제안한 경계강조법, 4번과 5번은 2번의 경계강조법에 30%의 랜덤잡음 및 청색잡음 마스크로 임계값 변조를 적용한 경우이고, 6번과 7번은 3번의 제안한 경계강조법에 30%의 랜덤잡음 및 청색잡음 마스크로 임계값 변조를 적용한 경우이다.

표 1. 거리에 따른 경계상관도

항목	경계상관도(inch)				
	10	15	20	25	30
1	135.0278	93.6160	71.2865	56.9333	47.5323
2	233.5699	141.8174	98.2967	73.4194	58.4168
3	447.9514	238.4981	144.0879	96.4420	70.7186
4	208.0246	133.0915	94.9514	71.9698	57.7272
5	207.0114	132.9195	95.1265	72.2225	57.9515
6	421.69981	229.2751	140.6030	94.9070	69.9169
7	420.4083	228.7829	140.3721	94.7411	69.7614

표 2. 거리에 따른 로컬 평균 일치도

항목	로컬 평균 일치도(inch)				
	10	15	20	25	30
1	8.6775	10.3299	10.5876	10.3848	10.2246
2	0.6029	0.7055	0.7653	0.8092	0.8394
3	6.7413	10.5755	11.9803	12.4193	12.1419
4	0.6094	0.7219	0.7933	0.8398	0.8715
5	0.5960	0.7119	0.7805	0.8292	0.8631
6	8.0092	10.8757	11.8088	11.9812	11.7122
7	6.5724	9.9190	11.3169	11.7531	11.5475

표 1의 경계상관도 비교시, Floyd 기법보다 Eschbach 경계강조와 제안한 경계강조 모두 경계상관도의 특성이 높게 나타난다. 경계강조간의 비교시, 제안한 기법이 Eschbach의 경우보다 전반적으로 높은 특성을 보이고 있다. 경계강조에 30%의 랜덤잡음 및 청색잡음 마스크로 임계값 변조한 경우에 경계상관도는 약간 감소한다. 이는 중간조 영상에 존재하는 주기적 패턴을 감소시키는 특성을 얻을 수 있으므로 나름대로의 의미를 지니고 있다.

표 2에서 로컬 평균에 대한 영상의 분할 단위를 32x32 화소영역으로 하였다. Floyd 기법의 로컬 평균 일치도와 비교시, Eschbach의 경계강조는 낮은 특성을 보이고 있으나, 제안한 경계강조는 다소 높은 특성을 보여주고 있다. 이는 Eschbach의 경계강조에서는 중간조 처리에서 원영상의 평균계조도 일치에 대한 특성이 매우 낮고, 제안한 경계강조에서는 중간조 영상이 원영상의 평균계조도를 유지하고 있음을 보여준다. 경계강조에 랜덤 및 청색잡음 마스크로 임계값 변조를 추가한 경우에서 Eschbach의 경우는 상대적으로 로컬 평균 일치도의 특성이 다소 개선되는 결과를 보이고 있으나, 제안한 경계강조에서는 다소 감소되는 특성을 보여주고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 오차확산에서 원영상의 경계정보를 강조하기 위한 전처리 필터를 추가하는 방법을 제안하였다. 제안 필터는 원영상의 공간 영역(spatial domain)에 대한 수평 및 수직 방향의 2차 미분 및 이를 활용하는 필터의 가중치 함수로 구성된다. 양방향에서 얻어진 결과를 합산하고, 이들간의 크기 비율에 관련한 함수를 곱하여 최종적으로 오차확산

법의 양자화기에 입력되는 신호에 추가하여 경계를 강조한다.

제안 필터의 특성분석에서, Eschbach^[7]의 경계강조법보다 경계가 시각적으로 선명한 중간조 영상을 확인할 수 있었다. 표시오차 RAPSD 특성에서 제안 필터는 평탄영역과 경계영역의 특성이 양호한 결과가 제시됨을 확인하였다. 또한 표 1의 경계상관도 결과에서 경계 영역의 재현성이 개선되고 있음을 객관적으로 확인하였다. 한편으로 로컬 평균 일치도 결과의 고찰에서, 제안한 경계강조는 공간 영역의 평균 계조도를 정상적으로 유지하면서, 경계강조를 위한 경계영역을 선별적으로 처리하는 효과를 제시함을 표 2에서와 같이 객관적으로 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [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. Crounse, 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 Continues-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] J. H. Kim, T. I. Chung, H. S. Kim, K. S. Son, and Y. S. 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.

강 태 하(Tae-Ha Kang) 정회원
한국통신학회지 논문지 제25권, 제3B호 참조

황 범 원(Byong-Won Hwang) 정회원
한국통신학회지 논문지 제25권, 제3B호 참조