

전처리 필터를 추가한 오차확산 하프토닝 영상의 에지 특성

(Edge Characteristic of Error Diffused Halftoning Image with Pre-filter)

姜泰夏*, 黃秉元*

(Tae-Ha Kang and Byong-Won Hwang)

요 약

오차확산 하프토닝 기법은 연속계조 영상을 이진영상으로 생성시 우수한 재현성을 보인다. 그러나 표시오차의 특성분석에서 경계정보의 재현성이 다소 떨어지는 특성을 보인다. 이러한 경계정보의 재현성 개선하기 위해 전처리 필터를 적용하는 오차확산 기법을 제안한다. 제안한 전처리 필터는 원영상의 수평 및 수직 방향의 미분값, 필터의 가중치 함수로 구성된다. 첫째, 원영상의 수평 및 수직 방향의 미분값은 현재 화소를 중심으로 하여 3×3 인접화소에 Sobel 연산자를 적용시켜 얻는다. 둘째, 필터의 가중치 함수는 미분값의 크기를 포함하는 함수와 미분값의 부호로 구성된다. 제안한 기법을 적용한 하프토닝 영상은 경계가 강조되어 시각적으로 선명한 결과를 보인다. 원영상과 오차확산된 하프토닝 영상과의 차이(표시오차)를 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도를 이용하여 기존의 경계강조 오차확산 알고리즘과 비교한다.

Abstract

The error diffusion algorithm is good for reproducing continuous image to binary image. However the reproduction of edge characteristic is weak in power spectrum analysis of display error. In this paper, an error-diffusion method which include pre-filter algorithm for edge characteristic enhancement is proposed. Pre-filter algorithm is organized horizontal and vertical directional differential value and weighting function of pre-filter. First, it is obtained the horizontal and vertical differential value from the peripheral pixels in original image using 3x3 Sobel operator. Secondly weighting function of pre-filter is composed by function including absolute value and sign of differential value. The improved Error diffusion algorithm using pre-filter, present a good result visually which edge characteristic is enhanced. The difference between original image and halftoning image is compared with edge-enhanced error diffusion algorithm by measuring the radially averaged power spectrum density.

I. 서 론

영상의 출력장치에서 제한된 종류의 계조 및 칼라를 사용하는 경우가 있다. 예를 들어 프린터, 팩스 등의 이

진처리와 전계발광 표시장치(ELD), 평판(flat panel) 표시장치 및 CRT 등에서 기술적/경제적 이유로 영상 표현을 위한 계조 개수가 제한되는 경우에 효과적인 디스플레이 방법이 요구된다. 이 처리기법을 하프토닝(halftoning)이라 한다. 이는 연속계조 영상에서 이진영상을 생성하는 처리로서, 일정한 거리에서 관측시 원영상과 유사하게 보이도록 하는 기법이다. 이들 처리기법은 다양한 알고리즘으로 제시되고 있다. 그중에서 우수한 특성을 보이는 오차확산(error diffusion) 기법은 현재 화소를 양자화할 때 발생하는 오차를 추후의 처

* 正會員, 韓國航空大學校 電子工學科

(Dept. of Avionics Engineering, Hankuk Aviation University)

接受日字:1999年10月11日, 수정완료일:2000年5月24.

리를 위한 주변화소들에 적절히 분산시켜 평균 오차를 영으로 만드는 방법으로서, Floyd와 Steinberg^[1]에 의해 제안되었다.

오차확산 하프토닝 알고리즘의 오차확산 필터는 원 영상의 평균계조도(즉 dc 성분)를 유지하기 조건하에서 설계되므로, 이를 사용하여 처리된 이진영상은 고주파 성분을 포함하는 경계(edge) 정보의 열화를 수반하게 된다^[2]. 따라서 하프토닝 영상은 다음의 상호 배타적인 특성을 갖는다. 즉, 평균계조도를 정확하게 유지하기 위해서는 표시오차 전력 스펙트럼의 dc 성분을 영으로 해야하는 반면, 경계정보의 보존을 위해서는 표시오차의 고주파 전력 스펙트럼을 최소화하여야 한다.

오차확산에 기반한 하프토닝의 주요 연구동향은 오차 확산 필터의 변형된 설계^[3]와 지역적(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 줌으로서 경계를 강조하는 방법이다.

본 논문은 경계강조를 위한 오차확산법에 관련한 연구로서, 오차확산 처리된 하프토닝 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 미분값, 필터의 가중치 함수로 구성된다. 첫째, 원영상의 수평 및 수직 방향의 미분값은 현재 화소를 중심으로 하여 3×3 인접화소에 Sobel 연산자를 수평 및 수직방향으로 각각 적용하여 얻는다. 둘째, 필터의 가중치 함수는 미분값의 크기를 포함하는 함수와 미분값의 부호로 구성된다. 최종적으로 양방향에서 얻어진 전처리의 출력값을 합산한 후, 이들간의 크기 비율에 관련한 함수를 곱하여 최종적으로 오차확산법의 양자화에 입력되는 신호에 추가하여 경계를 강조한다. II장에서는 특성비교를 위한 환상 평균 전력 스펙트럼 함수에 대하여 설명하였다. III장에서는 본 논문에서 제안한 전처리 필터의 알고리즘에 대하여 설명하였다. IV장에서는 제안한 기법과 기존의 경계강조 기법^[8]의 특성을 비교하였고, V장에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시

하였다.

II. 환상 평균 전력 스펙트럼

일정한 밝기값을 가진 이진 영상의 바람직한 패턴은 방향성 결함(artifacts)이 없는 것으로서, 방사상 대칭인 경우이다. 이것을 판별하기 위한 방법의 하나로써 전력 스펙트럼(power spectrum) 특성을 사용하고 있다. 전력 스펙트럼은 이진 영상의 2차원 푸리에 변환(Fourier transform)을 수행하고, 그 결과의 진폭을 자승한 후, 샘플의 크기로 나누어 2차원 함수의 전력 스펙트럼($P(f)$)을 구한다. $P(f)$ 는 3차원의 그림으로 표현되는데, 이를 주파수별 특성을 보다 효율적으로 고찰하기 위해 그림 1.에서와 같이 일정한 폭 Δ 의 환상 고리 모양으로 전력 스펙트럼을 분할하여 1차원의 함수로 표현할 수 있다. 이를 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도(radially averaged power spectrum density : RAPSD)이라 한다^[9,10].

본 논문에서는 오차확산법에서 원영상의 밝기값에 대한 수평 및 수직방향으로 변화율의 특성을 활용하는 방법으로 전처리 필터를 구성하였다. 그러므로 공간영역에서 일정한 밝기값으로 표현되는 평탄영역에 대한 오차확산 처리시, 전처리 필터의 효과는 발생하지 않는다. 이에 따라 전처리 필터의 특성을 살펴보기 위해 원영상과 오차확산된 이진영상간의 차이, 즉 이를 표시오차(display error)라 정의하고, 이들 값을 사용하여 평균 전력 스펙트럼 밀도의 함수로 표현하여 특성을 비교한다.

샘플 크기가 NxM인 임의의 원영상을 $x(i, j)$, 오차확산된 이진영상을 $y(i, j)$ 이라 할 때, 2차원 푸리에 변환을 $\tau \cdot]$ 으로 나타낸다면, 전력 스펙트럼 밀도는 식 (1)과 같다.

$$P(u, v) = \frac{1}{MN} |\tau[x(i, j) - y(i, j)]|^2 \quad (1)$$

전력 스펙트럼의 중심을 기준으로 설정하여 그림 1과 같이 일정한 폭 Δ 의 환상고리 모양으로 분할한다. 여기서 환상 주파수(radial frequency)는 f_r 로서, 환상 고리의 중심(0)으로부터 $1/\sqrt{2}$ 까지의 값을 갖는다. 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도 $P_r(f_r)$ 는 폭 Δ 의 환상고리 영역으로 분할된 각 고리내의 전력 스펙트럼을 합산하고 해당 주파수 구간의 샘플 개수로 나누어 얻어

지는 평균으로 식 (2)와 같이 정의한다.

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

여기서 $N_r(f_r)$ 은 각 환상고리에 포함되어 있는 주파수 샘플의 개수이다.

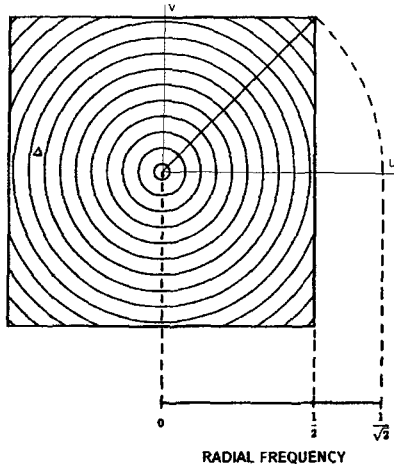


그림 1. 전력 스펙트럼의 분할

Fig. 1. Segmentation of the power spectrum.

III. 전처리 필터를 추가한 오차확산 알고리즘

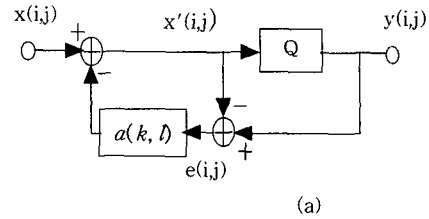
오차확산 기법의 기본개념은 현재 화소의 양자화 오차를 아직 양자화되지 않은 주변 화소들에 적절히 분산시키는 기법으로서, Floyd 와 Steinberg^[11]가 제안한 알고리즘이다. 이는 그림 2와 같이 표현된다. 그림 2(a)에서 $x(i, j)$ 와 $y(i, j)$ 는 화소 (i, j) 에서 입력과 이진 출력신호이다. 여기서 $y(i, j)$ 는 0 또는 1의 이진값을 갖는다고 가정하고 $x(i, j)$ 는 $[0, 1]$ 범위의 값을 갖는다고 한다. 오차 확산 알고리즘은 다음의 수식으로 표현된다.

$$x'(i, j) = x(i, j) - \sum_{k,l} a(k, l)e(i-k, j-l) \quad (3)$$

$$y(i, j) = 1, \quad \text{if } x'(i, j) \geq 1/2; \\ 0, \quad \text{otherwise} \quad (4)$$

$$e(i, j) = y(i, j) - x'(i, j) \quad (5)$$

여기서 $x'(i, j)$ 는 원영상과 양자화 오차를 확산필터로 처리된 값과의 차이이고, $e(i, j)$ 는 양자화 오차이며, $a(k, l)$ 는 주변화소인 (k, l) 방향으로 오차를 전파하기



	●	7/16
3/16	5/16	1/16

(b)

그림 2. Floyd & Steinberg 오차확산 알고리즘

(a) 블록도 (b) 필터 계수

Fig. 2. Floyd & Steinberg's error diffusion algorithm

(a) Block diagram (b) filter coefficients

위한 오차확산 필터로 계수들은 그림 2(b)로 표현된다. 그림 2(b)에서 ● 표시는 현재의 화소 위치를 의미한다. 식 (3)을 식 (5)에 대입하여 주파수영역에서 표현하면 다음 수식과 같다^[9].

$$Y(u, v) = X(u, v) + F(u, v)E(u, v) \quad (6)$$

여기서 $F(u, v)$ 는 Floyd 가 제안한 계수들의 항으로 표현되는 고역통과 필터와 같다^[9].

$$F(u, v) = 1 - \sum_{k,l} a(k, l) \exp[-i(uk + vl)] \quad (7)$$

따라서 식 (6)에서 이진 영상은 입력화소 밝기값에 고역통과한 오차가 더해짐을 알 수 있다.

임계값변조 오차확산법은 식 (4)의 1/2로 표현되는 임계값을 상수로 두지 않고, 공간영역에서 처리되는 화소에 따라 변화하도록 하여 특정한 목적에 이용하는 오차확산 이진화 기법이다. Knox 와 Eschbach 는 오차확산법에서 임계값을 변화시키는 효과를 등가영상 개념을 사용하여 수학적으로 분석하였다^[11]. 등가영상 $X_e(u, v)$ 를 식 (8)과 같이 입력영상과 임계값으로 표현하였다.

$$X_e(u, v) = X(u, v) + F(u, v)T(u, v) \quad (8)$$

즉, 오차확산 기법에서 임계값을 변화시키는 효과는 입력영상과 임계값을 $F(u, v)$ 로 필터링한 값과의 합을 입력영상으로 구성한다면, 고정된 임계값을 갖는 표준 오차확산 기법과 동일하다. 임계값 $T(u, v)$ 를 적절히 선정함으로써 원하는 이진영상을 얻을 수 있게 된다.

경계강조 오차확산 기법은 임계값을 입력영상을 사용하여 변조한 것이다. 즉, 임계값 $T(u, v)$ 를

$$T(u, v) = cX(u, v) \quad (9)$$

로 한 것인데, 이를 식 (8)에 대입하면

$$X_c(u, v) = (1 + cF(u, v))X(u, v) \quad (10)$$

이고, 등가영상 $X_c(u, v)$ 는 입력영상을 c 값에 따라서 필터링한 것이 된다. $c > 0$ 인 경우 입력영상을 고역통과한 것이 등가영상이 되고 이 등가영상을 표준 오차확산하는 것이 되어 경계를 강조하는 효과를 갖게 된다.

본 논문에서는 그림 3과 같이 Knox가 제안한 개념하에서 기존의 오차확산 알고리즘에 전처리 필터를 첨가한 시스템을 구성하였다. 전처리 필터는 원영상의 수평 및 수직 방향의 미분값, 필터의 가중치 함수로 구성된다. 첫째, 원영상의 수평 및 수직의 미분값은 현재 화소를 중심으로 하여 3×3 인접화소에 Sobel 연산자를 수평 및 수직방향으로 각각 적용하여 얻는다. 둘째, 필터의 가중치 함수는 미분값의 크기를 포함하는 함수와 미분값의 부호로 구성된다. 최종적으로 양방향에서 얻어진 전처리의 출력값을 합산한 후, 이들간의 크기 비율에 관련된 함수를 곱하여 최종적으로 오차확산법의 양자화기에 입력되는 신호에 추가하여 경계를 강조한다. 그림 2의 시스템에서는 $x'(i, j)$ 가 식 (3)과 같이 양자화기에 입력되는 반면, 그림 3의 시스템에서는 $x''(i, j)$ 가 식 (11)과 같이 양자화기에 입력된다. 여기서 오차확산 필터로의 입력 $e(i, j)$ 는 식(5)와 동일하다.

$$x''(i, j) = x'(i, j) + P(i, j) \quad (11)$$

여기서 S_i 와 S_j 는 원영상에서 공간영역의 경계 특성을 강조하기 위한 Sobel 연산자로서, 첨자 i 와 j 는 수평 및 수직방향을 의미한다. 이는 원영상을 공간영역의 밝기값에 대하여 미분한 형태로서, 이의 처리결과는 평탄영역에서는 0의 값, rising edge 에서는 음의 값을 가지며, falling edge에서는 양의 값을 갖는다. S_i 와 S_j 는 공간영역의 밝기값이 평탄한 영역에서 0의 값을 가지므로, 이를 오차확산 알고리즘에 추가하여 경계강조 처리를 수행할 경우에, 낮은 전력 스펙트럼 영역에서 표준 오차확산법과 동일한 특성을 갖게 되어, 이진화된 영상의 평균 계조도는 원영상과 근사한 특성을 갖게 된다. 여기서 사용하는 Sobel 연산자는 그림 4에서 보

인다.

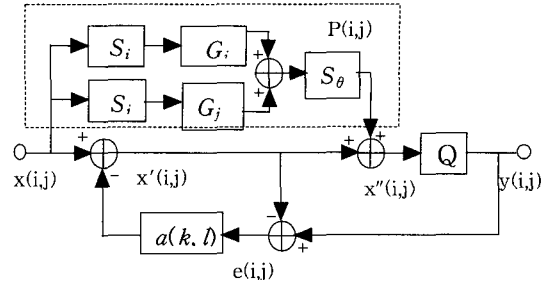


그림 3. 전처리 필터를 추가한 오차확산 알고리즘
Fig. 3. Error diffusion algorithm with prefilter.

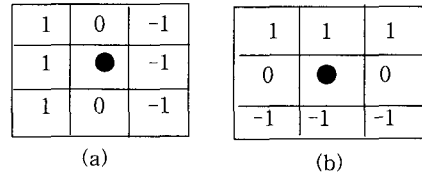


그림 4. Sobel 연산자 (a) S_i (b) S_j
Fig. 4. Sobel operator (a) S_i (b) S_j

G_i 와 G_j 는 수평 및 수직방향의 가중치 함수를 의미한다. 이의 가중치 함수를 별도로 설정한 것은 본 논문에서 사용하는 Floyd 와 Steinberg의 필터계수에서 수평방향의 가중치(7/16)가 수직방향의 가중치(5/16)보다 오차의 전파비중이 커서 과도한 경계의 특성을 초래할 가능성이 있으므로 전처리 필터 추가시에 이를 고려하도록 구분하였다. 또한 S_θ 를 추가한 것은 G_i 와 G_j 의 가중치함수 계수를 증대시켜 경계강조 효과를 크게 증대시키고자 할 때, 수평과 수직의 처리결과 합산에서 대각선 방향(45도 및 135도)으로 과도한 특성의 발생을 방지하기 위한 설정이다. 점선으로 표시된 부분이 본 논문에서 제시하는 전처리 알고리즘으로서, 통합하여 식 (11)과 같이 $P(i, j)$ 라 표현한다. 그림 4에서 ● 표시된 부분이 현재의 화소위치 (i, j) 를 의미한다. 위의 Sobel 연산자를 수식으로 표현하면 식 (12)와 식 (13)과 같다.

$$S_i = \sum_{k=-1}^{k=+1} x(i+k, j-1) - \sum_{k=-1}^{k=+1} x(i+k, j+1) \quad (12)$$

$$S_j = \sum_{r=-1}^{r=+1} x(i-1, j+r) - \sum_{r=-1}^{r=+1} x(i+1, j+r) \quad (13)$$

$$G_i = \frac{a_i}{1 + b_i \times |S_i|} \quad (14)$$

$$G_i = \frac{a_i}{1 + b_i \times |S_i|} \quad (15)$$

$$S_\theta = \left(\frac{1-w}{2}\right) \times \cos(4\theta) + \left(\frac{1+w}{2}\right) \quad (16)$$

$$P(i, j) = [S_i \times G_i + S_j \times G_j] \times S_\theta \quad (17)$$

식 (14)와 식(15)는 가중치 함수를 의미하며, 계수 a_i, a_j 및 b_i, b_j 는 경계강조의 특성을 조절하기 위하여 설정하였다. 식 (16)의 S_θ 는 인간의 시각체계 모델(HVS)에서 각도 변화에 따른 특성을 부여하는데 사용되는 함수로서, $S_i \times G_i$ 와 $S_j \times G_j$ 의 합산 처리시, 45도 및 135도 방향의 경계강조 특성이 과도하게 발생하는 것을 방지하기 위하여 추가하였다. θ 의 값은 수평 필터의 절대값, $|S_i \times G_i|$ 와 수직 필터의 절대값을 $|S_j \times G_j|$ 로 사용하여 이들간의 크기 비율로 얻어진다. 그리고 w 의 값은 0.7을 적용하였다. 식 (17)의 전처리 필터 특성은 그림 5와 같은 주파수 응답 특성을 갖는다.

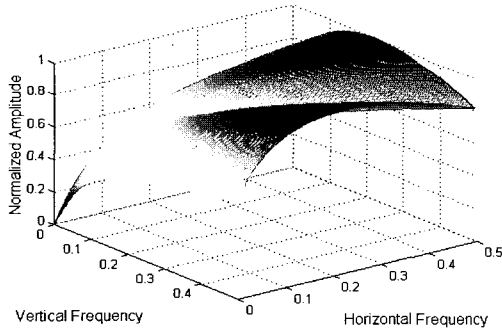


그림 5. 필터의 주파수 응답
Fig. 5. Frequency response of filter.

IV. 실험 및 고찰

Floyd 와 Steinberg^[1]가 제안한 오차확산 알고리즘을 lena 영상과 peppers 영상에 적용하여 얻어진 이진영상 모습, 원영상과 이진영상간의 차이인 표시오차에 대한 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도를 그림 6에서 보인다.

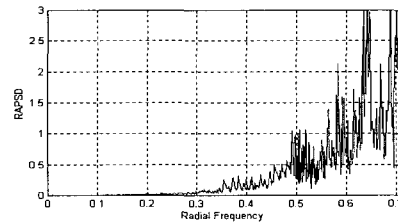
그림 6의 (c)와 (d)를 살펴보면, 낮은 전력 스펙트럼을 표현하는 환상 주파수가 0~0.3인 부근은 RAPSD가 거의 발생하지 않아 오차확산 필터의 특성에서 원영상의 평균 계조도(dc 성분)를 적절히 표현하고 있음을 보여주고 있다. 높은 전력 스펙트럼을 표현하는 환상 주



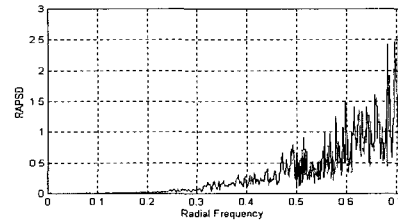
(a) halftone image(lena)



(b) halftone image(peppers)



(c) RAPSD(display error, lena)



(d) RAPSD(display error, peppers)

그림 6 Floyd 와 Steinberg의 하프토닝 영상 특성
Fig. 6. Floyd & Steinberg's halftone image characteristics.

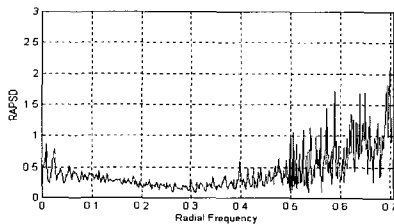
파수가 높은 부분인 0.5~0.7에서 표시오차의 환상 평균 전력 스펙트럼이 집중되어 나타남을 알 수 있다. 이



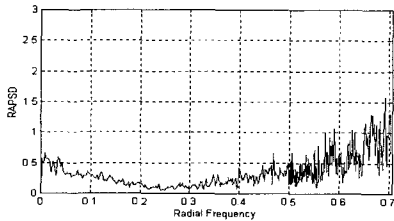
(a) halftone image(lena)



(b) halftone image(peppers)



(c) RAPSD(edge-enhanced, lena)



(d) RAPSD(edge-enhanced, peppers)

그림 7. Kim^[8] 기법의 하프토닝 영상 특성(K=3)
Fig. 7. Kim^[8]'s halftone characteristics(K=3).

는 경계 영역이 높은 전력 스펙트럼으로 표시됨을 감안할때, 표준 오차확산 기법은 경계부의 표현능력에서 상대적으로 낮은 경계 재현성을 지니는 특성을 보여주고 있다.

그림 7은 Kim^[8]에서 개선한 경계강조 오차확산 기법(K=3 적용)을 사용하여 오차확산을 수행하였을 때의 이진 영상 모습과 원영상과 이진영상간의 차이에 대한 표시오차를 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도의 분포로 얻은 모습을 보인다. 그림 7 (a)와 (b)를 그림 6의 경우와 시각적인 관점에서 비교시 경계영역의 특성이 상당히 강조되어 표현됨을 알 수 있다. 그림 7의 (c)와 (d)는 원영상과 경계강조 기법으로 오차확산 처리된 이진영상간의 표시오차를 사용하여 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도를 얻은 모습이다. 이의 결과를 살펴보면, 고주파의 전력 스펙트럼 영역인 0.5~0.7 부근에서 표시오차의 전력 스펙트럼이 그림 6의 경우보다 상당히 낮은 특성을 보여주고 있다. 이는 경계강조의 특성이 반영되어 나타난 결과를 보여주는 것으로, 경계 영역을 표현하는 높은 주파수 대역에서 표시오차의 전력 스펙트럼이 낮게 나타나 경계영역의 재현성이 개선됨을 보인다. 반면에 낮은 주파수 대역에서도 표시오차의 전력 스펙트럼이 발생하는 특성을 보인다.

본 논문에서 제안한 전처리 필터를 적용한 경우의 특성분석을 위하여 하프토닝 영상의 출력과, 원영상과 제안한 알고리즘을 적용하여 얻어진 이진 영상간의 표시오차에 대한 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도의 특성을 고찰한다. 여기서는 가중치 함수 G_i 와 G_j 에서 계수 a_i, a_j 및 b_i, b_j 값의 변화에 대한 특성을 보기 위하여 2종류의 출력을 보인다. 그림 8에서는 $a_i = a_j = 1.25$ 와 $b_i = b_j = 0.02$ 의 값을 제공하고 오차확산 처리를 수행한 후 얻어진 이진 영상과 표시오차에 대한 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도를 보인다. 그림 8의 (a)와 (b)의 전처리 필터를 추가하여 오차확산 처리된 이진 영상은 표준의 오차확산 기법을 적용하여 얻어진 영상보다 경계 영역이 강조된 모습을 보여주고 있으며, 그림 8 (c)와 (d)의 표시오차에 대한 RAPSD 에서도 낮은 주파수 대역인 0~0.3 부근은 전력 스펙트럼이 그림 6 (c)와 (d)의 표준 오차확산 기법에서와 같은 유사한 특성을 보이면서, 높은 주파수 대역인 0.5~0.7 부근에서는 그림 6의 경우보다 상대적으로 감소되었음을 보여주고 있다. 이는 제안한 전처리 필터를 적용한 경우에서 낮은 전력 스펙트럼을 지니는 평탄 영역에서는 표준의 오차확산 기법의 특성을 그대로 유지하면서, 높은 전력 스펙트럼으로 나타나는 경계 영역의 재현성이 개선되는 특성을 보여주고 있음을 알 수 있다.



(a) halftone image(lena)



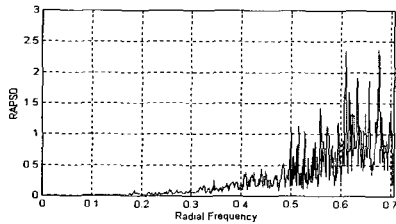
(a) halftone image(lena)



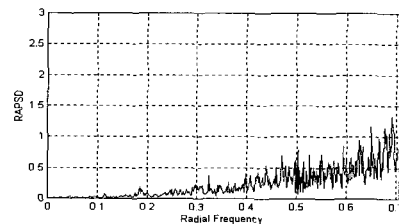
(b) halftone image(peppers)



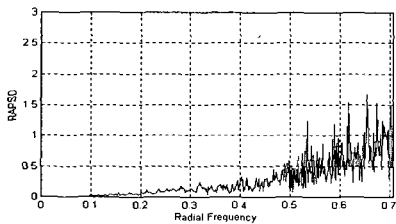
(b) halftone image(peppers)



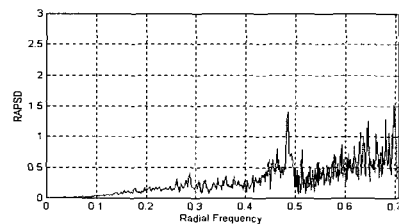
(c) RAPSD(with pre-filter, lena)



(c) RAPSD(with pre-filter, lena)



(d) RAPSD(with pre-filter, peppers)



(d) RAPSD(with pre-filter, peppers)

그림 8. 제안한 전처리 필터 적용시의 하프토닝 영상 특성(1)

Fig. 8. halftone image characteristics with proposed prefilter(1).

그림 9. 제안한 전처리 필터 적용시의 하프토닝 영상 특성(2)

Fig. 9. halftone image characteristics with proposed prefilter(2)

그림 9는 가중치 함수 G_i 와 G_j 에서 계수 a_i, a_j 및 b_i, b_j 값을 $a_i = a_j = 2.5$ 와 $b_i = b_j = 0.02$ 를 제공하여

전처리 필터를 구성하여 오차확산 처리를 수행하고 얻어진 이진 영상의 모습과 표시오차에 대한 환상 평균

전력 스펙트럼 밀도의 특성을 보인다. 그림 9의 (a)와 (b)는 전처리 필터의 가중치 함수의 계수를 그림 8의 경우보다 크게 하여 오차확산 처리된 이진 영상으로서, 그림 8의 경우에서 얻어진 영상보다 경계 영역이 더욱 강조된 모습을 보여주고 있으며, 그림 9 (c)와 (d)의 표시오차에 대한 RAPSD 에서도 낮은 주파수 대역인 0~0.3 부근은 전력 스펙트럼이 그림 6 (c)와 (d)의 표준 오차확산 기법에서와 같이 유사한 특성을 보여주고 있으나 약간 증가하는 경향을 보인다. 높은 주파수 대역인 0.5~0.7 부근에서는 그림 8의 경우보다 상대적으로 감소되었음을 보여주고 있다. 그림 8과 그림9의 결과에 대한 특성과 그림 7의 Kim^[8]이 개선한 경계강조 오차확산 기법을 적용하여 얻어진 결과의 특성을 살펴볼 때, 알고리즘의 구성에 대한 관점에서 보면, Kim^[8]의 경계강조 오차확산 기법은 원영상의 특성을 직접 활용하여 경계 영역을 강조하는 방법을 사용한 반면, 본 논문에서 제안한 방법은 원영상의 공간 영역(spatial domain)에 대한 변화율을 활용하여 구성된 전처리 필터를 구성한 것이다. 처리 결과에 대한 특성을 비교시, Kim^[8]이 개선한 경계강조 기법은 표시오차에 대한 특성에서 높은 주파수 영역인 0.5~0.7 부근의 전력 스펙트럼이 감소되어 경계의 재현성이 증대되는 특성을 보여주고 있으나, 낮은 주파수 영역인 0~0.3 부근의 전력 스펙트럼 영역에서도 표시오차의 RAPSD 특성이 발생하고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 제안한 전처리 필터를 적용하여 얻어진 특성을 그림 8과 그림 9의 결과로 고찰시, 낮은 전력 스펙트럼으로 표현되는 평탄 영역에서는 표준의 오차확산 기법의 특성을 유지하면서, 높은 전력 스펙트럼으로 표현되는 경계 영역의 재현성이 개선되는 특성을 보여주고 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 기존의 Floyd와 Steinberg 오차확산 알고리즘을 기반으로 하여, 원영상의 경계정보를 강조하기 위한 전처리 필터를 추가하는 방법을 제안하였다. 제안한 전처리 필터는 원영상의 공간 영역(spatial domain)에 대한 수평 및 수직 방향의 미분값, 필터의 가중치 함수로 구성된다. 첫째, 원영상의 수평 및 수직 방향의 미분값은 현재 화소를 중심으로 하여 3×3 인접화소에 Sobel 연산자를 수평 및 수직방향으로 각각 적용하여 얻는다. 둘째, 필터의 가중치 함수는 미분값의

크기를 포함하는 함수와 미분값의 부호로 구성된다. 최종적으로 양방향에서 얻어진 전처리의 출력값을 합산한 후, 이들간의 크기 비율에 관련한 함수를 곱하여 최종적으로 오차확산법의 양자화기에 입력되는 신호에 추가하여 경계를 강조한다.

제안한 전처리 필터를 적용한 결과의 특성분석에서, Kim^[8]의 경계강조 오차확산 알고리즘과의 비교시, 경계가 강조되어 시각적으로 선명한 이진 영상의 모습을 확인할 수 있었다. 원영상과 오차확산 처리된 이진 영상간의 차이를 표시오차로 설정하고, 이를 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도의 분포로 비교하였을 때, 제안한 전처리 필터를 적용한 경우와 Kim^[8]의 경계강조 오차확산 알고리즘을 적용한 경우에서, 경계영역의 특성이 포함되는 높은 주파수 대역인 0.5~0.7 부근의 전력 스펙트럼 특성이 Floyd의 표준 오차확산 기법의 경우보다 제안한 전처리 필터를 적용한 경우와 Kim의 경계강조 오차확산법 모두에서 상당히 감소되는 결과를 보여주고 있다. 이는 경계강조의 특성이 반영되어 경계 영역의 재현성이 개선되고 있음을 객관적으로 확인됨을 알 수 있다. 한편으로 공간 영역에서 평탄한 밝기값을 지니는 영역에 대한 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도는 낮은 주파수 영역으로 분포되는데, 이에 대한 표시오차 RAPSD 분포를 그림 7에 나타낸 Kim의 경계강조 오차확산 기법에서는 전체 주파수 대역에서 표시오차 RAPSD가 분포하는 특성을 보이고 있으나, 제안한 전처리 필터를 적용한 오차확산 기법에서는 낮은 주파수 영역인 0~0.3 부근은 그림 6의 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 대한 평균 계조도를 정상적으로 유지하면서, 경계강조를 위한 영역만을 선별적으로 강조하는 효과를 제시하고 있음을 확인할 수 있었다.

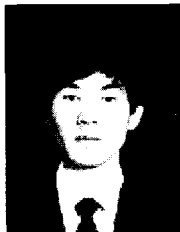
본 논문에서는 오차확산 기법의 경계강조를 위한 전처리 필터에 대한 특성을 제시하는 것으로서, 오차확산된 이진 영상에서 내재하는 방향성 결함(artifacts)의 감소 특성은 포함하고 있지 않다. 보다 나은 알고리즘의 설계를 위해 기존에 제시되고 있는 방향성 결함의 감쇄 기법과 제안한 전처리 필터와 결합하여 특성을 개선하는 연구, 전처리 필터 자체의 보완에 대한 연구 등을 수행하여야 할 것이다. 실험과정에서 고찰시, 전처

리 필터의 가중치 함수의 계수 (a_i, a_j)를 다소 증가시킬 경우에는 오차확산된 이진 영상에서 경계정보의 특성이 개선되나, lena 영상의 경우에 경계강조의 특성이 과도하게 부각되는 상반되는 결과를 보여주고 있다. 이에 따라 최적의 경계강조의 재현성을 위한 전처리 필터의 적용방법에 대한 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

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. 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, pp. 2424-2444, Dec. 1998.
- [11] K. T. Knox and R. Eschbach, "Threshold modulation in error diffusion," Journal of Electronic Imaging, Vol. 2, pp. 185-192, July 1993.

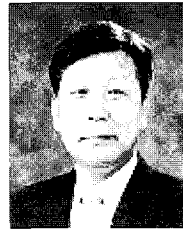
저 자 소 개



姜泰夏(正會員)

1985년 한국항공대학교 항공통신공학과 학사. 1987년 한국항공대학교 항공전자공학과 석사. 1995년 3월 ~ 현재, 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 박사과정. 관심분야 : 영상 디스플레이, 패턴인식, 동영상

신호처리



黃乘元(正會員)

1972년 한국항공대학교 항공전자공학과 학사. 1981년 동경대학 전기공학과 석사. 1984년 동경대학 전기공학과 박사. 1984년 5월 ~ 1985년 3월 국방과학연구소 선임연구원. 1993년 8월 ~ 1994년 8월 동경대학 전기공학과 교환교수. 1985년 8월 ~ 현재, 한국항공대학교 항공전자공학과 교수. 관심분야 : 영상처리 및 영상인식, 동영상 신호처리, 교통류 제어.