

원영상의 로컬 평균을 이용한 경계강조 오차확산법

강 태 하[†] · 황 병 원^{††}

요 약

오차확산법은 연속계조 영상을 중간조 영상으로 생성시 우수한 재현성을 보인다. 그러나 표시오차의 전력스펙트럼 분석에서 경계정보의 재현성이 다소 떨어지는 특성을 보인다. 이를 개선하기 위해 원영상의 현재화소와 로컬 평균간의 차이정보를 이용하는 경계강조 오차확산법을 제안한다. 제안한 기법은 원영상의 현재화소와 로컬 평균과의 차이정보 및 이를 활용하는 필터의 가중치 함수로 구성된다. 첫째, 원영상의 차이정보는 현재 화소와 이의 인접화소(5x5)의 로컬 평균과의 차이이다. 둘째, 필터의 가중치 함수는 차이정보의 크기를 포함하는 함수와 이의 부호로 구성된다. 제안한 기법을 적용한 중간조 영상은 경계가 강조되어 시각적으로 선명한 결과를 보인다. 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도를 이용한 표시오차, 경계상관도 및 로컬 평균 일치도의 평가함수로 제안한 경계강조 오차확산법과 기존의 경계강조 오차확산법의 특성을 비교한다.

Edge Enhanced Error Diffusion based on Local Average of Original Image

Tae-Ha Kang[†] · Byong-Won Hwang^{††}

ABSTRACT

The error diffusion method 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, we present an edge-enhanced error-diffusion method which include pre-processing algorithm for edge characteristic enhancement. Pre-processing algorithm consists of the difference value between current pixel and local average of original image and weighting function of pre-filter. First, it is obtained the difference value between current pixel and the local average of peripheral pixels(5x5) in original image. Second, weighting function of pre-filter is composed by function including absolute value and sign of difference value. The improved Error diffusion algorithm using pre-processing algorithm, present a good result visually which edge characteristic 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.

1. 서 론

영상의 출력장치에서 제한된 종류의 계조 및 칼라를 사용하는 경우가 있다. 예를 들어 프린터, 팩스 등의 중간조 신호 처리장치에서 기술적/경제적 이유로 영상

표현을 위한 계조 개수가 제한되는 경우에 효과적인 표시 방법이 요구된다. 이와 관련된 처리기법을 하프 토닝(halftoning)이라 한다.

이는 연속 계조 영상을 중간조 영상으로 생성하는 처리로서, 일정한 거리에서 관측시 원영상과 유사하게 보이도록 하는 기법이다. 이들 처리기법은 다양한 알고리즘으로 제시되고 있다. 그중에서도 우수한 특성을 보이는 오차확산(error diffusion)법은 현재 화소를 양

† 정 회 원 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과

†† 정 회 원 : 한국항공대학교 항공전자공학과 교수

논문접수 : 2000년 5월 17일, 심사완료 : 2000년 8월 3일

자화시 발생하는 오차를 추후의 처리를 위한 주변화소들에 적절히 분산시켜 평균 오차를 영으로 만드는 방법으로서, Floyd와 Steinberg[1]에 의해 제안되었다.

오차확산법의 오차확산 필터는 원영상의 평균계조도(즉 dc 성분)를 유지하는 조건하에서 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, 평균계조도를 정확하게 유지하기 위해서는 표시오차 전력 스펙트럼의 dc 성분을 영으로 해야하는 반면, 경계정보의 보존을 위해서는 표시오차의 고주파 전력 스펙트럼을 최소화하여야 한다.

오차확산법의 주요 연구동향은 오차확산 필터의 변형된 설계[3]와 로컬(local) 오차를 최소화하도록 필터 계수를 적용적으로 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 중간조 영상을 얻기 위한 경계강조 오차확산법은 Eschbach[7] 등에 의해 제안되고, Kim[8]에 의해 개선되었다. 이 기법은 현재화소의 밝기값과 확산되는 오차값을 더하는 과정에서 현재화소에 가중값을 줌으로서 경계를 강조하는 방법이다.

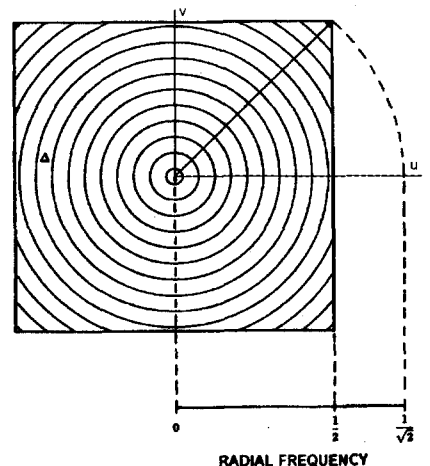
본 논문은 경계강조를 위한 오차확산법에 관련한 연구로서, 오차확산의 중간조 영상에 내재된 고주파 성분 영역인 경계부의 공간정보 열화를 개선하기 위한 전처리 필터를 제안하였다. 제안하는 필터는 원영상의 공간 영역에 대한 로컬 평균과 현재 화소와의 차이값 및 이를 활용하는 필터의 가중치 함수로 구성된다. 첫째, 원영상의 현재 화소와 로컬 평균과의 차이값은 현재 화소를 중심으로 하여 5x5의 인접화소에서 원영상의 로컬 평균을 구하고, 이 값과 현재화소의 밝기값의 차이로 얻는다. 둘째, 필터의 가중치 함수는 차이정보의 크기를 포함하는 함수와 이의 부호로 구성된다. 최종적으로 이를 오차확산법의 양자화기에 입력되는 신호에 추가하여 경계를 강조한다. 2장에서는 특성비교를 위한 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도를 이용한 표시오차, 경계상관도 및 로컬 평균 일치도 함수에 대하여 설명하였다. 3장에서는 본 논문에서 제안한 전처리 필터의 알고리즘에 대하여 설명하였다. 4장에서는 제안한 기법과 기존의 경계강조 기법[8]의 특성을 비교하였고, 5장에서 결론을 제시하였다.

2. 중간조 영상의 화질평가방법

중간조 영상의 화질평가를 객관적으로 수행하기 위하여 원영상과 중간조 영상간의 경계부를 정확하게 표현하는가를 측정하는 방법과 이들간의 로컬 평균이 얼마나 일치하는가를 측정하는 방법이 사용되고 있다[12].

2.1 표시오차에 대한 환상 평균 전력 스펙트럼

일정한 밝기값을 가진 중간조 영상의 바람직한 패턴은 방향성 결함(Artifacts)이 없는 것으로서, 방사상 대칭인 경우이다. 이를 판별하기 위하여 전력 스펙트럼 특성을 사용하고 있다. 전력 스펙트럼은 중간조 영상의 2차원 푸리에 변환을 수행하고, 그 결과의 진폭을 자승한 후, 샘플의 크기로 나누어 2차원 함수의 전력 스펙트럼($\hat{P}(f)$)을 구한다. $\hat{P}(f)$ 는 3차원의 그림으로 표현되는데, 이를 주파수별로 특성을 보다 효율적으로 관찰하기 위하여 (그림 1)과 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].



(그림 1) 전력 스펙트럼의 분할

본 논문에서는 오차확산법에서 원영상의 현재화소와 주변화소(5x5)의 로컬 평균간 밝기값의 차이를 활용하는 방법으로 전처리 필터를 구성하였다. 그러므로 공간영역에서 일정한 밝기값으로 표현되는 평탄영역에 대한 오차확산 처리시, 전처리 필터의 효과는 거의 발

생하지 않는다. 이에 따라 전처리 필터의 특성을 살펴 보기 위해 원영상과 오차확산된 중간조 영상간의 차이, 즉 이를 표시오차(Display Error)라 정의하고, 이들 값을 사용하여 RAPSD의 함수로 표현하여 특성을 비교한다.

샘플 크기가 $M \times N$ 인 임의의 원영상을 $i(m, n)$, 오차확산된 중간조영상을 $b(m, n)$ 이라 할 때, 2차원 푸리에 변환을 $\tau[\cdot]$ 으로 나타낸다면, 전력 스펙트럼 밀도는 식 (1)과 같다.

$$\hat{P}(u, v) = \frac{1}{M \times N} |\tau[i(m, n) - b(m, n)]|^2 \quad (1)$$

전력 스펙트럼의 중심을 기준으로 설정하여 (그림 1)과 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 포함되어 있는 주파수 샘플의 개수이다.

2.2 경계상관도

영상의 중요한 정보는 대부분 경계부분에 존재한다. 따라서 원영상과 중간조 영상간의 경계에 대한 상관 정도를 측정하는 것이 객관적인 화질평가의 의미를 지닌다. 경계상관도(Edge Correlation) 함수는 식 (3)~식 (5)로 설정하였다[9].

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

$$D_I(i, j) = I_k(m, n) - I_k(m-i, n-j) \quad (4)$$

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

여기서 $I_k(m, n)$ 은 원영상, $B_k(m, n)$ 은 인간의 시각특성을 고려한 MTF(Modulation Transfer Function)[5]를 사용하여 7×7 윈도우의 저역통과 필터를 구성하고, 이로서 중간조 영상을 필터링하여 복원한 영

상이다. 가중치 W_{ij} 는 수평, 수직과 대각방향에 대한 가중값으로 수평과 수직에 대한 대각방향 비를 $1 : \sqrt{2}$ 가 되도록 하고, 계수의 합이 1이 되도록 정규화하였다(수평 및 수직방향은 0.1465, 대각방향은 0.1035). 이의 경계상관도는 원영상과 중간조 영상에 대한 경계부분의 표현능력을 평가하는 함수로서, C의 값이 클수록 경계부분이 잘 일치한다고 판단할 수 있다.

2.3 로컬 평균 일치도

경계정보의 중요성과 더불어 원영상의 로컬 평균을 보존하는 능력도 중요한 요인이 된다. 만일 원영상의 로컬 평균의 보존정도가 매우 나쁜 중간조 처리 기법을 사용하여 출력을 얻게 되면 출력영상의 전체적인 명암 및 로컬 명암이 원영상과 많이 달라지게 된다. 이에 따라 로컬 평균이 얼마나 잘 일치하는가를 나타내는 평가할 필요성이 대두된다. 이에 따라 로컬 평균 일치도(Local Average Accordance)라는 평가함수[12]를 사용하였다.

먼저 영상을 특정 크기로 분할하여 각 부분에 대한 로컬 평균을 구하는데, 원영상에 대한 로컬 평균을 L_{mI} 이라 하고, 중간조 영상을 위의 2절에서 사용한 7×7 윈도우의 저역통과 필터로 복원하고 이에 대한 로컬 평균을 L_{mB} 라 하면,

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

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

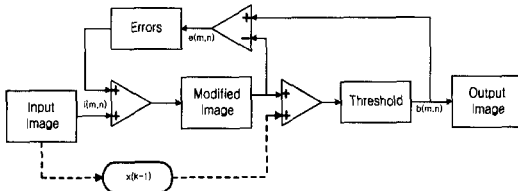
가 된다. 여기서 M^2 은 로컬 평균을 구하기 위한 영역의 크기이다. 로컬 평균 일치도 함수는 다음과 같이 정의된다.

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

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 평균의 차이와 비례관계가 존재한다.

3. 전처리 필터를 추가한 경계강조 오차확산

오차확산법의 기본개념은 현재 화소의 양자화 오차를 아직 양자화되지 않은 주변 화소들에 적절히 분산시키는 기법으로서, Floyd 와 Steinberg[1]가 제안한 알고리즘이다. 이는 (그림 2)에서 굵은 점선부를 제외한 형태로 표현된다.



(그림 2) Floyd & Steinberg 오차확산 알고리즘

(그림 2)에서 $i(m, n)$ 와 $b(m, n)$ 는 화소 (m, n) 에서 입력신호와 중간조 출력신호이다. 여기서 $b(m, n)$ 는 0 또는 1의 중간조값을 갖는다고 가정하고, $i(m, n)$ 는 $[0, 1]$ 범위의 값을 갖는다고 한다. 오차 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 중간조화소 처리후 생성된 오차값이다. $\text{step}[\cdot]$ 함수는 괄호안의 값이 음이면 0, 양의 값이면 1로 정의된다. t 는 임계값으로 연속계조 영상 밝기의 중간값을 지닌다. 밝기 범위가 $[0, 1]$ 이면 $t = 1/2$ 이다. 그리고 $a(k, l)$ 는 오차확산 계수로, 인접화소의 오차를 현재화소(*)에 추가하는 가중값으로 Floyd 의 오차확산법에서는 식 (11)과 같다.

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

식 (10)을 주파수 영역에서 표현하면 다음 수식과 같다[9].

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

여기서 $F(u, v)$ 는 Floyd가 제안한 계수들의 항으로

표현되는 고역통과 필터와 같다[9].

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

따라서 식 (12)에서 중간조 영상은 입력화소 밝기값에 고역통과한 오차가 더해짐을 알 수 있다.

임계값변조 오차확산법은 식 (9)의 $t=1/2$ 로 표현되는 임계값을 상수로 두지 않고, 공간영역에서 처리되는 화소에 따라 변화도록 하여 특정한 목적에 이용하는 오차확산 중간조화 기법이다. Knox와 Eschbach[11] 는 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 Floyd 오차확산 기법과 동일하다. 임계값 $T(u, v)$ 를 적절히 선택함으로써 원하는 중간조 영상을 얻을 수 있게 된다.

경계강조 오차확산법은 (그림 2)에서 Knox가 제안한 바와 같이 굵은 점선부를 추가하여 임계값을 입력영상을 사용하여 변조한 것이다. 즉, 임계값 $T(u, v)$ 를

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

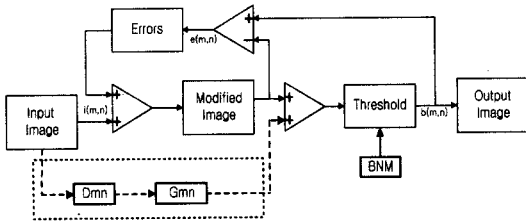
로 한 것인데, 이를 식 (14)에 대입하면

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

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. Kim[8]의 기법은 (그림 2)에서 보이는 Eschbach[7]의 기법과 동일하게 경계강조를 수행하면서, 원영상과 확산된 오차를 비교하여 경계부를 탐색하고, 이 결과를 활용하여 중간조 처리시의 발생하는 양자화 오차 또는 일정한 상수값의 오차를 선택하여 오차확산을 수행하는 방식이다.

본 논문에서는 (그림 2)의 Knox가 제안한 경계강조법의 특성을 개선하기 위한 전처리 필터를 설계한 것

으로, (그림 3)과 같이 시스템을 구성하였다. 전처리 필터는 원영상의 로컬평균과 현재화소간의 차이값 및 이의 차이값을 이용한 필터의 가중치 함수로 구성된다. 첫째, 원영상의 로컬평균과 현재화소간의 차이값은 현재 화소와 이의 인접화소(5x5)간의 로컬평균과의 밝기차이이다. 둘째, 필터의 가중치 함수는 구해진 차이값의 크기를 포함하는 함수와 차이값의 부호로 구성된다. 최종적으로 오차확산법의 양자화에 입력되는 신호에 추가하여 경계를 강조한다.



(그림 3) 전처리 필터를 추가한 경계강조 오차확산

(그림 2)에서는 원영상을 직접 활용하여 가중치 $(k-1)$ 를 곱한 값으로 경계강조를 위해 양자화에 추가한다. 반면, (그림 3)에서는 점선으로 구성된 함수로서, 로컬 영역에 대한 현재화소의 밝기차이를 경계강조를 위해 양자화에 추가한다. 이에 대하여 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$D_{mn} = G_c - \frac{1}{25} \sum_{k=-2}^{+2} \sum_{l=-2}^{+2} i(m+k, n+l) \quad (17)$$

$$G_{mn} = \frac{a_{mn}}{1 + b_{mn} \times |D_{mn}|} \times \text{sign}(D_{mn}) \quad (18)$$

식 (17)은 원영상에서 현재화소를 기준으로 이의 주변화소(5x5)에서 로컬 평균을 구하고, 현재화소 계조값 (G_c)과 로컬평균과의 차이값을 얻는 함수이다. 식 (18)은 필터에 대한 가중치 함수로서, 식 (17)의 차이값의 크기를 포함하는 함수와 차이값의 부호로 구성된다. 식 (17)의 특성은 평탄영역에서는 0의 값, 현재화소의 밝기변화가 cap의 형태시는 양의 값을 갖게되어 식 (18)에서 밝은 영역을 더욱 밝게 강조하게 되고, cup의 형태에서는 음의 값을 갖게되어 어두운 영역을 더욱 어둡게 강조한다. 식 (17)은 공간영역의 밝기값이 평탄한 영역에서는 0의 값을 갖는다. 이 경우에는 Floyd 오차확산법과 동일한 특성과 마찬가지로, 중간조 영상의 평균 계조도는 원영상과 근사한 특성을 갖게 된다.

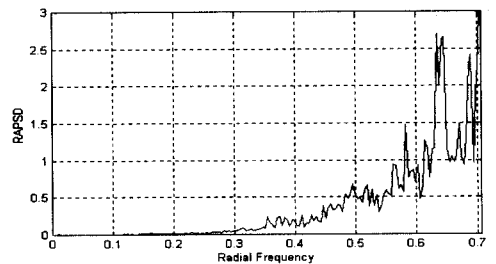
식 (18)의 G_{mn} 은 가중치 함수를 의미한다. 식 (18)의 가중치 함수의 계수 a_{mn} 은 경계강조의 크기를 조절하는 계수이고, b_{mn} 은 급격한 화소값 변화에 따른 과도한 경계강조의 특성을 조절하기 위한 계수이다.

4. 실험 및 고찰

Floyd와 Steinberg[1]가 제안한 오차확산법을 lena 영상에 적용하여 얻어진 중간조 영상 모습, 원영상과 중간조 영상간의 차이인 표시오차에 대한 RAPSD ($\Delta=0.004$)를 (그림 4)에서 보인다. (그림 4(b))를 살펴보면, 낮은 전력 스펙트럼을 표현하는 f_r 이 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 f_r 이 0.5~0.7에서 표시오차의 RAPSD가 집중되어 나타남을 알 수 있다. 이는 경계 영역이 높은 RAPSD로 표시됨을 감안할 때, Floyd 오차확산법은 경계부의 표현능력에서 상대적으로 낮은 경계 재현성을 지니는 특성을 보여주고 있다.



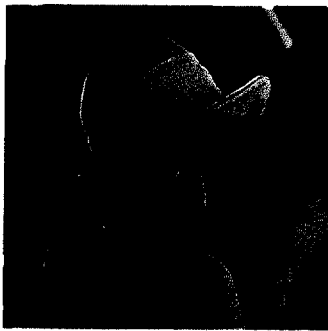
(a) halftone image(lena)



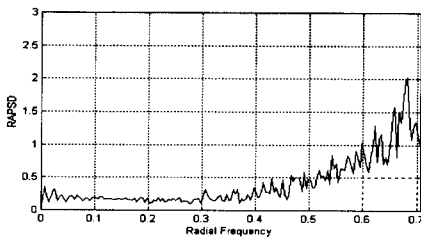
(b) RAPSD(display error, lena)

(그림 4) Floyd와 Steinberg의 하프토닝 영상 특성

(그림 5)는 Kim[8]에서 제시한 경계강조 오차확산법 ($K=3$ 적용)을 사용하여 오차확산을 수행하였을 때의 중간조 영상 모습, 원영상과 중간조 영상간의 차이에 대한 표시오차를 RAPSD의 분포로 얻은 모습을 보인다. (그림 5(a))는 (그림 4(a))와 시각적인 관점으로 비교시, 경계영역의 특성이 상당히 강조되어 표현됨을 알 수 있다. (그림 5(b))는 원영상과 경계강조법으로 오차확산 처리된 중간조 영상간의 표시오차를 사용하여 RAPSD를 얻은 모습이다. 이의 결과를 살펴보면, 높은 f_r 영역인 0.5~0.7 부근에서 표시오차의 RAPSD가 (그림 4(b))의 경우보다 상당히 낮아진 특성을 보여주고 있다. 이는 경계강조의 특성이 반영되어 나타난 결과를 보여주는 것으로, 경계 영역을 표현하는 높은 f_r 대역에서 표시오차의 RAPSD가 낮게 나타나 경계 영역의 재현성이 개선됨을 보인다. 반면에 낮은 f_r 대역에서도 표시오차의 RAPSD가 적게 발생하는 특성을 보이고 있다.



(a) halftone image(lena)



(b) RAPSD(edge-enhanced, lena)

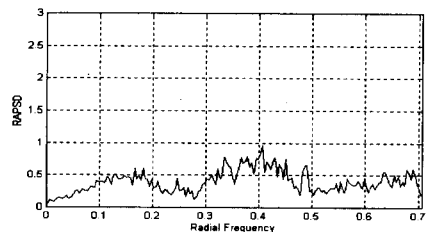
(그림 5) Kim[8]의 경계강조법의 영상특성($K=3$)

본 논문에서 제안한 전처리 필터를 적용한 경우의 특성분석을 위하여 중간조 영상의 출력과, 원영상과 제안한 전처리 필터를 적용하여 얻어진 중간조 영상간

의 표시오차에 대한 RAPSD의 특성을 고찰한다. 여기서는 가중치 함수 G_{mn} 에서 계수값을 실험적으로 $a_{mn} = 2.5$ 와 $b_{mn} = 0.02$ 로서 제공하고 오차확산 처리를 수행하였다. 얻어진 중간조 영상과 표시오차에 대한 RAPSD를 (그림 6)에서 보인다. (그림 6(a))의 전처리 필터를 추가하여 오차확산 처리된 중간조 영상은 (그림 5(a))와 같이 Kim의 경우보다 경계 영역이 강조된 모습을 보여주고 있으며, (그림 6(b))의 표시오차에 대한 RAPSD에서도 주파수가 0 인 경우의 전력 스펙트럼이 (그림 5(b))의 경우보다 낮게 나타나고 있으나 주파수가 0.16까지 점차적으로 증가하는 현상을 보인다. 높은 f_r 대역인 0.5~0.7 부근에서는 (그림 5(b))의 경우보다 상대적으로 감소되었음을 보여주고 있다. 이는 제안한 전처리 필터 적용시, 낮은 전력 스펙트럼을 지니는 평탄 영역에서는 표준의 오차확산법의 특성을 그대로 유지하면서, 높은 전력 스펙트럼으로 나타나는 경계 영역의 재현성이 개선되는 특성을 보여주고 있음을 알 수 있다.



(a) halftone image(lena)

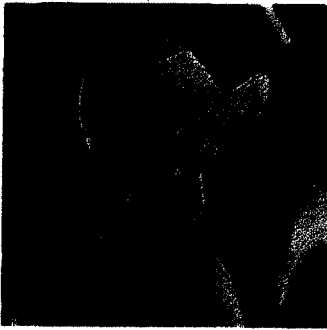


(b) RAPSD(with pre-filter, lena)

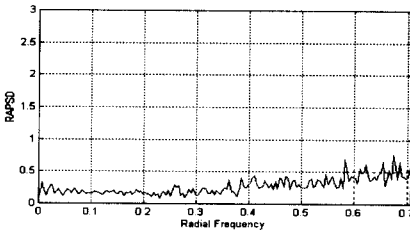
(그림 6) 전처리 필터 적용시의 하프토닝 영상특성

(그림 7)과 (그림 8)은 (그림 5)의 경우와 동일하게 $K=3$ 의 값으로 경계강조 오차확산을 수행하는 조건에

서 경계강조법의 임계값에 30%의 랜덤잡음 마스크(random noise mask : RNM) 및 청색잡음 마스크(blue noise mask : BNM)을 인가하여 임계값을 변조한 것이다. 이의 처리로 얻은 중간조 영상과 표시오차에 대한 RAPSD 모습을 보인다. 중간조 영상의 출력특성 비교에서는 RNM 및 BNM으로 임계값 변조를 수행한 경우에 영상내의 패턴 발생이 상당히 감소되는 특성을 보인다. 이는 임계값 변조의 처리 기법을 추가시 고주파 영역에서 발생하는 표시오차 특성이 개선되어 경계가 강조되었음을 보인다.

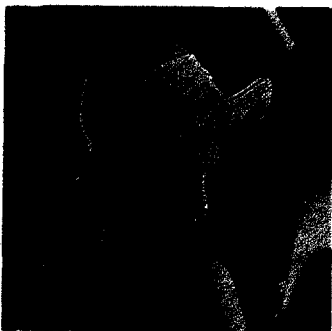


(a) half-tone image(K=3, RNM)

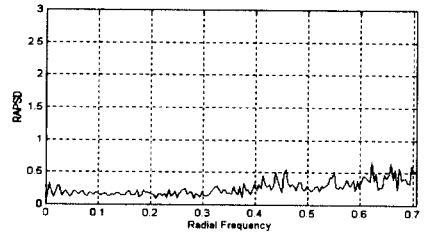


(b) RAPSD(K=3, RNM)

(그림 7) 경계강조 오차확산 특성(K=3, RNM)



(a) half-tone image(K=3, BNM)



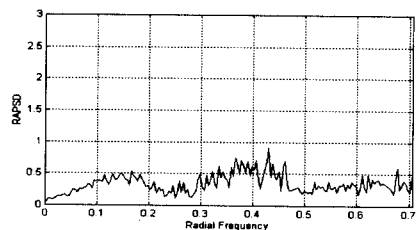
(b) RAPSD(K=3, BNM)

(그림 8) 경계강조 오차확산 특성(K=3, BNM)

(그림 9)와 (그림 10)은 (그림 6)의 실험조건에 추가로 경계강조법의 임계값에 30%의 RNM 및 BNM을 인가하여 임계값을 변조한 것이다. 이의 처리로 얻어진 중간조 영상과 표시오차에 대한 RAPSD 모습을 보인다. 중간조 영상의 출력특성 비교에서는 RNM 및 BNM으로 임계값 변조를 수행한 경우에 영상내의 패턴 발생이 상당히 감소되는 특성을 보이나 전반적으로 화질의 특성이 열화되는 결과를 동시에 보여주고 있다. RAPSD의 특성에서는 (그림 6(b))의 경우보다 f_r 의 영역이 0.3~0.5 부근에서 표시오차의 특성이 감소되고 있음을 보여주고 있으며, 반면에 낮은 f_r 의 영역



(a) half-tone image(pre-filter, RNM)



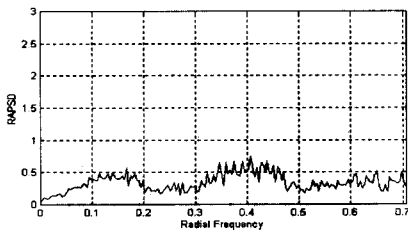
(b) RAPSD(pre-filter, RNM)

(그림 9) 제안한 필터의 경계강조 오차확산 특성

(0.0~0.3) 및 높은 f_r 영역(0.5~0.7)에서는 RAPSD 특성변화가 거의 발생하지 않고 있다. 이는 임계값 변조의 처리 기법을 추가시, 제안한 경계강조 필터의 특성상 평탄영역의 중간조 처리시 경계강조의 효과가 발생하지 않음에 따라 기존의 오차확산에서 발생하는 패턴이 발생하는 특성을 RNM 및 BNM으로 임계값을 변조하였을 경우에 패턴의 발생을 감소시켜, 중간의 f_r 영역인 0.3~0.5 부근에서 화질특성이 개선되었음을 보여주고 있다. 또한 RNM 경우보다 BNM의 경우에 상대적으로 개선효과를 많이 보임을 알 수 있다.



(a) halftone image(pre-filter, BNM)



(b) RAPSD(pre-filter, BNM)

(그림 10) 제안한 필터의 경계강조 오차확산 특성

<표 1>은 10, 15, 20, 25 그리고 30cm 떨어진 위치에서 인간의 시각특성 함수인 MFT를 사용하여 7x7의 저역통과 필터를 구성하고, 이의 필터로 실험대상(lena)인 중간조 영상을 복원한 후, 식 (3)을 사용하여 원영상과 중간조 영상간의 경계상관도이다. 항목의 구분은 1번이 Floyd의 표준 오차확산이고, 2번은 Kim의 경계강조법, 3번은 제안한 경계강조법, 4번과 5번은 Kim의 경계강조법에 랜덤잡음 및 청색잡음으로 30%의 임계값 변조를 적용한 경우이고, 6번과 7번은 제안한 경계강조법에 RNM 및 BNM으로 30%의 임계값 변조를 적용한 경우이다. 경계상관도의 결과를 고찰시 표준

기법보다 Kim의 기법 및 제안한 경계강조법 모두 경계상관도의 특성이 높게 나타나고 있다. 경계강조법간의 비교에서도 제안한 경계강조법이 Kim의 경우보다 전반적으로 높은 특성을 보이고 있다. 경계강조법에 RNM 및 BNM을 30%로 임계값을 변조한 경우에 경계상관도는 미약한 감소 특성을 보이니, 이는 중간조 영상에 존재하는 패턴을 감소시키는 특성을 지니므로 나름대로의 임계값 변조에 대한 의미를 지니고 있다.

<표 1> 거리에 따른 경계상관도

항목	경계상관도(cm)				
	10	15	20	25	30
1	30.1748	37.7280	46.3156	56.8649	66.8007
2	32.7931	43.6904	56.9063	73.7939	91.5756
3	32.7108	48.5789	69.1263	95.9614	127.1087
4	32.8839	43.4499	56.1310	72.1757	88.2573
5	32.8415	43.4675	56.1823	72.2245	88.2031
6	32.3519	47.8626	67.8413	93.8879	123.1763
7	32.4404	47.9212	67.9427	94.0447	123.2296

<표 2> 거리에 따른 로컬 평균 일치도

항목	로컬 평균 일치도(cm)				
	10	15	20	25	30
1	8.8004	9.6411	10.0751	10.3629	10.3459
2	0.8928	0.8583	0.8255	0.7904	0.7572
3	3.6426	4.0977	4.6551	5.1971	5.8309
4	0.9166	0.8855	0.8525	0.8174	0.7828
5	0.9177	0.8819	0.8460	0.8068	0.7700
6	4.1638	4.8004	5.5375	6.2404	7.0240
7	4.3612	5.0909	5.9189	6.7698	7.7440

<표 2>는 <표 1>과 동일한 필터로 중간조 영상을 복원하였고, 실험항목도 <표 1>과 동일하다. 로컬 평균을 얻기 위한 영상의 분할 단위를 32x32 화소영역으로 하였다. Floyd의 표준 오차확산법의 로컬 평균 일치도보다 Kim의 경계강조법 및 제안한 경계강조법의 모두가 낮은 특성을 보이고 있으나, 경계강조법에서 상대적인 특성만을 비교시에는 제안한 경계강조법에서 로컬 평균 일치도가 높은 특성을 보여주고 있다. 이의 결과에서 살펴보면 Kim의 경계강조법에서 중간조영상 처리시 원영상의 평균계조도를 유지하는 특성이 낮게 나타나고 있으나, 제안한 경계강조법에서는 중간조 영상이 원영상의 평균계조도를 상대적으로 유지하고 있음을 보여준다. 경계강조법에 RNM 및 BNM으로 임계값을 변조한 경우에서 Kim의 경우와 제안한 경계강조법 모두에서 상대적으로 로컬 평균 일치도의 특성이

다소 개선되는 결과를 보여주고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 Floyd와 Steinberg 오차확산법을 기반으로 하여, 원영상의 경계정보를 강조하기 위한 전처리 필터를 추가하는 방법을 제안하였다. 제안한 전처리 필터는 원영상의 공간 영역에 대한 로컬 평균과 현재화소간의 차이값 및 이의 값을 활용하는 필터의 가중치 함수로 구성된다. 첫째, 원영상의 현재화소의 밝기값과 이의 주변화소에서 얻어진 평균과의 차이값은 현재 화소를 중심으로 인접화소(5x5)의 로컬 평균을 현재 화소의 밝기값에서 감산하여 얻는다. 둘째, 필터의 가중치 함수는 차이값의 크기를 포함하는 함수와 차이값의 부호로 구성된다. 최종적으로 오차확산법의 양자화기에 입력되는 신호에 추가하여 경계를 강조한다.

제안한 전처리 필터를 적용한 결과의 특성분석에서, Kim[8]의 경계강조 오차확산법과의 비교시, 경계가 보다 강조되어 시각적으로 선명한 중간조 영상의 모습을 확인할 수 있었다. 원영상과 오차확산 처리된 중간조 영상간의 차이를 표시오차로 설정하고, 이를 RAPSD의 분포로 비교하였을 때, 제안한 전처리 필터를 적용한 경우와 Kim[8]의 경계강조 오차확산법을 적용한 경우에서, 경계영역의 특성이 포함되는 높은 f_r 대역인 0.5~0.7 부근의 RAPSD 특성이 Floyd 오차확산법의 경우보다 제안한 전처리 필터를 적용한 경우와 Kim의 경계강조 오차확산법 모두에서 상당히 감소되는 결과를 보여주고 있다. 이는 <표 1>의 결과와 같이 경계강조의 특성이 반영되어 경계 영역의 재현성이 개선되고 있음을 객관적으로 확인할 수 있었다. 한편으로 공간 영역에서 평탄한 밝기값을 지니는 영역에 대한 RAPSD는 낮은 주파수 영역으로 분포되는데, 이에 대한 표시오차 RAPSD(그림 5) 특성은 Kim의 경계강조 오차확산법에서는 전체 주파수 대역에서 표시오차 RAPSD가 분포하는 특성을 보이고 있으나, 제안한 전처리 필터를 적용한 오차확산법에서는 낮은 주파수 영역인 0의 부근은 (그림 6)의 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 오차확산법에서는 공간 영역의 일정한 밝기값에 대한 평균 계조도를 Kim의 경우보다 상대적으로 많이 유지하면서, 경계강조를 위한 영역만을 선별적

로 강조하는 효과를 제시하고 있음을 <표 2>의 결과에서와 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 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.

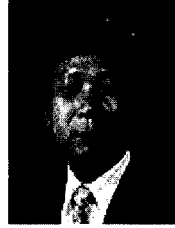
- [12] 이태홍, 이동원, “시각모델에 근거를 둔 반복처리에 의한 디지털 하프톤 기법,” 한국통신학회 논문지, 제 3권 제3호, pp.780-796, 1995.



강 태 하

e-mail : thkang@sunam.kreonet.re.kr
 1985년 한국항공대학교 항공통신 공학과(학사)
 1987년 한국항공대학교 항공전자 공학과(석사)
 1995년~현재 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 박사과정

관심분야 : 영상 디스플레이, 패턴인식, 동영상 신호처리



황 병 원

e-mail : bwhwang@mail.hangkong.ac.kr
 1972년 한국항공대학교 항공전자 공학과(학사)
 1981년 동경대학 전기공학과 (석사)
 1984년 동경대학 전기공학과 (박사)

1984년~1985년 국방과학연구소 선임연구원
 1993년~1994년 동경대학 전기공학과 교환교수
 1985년~현재 한국항공대학교 항공전자공학과 교수
 관심분야 : 영상처리 및 영상인식, 동영상 신호처리, 교통류 제어