

# 적응형 임계값 변조를 이용한 경계강조 오차확산법

강 태 하<sup>†</sup> · 황 병 원<sup>††</sup>

## 요 약

오차확산법은 중간조 처리에서 우수한 영상의 재현능력을 갖는 기법이다. 그러나 이의 기법은 경계재현 능력이 미약하며, 주기적인 패턴이 발생하여 영상의 화질을 저하시키는 단점이 있다. 본 논문에서는 경계재현의 능력을 개선하기 위한 경계강조법과 주기적인 패턴 발생을 감소시키기 위한 적응형 임계값 변조를 적용하는 방법을 제안하였다. 경계강조를 위한 임계값을 변조는 원영상의 공간적 기울기 정보를 활용하여 수행하였고, 동시에 기울기 정보를 이용하여 청색잡음 마스크를 적응적으로 적용하는 임계값 변조로 주기적인 패턴의 발생을 감소시키도록 하였다. 적응형 임계값 변조를 적용한 실험에서 영상의 주기적인 패턴이 감소된 보다 선명한 경계강조의 중간조 영상을 얻을 수 있었으며, 객관적인 특성분석을 위한 표시오차의 RAPSD, 거리에 따른 경계상관도 및 로컬 평균 일치도의 분석에서 제안한 기법이 효율적임을 확인하였다.

## Edge Enhanced Error Diffusion using an Adaptive Threshold Modulation

Tae-Ha Kang<sup>†</sup> · Byong-Won Hwang<sup>††</sup>

## ABSTRACT

The error diffusion technique for digital halftoning has good performance in reproducing binary image from continuous image. However the reproduction of edge characteristic is weak. Also binary image has undesirable periodic pattern that degenerate the perceived quality. In this paper, an edge enhanced error diffusion technique is proposed to improve the edge characteristic and adaptive threshold modulation method is suggested to degenerate undesirable periodic patterns. Spatial gradient information in original image is adapted for edge enhance in threshold modulation of error diffusion. And it used to decrease undesirable periodic pattern in adaptive threshold modulation with blue noise mask. In the experiment result of adaptive threshold modulation, we show that the proposed algorithm can degenerate undesirable periodic pattern and edge enhanced halftone image. The performance of the proposed algorithm 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.

**키워드:** 중간조(halftoning), 오차확산(error diffusion), 경계강조(edge enhance), 경계상관도(edge correlation), 로컬평균일치도(local average accordance)

### 1. 서 론

중간조(Halftoning) 기법은 연속계조 영상을 중간조 영상으로 생성하는 처리로서, 일정한 거리에서 관측시 원영상과 유사하게 보이도록 하는 기법이다. 이의 연구중에서 우수한 특성을 보이는 오차확산법은 현재 화소를 양자화할 때 발생하는 오차를 추후의 처리를 위한 주변화소들에 적절히 분산시켜 평균 오차를 영으로 만드는 방법으로서, Floyd[1] 등에 의해 제안되었다.

오차확산법에서 경계를 강조하여 선명한 중간조 영상을 얻기 위한 경계강조 오차확산법은 Eschbach[2] 등에 의해 제안되었고, Kim[3]에 의해 개선되었다. Eschbach의 기법은 중간조 영상을 얻기 위한 양자화 입력단에 현재화소의

계조와 확산되는 오차값을 더하는 과정에서 현재화소의 계조에 가장값을 부가하여 경계를 강조하는 방법이다. Kim의 기법은 Eschbach 기법을 기반하에서 원영상의 경계 영역을 검출하여 양자화오차 또는 일정값의 상수를 확산토록 선택하는 방법이다. 중간조 영상에서 발생하는 주기적인 패턴을 감쇄시키기 위한 연구로서, 랜덤잡음(Random Noise) 또는 청색잡음(Blue Noise)의 마스크를 적용하여 임계값을 변조하는 기법도 제시되고 있다[4, 5].

본 논문은 경계강조를 수행하면서 잡음 마스크를 적용적으로 사용하는 임계값 변조의 경계강조 오차확산법에 관한 연구이다. 경계강조로서, 경계부의 공간정보 열화를 개선하기 위한 전처리 필터를 제안하였다. 제안한 필터는 원영상의 공간 영역(Spatial Domain)에 대한 수평 및 수직 방향의 2차 편미분값 및 이를 활용하는 필터의 가중치 합수로 구성된다. 최종적으로 양방향에서 얻어진 전처리의 출력값을 합산한 후, 이들간의 크기 비율에 관련된 가중치 합수

<sup>†</sup> 정 회 원 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과  
<sup>††</sup> 정 회 원 : 한국항공대학교 항공전자공학과 교수  
 논문접수 : 2000년 9월 8일, 심사완료 : 2001년 5월 2일

를 곱하여 오차확산법의 양자화에 입력되는 신호에 추가하여 경계를 강조한다. 또한 앞에서 얻어진 전처리 정보를 활용하여 청색잡음 마스크를 적용적으로 적용하여 영상의 흐려짐을 줄이면서 주기적인 패턴을 효율적으로 감쇄시키는 방법을 제안하였다. 제2장은 중간조 영상의 화질평가 방법, 제3장은 제안한 기법을 설명하였다. 제4장에서는 제안한 기법과 기존의 기법[2,3]과의 특성을 비교하였고, 제5장에서 결론을 제시하였다.

**2. 중간조 영상의 화질평가방법**

중간조 영상의 객관적 화질평가로 원영상과 중간조 영상간의 경계부 표현에 대한 상관도를 측정 및 로컬 평균 일치도를 측정하는 방법이 사용되고 있다[6].

**2.1 경계상관도**

영상의 중요한 정보는 대부분 경계부분에 존재한다. 따라서 경계에 대한 상관 정도를 측정하는 것이 객관적인 화질평가의 의미를 지닌다. 경계상관도(Edge Correlation) 함수는 식 (1)~식 (3)으로 설정하였다[5].

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

$$D_I(i, j) = I_h(m, n) - I_h(m-i, n-j) \quad (2)$$

$$D_B(i, j) = B_h(m, n) - B_h(m-i, n-j) \quad (3)$$

여기서  $I_h(m, n)$ 은 원영상,  $B_h(m, n)$ 은 거리에 따른 저역통과 필터(7x7)로 중간조 영상을 필터링하여 복원한 영상이다[9]. 가중치  $W_{ij}$ 는 수평, 수직과 대각방향에 대한 가중값이다. 가중값은 수평, 수직과 대각방향에 대한 가중값으로, 이들간의 비율을  $1 : \sqrt{2}$ 가 되도록 하고, 정규화하였다(수평, 수직방향은 0.1465, 대각방향은 0.1035). 이의 경계상관도는 원영상과 중간조 영상에 대한 경계부분의 표현능력을 평가하는 함수로, C의 값이 클수록 경계부분이 잘 일치하게 된다.

**2.2 로컬 평균 일치도**

경계정보의 중요성과 더불어 원영상의 로컬 평균을 보존하는 능력도 중요한 요인이 된다. 여기서 로컬 평균 일치도(Local Average Accordance)라는 평가함수를 사용하였다. 먼저 영상을 특징크기로 분할하여 각 부분에 대한 로컬 평균을 구하는데, 원영상에 대한 로컬 평균을  $L_{mI}$ 이라 하고, 중간조 영상을 위의 2.1절에서 사용한 7x7 윈도우의 저역통과 필터로 복원하였다. 이에 대한 로컬 평균을  $L_{mB}$ 라 하면,

$$L_{mI} = \frac{1}{M^2} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} I_h(i, j) \quad (4)$$

$$L_{mB} = \frac{1}{M^2} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} B_h(i, j) \quad (5)$$

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

$$A_{Lm} = \frac{1}{\frac{1}{N^2} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} (L_{mI}(k, l) - L_{mB}(k, l))^2} \quad (6)$$

식 (6)에서  $N^2$ 은 로컬영역의 개수이며  $A_{Lm}$ 의 값이 클수록 중간조 영상과 원영상의 로컬 평균이 잘 일치함을 의미한다.

**2.3 표시오차에 대한 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도**

일정한 밝기에 대한 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 고찰하기 위하여 정사각형의 전력 스펙트럼을 일정한 폭  $\Delta$ 의 환상 고리 모양으로 분할하여 1차원의 함수로 표현할 수 있다. 이를 환상 평균 전력 스펙트럼 밀도(Radially Averaged Power Spectrum Density : RAPSD)이라 한다[10].

본 논문에서는 오차확산법에서 원영상과 인접화소간의 2차 미분값을 계산하여 활용하는 방법으로 전처리 필터를 구성하였다. 그러므로 공간영역에서 일정한 밝기값으로 표현되는 평탄영역에 대한 오차확산 처리시, 전처리 필터의 출력은 거의 0이므로 경계강조의 효과는 발생하지 않는다. 이에 따라 전처리 필터의 특성을 살펴보기 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  $r[\cdot]$ 으로 나타낸다면, 전력 스펙트럼 밀도는 식 (7)과 같다.

$$\hat{P}(u, v) = \frac{1}{M \times N} |r[i(m, n) - b(m, n)]|^2 \quad (7)$$

전력 스펙트럼의 중심을 기준으로 설정하여 일정한 폭  $\Delta$ 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  $\Delta$ 의 환상고리 영역으로 분할된 각 고리내의 전력 스펙트럼을 합산하고 해당 주파수 구간의 샘플 개수  $N_r(f_r)$ 로 나누어 얻어지는 평균으로 식 (8)과 같이 정의한다.

$$P_r(f_r) = \frac{1}{N_r(f_r)} \sum_{i=1}^{N_r(f_r)} \hat{P}(u, v) \quad (8)$$

### 3. 제안한 기법

#### 3.1 기존의 경계강조법

Floyd 등[1]이 제안한 오차확산법의 기본개념은 (그림 1)에서 굵은 점선부를 제외한 형태로 표현된다. (그림 1)의  $i(m, n)$ 와  $b(m, n)$ 는 화소  $(m, n)$ 에서 입력과 중간조 출력이다. 여기서  $b(m, n)$ 는 0 또는 1의 중간조값을 갖는다고 가정하고  $i(m, n)$ 는  $[0, 1]$ 의 값을 갖는다고 한다. 오차확산 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 Floyd의 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[5].

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

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 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 선정함으로써 원하는 중간조 영상을 얻을 수 있게 된다.

경계강조 오차확산법은 (그림 1)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  $c > 0$ 인 경우 입력영상을 고역통과한 등가영상이 되어 오차확산 되므로 경계를 강조하는 효과를 갖게 된다. Eschbach는 식 (15)의 입력영상에  $c$  대신에  $(K-1)$ 을 곱하여 경계강조를 수행하였고, Kim[3] 등은 Eschbach 기법에서 식 (17)의 오차합과 식 (18)의 원영상 정보를 사용하여 식 (19)와 같이 경계영역을 구별하는 기능과 식 (20)과 같이 경계영역에 대하여 특정한 상수의 오차를 선택하여 사용하는 처리로 경계의 두께를 줄여주는 기법을 제안하였다.

$$E_s(m, n) = \sum_{(k,l) \in R} w(k, l)e(m-k, n-l) \quad (17)$$

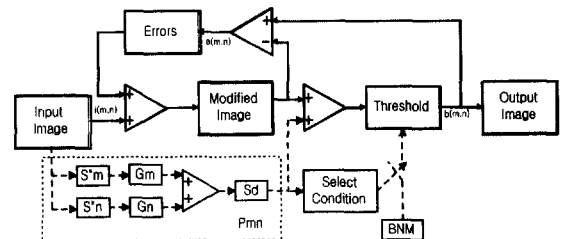
$$E_s^*(m, n) = (K-1)(255/2 - i(m, n)) \quad (18)$$

$$i(m, n) = \begin{cases} i(m, n) \in \text{edge}, & \text{if } |E_s - E_s^*| \geq W, \\ i(m, n) \notin \text{edge}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (19)$$

$$E_s^{NEW}(m, n) = \begin{cases} E_s(m, n) + C, & \text{if } b(m, n) = 255 \\ E_s(m, n) - C, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (20)$$

#### 3.2 제안한 기법

본 논문은 기존 경계강조법의 특성을 개선하기 위한 전처리 필터를 설계한 것으로, (그림 1)의 점선부와 같이 시스템을 구성하였다. 기존의 경계강조법은 경계강조를 위해 입력영상에  $(K-1)$ 를 곱하여 양자화기에 추가되는 반면, (그림 1)에서는  $Pmn$ 으로 구성된 함수가 경계강조를 위해 양자화기에 추가된다.



(그림 1) 제안한 경계강조 오차확산법

제안한 기법의 기본개념은 입력영상을 직접 사용하는 기존의 경계강조법과는 달리 원영상의 수평과 수직방향의 각각에 대한 로컬 특성인 2차 편미분 특성을 활용하여 경계강조를 수행함으로써, 출력되는 중간조 영상에서 원영상의 통계적인 특성의 변화를 최소화하는데 있다. 수평방향에 대한 원영상의 2차 편미분 특성을 얻기 위한 처리를 수식으로 정리하면 식 (21)~식 (23)과 같다.

$$S_{m1} = \sum_{i=-1}^{+1} i(m, n+l) - \sum_{i=-1}^{+1} i(m-1, n+l) \quad (21)$$

$$S_{m2} = \sum_{i=-1}^{+1} i(m+1, n+l) - \sum_{i=-1}^{+1} i(m, n+l) \quad (22)$$

$$\ddot{S}_m = S_{m1} - S_{m2} \quad (23)$$

식 (21)과 식 (22)는 원영상에서 현재화소 ( $m, n$ )를 기준으로 좌,우의 계조 변화율을 얻는 함수이다. 이들의 결과를 활용하여 식 (23)과 같이 수평방향의 2차 계조 변화율을 얻는다. 동일한 개념을 활용하여 수직방향에 대한 2차의 계조 변화율을 얻을 수 있다.

$$G_m = \frac{a_m}{1 + b_m \times |\ddot{S}_m|} \quad (24)$$

$$S_d = \left(\frac{1-w}{2}\right) \times \cos(4\theta) + \left(\frac{1+w}{2}\right) \quad (25)$$

$$P_{mn} = [\ddot{S}_m \times G_m + \ddot{S}_n \times G_n] \times S_d \quad (26)$$

식 (24)는 수평방향의 가중치 함수로서, 식 (23)의 2차 편미분의 크기를 포함하는 함수로 구성된다. 수직방향의 가중치 함수도 식 (24)와 동일한 개념을 적용하여  $G_n$ 을 얻을 수 있다. 식 (25)는 각도별 감응도 함수로서, 수평과 수직방향의 2차 편미분이 동시에 크게 발생시 조정 함수로 사용하였다. 최종적으로 경계강조를 위하여 양자화기에 제공되는 값은 식 (26)의 형태로 구성된다. 추가적으로 중간조 영상내의 주기적인 패턴의 발생을 감소시키기 위한 처리로서, 중간조 패턴 전력 스펙트럼 매칭 알고리즘(BIPPSMA)[8]을 도입하여 랜덤잡음으로부터 생성한 청색잡음의 마스크(256 x 256)로 임계값 변조를 선택적으로 적용하는 기능을 부여하였다.

$$TS = \begin{cases} T_B & \text{if } |P_{mn}| \leq T_E \\ T_F & \text{otherwise} \end{cases} \quad (27)$$

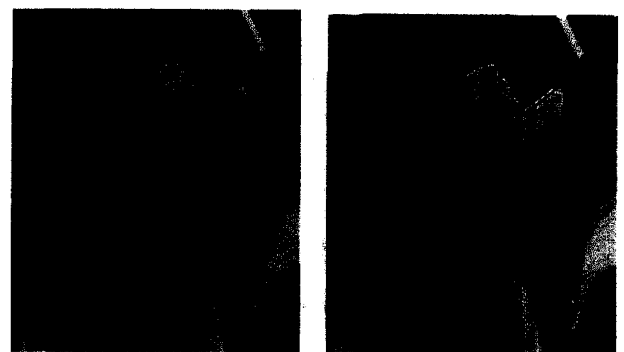
식 (27)은 청색잡음 마스크를 사용하기 위한 선택조건으로서,  $T_B$ 는 잡음마스크에 의한 임계값 변조이고,  $T_F$ 는 고정된 임계값을 사용하는 경우이다. 또한  $P_{mn}$ 은 원영상의 계조 변화율에서 얻어지는 값으로, 평탄영역의 계조에서 0에 가까운 값을 나타내는 특성을 임계값 변조를 선택하는 조건으로 활용하였다.

#### 4. 실험 및 고찰

제안한 경계강조 필터의 특성을 살펴보기 위하여, 비교대상 기법에  $K=4$ , 경계판정 계수 ( $W_s=140$ ) 및 경계의 오차 확산값 ( $C=200$ )을 적용하였고, 제안한 필터에  $a_m=a_n=1.5$ ,  $b_m=b_n=0.0125$ 로 실험적으로 적용하였다. 청색잡음 마스크는 30%의 잡음을 갖도록 생성하였으며, 적응형 임계값 변조를 위한 조건으로 식 (27)의  $T_E=10$ 를 사용하였다.

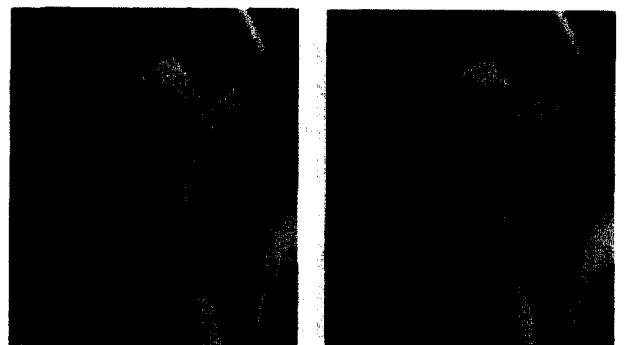
실험으로 Lena 영상에 대한 Floyd[1]의 중간조 영상과 Eschbach[2], Kim[3] 및 제안한 필터를 적용한 경계강조 오차확산의 영상을 (그림 2)에서 비교한다. Floyd 기법의 중간조 영상 (그림 2) (a)를 기준으로 살펴볼 때, (그림 2) (b)~(d)의 경계강조를 수행한 영상에서 경계특성이 부각되어 보다 선명한 출력 모습을 확인할 수 있다. (그림 2) (b)의 영상에서는 모자 테두리의 경계부 두께가 나타나고 있으나, (그림 2) (c)와 (d)의 영상에서는 경계부 두께가 감소된 모습을 보인다.

(그림 3) (a)와 (b)에서는 30%의 청색잡음 마스크를 Kim의 기법에 적용한 경우 [5]와 제안한 필터에 전체적으로 적용한 영상의 모습이 보이고, (그림 3) (c)와 (d)는 경계검출 특성을 활용하여 청색잡음 마스크를 선택적으로 적용한 중간조 영상을 보인다. (그림 3) (a)와 (b)의 영상은 (그림 2) (c)와 (d)의



(a) Floyd[1]

(b) Eschbach[2]

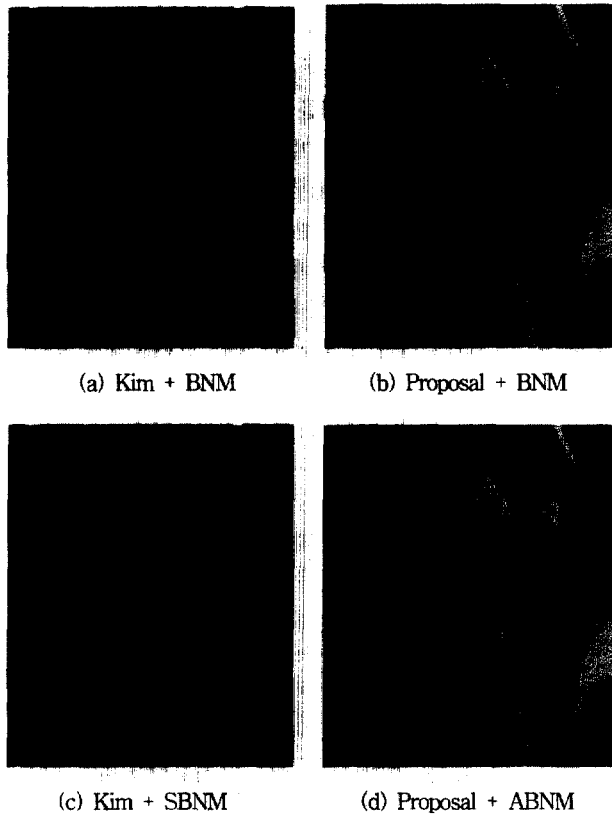


(c) Kim[3]

(d) Proposal

(그림 2) 경계강조 영상 비교

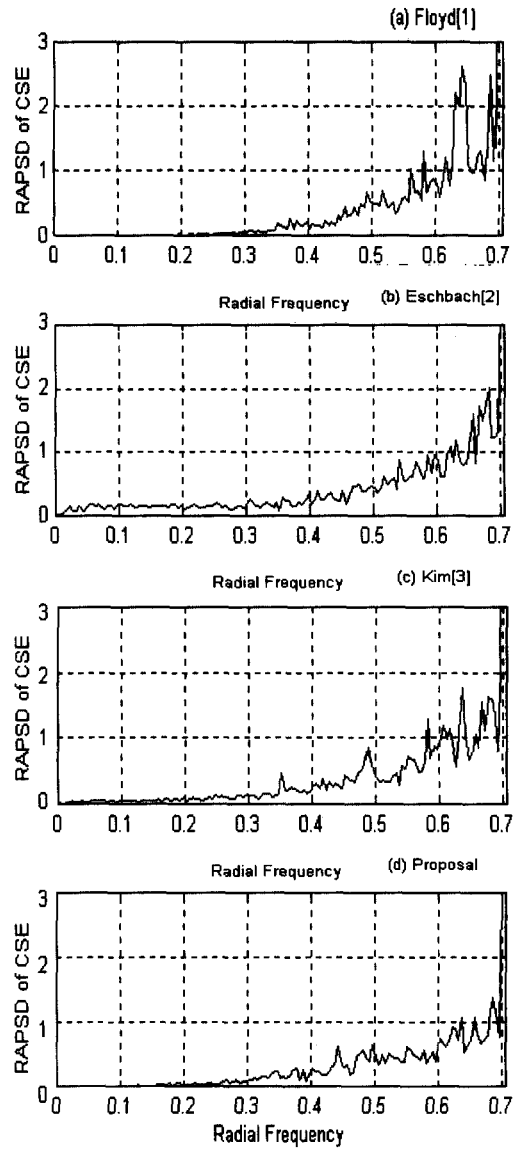
영상과 비교시 전반적으로 영상 흐려짐이 존재한다. (그림 3) (c)와 (d)는 경계영역을 제외한 영역에 청색잡음 마스크로 임계값 변조를 적용한 모습으로 (그림 3) (a)와 (b)의 영상보다는 다소 흐려짐이 줄어든 모습을 보여주고 있다.



(그림 3) 임계값 변조 영상 비교

(그림 4)에서는 (그림 2)의 영상에 대한 표시오차 RAPSD 특성을 보인다. (그림 4)의 표시오차 RAPSD 특성을 살펴 보면, (그림 4) (a)의 Floyd 기법의 오차특성에 비해 경계강조를 수행한 (그림 4) (b)와 (c)와 (d)에서 0.5~0.707 환상 주파수 대역에서 오차특성이 전반적으로 감소되는 모습을 확인할 수 있으며, 제안한 기법인 (그림 4) (d)의 오차특성이 가장 작게 나타남을 확인할 수 있다. 반면에 0.5 이하의 환상 주파수 대역의 오차특성은 (그림 4) (b)와 (c)에서는 다소 증가된 모습을 보이고 있으나, (그림 4) (d)의 제안한 기법에서는 Floyd 기법의 오차특성과 유사한 모습을 보여주고 있다. 이로서 경계강조의 특성은 제안한 기법이 비교 대상의 기법보다 다소 우수한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

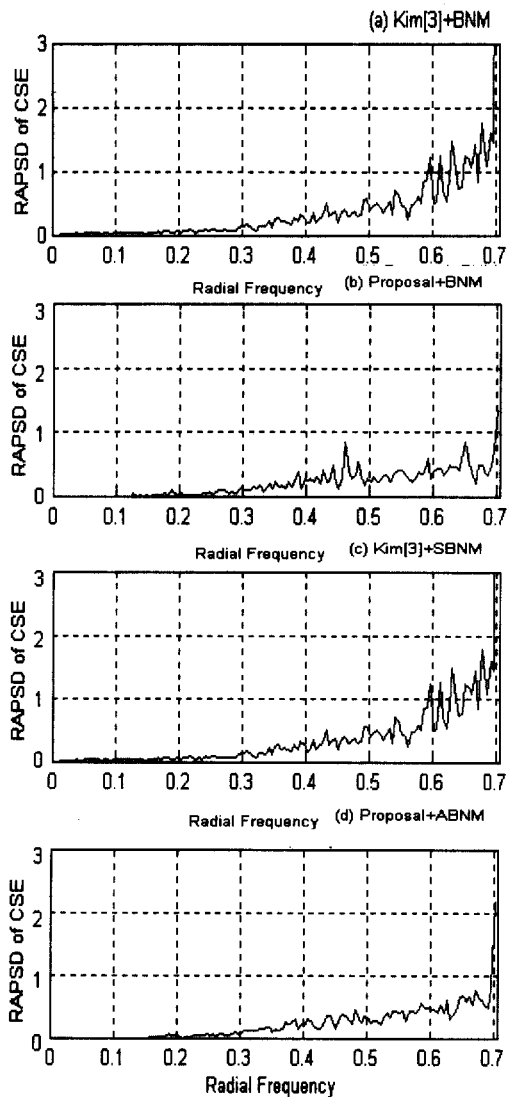
(그림 5)에서는 (그림 3)의 영상에 대한 표시오차 RAPSD 특성을 보인다. (그림 5) (a)와 (b)는 경계강조에 청색잡음 마스크로 임계값 변조를 전체 영역에 대하여 수행한 표시오차 RAPSD로서, Kim의 기법에 BNM을 적용한 (그림 5) (a)보다는 제안한 기법에 BNM을 적용한 (그림 5) (b)의 오차특성이 감소된 모습을 보여주고 있다. (그림 5) (c)는 Kim



(그림 4) (그림 2)의 표시오차 RAPSD 비교

의 기법에 선택적 임계값 변조를 적용한 표시오차 RAPSD 특성이며, (그림 5) (d)는 제안한 기법에 적응형 임계값 변조를 적용한 표시오차 RAPSD 특성이다. Kim의 기법과 제안한 기법의 필터 특성이 서로 다르므로 적응형 임계값 변조를 적용한 특성의 직접적인 비교는 적합하지 않다. 이에 따라 상대적인 비교로서, (그림 5) (a)와 (그림 5) (c)의 표시오차 RAPSD 특성은 유사한 모습을 보여주고 있으나, (그림 5) (b)와 (그림 5) (d)의 표시오차 RAPSD 특성비교에서는 (그림 5) (b)의 오차특성에서 첨두값으로 나타나는 부분이 (그림 5) (d)의 오차특성에서는 나타나지 않음을 알 수 있다.

다음으로 영상의 특성을 객관적으로 분석하기 위하여 경계상관도와 로컬 평균 일치도의 특성을 비교한다. 원영상과 비교를 위한 중간조 영상을 저역 통과 필터로 복원하여 사용하였다. 복원 필터는 인가 시각 시스템(Human Visual System :



(그림 5) (그림 3)의 표시오차 RAPSD 비교

HVS 특성과 시각 모델의 임펄스 응답특성[9]을 활용하여 거리(10, 15, 20, 25 및 30in)에 따른 저역통과 필터(7x7)를 각각 구성하였다. 구성된 필터를 사용하여 복원된 중간조 영상과 원영상을 2장에서 설명한 경계상관도와 로컬 평균 일치도 함수에 적용하여 얻어진 결과를 <표 1>과 <표 2>에 각각 나타내었다. <표 1>에서는 Lena 영상과 Peppers 영상에 경계강조 기법만 적용한 경우의 경계상관도 비교를 보이고, <표 2>에서는 <표 1>의 시험 영상들에 대한 로컬 평균 일치도 특성을 비교한다.

<표 1>은 거리에 따른 경계상관도의 특성으로서, 시험 영상들의 특성분석에서 Floyd의 오차확산의 경계상관도 결과보다 경계강조가 적용된 기법에서 보다 나은 결과를 보여주고 있다. Eschbach의 기법과 Kim의 기법의 비교에서는 Eschbach 기법에서 다소 우수한 경계상관도를 보인다. 여기서 Eschbach의 기법과 제안필터를 적용한 경우는 동일한 여건의 실험을 적용하기 어려워 직접적인 특

성 비교는 곤란하다. 상대적인 비교만 고찰하면, 제안한 경계강조 필터의 특성에서 경계상관도의 특성이 우수하게 나타나고 있음을 알 수 있다. <표 2>는 시험영상을 경계강조 오차확산 처리시, 거리에 따른 로컬 평균 일치도의 특성을 제시한 것으로, Floyd의 오차확산시의 결과에 비하여 Eschbach 및 Kim 기법의 출력 결과는 상대적으로 낮은 결과를 보인다. 이는 기존의 경계강조 처리에서 원영상의 계조에 가중치를 곱하여 직접적으로 활용함으로써, 전체적으로는 평균 계조를 유지할 수 있으나 세분화된 로컬 영역에 대한 평균 계조의 유지 특성이 낮음을 확인할 수 있다. 반면에 원영상의 계조 변화율의 특성을 사용하는 제안필터를 적용한 결과에서는 로컬 평균 일치도 특성이 Floyd의 경우와 유사한 결과를 보여주고 있다. 이는 제안필터가 원영상의 계조 변화율을 활용하여 경계강조를 수행함으로써 출력되는 중간조 영상의 로컬 평균을 특성을 잘 유지하면서 효율적인 경계강조 효과를 제시함을 확인할 수 있다.

<표 1> 거리에 따른 경계상관도

시험 영상	기법	경계상관도(in)				
		10	15	20	25	30
Lena	Floyd	135.03	93.62	71.29	56.88	47.53
	Eschbach	233.57	141.82	98.30	73.42	58.42
	Kim	189.46	119.76	85.46	65.25	52.82
	Proposal	274.72	157.07	101.49	72.24	55.91
Peppers	Floyd	76.67	50.60	38.71	31.77	27.37
	Eschbach	161.88	80.91	52.83	39.61	32.28
	Kim	128.62	65.46	43.16	32.60	26.73
	Proposal	175.06	90.79	54.98	39.11	31.14

<표 2> 거리에 따른 로컬 평균 일치도

시험 영상	기법	로컬 평균 일치도(in)				
		10	15	20	25	30
Lena	Floyd	8.68	10.33	10.59	10.38	10.22
	Eschbach	0.60	0.71	0.77	0.81	0.84
	Kim	1.99	2.77	3.21	3.39	3.46
	Proposal	8.92	10.72	11.05	11.11	10.82
Peppers	Floyd	9.51	9.60	8.64	8.13	7.80
	Eschbach	0.76	0.71	0.69	0.69	0.69
	Kim	1.98	1.51	1.39	1.35	1.35
	Proposal	9.81	8.93	7.89	7.70	7.54

Lena 및 Peppers 영상에 청색잡음 마스크로 임계값 변조를 Kim의 기법과 제안한 필터에 전체 및 선택적으로 적용한 경우의 경계상관도를 <표 3>에 보이고, 로컬 평균 일치도 특성을 <표 4>에 보인다. <표 3>에서 경계강조 기법만 적용한 경계상관도를 기준으로 살펴볼 때, 청

색잡음 마스크로 임계값 변조를 추가시 경계상관도 특성이 전반적으로 감소됨을 알 수 있다. 그리고 청색잡음 마스크를 전체적으로 적용한 경우보다 선택적으로 적용한 경우의 경계상관도 특성은 다소 개선됨을 알 수 있다. <표 4>의 로컬 평균 일치도 특성을 살펴보면, 청색잡음 마스크를 전체 및 적응적으로 적용시에서도 로컬 평균 일치도 출력이 유사한 결과를 보여주고 있다. 처리 기법간의 비교에서는 Kim의 기법보다는 제안한 기법의 로컬 평균 일치도 특성이 우수한 결과를 유지하고 있다. <표 3>과 <표 4>의 특성을 종합하면, 청색잡음 마스크로 임계값 변조를 적응적으로 수행함으로써, 중간조 영상에서 전체적인 선명성을 유지하면서 주기적인 패턴을 효과적으로 줄여주는 특성을 확인할 수 있었다.

계값 변조는 필터의 출력값을 활용하여 잡음 마스크를 적응적으로 선택하여 임계값 변조를 수행하도록 설계하였다. 제안한 경계강조법을 적용하여 얻은 중간조 영상에서 보다 선명한 영상 모습을 확인할 수 있었다. 이에 대한 표시오차의 RAPSD 특성면에서도 제안한 기법이 보다 효과적인 경계강조 특성을 보여줌을 확인할 수 있었다. 객관적인 특성 분석을 위한 경계상관도 및 로컬 평균 일치도 함수의 결과에서, 제안한 기법이 우수한 결과를 제시하고 있음을 확인할 수 있었다. 랜덤 및 청색 잡음 마스크를 이용한 적응적 임계값 변조를 적용하여 얻은 중간조 영상에서 경계강조 기법만 적용하여 얻은 중간조 영상과 유사한 선명성을 유지하면서 주기적인 패턴을 효과적으로 감소시켜 주는 특성을 확인할 수 있었다.

<표 3> 거리에 따른 경계상관도

시 험 영 상	기 법	경 계 상 관 도(in)				
		10	15	20	25	30
Lena	Kim+BNM	179.81	114.27	81.25	61.47	49.20
	Pro.+BNM	246.01	146.59	97.51	70.51	55.03
	Kim+SBNM	184.82	115.43	81.36	61.30	49.00
	Pro.+ABNM	269.86	155.99	101.47	72.38	55.99
Peppers	Kim+BNM	116.45	62.41	42.44	32.61	26.97
	Pro.+BNM	152.41	83.32	52.72	38.34	30.82
	Kim+SBNM	123.38	63.68	42.56	32.40	26.71
	Pro.+ABNM	171.02	90.16	55.29	39.48	31.41

참 고 문 헌

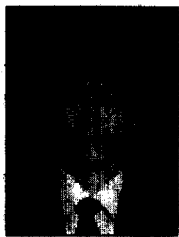
- [1] R. W. Floyd and L. Steinberg, "An adaptive algorithm for spatial greyscale," Proc. SID, Vol.17, No.2, pp.75-77, 1976.
- [2] R. Eschbach and K. Knox, "Error diffusion algorithm with edge enhancement," J. Opt. Soc. Am. A., Vol.8, No.12, pp. 1884-1850, 1991.
- [3] Jae Ho Kim, Tae Il Chung, Hyung Soon 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.
- [4] T. Mista and K. J. Parker, "Digital halftoning technique using a blue noise mask," J. Opt. Soc. Am. A, Vol.9, No.11, pp.1920-1929, Nov. 1992.
- [5] 이을환, 박장식, 박창대, 김재호, "청색잡음 마스크 임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법", 전자공학회논문지, 제36권 S편, 제10호, pp.72-82, 1999.
- [6] 이태홍, 이동원, "시각모델에 근거를 둔 반복처리에 의한 디지털 하프톤 기법", 한국통신학회논문지, 제3권 제3호, pp.780-796, 1995.
- [7] K. T. Knox and R. Eschbach, "Threshold modulation in error diffusion," Journal of Electronic Imaging, Vol.2, pp.185-192, July 1993.
- [8] T. Mitsa and K. J. Parker, "Power-Spectrum Shaping of Halftone Patterns and Its Effect on Visual Appearance," Acoustics, Speech and Signal Processing ICASSP-92, pp.III-193~196, 1992.
- [9] T. N. Pappas, D. L. Neuhoff, "Least-Squares Model-Based Halftoning," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.8, No.8, pp.1102-1116, August 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.

<표 4> 거리에 따른 로컬 평균 일치도

시 험 영 상	기 법	로 컬 평 균 일 치 도(in)				
		10	15	20	25	30
Lena	Kim+BNM	2.01	2.75	3.16	3.35	3.41
	Pro.+BNM	8.92	11.45	11.79	11.77	11.41
	Kim+SBNM	2.06	2.84	3.25	3.43	3.48
	Pro.+ABNM	8.48	11.06	11.84	11.71	11.43
Peppers	Kim+BNM	1.93	1.49	1.36	1.33	1.32
	Pro.+BNM	9.57	9.75	9.26	9.11	8.99
	Kim+SBNM	2.11	1.58	1.42	1.38	1.37
	Pro.+ABNM	10.12	9.40	8.70	8.49	8.37

5. 결 론

본 논문에서는 표준 오차확산법에서, 경계강조를 위한 필터의 설계와 필터의 출력특성을 이용한 적응적 임계값 변조 기법을 제안하였다. 제안한 필터는 원영상의 수평과 수직 방향의 공간적 계조의 2차 변화율을 독립적으로 획득하고, 이에 가중치 함수를 적용하도록 설계되었다. 적응형 임



### 강 태 하

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

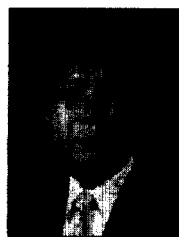
1985년 한국항공대학교 항공통신공학과  
(학사)

1987년 한국항공대학교 항공전자공학과  
(공학석사)

2001년 한국항공대학교 대학원 항공전자  
공학과(공학박사)

1987년~현재 국방과학연구소 선임연구원

관심분야 : 영상 디스플레이, 패턴인식, 동영상 신호처리



### 황 병 원

e-mail : bhwang@mail.hankong.ac.kr

1972년 한국항공대학교 항공전자 공학과  
(학사)

1981년 동경대학 전기공학과(공학석사)

1984년 동경대학 전기공학과(공학박사)

1984년~1985년 국방과학연구소 선임연구원

1993년~1994년 동경대학 전기공학과 교환교수

1985년~현재 한국항공대학교 항공전자공학과 교수

관심분야 : 영상처리 및 영상인식, 동영상 신호처리, 교통류 제어