

# 원영상의 주파수특성 성형에 의한 오차확산 영상이진화 기법

강태하\*, 황병원\*

\*한국항공대학교 전자공학과

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

## An Error-diffusion Halftoning Technique Based on Spectrum Shaping of Original Image

Tae-Ha Kang\*, Byong-Won Hwang\*

\*Dept of Avionics, Hankuk Aviation University

### 요약

본 논문에서는 원영상의 주파수특성 성형에 의한 오차확산 영상이진화 기법을 제안하였다. 오차확산에 의한 영상이진화 처리에서 이진화영상에 내재하고 있는 에지정보의 열화를 감쇄하기 위한 방법으로 원영상의 주파수특성을 활용하는 기법을 도입하였다. 주파수특성은 원영상에서 수평방향과 수직방향으로 얻고, 이들 각각에 가중치를 부여하였다. 수평과 수직의 주파수특성을 성형한후, 영상이진화 기법에서 양자화처리 수행시 이를 활용하였다. 주파수특성 성형을 위한 필터는 2종을 제안하여 적용하였다. 제안한 필터를 적용한 오차확산 영상이진화 처리를 수행한 후, 실험결과를 고찰시 이진화영상의 평탄영역은 기본특성을 유지하면서 에지정보의 특성이 부각되는 주관적인 화질특성이 얻어짐을 확인할 수 있었다.

### 1. 서론

영상이진화 기법은 2치화로 표현하는 기능을 지닌 디스플레이 장치나 프린터 등에 연속 계조의 영상을 표현하는 기법이다. 이의 출력결과는 비록 2치화 영상이지만 흑과 백의 도트를 적절히 분포시키는 방법으로 계조의 연속적인 형태를 표현한다. 그러므로 이의 목적은 최대한 연속 계조 영상에 충실하게 인식되도록 2치화 영상을 생성하는데 있다.

오차확산 영상이진화 기법은 현재 화소를 양자화할 때 발생하는 오차를 인접한 주변화소들에 적절히 분산시켜 평균오차를 영으로 만드는 방법이다[1]. 최근까지의 오차확산 영상이진화에 대한 연구는 다른 형태의 오차확산 필터 사용[2], 오차확산의 스캔 방식을 변경하는 처리[3], 로컬(local)한 명도에 기반한 최소 평균 자승 알고리즘의 사용한 처리[4], 오차확산 영상이진화 처리에서 얻어진 오차를 제한하면서 반복적인 처리로 오차를 줄여주는 절차를 도입한 기법의 구현[5], 오차확산의 한계치 변조 기법을 도입[6] 등으로 참고문헌[1]의 기법에 내재된 단점의 개선을 위해 다양하게 제시되고 있다.

오차확산 영상이진화 기법은 에지(edge) 슬로프의

열화 및 균일한 명도 영역에서의 웜 아티팩트(worm artifacts) 특성을 보이는 단점을 지닌다[5]. 앞에서 언급한 연구수행에서도 이의 단점을 개선하기 위한 부분적인 연구결과를 제시하고 있다. Knox와 Eschbach는 한계치의 변조에 따라 에리확산 하프토닝 영상에서 에지의 특성이 개선되는 개념을 제시하였다[6]. 본 연구에서는 원영상에 대한 수평방향과 수직방향의 주파수특성 성형을 위한 전처리 필터 2종을 도입하여 원영상의 공간적 주파수 특성을 얻고, 이들에 가중치를 부여한 후에 오차확산의 양자화 처리시에 활용하는 방안을 제시하였다. 2장에서는 일반적인 오차확산 영상이진화 알고리즘을 설명하였다. 3장에서 본 연구에서 제안한 2종의 전처리 필터의 알고리즘에 대하여 설명하였다. 4장에서는 제안한 기법과 기존의 오차확산 알고리즘과의 특성을 처리된 영상을 통하여 주관적으로 비교하였다. 5장은 결론 및 향후 연구방향을 제시하였다.

### 2. 오차확산 영상이진화 기법

오차확산의 기본 개념은 현재 화소의 양자화 오차를 아직 양자화 처리를 수행하지 않은 주변 화소

들에 적절히 분산시키는 것으로, Floyd와 Steinberg[1]에 의해 처음 제안되었다. 이들의 알고리즘은 2치화(binanzation)를 수행할 목적으로 다음과 같은 식들로 표현된다.

$$y(i,j) = Th(x'(i,j) - T) \quad (T = 0.5) \quad (1)$$

$$q(i,j) = y(i,j) - x'(i,j) \quad (2)$$

$$x'(i+k,j+l) = x(i+k,j+l) - H(k,l) * q(i,j) \quad (k,l > 0) \quad (3)$$

각 화소에 대한 처리가 raster scan 방식으로 수행된다고 가정하면, (i,j)는 현재화소, (i+k,j+l)은 아직 2치화되지 않은 화소를 나타낸다. 위의 식에서 x(i,j)는 정규화된 입력영상, y(i,j)는 2치화된 출력영상, x'(i+k,j+l)는 위치 (i,j)의 화소에 대한 양자화 오차에 의해 변경된 영상 q(i,j)는 양자화 오차이다. 식(1)의 양자화 과정은 임계함수 Th()에 의해 이루어지며, 출력 이진영상 y(i,j)는 x'(i,j)가 임계치 T 보다 작으면 0, 그렇지 않으면 1의 값을 갖는다. 식(3)은 양자화 과정에서 발생된 오차 q(i,j)를 아직 양자화되지 않은 주변의 화소들에 확산시키는 과정으로 H(k,l)은 오차확산의 가중치이다.

위의 알고리즘은 feedforward 오차확산이라 하며, 다음과 같이 이전화소의 양자화 오차를 현재화소에 확산시키는 feedback 알고리즘을 구성할 수 있다. H(k,l)

$$x'(i,j) = x(i,j) - \sum_k \sum_l H(k,l) * q(i-k,j-l) \quad (k,l > 0) \quad (4)$$

이는 그림 1 (a)와 같은 블록도로 나타낼 수 있다. 양자화기의 입력 x'(i,j)는 현재화소 x(i,j)에 이전 화소들의 양자화 오차들의 가중합을 더하여 얻어지며, 가중치 H(k,l)은 오차확산 필터의 의미를 지니게 된다. 결국 실제 표시되는 오차(display error)는 다음과 같다.

$$e(i,j) = y(i,j) - x(i,j) = q(i,j) - \sum_k \sum_l H(k,l) * q(i-k,j-l) \quad (k,l > 0) \quad (5)$$

위의 식을 Fourier 변환하면 표시오차 스펙트럼 E(u,v)와 양자화오차 스펙트럼 Q(u,v) 사이의 관계를 얻을 수 있다[10].

$$E(u,v) = Q(u,v)(1 - H(u,v)) \quad (6)$$

이때 H(u,v)는 오차확산 필터의 주파수 응답이다. 만약 양자화 오차 q(i,j)가 공간적으로 비상관적(spatially uncorrelated)이라면, 양자화 오차 스펙트럼 Q(u,v)는 백색(white)이 되고 표시오차 스펙트럼 E(u,v)는 주파수응답 1-H(u,v)에 의해 그 형태가 결정된다. 결국 오차확산 필터 H(u,v)의 주파수 응답은 표시오차 스펙트럼을 결정하게 된다. 그러나 일반적으로 양자화 오차의 스펙트럼은 백색이 아니며, 특히 영상이진화에서는 위의 가정이 성립하지 않는다[10].

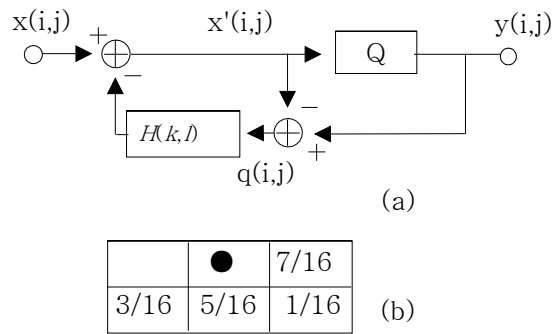


그림1. Floyd & Steinberg 오차확산 알고리즘 (a) 블록도 (b) 필터 계수

Fig. 1. Floyd & Steinberg's error diffusion algorithm

그림 1(b)는 Floyd와 Steinberg에 의해 제안된 오차확산 필터이다. 오차확산 필터 계수들의 합은 1이므로, H(u=0,v=0)=1이며, 식(6)에 의해 E(u=9,v=0)=0을 만족하므로 표시오차의 dc 성분을 0으로 한다. 이는 2치화된 영상의 평균 계조도는 국부적으로 원 영상의 계조도에 근사함을 의미한다. 또한 H(u,v)는 저역통과 특성을 지니고 있으므로, 표시오차는 양자화오차가 1-H(u,v)에 의해 고역통과 필터링된 것으로 해석할 수 있다.

오차확산의 궁극적인 목적은 인간의 시각에 감지되는 표시오차를 최소화하는데 있다. 일반적으로 인간의 시각체계는 고주파 성분에 비하여 저주파 성분의 변화에 민감하므로 표시오차의 에너지를 고주파 영역으로 이동시켜야 한다. 그러나 최근의 연구[10]에 의하면 필터계수들의 합을 1로 만들어 표시오차의 dc 성분을 0으로 만들어야 할 필요는 없으며, 오히려 dc 성분의 오차를 허용하면서 오차의 에너지를 인간 시각 체계의 특성에 따라 스펙트럼의 전영역에 적절히 분배하는 것이 더 중요하다.

3. 원영상의 주파수특성 성형에 의한 오차확산

그림 2에서 원영상의 주파수특성 성형에 의한 오차확산 알고리즘의 블록도를 제시한다.

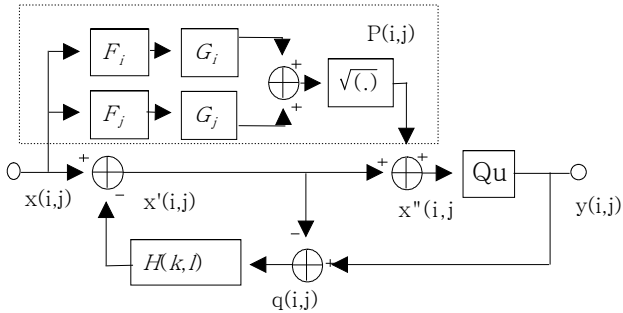


그림 2. 원영상 주파수특성 성형의 오차확산 알고리즘  
Fig. 2. Error-diffusion algorithm based on sprctrum

그림 2에서 점선으로 표시한 부분이 주파수특성 성형 필터링을 수행하는 부분이다. 이를 제외한 경우가 일반적인 오차확산 영상이진화의 블록도이다. 일반적인 경우에는  $x'(i,j)$ 가 식(3)과 같이 양자화기에 입력되는 반면, 그림 2의 경우와 같이 주파수특성 성형 필터링을 추가하는 경우에는 식(7)의  $x''(i,j)$ 가 양자화기에 입력된다.

$$x''(i,j) = x'(i,j) + P(i,j) \tag{7}$$

원영상의 주파수특성 성형을 위한 필터의 구성은 수평 및 수직방향의 필터, 이들 각각에 대한 가중치 설정 및 이들 출력값을 자승하여 합산한후 SQRT 처리로서 구성된다. 그림 2에서  $F_i$ 와  $F_j$ 는 원영상에서 고주파특성을 강조하기 위한 필터로서, 첨자  $i,j$ 는 수평 및 수직방향을 의미한다. 일반적인 설계로서 제시되고 있는 필터와 가중치 함수의 특성에 따라 필터를 2종으로 제시하여 특성을 비교하였다. 아래에서 제시한 필터의 기본특성을 설명하였다.

가. 주파수특성 성형 필터1

필터  $F_i$ 와  $F_j$ 는 영상이진화 처리를 수행하고 있는 위치를 기준으로 주변윈도우의 공간주파수의 고역특성을 강조하기 위한 특성으로, 평탄영역에서는 0의 값을 가지고, rising edge에서는 음의 값, falling edge 에서는 양의 값을 갖는다. 즉, 평탄영역인 dc 성분에서 0의 출력을 갖게 되므로, 이진화

된 영상의 평균 계조도는 기본적으로 원영상과 유사한 특성을 갖게 된다. 필터1의 특성을 수식으로 표현하면 다음과 같다. 수식의 가중치는 주파수특성에 비례하도록 구성되어 있다.

$$P_i = F_i * G_i \tag{8}$$

$$P_j = F_j * G_j \tag{9}$$

$$P(i,j) = \sqrt{(P_i^2 + P_j^2)} \tag{10}$$

이 필터의 주파수 응답은 그림 3에서 보인다. 여기서 수평축과 수직축은 필터계수를 계산시의 어레이 인자를 의미하고, 필터의 Magnitude는 1로 정규화 처리된 것이다.

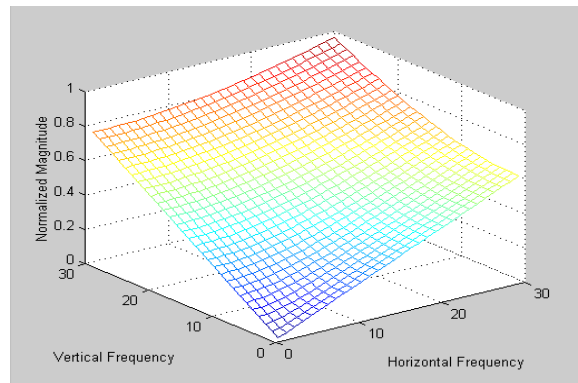


그림 3. 입력성형 필터의 주파수응답(1)  
Fig 3. Frequency response of input shaping filter(1)

나. 주파수특성 성형 필터2

필터2의 경우도 그림2의 P(i,j)의 함수로서 원영상에 대한 주파수특성 성형의 필터로 설계하였다.

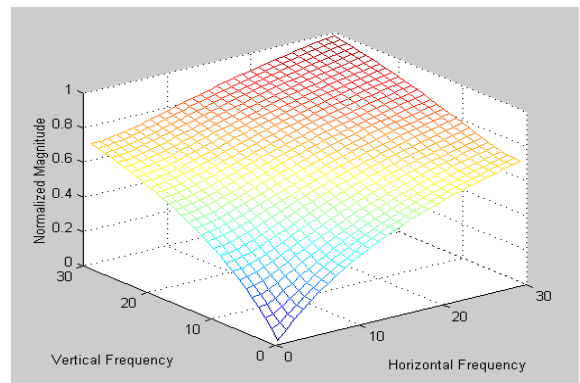


그림 4. 입력성형 필터의 주파수응답(2)  
Fig. 4. Frequency response of input shaping filter(2)

이 필터의 적용에 대한 동작개념은 필터1의 경우와 동일하다. 다만 그림 4에서 보이는 바와 같이 필터의 주파수응답 특성이 다르게 구성되었다. 그림 3에서는 필터의 출력특성이 주파수의 값에 비례하는 가중치가 적용된 경우이고, 그림 4에서는 필터의 출력특성이 주파수의 값에 로그함수의 형태에 비례하는 가중치가 적용된 경우이다. 필터2에 대한 특성을 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$F(i,j) = \sqrt{(F_{hi} \times G_{hi})^2 + (F_{vj} \times G_{vj})^2} \quad (11)$$

$$G_{hi} = \frac{a_i}{1 + b_i \times |F_i|} \quad (12)$$

$$G_{vj} = \frac{a_j}{1 + b_j \times |F_j|} \quad (13)$$

#### 4. 실험 및 고찰

본 연구에서 제안한 원영상 주파수특성 성형을 위한 필터 2종에 대한 적용시, 오차확산 영상이진화 출력특성을 검토하기 위하여 실험한 영상은 lena 영상, peppers 영상 및 Arden chart로 구성된 영상을 구현하여 사용하였다. 실험에 사용한 Arden chart 영상은 식(14)를 사용하여 발생시켰다[11].

$$I(x,y) = I_0(y) * \cos(w(x) * x) + constant \quad (14)$$

위의 식에서  $I_0(y)$ 는 위에서 아래로 갈수록 증가하는 함수이고,  $w(x)$ 는 좌에서 우로 갈수록 지수함수적으로 증가하는 함수를 임의로 사용하였다. 그러므로 실험에 사용한 Arden chart는 오른쪽 하단부로 갈수록 진폭이 증가하고 공간주파수가 높아지는 특성을 지니게 된다. 여기서 생성된 영상은 그림 7(a) 으로서 제시된다.

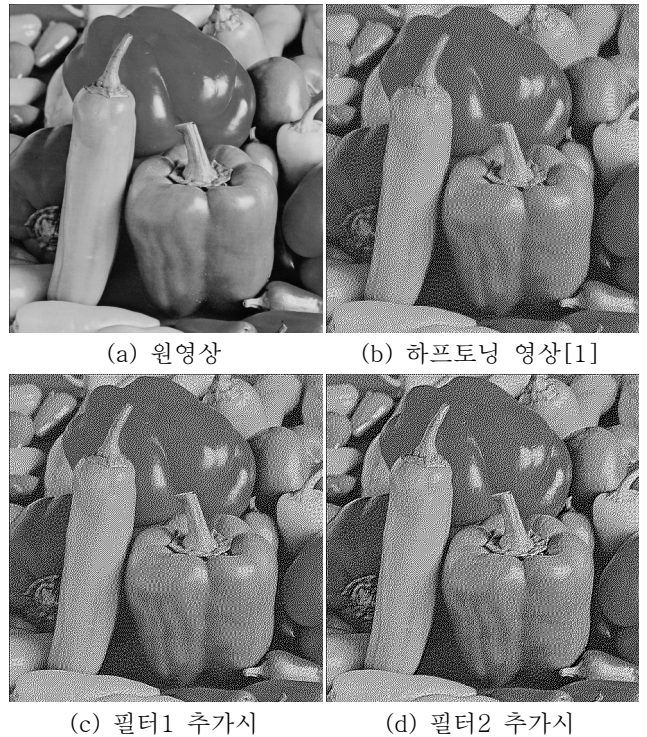
오차확산 영상이진화 기법에 대한 특성비교를 위한 실험에 사용한 필터1의 계수값들은 다음과 같다. 식(8)과 식(9)에서  $G_i = 0.2$ ,  $G_j = 0.3$ 를 실험적으로 선택하여 필터를 구성한 것이다. 필터2의 계수값들은  $a_i = a_j = 1.25$ ,  $b_i = b_j = 0.015$  를 실험적으로 적용한 것이다.

그림 5(a)는 lena 의 원영상으로서 실험을 위한 입력영상이다. 그림 5(b)는 Floyd와 Steinberg[1]가 제안한 알고리즘과 필터계수를 적용하여 얻어진 오차확산 이진화영상이다. 그리고 그림 5(c)는 필터1을 그림 2의 블록도와 같이 적용하여 원영상의 주파수



(a) 원영상 (b) 하프토닝 영상[1]  
(c) 필터1 추가시 (d) 필터2 추가시  
그림 5. lena 영상의 특성 비교

Fig. 5. Characteristic of image "lena"



(a) 원영상 (b) 하프토닝 영상[1]  
(c) 필터1 추가시 (d) 필터2 추가시  
그림 6. peppers 영상의 특성 비교

Fig. 6. Characteristics of image "peppers"

특성 성형을 수행한 결과를 추가한 오차확산 이진화 영상의 모습이다. 그림 5(d)는 필터2를 그림 5(c)의 필터1과 교체하여 적용하고, 오차확산 처리를 수행

하여 얻어진 이진화영상의 모습을 보인다. 300dpi의 레이저 프린터 출력의 결과를 기준으로 비교시, 그림 5(b) 보다는 필터1과 필터2 추가시 모두 하프톤 영상내의 에지(edge)부가 강조되어 blurring 특성이 감소되는 결과를 보여주고 있다. 또한 필터1과 필터2의 적용한 실험결과 비교시, 모자의 주름영역과 깃털장식된 영역을 살펴보면 필터2의 출력영상이 보다 세밀한 에지 표현능력을 보여줌을 확인할 수 있었다.

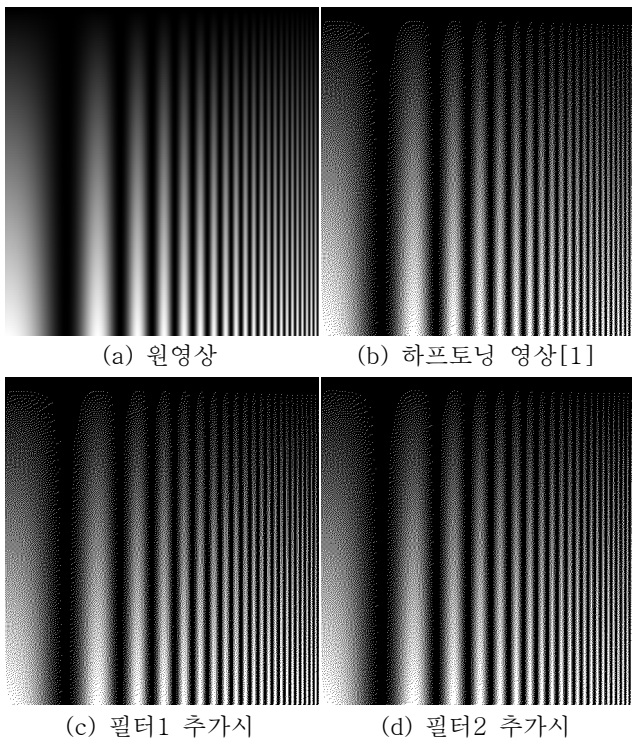


그림 7. Arden chart 영상의 특성 비교  
Fig. 7. Characteristics of Arden chart image

그림 6(a)는 peppers 의 원영상으로서 실험을 위한 입력영상이다. 그림 6(b), (c) 및 (d)는 그림 5의 (b), (c) 및 (d)와 동일한 실험조건을 적용하여 얻어진 오차확산 이진화영상이다. 이들의 실험결과를 비교에 있어서, 필터1과 필터2 적용에 따라 영상내의 과일들간의 에지부에 고주파특성이 강조되어 전반적으로 과일 형상이 선명하게 부각되어 표현되는 주관적인 특성이 얻어짐을 확인할 수 있었다.

그림 7(a)는 식(14)의 함수에서 임의의  $I_0(y)$ ,  $w(x)$  함수를 설정하여  $I(x,y)$  함수에 대입하여 얻어진 생성영상이다. 그림5와 그림6의 실험조건과 동일하게 그림 7(b)는 Floyd 와 Steinberg[1]의 오차확산 알고리즘을 적용하여 얻어진 이진화영상이며, 그림 7(c)와 (d)는 필터1과 필터2를 적용하여 얻어진

이진화영상이다. Arden chart는 영상내의 특성이 상단에서 하단으로는 상수의 가중치에 비례하는 특성을 지니고, 좌측에서 우측으로는 지수함수의 가중치에 비례하도록 진폭이 증가되고, 또한 공간주파수가 높아지는 특성을 지닌 함수이다. 이의 프린터 출력결과에 대한 고찰시 기본의 Floyd 와 Steinberg[1]가 제안한 알고리즘과 유사한 특성을 보여줌을 알 수 있다. 이로서 제안된 필터1과 필터2의 적용에 따라 전반적인 영상의 공간주파수 특성에 대한 열화를 초래하지 않으면서 상대적으로 급격한 기울기를 지니는 에지부의 특성을 강조하는 기능을 유지함을 확인할 수 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 Floyd 와 Steinberg[1]가 제안한 오차확산 이진화영상 기법을 기반으로 하여 원영상의 주파수특성 성형의 처리결과를 양자화 처리과정에만 적용시켜 주는 알고리즘을 구성하였다. 주파수 특성 성형을 위한 필터는 원영상의 평탄영역의 기본 특성을 유지하면서 에지부의 특성을 증대시켜 주기 위한 기능을 갖는 2중의 필터를 제안하였다. 제안된 필터는 영상내의 수평방향과 수직방향의 주파수특성을 각각 연도록 구성되었으므로 양방향에 대한 에지부 강조 효과를 얻도록 설계되었다. 앞장의 실험을 통한 고찰에서 제안된 필터의 적용시 에지부의 특성이 부각되는 결과를 확인할 수 있었으며, 또한 프린터 출력영상이 전반적으로 물체의 표현에서 선명하게 나타나고 있음을 확인하였다.

본 연구의 실험과정에서 고찰시, 제안한 필터1과 필터2의 가중치 계수값들은 반복적인 실험을 통하여 임의로 선택하여 적용한 것으로, 이들의 부분적인 조정에 따라 보다 최적의 결과를 보이는 계수값을 설정할 수 있으리라 예상된다. 식(12)와 식(13)의 계수  $a_p, a_j$ 를 증가시키면 출력의 보다 작은 에지부의 강조효과를 얻을 수 있으나, 매우 큰 에지부에 과도한 강조로 영상의 열화가 발생되는 특성을 보이며,  $b_p, b_j$ 는 위에서의 열화가 발생하지 못하도록 조정하기 위하여 설정된 계수이다. 이에 따라 최적의 결과를 얻을 수 있는 필터의 설계검토가 보다 분석적으로 수행되어야 한다. 그리고 필터의 설계와 더불어 이의 적용에 따라 얻어진 출력결과에의 검토시, 보다 객관성을 확인하기 위한 평가방법이 적용되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] R. W. Floyd and L. Steinberg, "An adaptive algorithm for spatial greyscale," in Proc. Soc. Inf. Disp, vol. 17, pp. 75-77, 1976.
- [2] P. Stucki, "MECCA-A multiple-error correcting computation algorithm for bilevel image hardcopy reproduction," IBM Res. Rep. RZ1060, 1981.
- [3] Z. Fan, "Error diffusion with a more symmetric error distribution," Proc. SPIE, vol. 2179, pp. 150-158, May, 1994.
- [4] P. W. Wong, "Adaptive error diffusion and its application in multiresolution rendering," IEEE Trans. Image Processing, vol. 5, pp. 1184-1196, July, 1996.
- [5] A. Kumar and A. Markur, "On the phase response of the error diffusion filter for image halftoning," IEEE Trans. Image Processing, vol. 8, pp. 1282-1292, Sep., 1999.
- [6] K. T. Knox and R. Eschbach, "Threshold modulation in error diffusion," J. Electron. Image., vol. 2, pp. 185-192, July, 1993.
- [7] J. Sullivan, R. Miller and G. Pios, "Image halftoning using a visual model in error diffusion," J. Opt. Soc. Amer. A, vol. 10, pp. 1714-1724, Aug., 1993.
- [8] S. Hein and A. Zakhor, "Halftone to continuous-tone conversion of error-diffusion coded images," IEEE Trans. Image Processing, vol 4, no. 2, pp. 208-216, Feb., 1995.
- [9] P. W. Wong, "Entropy-constrained halftoning using multipath tree coding," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 6, no. 11, pp. 1567-1579, Nov., 1977.
- [10] B. W. Kolpatzik and C. A. Bouman, "Optimized error diffusion for image display," Journal of Electronic Imaging, vol. 1, No. 3, pp. 277-292, 1992.
- [11] Jae S. Lim, "Two-dimensional signal and image processing," Prentice-Hall, pp. 432, 1990.