

論文95-32B-11-11

잡음주파수특성 성형에 의한 오차확산 영상이진화 기법

(An error-diffusion halftoning technique
based on noise spectrum shaping)

李光基*, 李在天**, 權用武***, 金炯坤***

(Kwang Kee Lee, Jae Chon Lee, Yong Moo Kwon, and Hyoung Gon Kim)

요 약

본 논문에서는 잡음주파수특성 성형에 의한 오차확산 영상이진화 기법을 제안하였다. 오차확산을 포함한 모든 영상이진화 알고리즘에 있어서 평균계조도의 유지와 공간정보의 보존은 상호배타적인 문제이다. 이러한 문제를 적절히 해결하기 위하여 잡음주파수특성을 조정하는 기법을 도입하였으며, LMS 알고리즘을 사용하여 오차확산필터 계수를 추정함으로써 주파수 가중 오차를 최소화하는 적응 알고리즘을 제시하였다.

Abstract

In this paper, we propose an error diffusion image halftoning technique based on the noise spectrum shaping. The new technique can arbitrarily control the shape of the display error spectrum whereas conventional halftoning algorithms have been known to minimize dc errors only in which case edge information cannot be properly rendered. As a method for estimating the error diffusion coefficients, a least mean square (LMS) approach is adopted.

I. 서 론

영상의 디스플레이에 있어서 제한된 가지수의 계조 혹은 컬러를 만들 사용해야 하는 경우가 여러가지 있다. 예를 들면 프린터, Fax 등의 이진신호 뿐만 아니라 전계발광표시장치(ELD)를 포함한 평판(flat panel) 디스플레이 혹은 CRT 등에 있어서, 기술적/경제적 이유로 인하여 표현할 수 있는 계조도의 수가 제한되는 경우에, 효과적인 디스플레이 방법이 필요하다.

특히 원영상을 2진화 (binarization) 하여 표현하는 방법을 halftoning 이라 하며 다양한 알고리즘이 존재한다. 그중에서도 오차확산 (error diffusion) 기법은 현재 화소를 양자화할 때 발생하는 오차를 주변 화소들에 적절히 분산시킴으로써 평균 오차를 영으로 만드는 방법으로, Floyd 와 Steinberg^[1] 에 의해 처음 제안되었다.

오차확산을 포함한 모든 halftoning 알고리즘은 원영상의 평균계조도, 즉 dc 성분을 유지하기 위하여 고주파 성분을 포함하는 에지(edge) 등에서의 공간정보를 희생할 수 밖에 없다^[2]. 따라서 halftone 영상은 두가지 상호 배타적인 오차를 수반하게 된다. 평균계조도를 정확하게 유지하기 위해서는 오차스펙트럼의 dc 에너지를 영으로 해야하는 반면, 에지 정보의 보존을 위해서는 고주파에서의 오차스펙트럼의 에너지를 최소화해야 한다. 그러므로 최적 halftoning 알고리즘의 설계를 위해서는 궁극적으로 오차스펙트럼의 주파수 특성을 적절히 조절할 수 있어야 한다.

* 正會員, 三星綜合技術院

(Samsung Advanced Institute of Technology)

** 正會員, 亞洲大學校 시스템工學科

(Dept. of System Eng., Ajou Univ.)

*** 正會員, 韓國科學技術研究院, 情報電子研究部

(Korea Institute of Science & Technology
(KIST), Applied Electronics Lab.)

接受日字: 1994年3月3日, 수정완료일: 1995年10月30日

최근 오차확산에 기초한 halftoning 의 주요 연구동향은 인간시각체계 (Human Visual System:HVS), 프린터 모델 등의 도입이다^[2-5]. HVS는 상호작용을 통하여 반응하는 여러 부분들로 이루어져 있으며, 웨버의 법칙으로 모델링되는 빛의 세기에 대한 비선형적 반응 특성, MTF(Modulation Transfer Function)로 모델링되는 공간주파수 반응 특성, 공간 마스크 특성(Spatial Masking Effect), Mach Band 효과 등이 알려져 있다. 현재까지 이러한 모든 부분들의 상호작용이 만족스럽게 설명되지는 못하고 있는 실정이지만, 공간주파수 반응 특성에 대한 많은 연구결과가 발표되고 있다. 이러한 연구결과들은 대체로 다음과 같은 사실에 기초하고 있다. 인간시각의 공간주파수 반응 특성은 중간 주파수 영역에서 최대값을 나타내며, 그 이후 주파수의 증가에 따라 급격하게 감소한다. 또한 인간시각의 공간주파수 반응 특성은 수직 및 수평 방향에서 가장 높으며, 양 축에서 각도가 커질수록 감소하게 된다^[6-7]. 이상의 인간시각체계의 공간주파수 반응 특성은 위에서 설명한 상호배타적인 오차 사이의 최적 관계를 설정하는 왜곡척도 (distortion measure) 로서 사용될 수 있다. 즉 저주파오차와 고주파오차 사이의 관계, 더 일반적으로 오차스펙트럼의 형태를 조정함으로써, 인간시각에 감지되는 오차를 최소화할 수 있다.

본 논문에서는 오차스펙트럼의 형태를 조정하여 주파수 가중 오차를 최소화할 수 있는 halftoning 알고리즘을 제안하였다. 또한 비정적 (non-stationary) 인 영상신호특성을 고려하여, 오차확산필터 계수가 영상신호의 통계적 특성에 적용할 수 있는 최소자승오차 (LMS) 알고리즘을 사용하였다. II 장에서 일반적인 오차확산 기법에 대하여 설명하였으며, 평균자승오차를 최소화 하기 위하여 LMS 알고리즘을 도입하였다. III 장에서 본 논문에서 제안한 잡음성형에 의한 적응 오차확산 알고리즘을 설명하였다. IV 장에서 본 논문에서 제안한 방법과 기존의 방법을 비교분석하였으며, V 장에서 결론 및 향후 연구방향을 제시하였다.

본 논문의 기술에 있어서 '오차'라는 낱말의 의미는 다음과 같다. 첫째 '오차확산'에서의 오차는 양자화오차(quantization error) 를 의미한다. 둘째 '오차의 최소화' 혹은 '오차스펙트럼'에서의 오차는 원영상과 이진화된 출력영상 사이의 차, 즉 표시오차 (display error) 를 의미한다. 또한 필요한 경우 '잡음'을 표시

오차의 의미로 사용하였다.

II. 오차 확산

1. 오차확산 알고리즘

오차확산의 기본 개념은 현재 화소의 양자화 오차를 아직 양자화되지 않은 주변 화소들에 적절히 분산시키는 것으로, Floyd 와 Steinberg^[1] 에 의해 처음 제안되었다. 이들의 알고리즘은 2진화(binanzation)를 목적으로 할 경우 다음과 같은 식들로 표현된다.

$$y[i,j] = Th(z[i,j] - T) \quad (T = 0.5) \quad (1)$$

$$q[i,j] = y[i,j] - z[i,j] \quad (2)$$

$$z[i+k,j+l] = x[i+k,j+l] - g[k,l]q[i,j] \quad (k,l > 0) \quad (3)$$

각 화소에 대한 처리가 raster scan 순서로 이루어진다고 가정하면, $[i,j]$ 는 현재화소, $[i+k,j+l]$ 은 아직 2진화되지 않은 화소를 나타낸다. 위의 식에서 $x[i,j]$ 는 정규화된 입력영상, $y[i,j]$ 는 이진화된 출력영상, $z[i+k,j+l]$ 는 $[i,j]$ 화소의 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 $z[i,j]$ 가 임계치 T 보다 작으면 0, 아니면 1 의 값을 갖는다. 식 (3)은 양자화 과정에서 발생된 오차 $q[i,j]$ 를 주변의 화소들에 확산시키는 과정으로 $g[k,l]$ 은 오차확산의 가중치이다.

위의 알고리즘을 feedforward 오차확산이라 하며, 다음과 같이 이전화소의 양자화오차를 현재화소에 확산시키는 feedback 알고리즘을 구성할 수 있다.

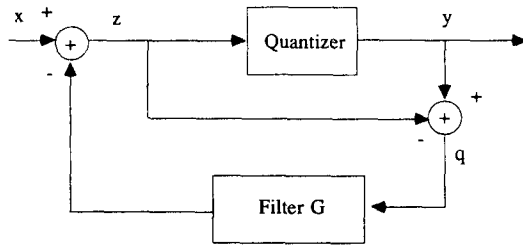
$$z[i,j] = x[i,j] - \sum_k \sum_l g[k,l]q[i-k,j-l] \quad (k,l > 0) \quad (4)$$

$$y[i,j] = Th(z[i,j] - T) \quad (T = 0.5) \quad (5)$$

$$q[i,j] = y[i,j] - z[i,j] \quad (6)$$

이는 그림 1 (a)와 같은 불려도로 나타낼 수 있다. 양자화기의 입력 $z[i,j]$ 는 현재 화소 $x[i,j]$ 에 이전 화소들의 양자화 오차들의 가중합을 더하여 얻어지며,

가중치 $g(k,l)$ 은 오차확산 필터의 의미를 지니게 된다. 결국 실제 표시되는 오차(display error)는 다음과 같다.



(a)

		$g(0,1) = 0.4375$
$g(1,-1) = 0.1875$	$g(1,0) = 0.3125$	$g(1,1) = 0.0625$

(b)

그림 1. Floyd & Steinberg 의 오차확산 알고리즘

(a) 블록도(b) 필터계수

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

(a) Block diagram.(b) Filter coefficients.

$$e(i,j) = y(i,j) - x(i,j)$$

$$= q(i,j) - \sum_k \sum_l g(k,l) q(i-k,j-l) \quad (k,l) \neq (0,0) \quad (7)$$

위의 식을 Fourier 변환하면 표시오차 스펙트럼 $E[u,v]$ 와 양자화오차 스펙트럼 $Q(u,v)$ 사이의 관계를 얻을 수 있다^[3].

$$E[u,v] = Q[u,v] (1-G[u,v]) \quad (8)$$

이때 $G[u,v]$ 는 오차확산 필터의 주파수 응답이다. 만약 양자화오차 $q[i,j]$ 가 공간적으로 비상관적 (spatially uncorrelated)이라면, 양자화오차 스펙트럼 $Q[u,v]$ 는 백색(white)이 되고 표시오차 스펙트럼 $E[u,v]$ 는 주파수 응답 $1-G[u,v]$ 에 의해 그 형태가 결정된다. 결국 오차확산필터 $G[u,v]$ 의 주파수 응답은 표시오차 스펙트럼을 결정하게 된다. 그러나 일반적으로 양자화오차의 스펙트럼은 백색이 아니며, 특히 halftoning 에서는 위의 가정이 성립하지 않는다^[3].

그림 1 (b)는 Floyd 와 Steinberg^[11]에 의해 제안된 오차확산필터이다. 오차확산필터 계수들의 합은 1 이므로, $G[u=0,v=0] = 1$ 이며, 식 (8)에 의해 $E[$

$u=0,v=0] = 0$ 을 만족하므로 표시오차의 dc 성분을 0으로 한다. 이는 이진화된 영상의 평균 계조도는 국부적으로 원영상의 계조도에 근사함을 의미한다. 또한 $G[u,v]$ 는 저역통과 특성을 갖고 있으므로, 표시오차는 양자화오차가 $1-G[u,v]$ 에 의해 고역통과 필터링된 것으로 해석할 수 있다.

오차확산의 궁극적 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^[3]에 의하면 필터 계수들의 합을 1로 만들어 표시오차의 dc 성분을 0으로 만들어야할 필요는 없으며, 오히려 dc 성분의 오차를 허용하면서 오차의 에너지를 인간시각체계의 특성에 따라 스펙트럼의 전영역에 적절히 분배하는 것이 더 중요하다.

2. 적응 오차 확산

식 (7)은 전형적인 선형예측 시스템으로, 양자화 오차 $q[i,j]$ 는 선형예측 시스템의 입력, $g[k,l]$ 은 예측기의 계수값, $e[i,j]$ 는 예측오차로 해석할 수 있다. 선형예측기의 평균자승오차를 최소화하는 계수 $g[k,l]$ 의 최적값은 Yule-Walker equation을 통하여 얻을 수 있으나, 예측기의 입력 $q[i,j]$ 는 일반적으로 비정적 (non-stationary) 이므로, 실현이 어렵다. 그러므로 LMS(Least Mean Square) 알고리즘을 사용하여 적응적 오차확산을 구성할 수 있다. 즉, 예측오차는 식 (7)과 같이 표현되고 오차확산필터의 계수는 다음과 같이 갱신된다.

$$g^{n+1}[k,l] = g^n[k,l] + \mu e[i,j] q[i-k,j-l] \quad (9)$$

위식에서 μ 는 수렴상수 (convergence factor)이다. 위의 방법은 표시오차의 평균자승값을 최소화할 수 있으나, 앞절에서 설명한 바와 같이 오차확산의 목적은 인간시각에 감지되는 오차를 최소화하는 것을 목적으로 하므로, 다음 장에서와 같이 오차스펙트럼의 형태를 변형할 수 있는 방법이 필요하다.

III. 잡음성형에 의한 적응 오차확산

최근 Sullivan 등은 기존의 오차확산 알고리즘을 수정하여 오차스펙트럼의 형태를 조정하는 방법을 제안

하였다¹⁴⁾. 본 논문에서는 그림 2와 같이 Sullivan 등의 방식을 기초로하여, 기존의 오차확산 알고리즘에 필터 $w[m,n]$ 을 첨가한 시스템을 가정하였다. 그림 1의 시스템에서는 양자와 오차가 feedback 되는 반면 그림 2에서는 다음과 같은 값이 feedback 된다.

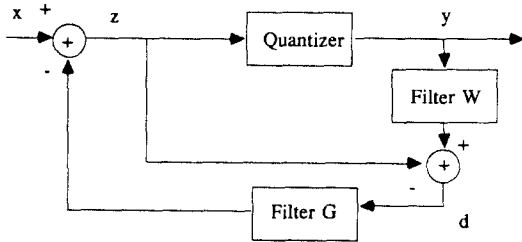


그림 2. 잡음성형에 의한 오차확산 알고리즘의 블록도
Fig. 2. Block diagram of error diffusion with noise shaping.

$$d[i,j] = \sum_m \sum_n w[m,n] y[i-m,j-n] - z[i,j] \quad (m,n \geq 0) \quad (10)$$

그러므로 Fourier 영역에서의 표시오차는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} E[u,v] &= Y[u,v] - X[u,v] \\ &= (X[u,v] - W[u,v]X[u,v] \\ &\quad + D[u,v] - G[u,v]D[u,v]) / W[u,v] \end{aligned} \quad (11-a)$$

위의 식에서 $W[u,v]$ 는 잡음성형을 위한 필터 $w[m,n]$ 의 Fourier 변환이다. 위의 식을 다음과 같이 고쳐쓰면 $W[u,v]$ 가 잡음성형 필터의 의미를 갖고 있음을 알 수 있다.

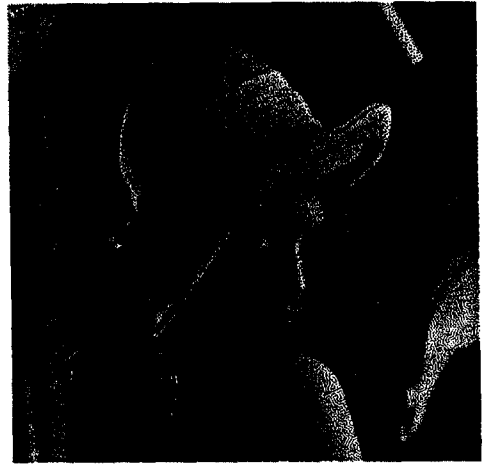
$$\begin{aligned} E[u,v]W[u,v] &= X[u,v] - W[u,v]X[u,v] \\ &\quad + D[u,v] - G[u,v]D[u,v] \end{aligned} \quad (11-b)$$

위식의 에너지를 최소로 하는 시스템은 표시오차 스펙트럼 $E[u,v]$ 의 형태를 조정할 수 있다. 즉, $W[u,v]$ 가 큰 영역에서의 오차는 큰 가중치를 갖게되므로 상대적으로 오차가 작아야되는 반면, 반대 경우는 큰 오차가 허용될 수 있다. 식 (11-b) 를 공간영역에서 표현하면 다음과 같이 가중오차(weighted error) $\epsilon[i,j]$ 를 얻을 수 있다.

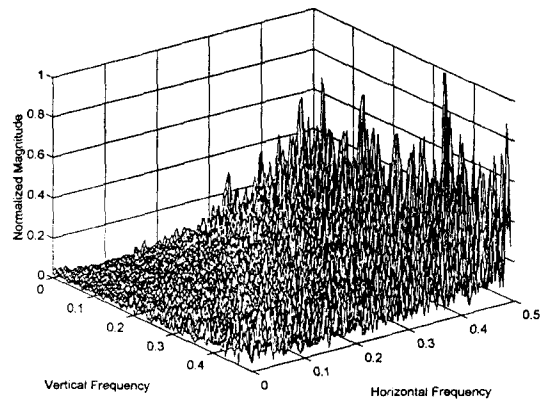
$$\epsilon[i,j] = \sum_m \sum_n w[m,n] \epsilon[i-m,j-n]$$

$$\begin{aligned} &= x[i,j] - \sum_m \sum_n w[m,n] x[i-m,j-n] \\ &\quad + d[i,j] - \sum_k \sum_l g[k,l] d[i-k,j-l] \end{aligned} \quad (12)$$

본 논문에서는 가중오차의 지승평균값을 최소화하기 위하여 앞장에서와 같이 LMS 알고리즘을 사용하였으며, 이때 오차확산 필터의 계수는 다음과 같이 갱신된다.



(a)



(b)

그림 3. Floyd & Steinberg 알고리즘에 의한 처리결과

(a) halftone 영상 (b) 표시오차 스펙트럼
Fig. 3. Result of Floyd & Steinberg's error diffusion algorithm.

(a) Halftoned image. (b) Display error spectrum.

$$g^{i+1}[k,l] = g^i[k,l] + \mu \epsilon[i,j] d[i-k,j-l] \quad (13)$$

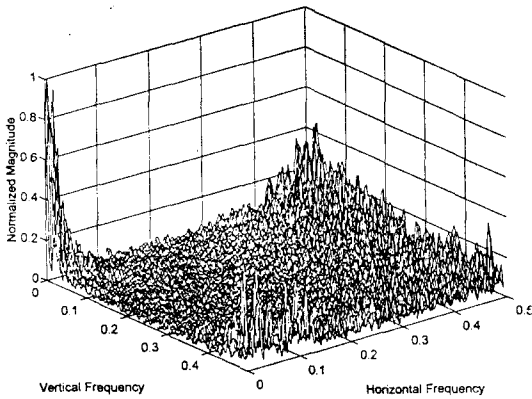
II장 2절 에서 설명한 적응 오차확산은 위에서 설명

한 잡음성형에 의한 적응 오차확산의 특별한 경우, 즉 $w[0,0] = 1, w[m,n] = 0 (m,n \neq 0)$ 인 경우이다.

기의 표시오차에 zero padding 을 하여 256x256 영상을 만든 후, 이에 대한 DFT 의 절대값을 최대 1 로 정규화한 그림이다. 그림 3, 4는 각각 Floyd & Steinberg 알고리즘 및 적응 오차확산에 의한 halftone 영상과 표시오차 스펙트럼이다. 앞에서 살펴본 바와 같이 Floyd & Steinberg 알고리즘은 표시오차의 dc 성분을 영으로 만드는 것을 확인할 수 있다(그림 3 (b)). 반면에, II장 2절 에서 설명한 바와 같이, 적응 오차확산은 평균자승오차(MSE)를 최소화하는 방향으로 오차확산 필터를 갱신시키므로 그림 4 (b) 에 서 볼 수 있듯이 dc 오차를 허용하게 된다.



(a)

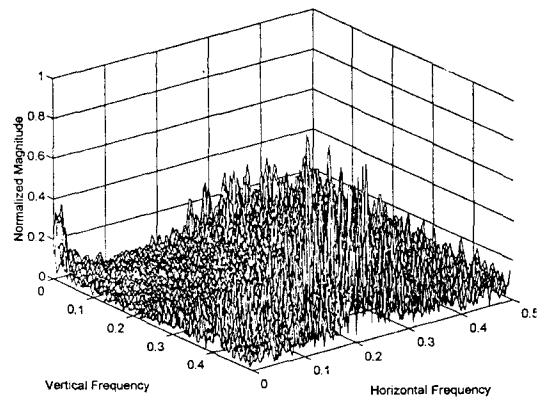


(b)

그림 4. 적응 오차확산에 의한 처리결과
(a) halftone 영상(b) 표시오차 스펙트럼
Fig. 4. Result of the adaptive error diffusion algorithm.
(a) Halftoned image.(b) Display error spectrum.



(a)



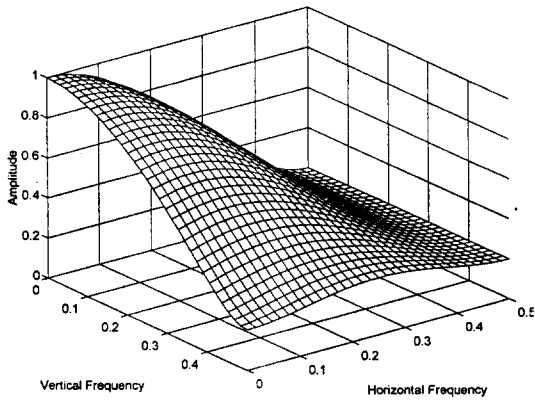
(b)

0.0	0.0	0.0
0.0	0.4	0.2
0.1	0.2	0.1

(c)

IV. 실험 및 결과고찰

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 512x512 Lena 영상에 대하여 halftoning 을 수행하였다. 그림 3,4,5,7 에 도시된 표시오차 스펙트럼은 Lena 영상의 얼굴 부분에 해당하는 128x128 크



(d)

그림 5. 잡음성형에 의한 적응오차확산의 처리결과 (저역통과잡음성형의 경우)
(a) halftone 영상 (b) 오차 스펙트럼
(c) 잡음성형필터의 계수 (d) 잡음성형필터의 주파수 응답

Fig. 5. Result of the adaptive error diffusion with noise shaping (Low pass spectrum shaping).
(a) Halftoned image, (b) Display error spectrum, (c) Noise shaping filter coefficients, (d) Frequency response of noise shaping filter.

그림 5 는 III 에서 설명한 잡음성형에 의한 적응오차확산에 의한 처리 결과이다. 그림 5 는 저역통과 필터를 사용한 예로, (c) 와 (d) 는 각각 잡음성형필터의 계수 및 주파수 응답 특성이다. 잡음성형필터는 식 (10) 과 같이 처리된 이진 영상에 대하여 적용되므로 (c) 에서와 같이 causal 필터를 구성하였다. 그 결과 (a) 와 같은 halftone 영상을 얻었으며 (b) 는 이때 발생된 표시오차 스펙트럼이다. 예상한 바와 같이 (b) 의 표시오차 스펙트럼은 잡음성형필터의 주파수 응답이 작은 부분 즉 고주파 영역으로 오차 에너지를 이동시킨 것을 확인할 수 있다. 또한 dc 항 근처에서도 상당한 오차를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그림 3 과 그림 5 (a) 를 비교하였을때 후자의 경우가 예지의 보존이라는 측면에서 더욱 우수한 주관적 화질을 나타낼 수 있다. 이는 전자의 Floyd & Steinberg 알고리즘이 평균오차를 영으로 만들기 위해 고주파 정보의 손실을 야기하는 반면, 후자의 경우는 잡음성형에 의해 평균계조도의 유지와 공간정보의 보존이라는 양자 사이의 조정이 이루어졌음을 의미한다. 이상의 결과

에서 볼 수 있드시 그림 5 (c) 의 간단한 저역통과필터가 인간시각의 공간주파수 반응특성을 상당부분 반영함으로써 주관적 화질의 개선이 가능함을 알 수 있다.

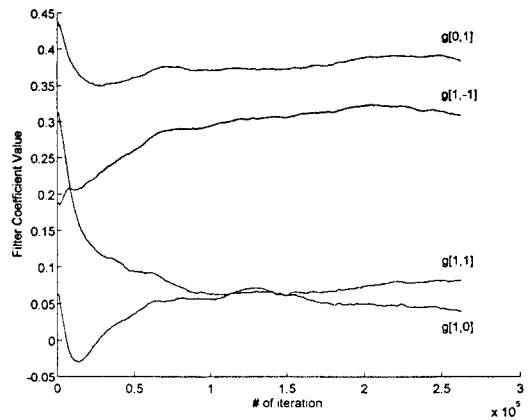


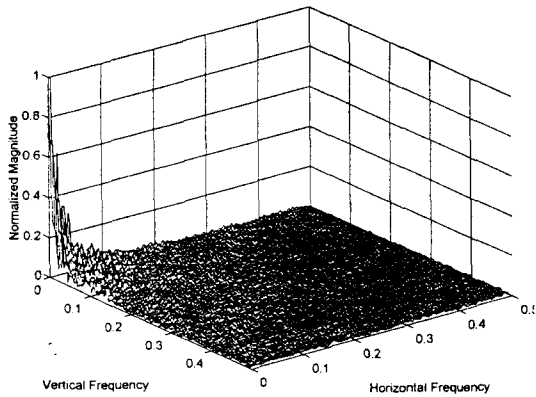
그림 6. 저역통과 잡음성형에 의한 적응오차확산필터의 수렴특성

Fig. 6. Convergence of the filter coefficients of the adaptive error diffusion with low pass noise shaping.

위의 실험에서 수렴상수 μ 는 0.0005 를 사용하였으며, 이 경우 오차확산 필터의 계수값의 변화는 그림 6 과 같다. 초기값은 Floyd & Steinberg 알고리즘의 값을 사용하였다. 그림 6 에서 볼 수 있드시 오차확산 필터의 계수값이 일정한 값으로 수렴함을 알 수 있다. 이는 잡음성형필터에 대한 최적 오차확산필터의 값이 존재함을 의미한다.



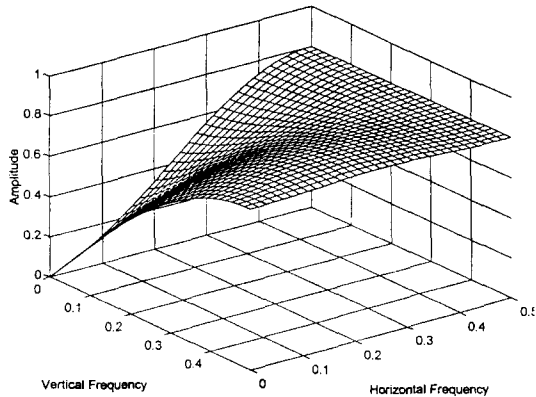
(a)



(b)

0.0	0.0	0.0
0.0	0.6	-0.2
-0.1	-0.2	-0.1

(c)



(d)

그림 7. 잡음성형에 의한 적응오차확산의 처리결과 (고역통과잡음성형의 경우)

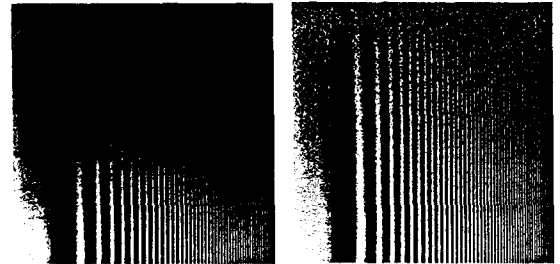
(a) halftone 영상 (b) 오차 스펙트럼 (c) 잡음성형필터의 계수 (d) 잡음성형필터의 주파수 응답

Fig. 7. Result of the adaptive error diffusion with noise shaping (High pass spectrum shaping).

(a) Halftoned image, (b) Display error spectrum, (c) Noise shaping filter coefficients, (d) Frequency response of noise shaping filter.

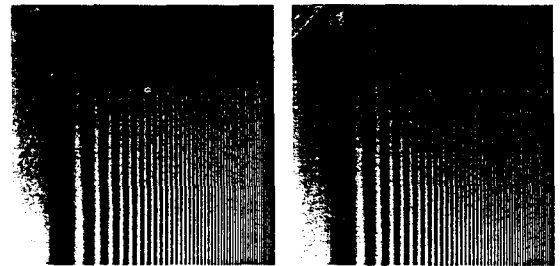
그림 7 은 잡음성형필터에 고역통과 필터를 사용한

에로 저주파 부근에 오차의 에너지가 밀집되고 있음을 알 수 있다. 이는 그림 5 에서 확인한 바와 같이 적응 오차확산에서 잡음성형이 잘 적용되고 있음을 보여준다.



(a)

(b)



(c)

(d)

그림 8. Arden chart 의 처리결과

(a) Floyd & Steinberg (b) 적응 오차 확산 (c) 잡음성형에 의한 적응오차확산 ($\mu=0.0005$) (d) 잡음성형에 의한 적응 오차확산 ($\mu=0.05$)

Fig. 8. Arden chart output

(a) Floyd & Steinberg (b) Adaptive error diffusion (c) Adaptive error diffusion with noise shaping ($\mu=0.0005$) (d) Adaptive error diffusion with noise shaping ($\mu=0.05$)

그림 8 은 Arden chart 에 대한 적용 결과로써, 본 논문에서 제안한 잡음주파수 성형에 의한 오차확산 영상이진화 기법이 우수한 성능을 나타내고 있음을 알 수 있다. 실험에 사용한 Arden chart 는 다음과 같은 식을 사용하여 발생시켰다¹⁸⁾.

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

위식에서 $I_0(y)$ 는 위에서 아래로 갈수록, $w(x)$ 는 좌에서 우로 갈수록 지수함수적으로 증가하는 함수를

임의로 사용하였다. 그러므로 실험에 사용한 Arden chart 는 오른쪽 하단부로 갈수록 진폭이 크고 공간주파수가 높아지는 특성을 갖는다. 그림 8 (a), (b) 는 각각 Floyd & Steinberg 알고리즘 및 본 논문 II장 2절의 적응오차확산을 적용한 경우로, Arden chart 윗부분의 디테일을 잘 구별해내지 못함을 알 수 있다. 한편 그림 8 (c), (d) 는 본 논문에서 제안한 잡음성형에 의한 적응 오차확산에 의한 처리 결과로써, 잡음성형필터는 그림 5 와 동일한 저역통과필터를 사용하였다. (c) 는 수렴상수 μ 를 0.0005, (d) 는 0.05 로 하여 실험한 결과로써, 본 논문에서 사용한 방식이 디테일의 보존이라는 측면에서 장점이 있음을 알 수 있다. (c) 에 비하여 (d) 의 디테일이 더 많이 보존된 것은 수렴상수의 값이 커짐에 따라 입력신호의 변화에 더 빨리 적응되었기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 오차확산 알고리즘에 잡음성형필터를 도입함으로써, 주파수 가중 오차를 최소화 하는 방법을 제안하였다. 또한 잡음성형필터에 따라 오차확산 필터의 계수값을 적응적으로 갱신하기 위하여 LMS 알고리즘을 사용하였다. 그 결과 인간시각특성에 근사하는 저역통과 필터를 잡음성형필터로 사용하였을 경우, 예지 등의 공간정보를 보존함으로써 주관적 화질의 개선을 이룰 수 있었다.

본 연구에서 개선되어야 할 점은 인간시각의 공간주파수 반응특성을 이상적으로 반영할 수 있는 오차성형필터의 설계이다. 본 논문에서는 단순한 저역통과필터를 사용하여 주관적화질의 개선을 이루었지만, 이는 인간시각체계의 특성을 잘 반영할 수 있는 오차성형필터를 사용함으로써 극대화될 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] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] B. E. Rogowitz, "The human visual system : A guide for the display technologist," *Proceedings of the SID*, vol. 24, No. 3, pp. 235-252, 1983.
- [7] A. N. Netravali, "Digital pictures," *Prenum Press*, 1988.
- [8] Jae S. Lim, "Two-dimensional signal and image processing," *Prentice-Hall*, pp. 432, 1990.

저 자 소 개

李 光 基(正會員)

1963년 7월 9일생. 1986년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사). 1986년 8월 연세대학교 전자공학과(공학석사). 1993년 8월 연세대학교 전자공학과(공학박사). 1993년 9월 ~ 1994년 2월 한국과학기술연구원 Post Doc. 1994년 3월 ~ 현재 삼성종합기술원

權 用 武(正會員) 전자공학회지 제 20권 제 6호 참조

李 在 天(正會員)

1954년 6월 9일생. 1977년 2월 서울대학교 전자공학과(공학사). 1979년 2월 한국과학원 전기 및 전자공학과(공학석사). 1983년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사). 1983년 9월 ~ 1994년 8월 한국과학기술연구원 책임연구원. 1984년 9월 ~ 1985년 9월 미국 MIT 초청연구원 1985년 10월 ~ 1986년 10월 미국 Univ. of California(Santa Barbara) 초청연구원. 1991년 1월 ~ 1992년 2월 캐나다 Univ. of Victoria(British Columbia) 초청연구원. 1994년 9월 ~ 현재 아주대학교 대학원 시스템공학과 및 전기전자공학과 부교수. 1995년 1월 ~ 현재 아주대학교 및 IAE 시스템공학과 학과장

金 炯 坤(正會員) 전자공학회지 제 20권 제 6호 참조