상관패턴을 감소시키는 새로운 오차확산계수

박장식[†] · 손경식[††] · 김재호[†††]

요 약

오차확산법은 계조화상을 이진화상으로 재현하는 것이 우수하지만 이진화상에 상관패턴이 생긴다. 본 논문에서는 오차확산계수의 주파수 분석을 통해서 상관패턴을 제거하고 경계를 강조하는 새로운 오차확산계수를 제안한다. 주목화소의 앞줄은 경계를 강조하도록 확산계수를 정하고 주목화소의 앞화소의 확산계수는 계수들이 대칭이 되도록 정한다. 그리고 제안하는 오차확산계수는 1, 2로 구성되어 있기 때문에 계산량이 작다. 실험을 통해서 제안하는 확산계수를 이용한 이진화상의 화질이 기존의 확산계수를 이용한 이진화상보다 우수한 것을 보인다.

A New Error Diffusion Coefficients Reducing Correlation Pattern

J.S. Park[†], K.S. Son[††] and J.H. Kim[†††]

ABSTRACT

Error diffusion is excellent for reproducing grey-scale images to binary images. The output of conventional error diffusion produces correlated pattern. In this paper, a new error diffusion coefficient set is proposed to reduce correlated pattern and to enhance edge through frequency analysis of the error diffusion coefficients. The error diffusion coefficients of the previous line are designed to enhance the edge. The error diffusion coefficient of the previous pixel of the current pixel is selected to symmeterize the coefficient set. Because the proposed coefficient-set consists of 1 and 2, a few computations are required. As results of experiments, it is shown that the binary image using the proposed coefficients have better quality than conventional ones.

1. 서 론

팩시밀리, 레이저 프린터 등의 이진 출력장치는 계조화상을 이진화상으로 변환하여 출력해야 한다. 따라서 계조화상에 가깝게 이진화상을 재현하는 이진화 알고리즘(halftoning)이 필요하다[1]. 이진화 알고리즘으로는 디더링(dithering)과 오차확산법(error diffusion)[2]이 보편적으로 이용되고 있으며, 최근에는 BNM(blue noise mask)를 이용한 이진화 알고리즘이 제시되고 있다[3-5].

이진화 알고리즘 중에서 오차확산법을 이용한 이진화상은 화질이 다른 이진화 알고리즘에 비해서 우수한 것으로 알려져 있다[1]. 그러나, 오차확산법은 이진화상에 일정한 모양의 패턴이 생기거나 경계가 흐려지는 현상이 생긴다. 이진화상의 화질을 개선하기 위해서 Floyd와 Steinberg[2]가 제안한 표준 오차확산법을 변형시킨 다양한 이진화 알고리즘들이 제시되고 있다. 광학계 등의 저역통과(low pass) 특성을 보상하고 시각적인 효과를 좋게 하기 위해서 Kim 등[6]은 경계를 강조하는 이진화 알고리즘을 제안했다. 그리고 Fan과 Shiau[7,8]는 화상의 아주 밝은 부분(밝기값이 0~255 사이에 분포하는 경우, 255 근처의 밝기값)과 아주 어두운 부분(0 근처의 밝기값)에서 상관패턴(correlated pattern, 일명 worm artifact)을 제거하기 위해서 지지영역(support region)이 넓은 오차 확산계수를 제안하였다. 지지영역을 넓혀 오차를 균일하게 확산함으로써 상관패턴은 제거되었

[†] 동의공업대학 영상정보처리과 조교수
[††] 부산대학교 전자공학과 교수
[†††] 부산대학교 전자공학과 부교수

으나 특정한 영역에서 표준 오차확산계수보다 더 많은 규칙적인 패턴(regular pattern)이 발생하고 경계가 흐려지는 현상이 있다. 경계강조와 눈에 거슬리는 패턴이 적은 이진화상을 재현하기 위해서 Javis 등[9]은 주목화소 이전의 한 줄의 오차를 확산하는 대신 두 줄의 오차를 확산하는 오차 확산계수 제안하였다. 이 오차 확산계수는 경계를 강조하면서 규칙적인 패턴이 거의 발생하지 않지만 계산량이 많고 메모리가 많이 필요하다.

본 논문에서는 오차확산법을 이용한 이진화에서 이진화상, 수정화상 그리고 오차화상의 관계를 주파수 영역에서 분석하고 경계를 강조하면서 상관 패턴이 없는 새로운 오차확산계수를 제안한다. 제안하는 오차확산계수는 계산량과 사용 메모리를 고려하여 두 줄의 오차확산계수로 구성된다. 이진화상은 입력 계조화상에 오차화상의 고주파 성분이 더해지고 오차화상은 입력 계조화상과 상관도가 높다는 성질을 활용한다. 오차화상의 인간 시각으로 인지 가능한 고주파 성분을 강조하여 이진화상에 더해지도록 주목화소의 앞 줄 오차확산계수를 정하여 이진화상의 경계를 강조한다. 주목화소와 같은 줄의 앞 화소 오차확산계수는 대각선으로 대칭이 되도록 설정하여 상관 패턴이 생기지 않도록 한다. 그리고 제안하는 계수는 1, 2로 구성되어 자리이동과 덧셈만으로 이진화상을 구할 수 있기 때문에 계산량이 작다. 본 논문에서는 실험을 통해서 제안하는 오차 확산계수에 의한 이진화상과 기존의 계수들에 의한 결과와 비교한다.

2. 오차확산법의 주파수 분석

오차확산법은 주목화소의 입력 계조화상과 이진화상의 차이를 주변 화소를 확산하여 주변화소의 화소값에 더해주는 것이지만 구현을 고려하여 주변화소들의 오차를 주목화소의 밝기값에 더한다. 오차확산법의 기본 구조는 그림 1과 같다.

오차확산법은 식(1), (2), (3)의 순서로 수행된다.

$$c(m,n) = i(m,n) - \sum_{j,k} a_{jk} e(m-j, n-k) \tag{1}$$

$$b(m,n) = step[\, i(m,n) - \sum_{j,k} a_{jk} e(m-j, n-k) - T] \tag{2}$$

$$step[x] = \begin{cases} 1, x \geq 0 \\ 0, x < 0 \end{cases}$$

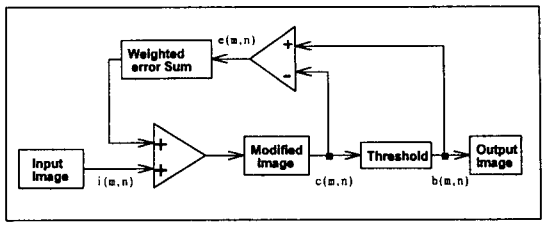


그림 1. 오차확산법의 기본 구조
Fig. 1. The basic structure of error diffusion.

$$e(m,n) = b(m,n) - c(m,n) \tag{3}$$

$i(m,n)$은 입력 연속 계조화소, $b(m,n)$은 출력 이진화소이고 $e(m,n)$은 이진화 처리 후 생긴 오차값이며, $c(m,n)$은 계조화상에 주변화소의 오차 가중평균을 더한 수정화상이다. T 는 임계값으로써 연속계조 화상이 0 에서 1 사이에 분포한다면, 일반적으로 0.5 로 상수 값이다. a_{jk}는 오차확산 계수로써 인접화소의 오차를 입력화소에 더하는 가중값이다. Floyd와 Steinberg[2]가 제안한 표준 오차확산법에서는

$$\begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} \\ a_{10} & * & \end{bmatrix} = \frac{1}{16}\begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 \\ 7 & * & \end{bmatrix} \tag{4}$$

이다. * 는 주목화소의 위치이다. 수식의 전개와 주파수 분석의 편의를 위해서 오차를 식(3)과 같이 출력 이진화상으로부터 수정화상을 뺀 값으로 정의하였다. 오차를 식(3)으로 정의함으로써, 현재화소의 밝기값에 주변화소의 오차를 더한 수정화상(modified image)은 식(1)과 같다. 식(2)의 과정에서 수정화상과 임계값 T를 비교하여 임계값 T 보다 수정화상의 밝기값이 큰 경우 이진화소를 백(1)으로 결정하고, 작은 경우에는 이진화소를 흑(0)으로 결정한다.

식(2)를 Fourier 변환하여 주파수 영역에서 해석하면 이진화상에 대한 계조화상과 오차화상의 관계를 이해할 수 있다[1]. 식 (3)을 Fourier 변환하고 이진화상과 계조화상의 관계식으로 정리하면 식(5)가 된다.

$$B(u,v) = I(u,v) + F(u,v)E(u,v) \tag{5}$$
$$F(u,v) = 1 - \sum_{a_{jk}} \exp[-i(uj + vk)]$$

$I(u,v)$, $B(u,v)$ 그리고 $E(u,v)$는 각각 계조화상,

이진화상 그리고 오차화상을 Fourier 변환한 것이다. 오차화상을 여파하는 $F(u,v)$는 오차확산계수에 의해서 결정된다. 식(5)을 통해서 이진화상의 이진패턴은 오차확산필터의 주파수 특성에 의해서 결정된다는 것을 알 수 있다. 그림 2는 Floyd와 Steinberg 의 표준 오차확산계수에 의한 $F(u,v)$의 특성 그래프이다. 가로축은 원주파수(radial frequency)[10]이고 세로축은 정규화한 주파수 성분의 크기다. 표준 오차확산계수의 $F(u,v)$는 그림 2와 같은 고역통과필터(high pass filter) 특성을 나타낸다. 점선은 25.6 cm 떨어진 거리에 대한 인간 시각의 주파수 특성을 모델링하는 MTF(modulation transfer function)이다. MTF 로부터 인간 시각 특성은 고주파 영역에 둔감하고 저주파 영역에 민감한 것을 알 수 있다. 또한 이진화상은 입력화상을 1 비트로 양자화한 것이며 오차화상은 입력화상과 상관도가 높고 입력화상의 대부분 정보를 갖고 있다[11]. 식(5)에서 이진화상은 계조화상에 오차화상의 고주파 성분을 더한 것은 이진화상이다. 이진화상은 계조화상에 비해서 인간 시각이 인지하기 어려운 고주파 영역이 강조된다.

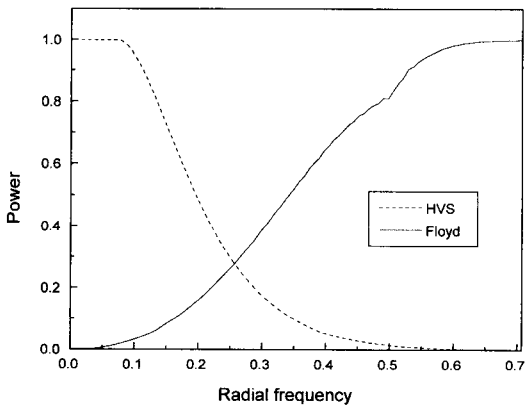


그림 2. Floyd 와 Steinberg 의 표준오차확산법의 주파수 특성

Fig. 2. Frequency characteristics of Floyd and Steinberg' s error diffusion coefficients.

그림 3은 계조화상, 이진화상 그리고 오차화상의 원주파수 특성이다. 계조화상의 대부분의 정보는 저주파 영역에 있다. 이진화상은 계조화상에 비해서 고주파 성분이 확산계수의 필터 특성에 의해서 강조된 것을 볼 수 있다. 인간 시각 특성이 아주 민감한 직류 성분에서 정규화 원주파수 0.05 까지 이진화상과 계조화상의 주파수 특성이 거의 일치함을 볼 수 있고 이 때문에 이진화상이 계조화상에 비해서 많은 잡음이 섞여 있지만 계조화상과 유사해보인다.

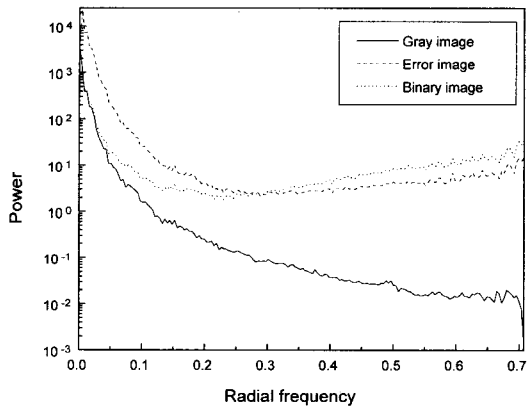


그림 3. 계조화상, 이진화상 그리고 오차화상의 원주파수

Fig. 3. Radial frequency of gray, binary and error image.

이진화상과 계조화상의 차이는 고주파 성분 때문이다. 그러나, 고주파 영역의 강조는 이진화상의 경계를 강조하는 효과도 나타낸다. 이진화상에서의 경계 강조는 화상을 선명하게 하기 때문에 시각적으로 좋은 화상으로 알려져 있다[1,6]. 따라서 오차화상의 인간 시각으로 인지 가능한 고주파 성분을 강조하는 오차확산 계수를 설계한다면 오차확산 필터만으로 부가되는 계산없이 경계를 강조할 수 있다.

Javis 등[9]은 시각적으로 좋은 화상을 얻기 위해서 식(6)의 오차확산계수를 제안하였다.

$$\begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} & a_{03} & a_{04} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{20} & a_{21} & * & & \end{bmatrix} = \frac{1}{48}\begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 3 & 1 \\ 3 & 5 & 7 & 5 & 3 \\ 5 & 7 & * & & \end{bmatrix} \qquad (6)$$

Javis 등[9]이 제안한 오차확산계수는 그 특성에 의해서 경계가 강조되지만 식(6)에서 보는 바와 같이 두 줄의 오차를 확산하기 때문에 많은 계산량과 메모리가 필요하다. 본 논문의 3장에서는 Javis 의 필터계수와 유사한 특성을 갖는 1 줄의 오차를 확산하는 계수를 제안한다

한편 식 (3)을 Fourier 변환하여 오차확산의 식으로 정리하면

$$E(u,v) = H(u,v)(B(u,v) - I(u,v)) \quad (7)$$

$$H(u,v) = \frac{1}{1 - \sum_{j,k} a_{jk} \exp[-i(uj + vk)]}$$

이 된다. $H(u,v)$는 $F(u,v)$의 역필터로써 저역통과 필터 특성을 갖는다. 표준 오차확산계수의 $H(u,v)$의 특성은 그림 4과 같다. 대각선 방향으로 등고선이 기울진 것을 볼 수 있다. 이러한 특성에 의해서 눈에 거슬이는 패턴, 특히 화상의 아주 어두분 영역과 밝은 영역에서 상관 패턴이 발생한다. 오차확산의 기본 개념에 따라 주목화소의 오차가 주변화소로 균일하게 확산되거나 주변화소의 오차가 주목화소로 수직 및 수평으로 균일하게 확산되도록 하기 위해서는 $H(u,v)$가 등방성을 가져야 한다.

주파수 특성 분석을 통해서 이진화상의 화질이 확산계수의 주파수 특성에 의해서 결정된다는 것을 알 수 있다. 주파수 특성을 고려한 오차확산계수의 설정 기준을 정리하면 다음과 같다.

- 경계를 강조하기 위해서 $F(u,v)$가 오차화상의 고역 성분을 강조하는 오차확산계수를 정한다.
- 상관패턴을 제거하기 위해서 $H(u,v)$의 특성이 등방성을 갖도록 오차 확산계수를 정해야 한다.

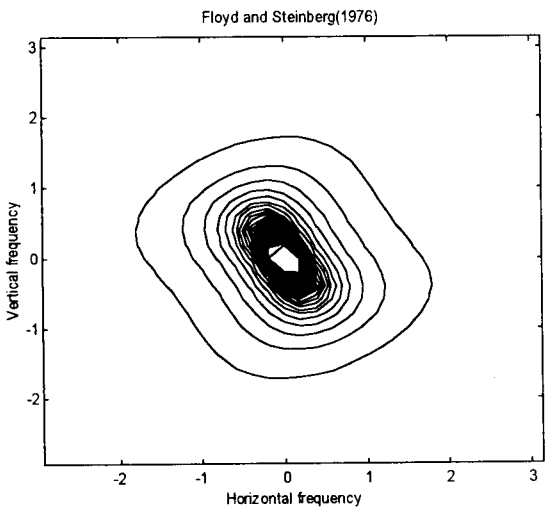


그림 4. 표준 오차확산계수의 $H(u,v)$ 특성 그래프
Fig. 4. Characteristics of $H(u,v)$ of standard error diffusion coefficients.

그리고 구현에 있어 계산량과 소요되는 메모리를 고려하여 계수가 결정되어야 한다. Javis 등이 제안한 오차확산계수는 경계가 선명하고 눈에 거슬리는 패턴이 적지만 주목화소 이전의 두 줄의 오차를 확산하기 때문에 계산량이 많고 두 줄의 오차를 저장하기 위한 메모리가 소요되기 때문에 실용적이지 못하다. 따라서 위의 조건과 함께 계산량과 소요 메모리가 작도록 계수를 설정해야 한다.

3. 제안하는 오차확산계수

본 논문에서는 오차확산 계수의 주파수 특성, 즉 식(5)와 (7)의 성질을 활용하여 경계를 강조하면서 아주 밝은 영역과 어두운 영역에서 상관 패턴이 작은 새로운 오차 확산계수를 제안한다.

앞에서 보이기 좋은 화질을 얻기 위한 확산계수의 조건에 따라 $F(u,v)$가 고역성분을 강조하는 동시에 $H(u,v)$의 공간 주파수 특성이 균일한 특성을 갖도록 하는 것은 하나의 2차원 공간 임펄스 응답에 의해 결정된다. 두 조건을 동시에 만족하는 2차원의 최적 계수를 구하는 것은 어렵다. 본 논문에서는 2차원 공간주파수 특성이 앞에서 제시한 두 조건을 만족하도록 하는 대신 주목화소의 앞 줄의 오차를 확산하는 계수의 1차원 주파수 특성이 원하는 주파수 특성을 갖도록 한다. 그리고 주목화소의 앞 화소의 오차확산계수는 오차가 수직 및 수평으로 균일하게 확산되도록 주목화소를 기준으로 대각으로 나누어 각 영역의 계수 합이 같도록 설정한다. 1 차원 주파수 특성의 기준은 두 줄의 오차를 확산하는 Javis 등이 제안 계수의 특성 같이 청색잡음(blue noise) 특성[10]을 갖도록 한다. 앞의 가준에 따르면서 계수값을 1과 2의 배수가 되도록 설정한 제안하는 새로운 오차확산계수는 식(8)과 같다.

$$\begin{bmatrix} & a_{01} & a_{02} & a_{03} & a_{04} \\ a_{10} & a_{11} & * & & \end{bmatrix} = \frac{1}{8}\begin{bmatrix} & 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & * & & \end{bmatrix} \quad (8)$$

그림 5는 기존의 오차확산계수와 제안하는 오차확산계수의 $F(u,v)$ 특성 그래프이고 실선은 MTF이다. Fan 등이 제안한 방법은 중간 주파수 영역과 고주파 영역이 많이 감쇠되어 있다. 따라서 이진화상의 경계가 표준 오차확산계수보다 더 흐려진다. 제안하는 오차확산계수의 원주파수 특성이 Javis 등이 제안한 계수의 특성과 유사한 특성을 갖는다. 제안하는

오차확산계수로 얻어지는 이진화상은 경계가 강조되어 화질이 다소 선명해진다.

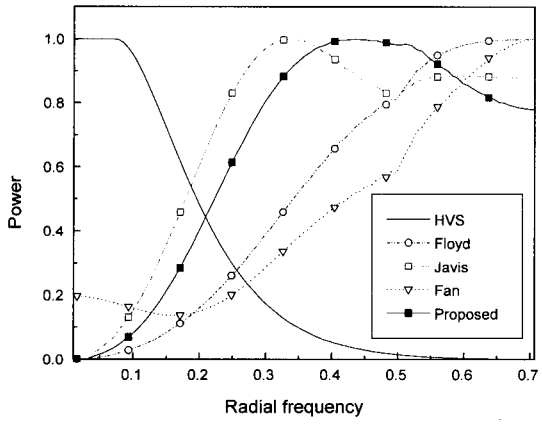


그림 5. 오차확산계수들의 주파수특성
Fig. 5. Frequency characteristics of error diffusion coefficient-sets.

그림 6는 $H(u,v)$의 수평 및 수직의 등방성을 나타낸 것이다. (a)는 Fan 등이 제안한 오차확산계수의 특성이고, (b)는 제안하는 오차확산계수의 특성이다. 그림 4의 표준 오차확산계수의 $H(u,v)$와 비교할 때, Fan 등이 제안한 계수가 등방성이 가장 우수하고 제안하는 계수는 표준 오차확산계수와 Fan 등이 제안한 계수의 중간이다. 그림 7은 $H(u,v)$의 1차원 주파수 특성이다. 아주 낮은 영역의 주파수 성분이 대부분을 차지한다. 따라서 아주 낮은 주파수 영역의 등방성이 유효함을 알 수 있다. 그림 6에서 제안하는 계수는 유효한 저주파 영역에서 Fan 등이 제안한 계수와 비슷하다. 따라서 계조화상에 제안하는 계수를 이용하여 이진화상을 재현할 때 상관패턴이 거의 발생하지 않는다.

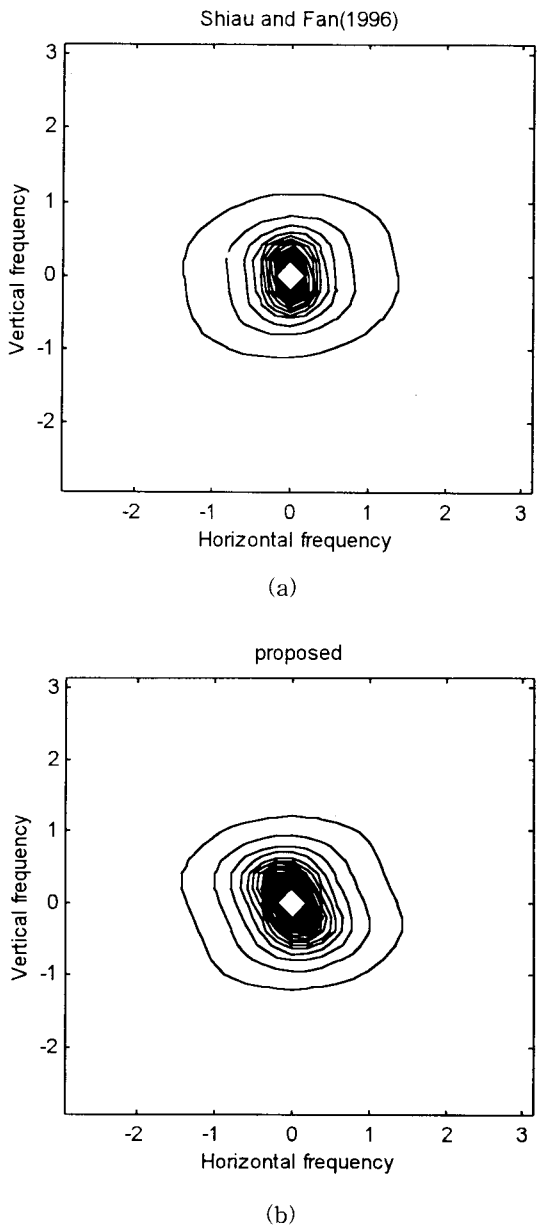


그림 6. $H(u,v)$ 2차원 특성 그래프
Fig. 6. 2-dimensional characteristics of $H(u,v)$

4. 실험 결과

제안하는 오차확산계수와 기존의 오차확산계수의 성능 비교를 위해서 512 512 의 보트화상을 이진화하였다. 이진화상은 150 dpi 로 출력하였다. 그림 8 (a)는 Floyd와 Steinberg의 표준오차확산법으로 이진화한 이진화상이고 (b)는 Javis 등이 제안한 오차확산계수로 이진화한 이진화상이다. 상관패턴은 아주 밝은 부분과 아주 어두운 부분에서 주로 발생한다. 그림 8 (a)에서는 배의 바닥부분과 오른쪽 아랫부분의 어두운 곳에 상관패턴이 많이 보인다. (b)에서는 상관패턴도 없으며 경계가 상당히 선명한 화질을 나타낸다. 네 이진화상 중에서 가장 우수한 화질이지만 구현하는데 있어 많은 계산량과 메모리가 필요

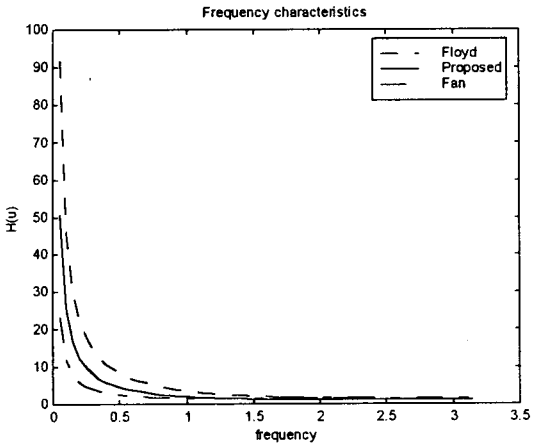
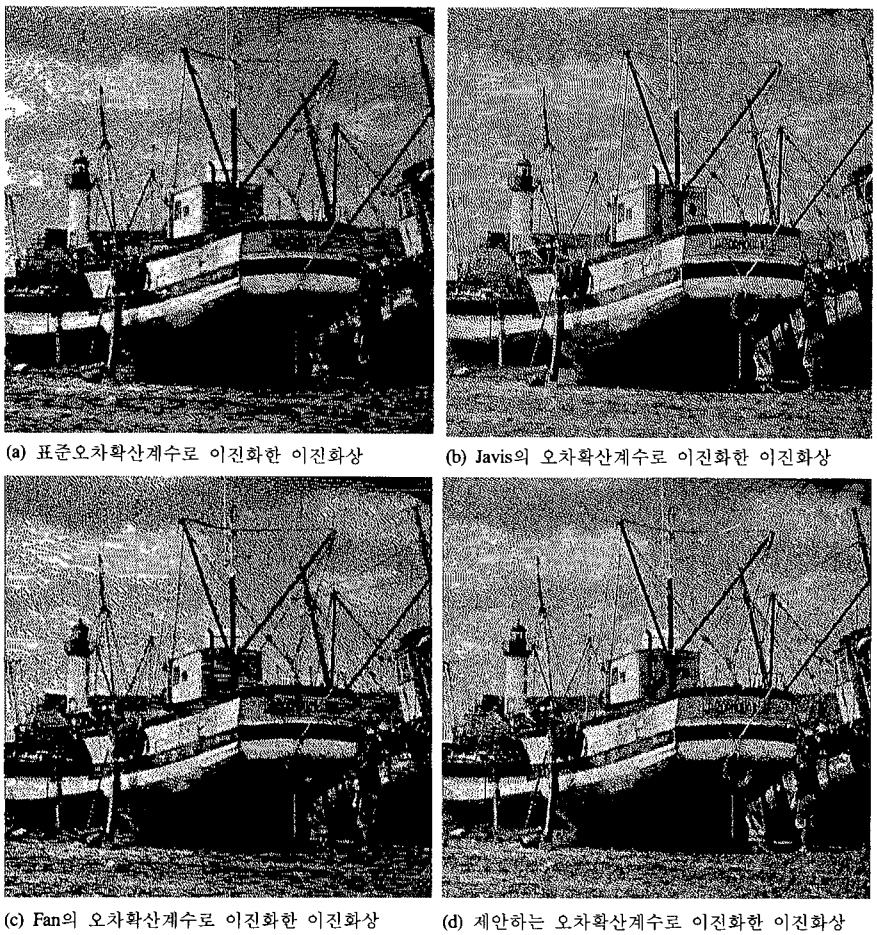


그림7. $H(u, v)$ 주파수 특성 그래프
Fig. 7. Frequency characteristics of $H(u, v)$.

하다. 그림 8의 (c) 는 Fan과 Shiau가 제안한 오차확산계수[8]로 오차확산한 이진화상이다. Fan과 Shiau가 사용한 오차확산계수는 식 (9)과 같다.

$$\begin{bmatrix} & a_{01} & a_{02} & a_{03} & a_{04} \\ a_{10} & a_{11} & * & & \end{bmatrix} = \frac{1}{8}\begin{bmatrix} & 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & * & & \end{bmatrix} \quad (9)$$

표준오차확산계수에 비해서 배의 바닥부분에 상관패턴이 완전히 없어진 것을 볼 수 있다. 그림 8의 (d)는 제안하는 오차확산계수로 오차확산 이진화를 수행한 결과이다. 배의 바닥부분과 어두운 부분에 Fan과 Shiau가 제안한 오차확산계수를 이용한 이진화상에 가깝게 상관패턴이 제거되었다. 전체적으로 (b)보다는 선명한 정도가 떨어지지만 배의 윤곽선이나 선미의 글자 부분이 기존의 오차확산계수를 이용한



(a) 표준오차확산계수로 이진화한 이진화상
(b) Javis의 오차확산계수로 이진화한 이진화상
(c) Fan의 오차확산계수로 이진화한 이진화상
(d) 제안하는 오차확산계수로 이진화한 이진화상

그림 8. 원화상과 각 오차확산계수로 오차를 확산하여 이진화한 이진화상
Fig. 8. Original image and binary images of each error diffusion coefficient-sets.

이진화상 (a), (c)에 비해서 선명하게 나타난 것을 볼 수 있으며, 전체적으로 경계가 강조되어 화상이 선명하게 보인다.

5. 결 론

오차확산법은 계조화상의 재현력이 뛰어난 이진화 알고리즘이지만, 일정한 모양의 패턴이 이진화상에서 발생하는 문제가 있다. 본 논문에는 오차확산계수의 주파수 특성을 활용하여 상관패턴을 제거하고 경계를 강조하는 오차확산계수를 제안하였다. 제안하는 오차확산계수는 1과 2로 구성되기 때문에 계산량이 작아 구현이 용이하다. 실험을 통해서 기존 오차확산계수의 이진화상을 비교한 결과 제안하는 오차확산계수에 의한 이진화상의 화질이 우수함을 보였다. 계조가 제한된 팩시밀리, 디지탈복사기 등의 이진출력장치 뿐만아니라 천연색 화상도 그 원색(적색, 녹색, 청색)에 대해서 이진화를 수행할 경우 제안하는 오차확산계수를 활용하여 좋은 화질을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Keith T. Knox and Reiner Eschbach, "Threshold modulation in error diffusion," *J. of Electronic Imaging*, Vol. 2(3), pp.185-192, July 1993.

[2] R.W.Floyd and L. Steinberg, An adaptive algorithm for spatial scale, *Proc. Soc. Inf. Dsip. 17*, pp.75-77, 1976.

[3] Meng Yao and Kevin J. Parker, Modified approach to the construction of a blue noise mask, *J. Electronic imaging*, Vol. 3, pp.92-97, Jan. 1994.

[4] Theophano Mitsa and Kevin 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] Meng Yao and Kevin J. Parker, A comparison of the blue noise mask and error diffusion, *IS&T's 47th Annual Conf.*, pp.491-493, 1994.

[6] J.H.Kim, T. I. Chung, H.S.Kim, K.S.Kim, and Y.S. Kim, A new edge enhanced error diffusion based on the error sum criteria, *J. of Electronic Imaging*, Vol. 4, No. 2, pp.172-178, April 1995.

[7] Zhigang Fan, Error diffusion with a more symmetric error diffusion, *Proc. IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging Science & Technology*, San Jose, CA, Feb. 1994.

[8] Jeng-nan Shiau and Zhigang Fan, A set of easily implementable coefficients in error diffusion with reduced worm artifacts, *Proc. IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging Science & Technology*, 1996.

[9] J. F. Jarvis, C. N. Judice and W. H. Ninke, A survey of techniques for the display of continuous-tone pictures on bilevel displays, *Computer Graphics and Image Processing*, Vol. 5, pp.13-40, 1976.

[10] R. Ulichney, *Digital Halftoning*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, Lodon, England, 1987.

[11] Keith T. Knox, Error image in error diffusion, *Proc. IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging Science & Technology*, pp. 268-279, 1992.

박 장 식

부산대학교 전자공학과에서 공학석사와 공학박사 학위를 취득하였으며 1997년부터 동의공업전문대학 영상정보처리과에 조교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 음성 및 음향 신호처리 및 멀티미디어 통신 그리고 입체음향 분야이다.

손 경 식

부산대학교 전자공학과에서 공학석사 학위를 취득하고 경북대학교에서 공학박사 학위를 취득했다. 1979년부터 현재까지 부산대학교 전자공학과 교수로 재직중이다. 주요 관심분야는 디지털 신호처리 및 적응 신호 처리이며 음성 및 음향 응용 시스템에 대한 연구를 하고 있다.

김 재 호

부산대학교 전기기계공학과에서 공학사를 취득하고 공학석사와 공학박사를 한국과학기술원(KAIST)의 전기 및 전기공학과에서 취득하였다. 1988년부터 1992년까지 삼성전자 정보통신연구소의 책임연구원으로 근무하였다. 1992년부터 부산대학교 전자공학과 부교수로 재직중이며 부산파라다이스 비치호텔의 전산자문 교수이기도 하다. 주요 관심분야는 영상처리 및 통신 시스템, 칼라영상압축 그리고 VLSI DSP 디자인이다.