

청색잡음 마스크 임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법

(Edge Enhanced Error Diffusion with Blue Noise Mask Threshold Modulation)

李乙煥*, 朴長植**, 朴昌大*, 金在浩*

(Eul Hwan Lee, Jang Sik Park, Chang Dae Park, and Jae Ho Kim)

요 약

오차확산법은 연속계조 화상을 이진화상으로 표현하는데 있어서 연속계조 화상의 재현 능력뿐만 아니라, 우수한 경계 재현 능력을 가지고 있다. 그러나 이진화상에 눈에 거슬리는 패턴이 발생하는 단점을 가지고 있다. 한편 연속계조 화상의 화소와 청색잡음 마스크(blue noise mask)의 각 임계값을 화소별로 비교하여 이진화상으로 나타내는 방법도 있다. 이것은 규칙적인 패턴은 없지만 양자화 오차로 인해 이진화상이 흐려보이는 현상이 있다. 본 논문에서는 청색잡음 마스크 임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법을 제안한다. 제안하는 이진화 기법을 적용한 이진화상은 규칙적인 패턴이 없고 경계가 강조되어 시각적으로 선명하다. 제안하는 이진화 기법을 등가화상 개념으로 분석하며, 환상 평균 전력 스펙트럼과 경계상관도를 이용하여 기존의 알고리즘과 비교한다.

Abstract

The error diffusion algorithm is excellent for reproducing continuous gray-scale images to binary images and also has good edge characteristics. However, it is well known that artifacts with objectionable patterns can occur in the halftoned images. On the other hand, a halftone algorithm using blue noise mask has been proposed, where the halftoning is achieved by a pixelwise comparison of gray-scale image with an array, the blue noise mask. It doesn't have pattern artifacts, but the halftoned image looks unclear because the quantization errors are not feedbacked compared to the error diffusion. In this paper, edge enhanced error diffusion which dithers the threshold with the blue noise mask is proposed. We show that the proposed algorithm can produce unstructured and edge enhanced halftone images. This algorithm is analyzed by the concept of an equivalent input image. The performance of the proposed algorithm is compared with that of the conventional halftoning by measuring the radially averaged power spectrum and edge correlation.

I. 서 론

* 正會員, 釜山大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Engineering, Pusan National University)

** 正會員, 東義工業大學 映像情報處理科

(Dept. of Image Processing, Dongeui Institute of Technology)

接受日字: 1999年4月9日, 수정완료일: 1999年9月3日

팩시밀리나 레이저 프린터 등의 이진출력장치는 연속계조 화상(continuous gray-scale image)을 이진화상으로 변환하여 출력해야 한다. 따라서 연속계조 화상에 가깝게 이진화상을 재현하는 이진부호화 기법(halftoning)이 필요하다^[1-8]. 이진부호화 기법으로는 순차적 디더법(ordered dither method)^[1]과 오차확산법(error diffusion)^[2]이 보편적으로 이용되고 있으며, 청색

잡음 마스크(blue noise mask; BNM)를 이용한 이진부호화 기법도 제시되었다^[3-5].

오차확산법은 연속계조 화상을 이진화상으로 이진화하는 과정에서 생기는 오차를 인접한 화소들에 분배하여 이진화상에서의 평균오차를 최소화함으로써 연속계조 화상의 재현 능력 뿐만 아니라 우수한 경계 보존성을 갖는다. 이 기법은 순차적 디더법에 비해 계산량이 다소 많으나, 프로세서의 발달에 따라 보편적인 이진부호화 기법으로 활용되고 있으며, 임계값변조를 통한 다양한 응용이 제안되고 있다. 특히, 경계(edge)를 강조하여 선명한 이진 화상을 얻기 위한 목적으로 경계강조 오차확산법(edge enhanced error diffusion)이 제안되었다^[6,7]. 경계강조 오차확산법은 Eschbach^[6] 등에 의해서 제안되었고 Kim^[7] 등에 의해서 개선되었다. 이 기법은 처리하는 현재화소의 이진값을 결정하기 위해서 현재화소의 밝기값과 확산되는 오차값을 더하는 과정에서 현재화소의 밝기값에 가중값을 줌으로써 경계를 강조하는 방법이다.

오차확산법은 대부분의 연속계조 밝기값에 대해서 청색잡음(blue noise) 특성이 나타나므로 시각적 효과는 좋지만, 특정한 연속계조 밝기값에서 조직적 패턴이 생긴다. 이를 제거하기 위해서 Floyd 가 제안한 오차확산법을 개량한 다양한 기법들이 개발되고 있다. Ulichney 는 오차확산 계수가 불규칙적으로 변하는 방법을 제시하였고^[1], Knox 와 Eschbach 는 이진화 임계값(threshold)으로 불규칙한 값을 적용하는 방법을 제시하였으나^[8], 대체로 양자화 잡음이 많이 생겨 화상이 흐려보인다.

청색잡음 마스크를 이용한 이진부호화 기법^[3-5]은 주파수 영역에서 이진화상이 청색잡음 특성을 갖도록 하는 청색잡음 마스크를 설계하여, 청색잡음 마스크와 연속계조 화상을 순차적 디더법과 같이 화소 대 화소로 비교하여 이진화한다. 이 기법은 이진화상에서 일정한 모양의 패턴이 전혀 생기지 않고, 순차적 디더법과 같이 계산량이 적지만, 128×128 크기의 다소 큰 배열을 사용하기 때문에 메모리 요구량이 많고, 연속계조 화상의 지역적 특성(local characteristics)을 잘 표현하지 못한다. 따라서, 이진화상이 양자화 잡음에 의해서 흐려보인다.

본 논문에서는 오차확산법에서 임계값을 입력화소의 밝기값과 청색잡음 마스크로 변조함으로써 연속계조 화상을 조직적 패턴이 없고, 선명한 이진화상으로 재현

하는 이진화 기법을 제안한다. 임계값을 연속계조 입력화상의 밝기값으로 변조하는 것은 입력화상을 고역필터링(high pass filtering)함으로써 이진화상을 선명하게 한다. 또한 연속계조 화상의 밝기값이 일정한 영역에서는 청색잡음 마스크로 임계값에 진동(perturbation)을 줌으로써 패턴이 생기는 것을 방지한다. 따라서, 제안하는 이진화 기법을 적용한 이진화상은 규칙적인 패턴이 없고 경계가 강조되어 시각적으로 선명하다. 본 논문에서는 제안하는 기법을 등가화상 개념을 사용하여 분석하였으며, 또한 환상 평균 전력 스펙트럼(radially averaged power spectrum; RAPS)과 경계상관도(edge correlation)를 이용해서 제안하는 이진화 기법과 기존의 이진화 기법을 비교하였다.

II. 임계값변조 오차확산법

1976년 Floyd에 의해서 처음 제안된 오차확산법^[2]의 기본 구조는 그림 1과 같다. 현재화소의 이진값은 입력화소와 인접한 화소오차의 합을 임계값과 비교함으로써 결정된다.

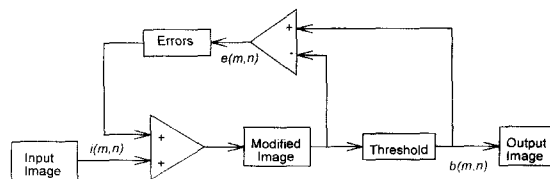


그림 1. Floyd 오차확산법의 구조
Fig. 1. The structure of Floyd's error diffusion.

그리고 현재화소를 처리한 오차는 이진값에서 입력화소와 인접화소오차의 합을 뺀 값이 된다. 이를 수식으로 표현하면

$$b(m, n) = \text{step} [i(m, n) + \sum a_{jk} e(m - j, n - k) - t] \quad (1)$$

$$e(m, n) = b(m, n) - [i(m, n) + \sum a_{jk} e(m - j, n - k)] \quad (2)$$

이 된다. 여기서 $b(m, n)$ 은 이진 출력화소이고 $i(m, n)$ 은 연속계조 입력화소, $e(m, n)$ 은 이진화소 처리 후 생긴 오차값이다. 함수는 괄호안의 값이 음수이면 0을, 양수이면 1로 정의된다. t 는 임계값으로써 연속계조 화상이 0에서 1 사이에 분포한다면, 일반적으로 0.5로 상수값이다. 그리고 a_{jk} 는 오차확산 계수으로써 인접화소의

오차를 입력화소에 더하는 가중값으로, Floyd가 제안한 표준 오차확산법에서는

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

과 같다. 식(2)를 주파수 영역에서 표현하면 다음 수식과 같다^[8].

$$B(u, v) = I(u, v) + F(u, v)E(u, v) \quad (4)$$

여기서 $F(u, v)$ 는 Floyd가 제안한 계수들의 항으로 표현되는 고역통과 필터와 같다^[8].

$$F(u, v) = 1 - \sum_{j,k} a_{jk} \exp[-i(uj + vk)] \quad (5)$$

따라서 식 (4)에서 이진화상은 입력화소 밝기값에 고역통과한 오차가 더해짐을 알 수 있다.

임계값변조 오차확산법은 임계값 t 를 상수로 두지 않고, 공간영역(spatial domain)에서 처리되는 화소에 따라 변화도록 하여 특정한 목적에 이용하는 오차확산 이진화 기법이다. Knox 와 Eschbach 는 오차확산법에서 임계값을 변화시키는 효과를 등가화상 개념을 사용하여 수학적으로 분석하였다^[8]. 등가화상 $I_e(u, v)$ 을 식 (6)와 같이 입력화상과 임계값으로 표현하였다.

$$I_e(u, v) = I(u, v) + F(u, v)T(u, v) \quad (6)$$

즉, 오차확산법에서 임계값을 변화시키는 효과는 입력화상과 임계값을 $F(u, v)$ 로 필터링한 값과의 합을 입력화상으로 한 고정된 임계값을 가진 표준 오차확산법과 동일하다. 임계값 $T(u, v)$ 를 적절히 선정함으로써 원하는 이진화상을 얻을 수 있기 때문에, 임계값변조는 오차확산법에 높은 자유도를 부여하는 것으로 알려져 있다.

경제강조 오차확산법은 임계값을 입력화상으로 변조한 것이다^[8]. 즉, 임계값을

$$T(u, v) = cI(u, v) \quad (7)$$

로 한 것인데, 이를 식(6)에 대입하면

$$I_e(u, v) = (1 + cF(u, v))I(u, v) \quad (8)$$

이고, 등가화상 $I_e(u, v)$ 는 입력화상을 c 값에 따라서 필터링한 것이 된다. $c > 0$ 인 경우 입력화상을 고역통과한 것이 등가화상이 되고 이 등가화상을 표준 오차확산하는 것이 되어 경계를 강조하는 효과를 갖게 된다.

랜덤잡음 임계값변조는 식(9)과 같이 백색랜덤잡음을 임계값으로 이용한다^[8].

$$T(u, v) = cN(u, v) \quad (9)$$

그 등가화상은

$$I_e(u, v) = I(u, v) + dF(u, v)N(u, v) \quad (10)$$

이고, d 는 잡음신호의 크기이다. 오차확산법의 입력화상에 랜덤잡음이 합해지는 효과를 보인다. 따라서 일정한 밝기값이 유지되면서 발생하는 오차확산법의 조직적 패턴이 생기는 것을 방지할 수 있다. 그러나, 랜덤잡음에 의한 양자화 오차에 의해서 이진화상이 흐려보이는 현상이 있다.

III. 환상 평균 전력 스펙트럼

일정한 밝기값을 가진 이진화상의 바람직한 패턴은 방사상 대칭인 경우이다. 즉 방향성 결함(artifacts)이 없는 경우이다. 이것을 판별하기 위한 방법으로써 전력 스펙트럼(power spectrum)은 유용한 방법이 될 수 있다. 전력 스펙트럼은 2차원 함수이므로 방사상 평균으로 나타낸 1차원의 함수로 표현하는 것이 효과적인 방법이 될 수 있는데, 이것을 환상 평균 전력 스펙트럼이라 한다^[1,9].

임의의 화상을 $b(m, n)$ 이라 할 때, 2차원 푸리에 변환(Fourier transform)을 $[\cdot]$ 으로 나타낸다면, 전력 스펙트럼은 식 (11)과 같다.

$$P(u, v) = |[\cdot b(m, n)]|^2 \quad (11)$$

전력 스펙트럼을 중심으로부터 그림 2와 같이 일정한 폭 Δ 의 환상고리 모양으로 분할한다. 여기서 f_r 은 환상 주파수(radial frequency)로 환상 고리의 중심을 나타내며, 0에서 $1/\sqrt{2}$ 까지의 값을 가진다. 각각의 환상고리는 식 (12)와 같이 환상 주파수로부터 일정한 거리에 있는 주파수 샘플들로 구성된다.

$$|f_r - \sqrt{u^2 + v^2}| < \frac{\Delta}{2} \quad (12)$$

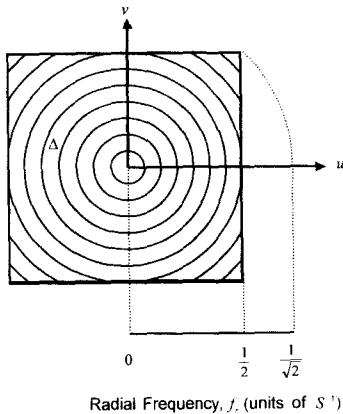


그림 2. 전력 스펙트럼의 분할
Fig. 2. Segmentation of the power spectrum.

환상 평균 전력 스펙트럼 $P_r(f_r)$ 은 분할된 각 고리 내의 전력 스펙트럼의 주파수 샘플들의 평균으로 정의한다.

$$P_r(f_r) = \frac{1}{N_r(f_r)} \sum_{i=1}^{N_r(f_r)} P(u, v) \quad (13)$$

여기서 $N_r(f_r)$ 은 각 환상 고리에 포함되어 있는 주파수 샘플의 개수이다.

IV. 청색잡음 마스크 임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법

청색잡음 특성을 가지는 이진화상이 시각적으로 좋은 화질인 것으로 알려져 있다^[1]. Floyd 오차확산법과 경계강조 오차확산법은 대부분의 연속계조 밝기값에서 청색잡음 특성을 나타내어 화질이 좋지만, 특정한 연속계조 밝기값에서 조직적인 패턴이 발생한다. 이러한 조직적인 패턴이 생기는 특정한 밝기값은 환상 평균 전력 스펙트럼에서 청색잡음 특성이 없다^[6]. 따라서 본 논문에서는 II 장에서 정의한 등가화상의 밝기값이 일정하게 유지되지 않도록 하여 조직적인 패턴을 없애도록 한다.

청색잡음 마스크 이진부호화 기법은 연속계조 화상의 화소와 청색잡음 마스크의 각 임계값을 화소별로

비교하여 이진화상으로 나타내는 방법으로써, 순차적 디더법의 빠른 계산 속도와 오차확산법의 우수한 화질을 결합하려는 것이다. 청색잡음 마스크는 이진화상이 주파수 영역에서 청색잡음 특성을 가지고, 공간 영역에서 평균 밝기가 연속계조 화상과 같도록 하는 두 가지 특징을 갖고 있다. 그러나, 청색잡음 마스크는 배열에 청색잡음 특성을 나타내기 위해서 일반적으로 256×256 이나 128×128 크기와 같은 다소 큰 배열로 구성되기 때문에 연속계조화상의 지역적 특성을 잘 표현하지 못한다. 입력화상의 지역적 특성을 표현하기 위해서는 입력화소의 연속계조 밝기값을 이진화 과정에서 가중값을 부여하여 고려해야 한다.

본 논문에서는 패턴이 없으면서 선명한 이진화상을 얻기 위해서, 청색잡음 마스크를 이용하여 경계강조 오차확산법의 임계값을 변조하였다. 제안하는 방법의 임계값은

$$T(u, v) = k_1 I(u, v) + k_2 M(u, v) \quad (14)$$

이고, $M(u, v)$ 는 청색잡음 마스크를 주파수 영역에서 표현한 것이다. 등가화상은 식(6)에 따라서

$$\begin{aligned} I_r(u, v) &= I(u, v) + F(u, v) \{k_1 I(u, v) + k_2 M(u, v)\} \\ &= \{1 + k_1 F(u, v)\} I(u, v) + k_2 F(u, v) M(u, v) \end{aligned} \quad (15)$$

이다. (15) 식의 첫 번째 항은 입력화상을 고역 통과하고, 두 번째 항은 청색잡음 마스크를 필터링한다. 첫 번째 항의 k_1 은 입력화상의 고역통과 크기를 조절하는 경계강조계수이고, k_2 는 청색잡음 마스크의 고역통과 크기를 조절하는 계수이다. 두 번째 항에 의해서 등가화상이 일정하게 유지되는 것을 방지할 수 있다. 따라서, 이진화상은 조직적 패턴이 없고 이진화상을 선명하게 한다.

그림 3은 제안하는 이진화 기법의 구조이다. 그림 3에서 굵은 실선으로 그려진 영역이 Floyd 오차확산법의 구조에 경계강조를 위해 추가되는 부분이고^[7], 점선으로 된 부분이 청색잡음 마스크를 임계값으로 이진화하는 부분이다. 경계강조 오차확산법에서는 주위로부터 확산되는 오차합의 분포 범위를 입력 화소 밝기에 따라 분석하여 경계영역과 일반영역으로 구분한다. 오차합을 이용하여 현재 이진화될 위치가 경계영역에 포함

되는지 아니면 일반영역에 포함되는지를 아닌지를 구분하고, 어느 영역에 속하는지에 따라 오차 계산을 달리한다. 즉 일반영역인 경우에는 기존의 오차계산식을 적용하고, 경계영역인 경우에는 새로운 오차계산식을 적용하게 되는데 오차값을 상수값으로 전달하게 된다. 또한 경계강조 오차확산법에 임계값을 고정된 값으로 두지 않고 청색잡음 마스크로 변조함으로써 식 (15)에서 보듯이 등가화상이 일정하게 유지되는 것을 방지하여 조직적 패턴이 없도록 한다.

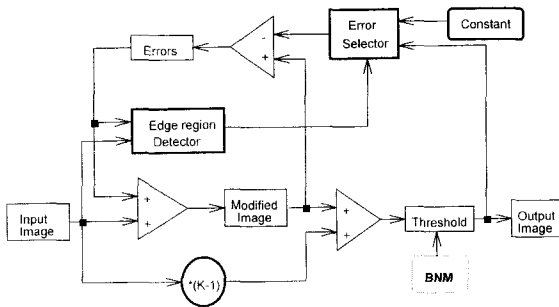


그림 3. 청색잡음 마스크 임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법

Fig. 3. The proposed edge enhanced error diffusion with BNM threshold modulation.

V. 실험 및 결과

Parker 등이 제안한 청색잡음 마스크는 환상 평균 전력 스펙트럼 특성에서 청색잡음 특성을 가지도록 설계되어 있다. 또한 오차확산법도 연속계조 밝기값에 대해서 청색잡음 특성이 나타난다. 그림 4는 오차확산필터의 주파수 특성 $F(u, v)$ 와 청색잡음 마스크의 주파수 특성 $M(u, v)$ 를 환상 평균 전력 스펙트럼으로 나타낸 것이다. 필터와 마스크는 저주파 성분은 거의 없고 고주파 성분이 많은 청색잡음 특성을 보여주고 있다.

임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법을 환상 평균 전력 스펙트럼으로 분석하였다. 임계값변조는 식 (6)와 같이 입력화상에 오차확산필터를 통과한 임계값이 더해진다. 청색잡음 마스크 임계값변조와 랜덤잡음 임계값변조는 각각 오차확산필터를 통과한 청색잡음 마스크와 랜덤잡음이 등가화상에 진동을 줌으로써 이진화상에 조직적 패턴이 생기지 않도록 한다. 그러나 청색잡음 마스크 임계값변조와 랜덤잡음 임계값변조는 오차확산필터와 청색잡음 마스크의 주파수 특성에 따

라 차이가 있다. 그림 4에서 보듯이, 랜덤잡음 임계값변조에서는 오차확산필터가 고주파통과 특성을 가지고 있으므로 입력화상에서는 고주파영역의 잡음이 더해진다. 청색잡음 마스크의 주파수 특성은 오차확산필터보다 고주파 성분이 많으며, 청색잡음 특성을 보인다. 즉 랜덤잡음 임계값변조는 청색잡음 마스크 임계값변조보다 저주파 성분이 많이 나타나므로, 이진화상에서 화소의 엉킴을 발생시킨다. 따라서 청색잡음 마스크 임계값변조가 랜덤잡음 임계값변조보다 이진화상에서 더 좋은 성능을 보여준다는 것을 알 수 있다.

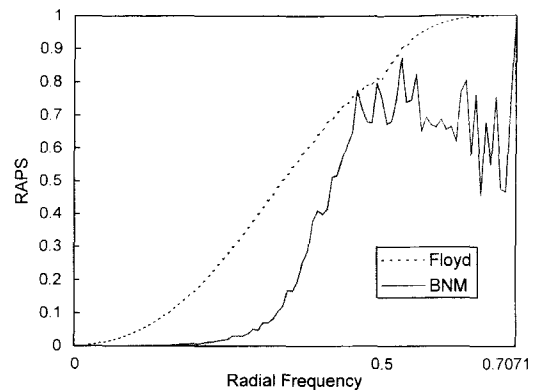
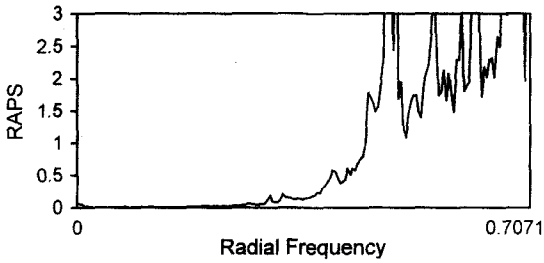


그림 4. 오차확산 필터와 청색잡음 마스크의 환상 평균 전력 스펙트럼

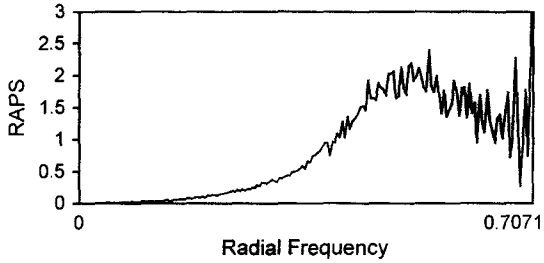
Fig. 4. The radially averaged power spectrum of error diffusion filter and BNM.

규칙적인 패턴에 대한 분석을 위해서 일정한 밝기값 192인 연속계조 화상을 이진화하여 환상 평균 전력 스펙트럼을 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a)는 표준오차확산법에 의한 이진화상으로 주 주파수(principle frequency)^[1]와 또 다른 주파수들에서 큰 값을 가지고 이것이 패턴의 원인이며 청색잡음 특성과는 차이가 많이 난다. 그림 5(b)는 청색잡음 마스크를 이용한 이진화 기법 출력인데, 청색잡음 특성을 잘 나타내고 있다. 그림 5(c)는 경계강조 오차확산법으로 (a)와 비슷한 특성을 가진다. 그림 5(d)는 랜덤잡음 임계값 경계강조 오차확산법으로 이진화한 결과이다. 경계강조 계수 $K=5$ 로 두고 백색잡음을 20%로 임계값을 변조하였다. 그림 5(d)는 그림 5(c)와 같이 전체적으로 청색잡음 특성을 유지하고 있으나, 저주파성분이 남아 있는 것을 볼 수 있다. 이진화상에서의 저주파 성분은 소수화소(minor pixel)들의 엉킴(cluster)를 형성하여 화질을 저하시킨다. 그림 5(e)는 제안하는 이진화 기법으로 이진

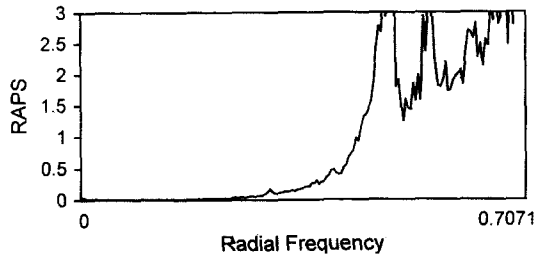
화한 결과로써, 전체적으로 청색잡음 마스크로 이진화한 결과 유사하며, 저주파영역은 거의 나타나지 않기 때문에 랜덤잡음 임계값 경계강조 오차확산법과 같은 앙킴은 생기지 않는다. 이것은 청색잡음 마스크의 주파수 특성이 오차확산필터보다 고주파 영역에 분포하기 때문이다.



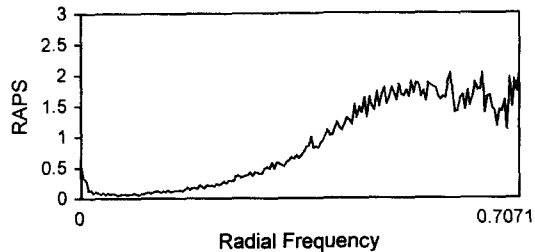
(a)



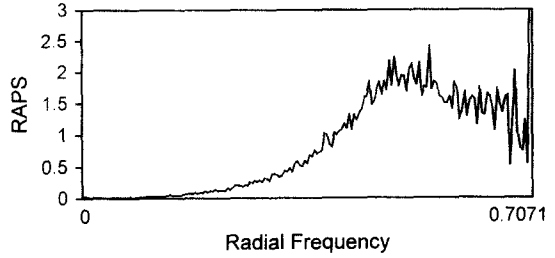
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 5. 밝기값 192 에 대한 환상 평균 전력 스펙트럼 (a) Floyd 오차확산법 (b) 청색잡음 마스크 이진화 기법 (c) 경계강조 오차확산법 (d) 랜덤잡음 임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법 (e) 제안하는 이진화 기법

Fig. 5. The radially averaged power spectrum of gray value 192.

(a) Floyd's error diffusion (b) BNM halftoning method (c) edge enhanced error diffusion.

(d) edge enhanced error diffusion with random noise threshold modulation.

(e) the proposed halftoning method.

인간의 눈은 경계부분에 민감하기 때문에 화상의 화질평가에 있어 원화상의 경계부분이 얼마나 일치하는가를 나타내는 경계상관도는 중요한 파라미터이다^[10]. 본 논문에서는 화상의 밝기값 변화가 큰 영역을 경계로 간주하고, 경계상관도 C_{edge} 를 식(16)-(18)으로 측정하여 경계 재현 능력을 비교하였다.

$$C_{edge} = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \left(\sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 W_{ij} D_I(i, j) D_B(i, j) \right) \quad (16)$$

$$D_I(i, j) = I_h(m, n) - I_h(m-i, n-j) \quad (17)$$

$$D_B(i, j) = B_h(m, n) - B_h(m-i, n-j) \quad (18)$$

$I_h(n, m)$ 과 $B_h(n, m)$ 은 인간의 시각특성을 고려하여 각각 원화상과 이진화상을 Sullivan 등이 활용한 PSF(point spread function)^[11]로 필터링한 $M \times N$ 화상이다. 가중값 w_{ij} 는 수평, 수직과 대각방향에 대한 가중값으로 수평, 수직에 대한 대각방향 비를 $1:\sqrt{2}$ 가 되도록 하고 계수의 합이 1이 되도록 정규화하였다(수직, 수평방향은 0.1465, 대각방향은 0.1035). 경계상관도 C_{edge} 는 원화상에서의 밝기값을 이진화상에 반영하는 정도를 나타낸다.

그림 6은 이진화상을 10, 15, 20, 25, 그리고 30 cm 떨어진 위치에 PSF 을 모델링한 필터를 통과시킨 경계상관도이다. 청색잡음 마스크 이진화 기법보다 오차확산법이 경계상관도가 다소 높다. 또한 청색잡음 마스크 임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법은 오차확산법이나 청색잡음 마스크 이진화 기법에 비해서 그 경계상관도가 높다. 이는 제안하는 방법이 원화상의 경계를 잘 표현한다고 할 수 있다. 또한 랜덤잡음 임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법은 제안하는 방법과 경계상관도가 거의 유사한 특성을 보여준다.

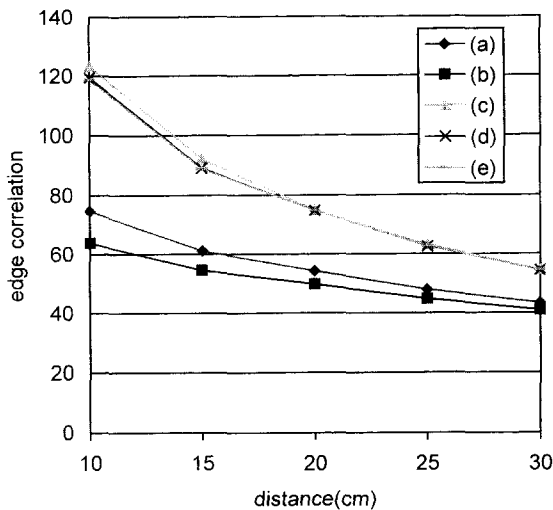
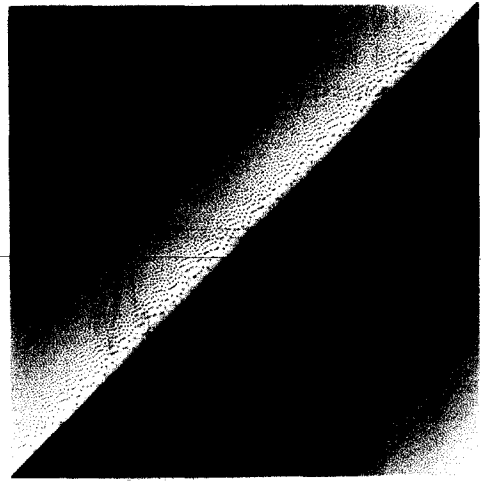


그림 6. 이진화상의 거리에 따른 경계상관도
 (a) Floyd 오차확산법 (b) 청색잡음 마스크 이진화 기법 (c) 경계강조 오차확산법
 (d) 랜덤잡음 임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법
 (e) 제안하는 이진화 기법

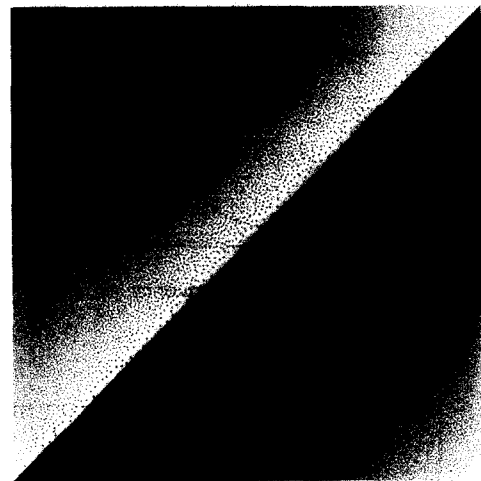
Fig. 6. Edge correlations of halftoned images for distances.
 (a) Floyd's error diffusion (b) BNM halftoning method (c) edge enhanced error diffusion.
 (d) edge enhanced error diffusion with random noise threshold modulation.
 (e) the proposed halftoning method

제안하는 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해서 패턴이 없는 선명한 화상을 제공하는 것을 보이기 위해서 512×512의 테스트 화상과 Lena 화상을 이용해서 실험하였다. 실험에 이용한 경계강조 오차확산법은 Kim 등이 제안한 경계강조 오차확산법을 이용하였고^[7], 청색잡음 마스크는 Parker 등이 제안한 방법으로 청색

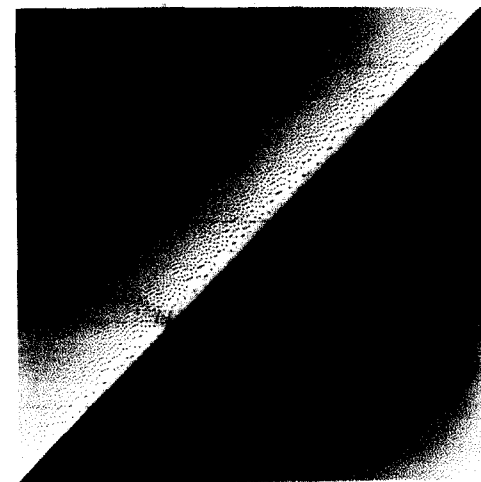
잡음 마스크 배열을 만들었다. 이진화상은 150 dpi 로 레이저 프린터에서 출력하였다.



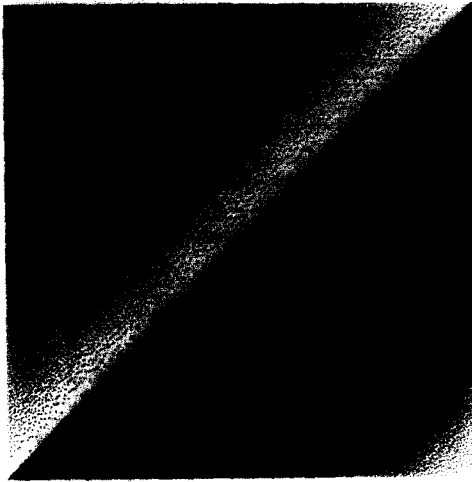
(a)



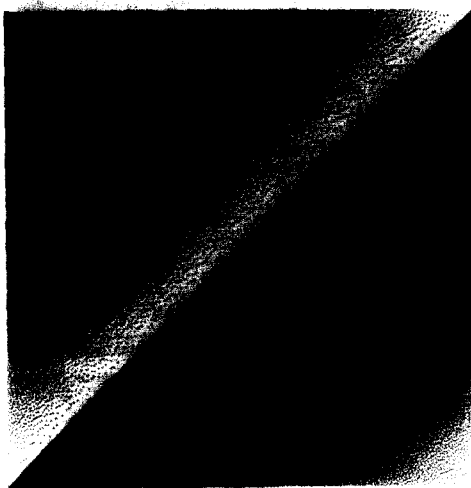
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 7. 테스트 화상의 이진 화상

- (a) Floyd 오차확산법 (b) 청색잡음 마스크 이진화 기법 (c) 경계강조 오차확산법
- (d) 랜덤잡음 임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법
- (e) 제안하는 이진화 기법

Fig. 7. Halftoned test images

- (a) Floyd's error diffusion (b) BNM halftoning method (c) edge enhanced error diffusion.
- (d) edge enhanced error diffusion with random noise threshold modulation.
- (e) the proposed halftoning method.

그림 7은 밝기값의 연속 변화를 나타내는 테스트 화상에 대한 이진결과 화상이다. 그림 7(a)는 Floyd 오차

확산법으로 이진화한 화상이다. 특정 밝기값에서 조직적인 패턴이 심각하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 7(b)는 청색잡음 마스크로 이진화한 화상으로 모든 연속계조 밝기값을 잘 표현해주고 있다. 그림 7(c)는 경계강조 오차확산법으로 이진화한 출력 화상으로 그림 7(a)와 마찬가지로 특정 밝기값에서 조직적인 패턴이 발생한다. 그림 7(d)는 랜덤잡음 임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법으로 이진화한 화상이다. 경계강조 계수는 5로 하고, 랜덤잡음을 50%로 임계값을 변조하였다. 그림 7(e)는 제안하는 청색잡음 마스크 임계값변조 경계강조 오차확산법으로 이진화한 이진화상이다. 경계강조 계수는 5로 하고, 청색잡음 마스크 계수를 0.5(50%)로 해서 실험하였다. 이 방법들은 그림 7(a)와 (c)에서 나타나는 조직적인 패턴이 없는 것을 볼 수 있다.

그림 8(a)는 Floyd의 표준 오차확산법으로 이진화한 Lena화상이다. 배경영역에서 조직적 패턴이 많이 보인다. 그림 8(b)는 청색잡음 마스크를 이용하여 이진화한 출력화상이다. 이진화상에서 패턴은 보이지 않지만, 화상이 흐려보인다. 그림 8(c)는 경계강조 오차확산법으로 이진화한 화상이다. (b)에 비해서 경계가 선명하지만, 배경영역에서의 규칙적인 패턴이 보인다. 그림 8(d)는 랜덤잡음 임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법으로 이진화한 화상이다. 경계강조 계수는 5로 하고, 랜덤잡음을 50%로 임계값을 변조하였다. 그림 8(e)는 제안하는 청색잡음 마스크 임계값변조 경계강조 오차확산법으로 이진화한 이진화상이다. 경계강조 계수는 5로 하고, 청색잡음 마스크 계수를 0.5(50%)로 해서 실험하였다. 제안한 청색잡음 마스크 임계값변조 경계강조 오차확산법으로 이진화한 이진화상은 오차확산법의 배경 등에 나타나는 규칙적인 패턴이 없으며, 경계강조를 통해서 이진화상이 시각적으로 선명하게 보인다. 그림 8(d)와 (e)의 오른쪽 거울에 비친 모자 부분에서 랜덤잡음 임계값변조를 이용한 방법이 청색잡음 임계값변조를 이용한 방법보다 화소의 엉킴이 많이 생긴 것을 볼 수 있다. 그림 9는 그림 8(d)와 (e)의 오른쪽 모서리 부분을 3배 확대한 것이다. 그림 5(d)에서 살펴본 것처럼 랜덤잡음 임계값변조는 저주파 성분을 포함하고 있기 때문에 화소의 엉킴을 형성한다.



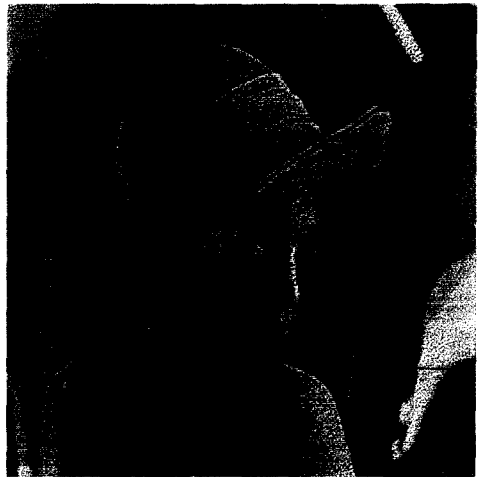
(a)



(d)



(b)



(e)



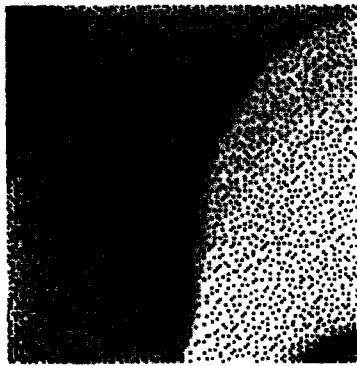
(c)

그림 8. Lena 화상의 이진 화상

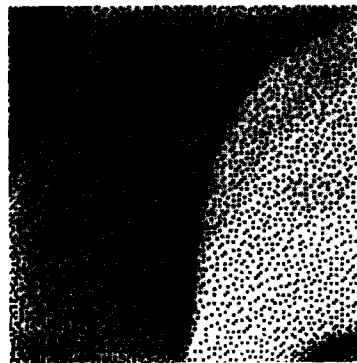
- (a) Floyd 오차확산법 (b) 청색잡음 마스크 이진화 기법 (c) 경계강조 오차확산법
- (d) 랜덤잡음 임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법
- (e) 제안하는 이진화 기법

Fig. 8. Halftoned Lena images.

- (a) Floyd's error diffusion (b) BNM halftoning method (c) edge enhanced error diffusion.
- (d) edge enhanced error diffusion with random noise threshold modulation.
- (e) the proposed halftoning method.



(a)



(b)

그림 9. Lena 이진 화상의 확대

(a) 랜덤잡음 임계값변조를 이용한 경계강조 오차확산법

(b) 제안하는 이진화 기법

Fig. 9. Zooming in halftoned Lena images.

(a) edge enhanced error diffusion with random noise threshold modulation

(b) the proposed halftoning method

VI. 결 론

오차확산법은 연속계조 화상을 이진화상으로 재현하는 뛰어난 이진화 기법이지만, 특정한 밝기값에서 조직적 패턴이 생긴다. 이 패턴을 제거하기 위해서 본 논문에서는 경계강조 오차확산법의 임계값을 청색잡음 마스크로 변조하여, 일정한 입력화상에 진동을 줌으로써 오차확산법에서 생기는 조직적 패턴을 제거하고 시각적으로 선명하게 보이는 이진화 기법을 제안하였다.

환상 평균 전력스펙트럼과 경계상관도를 이용해서 기존의 이진화 기법과 비교하였다. 환상 평균 전력 스펙트럼 결과에서는 제안하는 방법이 기존의 방법에 비해서 청색잡음 특성을 가지고 있어 규칙적인 패턴이

없음을 보였다. 일정한 밝기값에서 랜덤잡음 임계값변조에 비해 저주파성분이 거의 나타나지 않으므로 화소들의 엉킴을 형성하지 않았다. 또한 경계상관도를 측정하여 제안하는 방법이 경계의 재현력이 기존의 알고리즘에 비해서 우수함을 보였다. 실제로 연속계조 화상에 대해서도 제안하는 기법이 기존의 이진화 기법에 비해서 패턴이 거의 생기지 않으면서 동시에 경계를 강조하여 선명한 이진화상을 제공할 수 있음을 보였다. 따라서, 이 기법을 저해상도의 이진출력장치나 천연색 잉크젯 프린터 등에 응용하여 보기에 좋은 화질을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] R. Ulichney, *Digital halftoning*, MIT Press, Cambridge Mass., 1987.
- [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," *Journal of Electronic imaging*, vol. 3, pp.92-97, January 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, November 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] R. Eschbach and K. Knox, "Error diffusion algorithm with edge enhancement," *J. Opt. Soc. Am A*, Vol. 8, No.12, pp.1844-1850, 1991.
- [7] 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. 4(2), pp.172-178, April 1995.
- [8] Keith T. Knox and Reiner Eschbach "Threshold modulation in error diffusion," *Journal of*

Electronic Imaging, July 1993.

[9] 고재철, 적응확산을 이용한 이진 영상 부호화 기법, 포항공과대학 전자전기공학과 석사학위 논문, 1991

[10] 이태홍, 이동원, "시각모델에 근거를 둔 반복처리에 의한 디지털 하프톤 기법," *한국통신학회 논문지*, 제3 권 제3호, pp. 780-796, 1995

[11] 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, August, pp. 1714-1723, 1993.

저 자 소 개



李 乙 煥(正會員)

1970년 8월 20일 생. 1993년 2월 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1995년 2월 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1995년 3월~현재 부산대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 관심분야 : Digital halftoning, Color reproduction, Multi-band imaging system, Image processing.



朴 昌 大(正會員)

1966년 1월 21일 생. 1991년 2월 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1995년 2월 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1995년 3월~현재 부산대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 관심분야 : Image processing, Still and Video image compression, VLSI design



朴 長 植(正會員)

1965년 11월 15일 생. 1992년 2월 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1994년 2월 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1999년 2월 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1997년 3월~현재 동의공업대학 영상정보처리과 조교수. 관심 분야 : 신호처리, 음성 및 음향 신호처리, Digital halftoning.



金 在 浩(正會員)

제 32권 B편 제2호 참조, 현재 부산대학교 전자공학과 부교수.