

논문 2005-42SP-3-13

# 에지 강조 정보를 이용한 오차확산 해프토닝

## (The Error Diffusion halftoning Method Using Information of Edge Enhancement)

곽 내 정\*, 안 재 형\*\*

(Nae Jung Kwak and Jae Hyeong Ahn)

### 요 약

선으로 구성된 회로도나 설계도 같은 특수 목적 영상을 처리할 경우 에지가 강조된 영상을 필요로 한다. 또한 프린터, 팩시밀리, LCD TV 등과 같은 이진 출력 장치에 연속 계조 영상을 표현하기 위한 디지털 해프토닝 방법 중 오차 확산 방법으로 이진 영상을 생성할 경우 에지가 흐려진다. 본 논문은 회로도나 설계도 등의 영상 뿐 아니라 이진 출력 장치 등에 사용되는 이진 영상의 에지를 강조하는 방법을 제안한다. 인간의 눈은 한 화소의 명암값이 아니라 국부 평균을 인식한다는 것을 이용하여 제안 방법은 원화소의 명암값과 3×3 블록의 평균 명암값과의 차이 값에 공간적 위치 값에 따른 가중치를 곱하여 국부 공간 변화량(LAM: local activity measure)을 사용한다. 제안된 시스템은 또한 LAM에 평균 명암도를 곱하여 얻어진 에지 강조 정보량(IEE: information of edge enhancement)을 사용한다. IEE를 양자화기 입력에 더하여 이진 영상의 에지를 강조한다. 컴퓨터 시뮬레이션은 제안 방법이 기존의 방법에 비해 영상의 에지가 강조되어 시각적으로 선명한 영상을 생성한다. 또한 거리에 따른 에지 상관도와 로컬 평균 일치도를 이용하여 제안 방법과 기존 방법의 특성을 분석한다.

### Abstract

Edge enhanced image is needed for processing images for special purpose such as a circuit diagram or a design composed of lines. Error diffusion halftoning, among digital halftoning methods to represent a continuous grayscale image for the binary output device such as printers, facsimiles, LCD televisions and etc. also makes edges of objects blurred. This paper proposes the method to enhance the edge of a binary image for the binary output device as well as a circuit diagram or a design. Based on that the human eyes perceive the local average luminance rather than the pixel's luminance itself, the proposed system uses a local activity measure (LAM), which is the difference between a pixel luminance and the average of its 3x3 neighborhood pixels' luminances weighted according to the spatial positioning. The system also uses information of edge enhancement(IEE), which is computed from the LAM multiplied by the average luminance. The IEE is added to the quantizer's input pixel and feeds into the halftoning quantizer. The quantizer produces the halftone image having the enhanced edge. The simulation results show that the proposed method produces more fine halftoning images than conventional methods due to the enhanced edges. Also the performance of the proposed method is compared with that of the conventional method by measuring the edge correlation and the local average accordance over a range of viewing distances.

**Keywords :** halftone, error diffusion, edge-enhancement, binary image, local activity measure

### I. 서 론

팩시밀리나 레이저 프린터 등의 이진 출력 장치를 이

용하여 영상을 표현하기 위해서는 연속 계조 영상(gray scale image)을 이진 영상(binary image)으로 변환해야 한다. 이와 같이 연속 계조 영상을 이진 영상으로 변환하는 기법을 해프토닝(halftoning)이라 한다<sup>[1,2]</sup>. 이것은 흑백영상인 경우 국부 영역의 흑 화소와 백화소의 공간적인 평균값을 인식하는 인간의 시각이 저역 통과 필터 특성이 있음을 이용하여 주어진 연속 계조 영상을 해프토닝 영상으로 근사화 시키는 처리로서 일정한 거리에서 관측시 원영상과 유사하게 보이도록 하는 방법이다.

\* 정회원, 목원대학교  
(Mokwon University)

\*\* 정회원, 충북대학교  
(Chungbuk National University)

※ 이 논문은 2004년도 충북대학교 학술지원연구사업의 연구비 지원에 의해 연구되었음

접수일자: 2004년12월7일, 수정완료일: 2005년3월31일

해프토닝 방법은 크게 순차적 디터법(ordered dither method)<sup>[1]</sup>, 오차확산법(error diffusion)<sup>[2]</sup>, 최적화 방법(optimization method)<sup>[3-5]</sup> 등이 제안되어 있다. 순차적 디터법은 이진화 되어야 할 화소의 계조값을 미리 정해진 문턱값 배열과 비교하여 화소의 이진 값을 결정하므로 속도가 빠른 장점이 있지만 고정된 임계값의 사용으로 인한 규칙적인 패턴 때문에 화질의 열화가 생기는 단점이 있다. 최적화 방법은 영상의 화질을 나타내는 평가 함수를 먼저 정의하고 평가 함수가 최소가 되도록 최소제곱법<sup>[3]</sup>, 신경회로망<sup>[4]</sup>, 유전 알고리즘<sup>[5]</sup> 등을 이용하여 이진 영상을 생성하는 방법이다. 영상의 화질을 나타내는 평가 기준은 인간의 눈을 모델화해서 생성한 필터를 이용하여 원영상과 이진 영상사이의 제곱 오차를 이용한다. 오차확산법은 화소를 이진화 한 후 발생하는 이진화 오차를 오차 확산 필터를 도입하여 주어진 필터의 가중치로 필터링하여 그 결과를 주위 화소값에 더함으로써 원영상을 갱신하여 평균 에러를 영으로 만든다. 오차확산법은 연속 계조 영상을 재현하는데 좋은 성능을 보이지만 특정 명암값에서 이진 화소가 균일하게 분포하지 못함으로 인해 규칙적인 패턴이 발생하거나 뭉쳐지는 형태 등으로 분포되어 저주파 성분에 민감한 인간 시각에 거슬리게 보이게 된다. 또한 오차 확산 필터가 원영상의 평균 계조도를 영으로 유지하도록 설계되므로 이를 사용하여 처리된 이진 영상은 에지(edge) 영역의 열화를 수반한다. 따라서 이진 영상은 평균 계조도를 유지하면서 에지 정보를 보존해야 한다.

오차확산법은 규칙적인 패턴을 제거하기 위하여 오차확산 필터의 변형된 설계<sup>[6]</sup>와 국부 영역의 오차를 최소화 하도록 필터 계수를 적응적으로 조정<sup>[7]</sup>, 인간의 시각체계(Human Visual system:HVS)의 특성 도입<sup>[8]</sup>, 프린터 모델의 적용<sup>[9]</sup> 등 다양한 연구가 수행되었다. 또한 에지를 강조하여 보다 선명한 이진 영상을 얻기 위한 에지 강조 오차확산법이 Knox<sup>[10]</sup> 등에 의해 제안되었다. 이 방법은 처리하는 현재 화소의 계조에 확산되는 오차를 더하는 과정에서 현재 화소의 가중값을 줌으로 에지를 강조하는 방법이다. 또한 Hwang 등<sup>[11]</sup>은 원영상의 공간적 변화량을 이용하여 에지를 강조하는 오차확산법을 제안한다. 이 방법은 원영상의 화소값과 주변 5x5 인접 화소의 평균과의 차를 구하여 이 차이값의 부호와 크기값으로 가중치 함수를 구한다. 이 값을 오차확산법의 양자화기에 입력되는 신호에 추가하여 에지를 강조한다. 이 방법은 영상의 공간적 정보를 고려하는 방법으로 Knox의 방법보다 더 개선된 결과를 보여주

었다.

본 논문은 인간의 시각 시스템이 한 화소의 명암값을 인식하지 않고 국부 평균을 인식한다는 특성을 이용하여 이진 영상의 에지를 강조한다. 공간적인 평균값이 인간의 시각 시스템에 인식된다고 가정할 경우 원화소의 명암값과 평균의 차이 값이 인간의 시각 시스템이 인식하지 못하는 오차이다. 따라서 입력 영상을 주변 8 화소의 평균(mean)을 구하여 그 값과 원화소의 차이(difference) 값을 이용하여 공간 활성도(LAM:local activity measure)를 구한다. 인간의 시각 시스템은 대각선과 수평, 수직을 인식하는 민감도가 다르므로 이러한 특성을 고려하여 LAM을 구할 때 가중치를 적용한다. 주변 화소를 인식하는 정도를 해프토닝에 반영하기 위해 이 값과 평균값을 이용하여 에지 강조 정보(IEE: information of edge enhancement)를 구한다. 구해진 IEE를 양자화기 입력에 더하여 입력 영상을 해프톤 할 때 에지를 강조한다.

II장에서는 기존의 오차확산법을 설명하였고 III장에서는 제안하는 오차확산법을 설명하였다. IV장에서는 기존 방법과 제안 방법의 결과를 비교하였고 V장에서는 결론을 제시하였다.

## II. 오차확산법

오차확산법(error diffusion)은 영상의 입력  $x(i,j)$ 를 양자화기  $Q(\cdot)$ 를 사용해 이진 값으로 변환하는 과정과 양자화로 인해 생성되어진 오차  $e(i,j)$ 를 주위 화소로 전파하여 주위 화소의 계조 값을 수정하는 과정으로 이루어진다. 오차 전파에 의해 수정될 주위 화소의 위치와 가중치는 오차 확산 계수  $h(k,l)$ 에 의해 결정되어진다. 그림 1은 오차확산법의 블록 다이어그램이다.

오차확산법에서 이웃 화소로 전파되는 양자화 오차는 양자화기의 입력값  $x'(i,j)$ 과 출력값  $y(i,j)$ 사

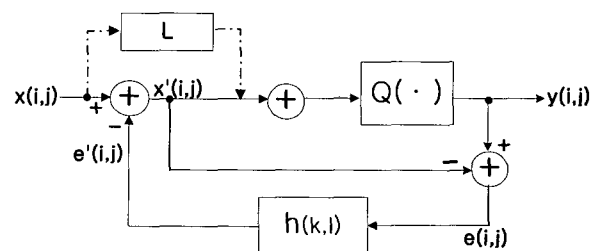


그림 1. 오차확산법  
Fig. 1. Error diffusion halftoning.

이의 차로 다음과 같이 구해진다.

$$e(i, j) = y(i, j) - x'(i, j) \quad (1)$$

양자화 오차  $e(i, j)$ 는 오차 확산 필터  $h(\cdot)$ 에 의해 주변 화소로 전파되며 누적 오차  $e'(i, j)$ 를 생성한다.

$$e'(i, j) = \sum_{(k, l) \in R} h(k, l)e(i - k, j - l) \quad (2)$$

여기서  $R$ 은 오차가 전파될 주위 화소들의 집합이고  $h(k, l)$ 은 오차 확산 필터이다.

양자화기의 입력  $x'(i, j)$ 는 누적 오차  $e'(i, j)$ 에 의해 갱신된 값으로 다음과 같이 구해진다.

$$x'(i, j) = x(i, j) - e'(i, j) \quad (3)$$

갱신된 입력 영상  $x'(i, j)$ 값에 대해 양자화기는 임계값을 이용하여 이진값  $y(i, j)$ 를 출력하게 된다.

$$y(i, j) = \begin{cases} 1 & , \quad x'(i, j) \geq t(i, j) \\ 0 & , \quad \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

그림 2는 Floyd-steinberg가 제안한 오차 확산 필터이다.

식 (1),(2)와 그림 2의 필터 계수를 이용하여 주파수 영역에서 표현하면 다음과 같은 수식을 얻는다.

$$Y(u, v) = X(u, v) + F(u, v)E(u, v) \quad (5)$$

여기서  $F(u, v)$ 는 Floyd가 제안한 계수들의 항으로 표현되는 고역 통과 필터와 같다.

$$F(u, v) = 1 - \sum_{k, l} h(k, l)\exp[-x(uk + vl)] \quad (6)$$

따라서 식 (5)에서 이진 영상은 입력 화소 밝기 값에 고역 통과한 오차가 더해짐을 알 수 있다.

임계값 변조 오차확산법은 임계값을 상수로 두지 않고, 공간 영역에서 처리되는 화소에 따라 변화도록 하여 특정한 목적에 이용하는 오차확산법이다. Knox는 오차확산법에서 임계값을 변화시키는 효과를 등가 영상 개념을 이용하여 수학적으로 분석하였다<sup>[12]</sup>. 등가 영상

	●	
3/16	5/16	7/16
	1/16	

그림 2. Floyd-steinberg의 오차 확산 필터  
Fig. 2. Error diffusion filter of Floyd-steinberg.

$X_e(u, v)$ 를 입력 영상과 임계값으로 표현하면 다음과 같다.

$$X_e(u, v) = X(u, v) + F(u, v)T(u, v) \quad (7)$$

즉 오차확산법에서 임계값을 변화시키는 효과는 입력 영상과 임계값을  $F(u, v)$ 로 필터링한 값과의 합을 입력 영상으로 구성한다면, 고정된 임계값을 갖는 표준 오차확산법과 동일하다. 임계값  $T(u, v)$ 를 적절히 선정함으로써 원하는 이진 영상을 얻을 수 있게 된다. 예지 강조 오차확산법은 Knox가 제안한 바와 같이 그림 1에서 점선부를 추가한 것으로,  $L$ 은 입력 $\times L$ 로 정해지며 임계값을 입력 영상을 사용하여 변조한 것이다. 즉, 임계값  $T(u, v)$ 를

$$T(u, v) = cX(u, v) \quad (8)$$

로 한 것인데 이를 식 (8)에 대입하면 다음과 같다.

$$X_e(u, v) = (1 + cF(u, v))X(u, v) \quad (9)$$

등가 영상  $X_e(u, v)$ 는 입력 영상을  $c$ 값에 따라서 필터링한 것이 된다.  $c > 0$ 인 경우 입력 영상을 고역 통과 한 것이 등가 영상이 되고 이 등가 영상을 표준 오차 확산하는 것이 되어 에지를 강조하는 효과를 갖는다.

### III. 예지 강조 정보량을 이용한 오차확산법

Knox 등<sup>[10]</sup>이 제안한 예지 강조 오차확산법은 임계값 변조 방법을 이용하여 에지를 강조하고자 했다. 그러나 공간 정보를 고려하지 않으므로 국부적으로 에지가 과도하게 강조되거나 미세한 에지는 묻혀지는 단점을 가진다. Hwang 등<sup>[11]</sup>은 원영상의 공간적 변화량을 이용하여 에지를 강조하는 오차확산법을 제안한다. 이 방법은 원영상의 화소값과 주변 5×5 인접 화소의 평균과의 차를 구하여 이 차이값의 부호와 크기값과 에지의 강조 정도를 조절하는 조절 계수를 이용하여 가중치 함수를 구한다. 예지 강조 조절 계수는 에지가 큰 값으로 변할 경우 지나치게 강조되는 것을 조절하고, 이진 영상의 예지 강조 정도를 조절한다. 구해진 가중치 함수를 오차확산법의 양자화기에 입력되는 신호에 추가하여 에지를 강조한다. 이 방법은 영상의 공간적 정보를 고려하는 방법으로 Knox의 방법보다 더 개선된 결과를 보여주지만 국부 영역의 변화의 정도를 국부 영역의 차

이 값만으로 이용하여 에지 가중치를 구함으로 보존되어야 할 미세한 에지가 보존되지 못하는 결과를 나타낸다. 우리는 이러한 단점을 개선하기 위해 국부적 공간 정보를 인간이 인식하는 특성을 이용한 에지 강조 오차확산법을 제안한다.

제안 방법은 이진 영상의 에지가 강조되는 정도를 결정하는 에지 강조 정보 (IEE: information of edge enhancement)를 원영상으로부터 계산하여 양자화기 입력 영상에 더함으로 에지를 강조한다. IEE는 인간의 시각이 한 점의 값을 인식하지 않고 주변 화소와의 평균을 인식하는 저주파 필터와 에지, 즉 화소의 변화량을 인식하는 고주파 필터로 구성된 대역 통과 필터라는 성질을 이용하여 영상의 국부 영역의 평균과 화소의 변화량을 이용하여 구한다.

먼저 영상의 3×3 국부 영역의 평균을 구한다.

$$\text{mean}(i, j) = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 x(i+k, j+l) / 9 \quad (10)$$

인간의 시각 시스템이 (i,j) 위치의 국부 평균을 인식한다고 하면 원화소의 값 x(i,j)와 국부 평균과의 차이가 우리 눈이 인식하지 못하는 오차이다. 이때 오차가 작으면 현재 화소는 주변의 영역과 비슷한 값으로 공간적 변화가 적은 영역에 존재함을 의미한다. 또한 오차 값이 크면 현재 화소는 주변 화소와는 다른 값으로 공간적으로 변화가 많은 고주파 영역임을 의미한다. 따라서 이 오차를 이용하여 공간적인 화소값의 변화량(SV: spatial variation)을 구한다. 이때 인간의 시각은 대각선 방향보다 수평과 수직 방향을 더 민감하게 인식하므로 방향에 따른 가중치 W(k, l)를 구하여 인간의 시각이 인식하는 변화량을 구한다.

$$\text{SV}(i, j) = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 W(k, l) \times |x(i+k, j+l) - \text{mean}(i, j)| \quad (11)$$

여기서 W(k, l)은 수평과 수직에 대한 대각방향 비를  $1:\sqrt{2}$  가 되도록 하고, 계수의 합이 1이 되도록 정규화 하였다. 이때 수평, 수직 방향은 0.1465, 대각 방향은 0.1035의 값을 갖는다.

한 화소에서의 인간의 시각이 인식하지 못하는 오차 값에 공간적 변화량을 곱하여 공간 활성도(LAM:local activity measure)를 구한다.

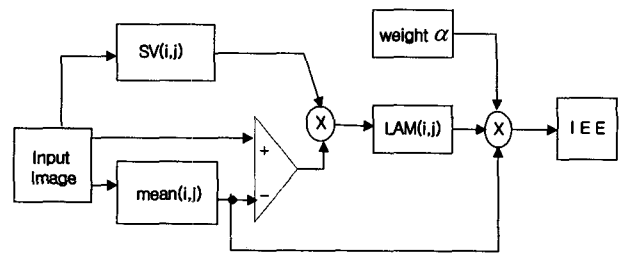


그림 3. IEE의 결정  
Fig. 3. Block diagram of computing of IEE.

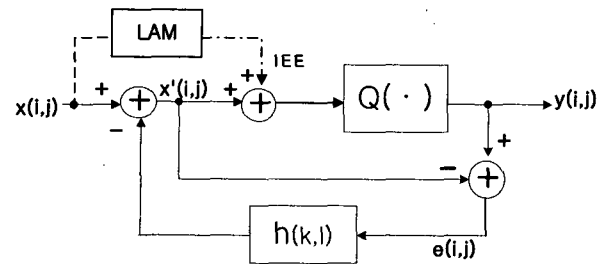


그림 4. IEE를 이용한 에지 강조 오차확산법  
Fig. 4. Edge enhanced error diffusion halftoning using IEE.

$$\text{LAM}(i, j) = \text{SV}(i, j) \times (x(i, j) - \text{mean}(i, j)) \quad (12)$$

IEE는 LAM(i,j)을 인간의 시각이 인식하는 국부 평균값에 가중치로 적용하여 다음과 같이 계산한다.

$$\text{IEE}(i, j) = \alpha \times \text{mean}(i, j) \times \text{LAM}(i, j) \quad (13)$$

여기서  $\alpha$ 는 정보량 조절 계수이다. 만약 국부 평균 값이 원화소의 값보다 크면 오차의 값이 음의 값이 되어 LAM(i,j)의 값이 음의 값을 나타내며 이는 공간적으로 현재의 값이 주변의 값보다 더 낮은 값을 갖는 것을 의미한다. 반대로 국부 평균값이 원화소의 값보다 작으면 LAM(i,j)의 값은 양의 값을 나타내며 이는 공간적으로 원화소의 값이 주변의 값보다 높은 값을 갖는다는 것을 의미한다. 또한 원화소의 값과 평균값이 같다면 LAM(i,j)의 값은 0이 되어 IEE의 값도 0이 되고 Floyd가 제안한 오차확산법과 동일한 특성을 갖는다. 이와 같이 LAM(i,j)의 부호는 원화소의 값과 주변 화소의 값의 관계를 나타내며 LAM(i,j)은 화소의 값을 인간의 시각에 적합하게 표현하기 위한 가중치가 된다. 제안 방법은 구해진 IEE의 값을 양자화 입력 영상에 더해서 에지를 강조하게 된다. 그림 3은 국부적 공간 정보를 고려한 에지 강조 정보량을 결정하는 알고리즘의 블록도이며 그림 4는 IEE를 이용한 제안 방법의 블록 다이어그램이다.

### IV. 성능 평가

제안 방법의 성능을 평가하기 위해 본 논문에서는 Floyd-Steinberg 방식과 Knox 등에 의해 제안된 에지 강조 오차확산법, Hwang 등에 의해 제안된 에지 강조 오차확산법을 적용한 결과를 비교한다. 이때 Knox 등의 방법은 L=2, Hwang 등의 방법은 a=2.5, b=0.02 하였다. 제안 방법은 실험에 의하여  $\alpha=0.48$ 을 적용하여 결과를 구했다. 성능 평가 방법은 에지 상관도와 로컬 평균일치도를 이용하였다.

#### 4.1 에지 상관도

영상의 중요한 정보는 대부분 에지 부분에 존재하며 인간의 눈은 에지에 민감하다. 따라서 화질의 평가에 있어 원영상과 이진 영상간의 에지가 얼마나 일치하는가를 나타내는 에지 상관도(edge correlation)는 중요한 파라메타이다. 에지 상관도 함수는 다음과 같다<sup>[13]</sup>.

$$C_E = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} c_{edge}(i, j) \quad (14.1)$$

$$c_{edge}(i, j) = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 W(k, l) D_I(k, l) D_B(k, l) \quad (14.2)$$

$D_I(k, l)$ 와  $D_B(k, l)$ 는 다음과 같이 구한다.

$$D_I(k, l) = I_h(i, j) - I_h(i-k, j-l) \quad (15.1)$$

$$D_B(k, l) = B_h(i, j) - B_h(i-k, j-l) \quad (15.2)$$

여기서  $I_h(i, j)$ 은 원영상,  $B_h(i, j)$ 은 HVS특성을 고려하여 7x7 윈도우의 저역 통과 필터를 구성하고, 이로서 이진 영상을 필터링하여 복원한 영상이다. 에지 상관도는 원영상과 이진영상에 대한 에지 부분의 표현 능력을 평가하는 함수로서  $C_E$ 의 값이 클수록 에지 부분이 잘 일치한다고 판단할 수 있다.

#### 4.2 로컬 평균 일치도

에지 정보의 중요성과 더불어 원영상의 로컬 평균을 보존하는 능력도 중요한 요인이 된다. 만일 원영상의 로컬 평균의 보존 정도가 매우 나쁜 기법을 사용하여 이진 영상을 얻을 경우 출력 영상의 전체적인 명암 및 로컬 명암이 원영상과 많이 달라지게 된다. 이에 로컬 평균 일치도 함수<sup>[14]</sup>를 사용하여 성능을 평가한다. 먼저 영상을 특정 크기로 분할하여 각 부분에 대한 로컬 평균을 구하는데 원영상에 대한 로컬 평균을  $L_{mI}$ 이라 하

고, 중간조 영상을 앞에서 사용한 7x7 윈도우의 저역 통과 필터로 복원하고 이에 대한 로컬 평균을  $L_{mB}$ 라 하면

$$L_{mI} = \frac{1}{M^2} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} I_h(i, j) \quad (16.1)$$

$$L_{mB} = \frac{1}{M^2} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} B_h(i, j) \quad (16.2)$$

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

$$A_{Lm} = \frac{1}{E[(L_{mI} - L_{mB})^2]} \quad (17)$$

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

표 1. 관측거리에 따른 에지 상관도(CE)

Table 1. Edge correlation according to viewing distance.

방법 관측거리	Floyd	Knox	Hwang	Proposed
10	146.81	151.2	147.37	152.83
15	134.31	138.35	134.77	139.31
20	116.91	120.89	117.23	121.18
25	105.44	109.8	105.75	110.28
30	96.88	101.81	97.13	102.94

표 2. 관측거리에 따른 로컬 평균 일치도(ALm)

Table 2. Local average accordance according to viewing distance.

방법 관측거리	Floyd	Knox	Hwang	Proposed
10	14.02	1.96	14.89	16.78
15	16.58	2.34	17.52	19.78
20	20.37	2.92	21	24.52
25	31.26	3.08	31.5	40.15
30	36.28	4.8	37.92	45.51



그림 5. Lena의 부분 영상

Fig. 5. A part image of Lena.

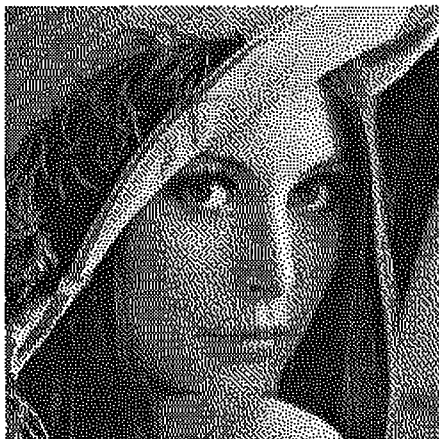
식 (17)에서  $N^2$ 은 로컬 영역의 개수이며  $A_L$ 의 값이 작을수록 이진 영상과 원영상의 로컬 평균이 잘 일치함을 의미한다. 일반적으로 원영상과 이진 영상의 로컬 평균의 차이는 전역적 평균 차이와 비례한다.

4.3 실험 결과

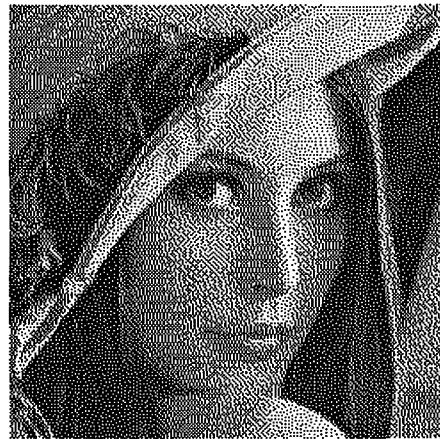
표 1과 2는 10, 15, 20, 25, 30인치외의 관측거리에서 HVS 함수를 이용하여 7×7의 저역 통과 필터를 구성하고 256×256크기의 Lena 영상의 이진 영상을 복원한 후 식 (14)와 식 (17)에 의해 원영상과 복원 영상의 에지 상관도와 로컬 평균 일치도를 구한 결과이다. 표 1의 에지 상관도의 비교시, Knox 등의 방법과 Hwang 등의 방법은 Floyd 방법에 비해 에지 상관도에서 개선되었으며 비슷한 결과를 보인다. 제안 방법은 기존의 세 방법보다 에지 상관도가 더 높은 결과를 보인다. 이것은 제안

방법의 이진 영상이 기존 방법의 이진 영상보다 경계 영역에서 잘 재현함을 의미한다. 표 2는 영상의 분할 단위를 16×16 화소 영역으로 하여 로컬 평균 일치도를 구한 결과이다. Floyd 방법의 로컬 평균 일치도와 비교 시 Knox 등이 제안한 방법의 로컬 평균 일치도는 낮은 특성을 보이며, Hwang 등이 제안한 방법은 Floyd와 비슷하거나 더 높은 특성을 보인다. 또한 제안 방법의 로컬 평균 일치도가 기존의 세 방법에 비해 가장 높은 특성을 보인다. 이것은 Knox 등의 방법은 원영상의 평균 계조도 일치에 대한 특성이 매우 낮고 제안 방법이 원영상의 평균 계조도를 가장 잘 유지함을 보여준다.

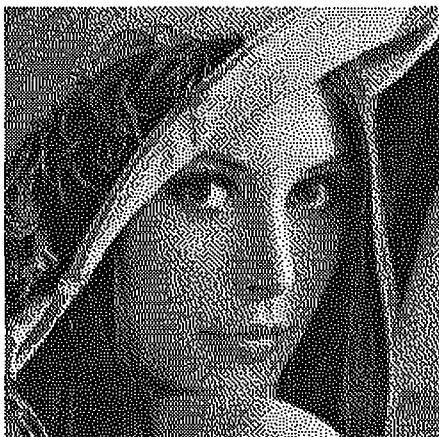
그림 5는 테스트 영상인 lena 원영상 중 고주파 영역인 모자와 머리카락 영역과 저주파 영역인 얼굴 영역을 중심으로 하여 잘라낸 영상이며 그림 6은 그림 5의 영상에 기존의 방법과 제안 방법을 적용한 결과 영상이다.



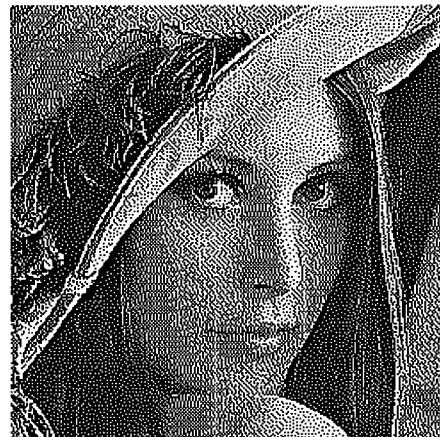
(a) Floyd's method



(b) Knox's method



(c) Hwang's method



(d) 제안 방법

그림 6. 기존 방법과 제안 방법의 해프톤 영상

Fig. 6. The halftone images by conventional methods and the proposed method.

Floyd 방법의 결과 영상은 오차확산 방법이 원영상의 평균 계조도를 유지하도록 처리되므로 고주파 영역인 에지 영역에서 화질이 저하됨을 보인다. Knox 등의 방법의 결과 영상은 Floyd 의 방법의 영상에 비해 좀 더 선명하다. Hwang 등이 제안한 방법은 공간 정보를 고려한 방법으로 Knox 등이 제안한 방법보다 더 선명한 결과를 보이지만 모자의 깃털등 미세한 에지는 보존되지 못하였다. 제안 방법은 영상의 에지가 명확해 졌고 모자 등의 미세한 에지도 보존되어졌으며, 전체적으로 선명하게 영상을 재현한다. 또한 얼굴 영역과 배경 영역의 균일한 패턴도 줄어들었다.

## V. 결 론

본 논문은 오차확산법에서 영상의 에지를 강조하는 방법을 제안한다. 제안 방법은 인간의 시각 시스템이 한 화소의 명암값을 인식하지 않고 국부 평균을 인식한다는 특성을 이용하여 주변 화소의 평균을 구하여 원화소의 명암값과의 차이 값으로 공간적 변화량을 구한다. 구해진 공간적 변화량은 우리 눈이 인식하지 못하는 오차로 이 값이 작으면 현재 화소는 주변의 영역과 비슷한 값으로 공간적 변화가 적은 영역에 존재함을 의미한다. 또한 오차값이 크면 현재 화소는 주변 화소와는 다른 값으로 공간적으로 변화가 많은 고주파 영역임을 의미한다. 따라서 평균과 주변 화소와의 차의 절대값을 합하여 공간 변화량(SV)을 구하고 이 값과 원화소와 국부 평균값을 이용하여 공간 활성화(LAM)를 구한다. 이때 인간의 시각은 대각선 방향보다 수평과 수직 방향을 더 민감하게 인식하므로 수평, 수직 일때는 1을, 그 외는 0.7의 값을 갖도록 시각 가중치를 적용했다. 그리고 LAM의 값과 국부 평균값을 이용하여 에지 강조 정보량을 구한다. IEE의 값은 입력 화소값과 평균값이 동일할 경우는 0의 값을 갖고Floyd의 오차확산법과 동일한 특성을 갖게 된다. 구해진 IEE를 양자화기 입력에 더하여 이진 영상의 에지를 강조한다.

제안 방법은 에지 상관도와 로컬 평균 일치도에서 개선된 결과를 보였다. 이는 영상의 에지 영역의 재현성이 기존의 방법에 비해 개선되어졌으며 영상의 평균 계조도를 잘 보존함을 의미한다. 또한 제안 방법은 공간 정보를 고려함으로 눈에 띄는 에지 뿐 아니라 미세한 에지도 잘 보존하며 인간의 시각에 거슬리는 규칙적인 패턴도 줄여준다.

제안 방법은 원영상으로부터 에지가 강조된 이진 영

상을 효율적으로 생성하므로 회로나 설계도 등 특수 목적의 영상을 처리하는데 적합하며 또한 이진 출력 장치에 일반 영상을 표현하기 위한 영상의 처리에도 적합하다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. A. Ulichney, Digital Halftoning, MIT Press, Cambridge Mass., 1987.
- [2] R. W. Floyd and L. Steinberg, "An adaptive algorithm for spatial scale," Proc. Soc. Inf. Disp., vol. 17, no. 2, pp. 75-77, 1976.
- [3] P. W. Wong, "Error diffusion with dynamically adjusted kernel," IEEE Int. Conf. on ASSP, vol. 5, pp. 113-116, April. 1994.
- [4] D. Anastassiou, "Neural net based digital halftoning of images," IEEE International Symposium on. Circuits and Systems, vol 1, no. 4, pp. 507-510. 1988.
- [5] N. Kobayashi and H. Saito, "Halftoning technique using genetic algorithm," ICASSP, vol. 5, pp. 105-108, 1994.
- [6] J. F. Jarvis, C. N. Judice, and W. H. Ninke, "A survey of techniques for the display of continuous tone pictures on bilevel displays," Comput. Graph. Image Processing, vol. 5, pp. 13-40, 1976.
- [7] P. W. Wong, "Adaptive error diffusion and its application in multiresolution rendering," IEEE Trans. Image Processing, vol. 5, pp. 1184-1196, July 1996.
- [8] J. Sullivan, R. Miller, and G. Pios, "Image halftoning using a visual model of diffusion," J. Opt. Soc. Amer. A, vol. 10, pp. 1714-1724, Aug. 1993.
- [9] J. B. Mulligan and A. J. Ahumada, "Principled halftoning based on models of human vision," Proc. SPIE, Human Vision, Visual Proc., Digital Display ?, vol. 1666, pp. 109-121, Feb. 1992.
- [10] R. Eschbach and K. Knox, "Error diffusion algorithm with edge enhancement," J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 8, No. 12, pp. 1844-1850, 1991.
- [11] B. W. Hwang, T. H. Kang, and T. S. Lee, "Distortion-Free of General Information with Edge Enhanced Error Diffusion Halftoning," ICCSA 2004, LNCS vol. 3046, pp. 281-290,
- [12] K. T. Knox and R. Eschbach, "Threshold modulation in error diffusion," J. Electron. Imaging, vol. 2, pp. 185-192, July 1993.
- [13] 이을환, 박장식, 박창대, 김재호, "청색 잡음 마스크 임계값 변조를 이용한 에지 강조 오차확산법,"

전자공학회 논문지, 제36권 S편, 제 10호, pp. 72-82, 1999.

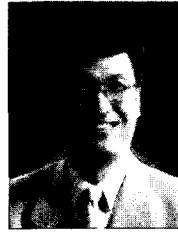
[14] 이태홍, 이동원, "시각모델에 근거를 둔 반복처리에 의한 디지털 하프톤 기법," 한국 통신학회 논문집, 제 3권 3호, pp. 780-796, 1995.

저 자 소 개



곽 내 정(정회원)  
1993년 충북대학교 정보통신 공학과 학사 졸업  
1995년 충북대학교 정보통신 공학과 석사 졸업  
2005년 충북대학교 정보통신 공학과 박사 졸업

2005년~현재 목원대학교 정보통신 공학부 프로그래밍 전문강사  
<주관심분야 : 해프토닝, 영상분할, 영상정보처리, 컴퓨터 비전>



안 재 형(정회원)-교신저자  
1981년 충북대학교 전기공학과 학사 졸업  
1983년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업  
1992년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업

1987년~현재 충북대학교 전기 전자 컴퓨터 공학부 교수  
<주관심분야 : 영상 통신 및 데이터 감축, 멀티미디어 정보처리, 웹 디자인 및 인터넷 방송>