
국부 평균과 공간 변화량을 이용한 개선된 에지 강조 오차확산법

Improved Edge Enhanced Error Diffusion Halftoning Using Local Mean and Spatial Variation

곽내정

목원대학교 정보통신공학부

Nae-Joung Kwak(knj0125@lycos.co.kr)

요약

본 논문은 인간의 공간 지각 특성을 이용하여 에지를 강조하는 개선된 오차 확산 해프토닝 시스템을 제안한다. 제안방법은 원 화소의 명암값과 3×3 블록의 평균 명암값과의 차이 값에 공간적 위치 값에 따른 가중치를 곱하여 공간 변화량(SV: spatial variation)을 구한다. SV와 국부 평균을 이용하여 계산한 에지 강조 정보량(IEE: information of edge enhancement)을 양자화기 입력에 더하여 해프톤 영상의 에지를 강조한다.

제안방법의 성능은 에지 상관도 평가 함수로 평가했으며 제안방법을 영상에 적용한 결과 이진 영상의 에지가 강조되어 시각적으로 선명한 결과를 보이며 미세한 에지도 잘 보존되었다.

■ 중심어 : | 해프토닝 | 오차확산법 | 에지 강조 |

Abstract

The paper proposes the improved error diffusion halftoning system to enhance the edges using the spatial perceptual characteristics of the human visual system.

The proposed method computes a spatial variation(SV), which is the difference between a pixel luminance and the average of its 3x3 neighborhood pixels' luminances weighted according to the spatial positioning. Information of edge enhancement(IEE) is computed using the SV and the local 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 performance of the proposed method is compared with conventional methods by measuring the edge correlation. The halftone images by using the proposed method show better quality due to the enhanced edge. And the detailed edge is preserved in the halftone images by using the proposed method.

■ Keyword : | Halftoning | Error Diffusion | Edge-Enhancement |

I. 서론

화소의 밝기 값이 여러 비트인 영상을 제대로 보기 위해서는 좋은 성능을 가진 하드웨어가 필요하다. 즉, 일반적인 회색 계조 영상은 256단계의 밝기를 다룰 수 있어야 하며, 칼라 영상은 24비트 칼라를 표현할 수 있어야 한다. 그러나 단순하거나 값이 싼 하드웨어를 사용할 경우에는 밝기나 색상을 표현할 수 있는 비트수가 적어 원래의 형태가 나올 수 없는 경우가 있다. 이때 인간의 시각효과를 이용하여 가급적 원 영상의 내용에 가깝게 저해상도 영상을 만드는 것을 해프토닝이라 한다. 해프토닝 방법은 프린터, 팩시밀리 등의 이진 출력 장치나 적은 컬러가 지원되는 핸드폰이나 PDA 등의 핸드 헬드(hand-held) 시스템 등에 사용되어져 왔다.

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

다. 오차확산방법은 벌레 효과를 제거하기 위하여 오차 확산 필터의 변형된 설계[6]와 국부 영역의 오차를 최소화 하도록 필터 계수를 적응적으로 조정[7], 인간의 시각체계(Human Visual System:HVS)의 특성 도입[8], 프린터 모델의 적용[9] 등 다양한 연구가 수행되었다. 또한 에지를 강조하여 보다 선명한 이진 영상을 얻기 위한 에지 강조 오차확산법이 Knox[10] 등에 의해 제안되었다. 이 방법은 처리하는 현재 화소의 계조에 확산되는 오차를 더하는 과정에서 현재 화소의 가중값을 줄여 에지를 강조하는 방법이다. 또한 Hwang 등은[11]은 원영상의 공간적 변화량을 이용하여 에지를 강조하는 오차확산법을 제안한다. 이 방법은 원영상의 화소값과 주변 5×5 인접 화소의 평균과의 차를 구하여 이 차이값의 부호와 크기값으로 가중치 함수를 구하여 에지를 강조한다. 이 방법은 영상의 공간적 정보를 고려하는 방법으로 Knox의 방법보다 더 개선된 결과를 보여주었다.

본 논문은 인간의 시각 시스템이 한 화소의 명암값을 인식하기 않고 국부 평균을 인식한다는 특성을 이용하여 해프톤 영상의 에지를 강조한다. 제안방법은 3×3 블록의 국부 영역의 평균과 그 변화량을 이용하여 에지 강조 정보량(IEE : information of edge enhancement)을 구한다. 구해진 IEE를 양자화기 입력에 더하여 입력 영상을 해프톤할 때 에지를 강조한다.

2장에서는 기존의 오차확산법을 설명하였고 3장에서는 제안하는 오차확산법을 설명하였다. 4장에서는 기존 방법과 제안방법의 결과를 비교하였고 5장에서는 결론을 제시하였다.

II. 오차확산법

오차 확산(error diffusion) 방법은 영상의 입력 $x(i, j)$ 를 양자화기 $Q()$ 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 1]은 오차확산법의 블록 다이어그

램이다.

오차확산법에서 이웃 화소로 전파되는 양자화 오차는 양자화기의 입력값 $x'(i, j)$ 과 출력값 $y(i, j)$ 사이의 차로 다음과 같이 구해진다.

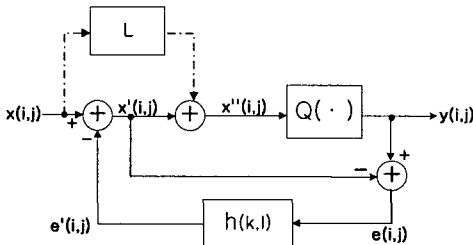


그림 1. 오차확산법

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

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 R은 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.

$$x'(i, j) = x(i, j) - \sum_{(k, l) \in R} h(k, l)e(i-k, j-l) \quad (3)$$

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

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

[그림 2]는 Floyd-Steinberg가 제안한 오차 확산 필터이다[5].

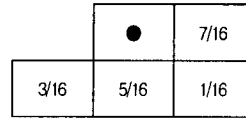


그림 2. Floyd-Steinberg의 오차 확산 필터

III. 공간 지각 특성을 이용한 에지 강조 해프팅 시스템

Knox[10]는 임계값 변조 방법을 이용하여 에지를 강조하고 별레 효과를 줄이고자 했다. Knox가 제안한 방법은 [그림 1]에서 점선부를 추가한 것으로 입력화소값 $\times L$ 이 양자화기 입력 $x'(i, j)$ 에 더해지며 이것은 임계값을 입력 영상을 사용하여 변조한 것이다. 그러나 공간 정보를 고려하지 않으므로 국부적으로 에지가 과도하게 강조되거나 미세한 에지는 뭉개지는 단점을 가진다. Hwang 등[11]은 원영상의 공간적 변화량을 이용하여 에지를 강조하는 오차확산법을 제안한다. 이 방법은 원영상의 화소값과 주변 5x5 인접 화소의 평균과의 차를 구하여 이 차이값의 부호와 크기값과 에지의 강조 정도를 조절하는 조절 계수를 이용하여 가중치 함수를 구한다. 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 차이 값만으로 이용하여 에지 가중치를 구함으로 보존되어야 할 미세한 에지가 보존되지 못하는 결과를 나타낸다.

제안방법은 해프팅 영상의 에지가 강조되는 정도를 결정하는 에지 강조 정보량(IEE:information of edge enhancement)을 원영상으로부터 계산하여 양자화기 입력 영상에 더함으로 에지를 강조한다.

먼저 영상의 3x3 국부 영역의 평균을 구한다.

$$mean(i, j) = \frac{1}{9} \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 x(i+k, j+l) \quad (5)$$

인간의 시각 시스템이 (i,j) 위치의 국부 평균을 인식

한다고 하면 원 화소의 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 오차값이 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 수평, 수직일 때는 2를, 그 외는 1의 값을 갖도록 시각 가중치 w 를 적용한다.

$$SV(i, j) = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 w \times |x(i+k, j+l) - mean(i, j)| \quad (6)$$

원 화소의 공간 변화량 값 $SV(i,j)$ 와 $SV(i,j)$ 의 값 중 최대값인 SV_{max} 의 차이 값을 국부 평균과 원 화소의 차이 값에 가중을 두어 공간 활성도(LAM : local activity measure)를 구한다.

$$LAM(i, j) = (SV_{max} - SV(i, j)) \times (x(i, j) - mean(i, j)) \quad (7)$$

$LAM(i,j)$ 을 인간의 시각이 인식하는 국부 평균값에 가중치로 적용하여 IEE를 계산한다.

$$IEE(i, j) = \alpha \times mean(i, j) \times LAM(i, j) \quad (8)$$

여기서 α 는 정보량 조절 계수이다.

$LAM(i,j)$ 를 구할 때 SV_{max} 의 값에서 $SV(i,j)$ 의 값을 빼준 것은 예지값이 큰 영역이 너무 강조되는 것을 줄여주어 공간적 차이값에 작은 가중 값을 주며 SV의 값이 작은 영역은 공간적 차이값에 큰 가중값을 주어 미세한 예지가 보존 될 수 있도록 한다. 만약 원 화소의 값과 국부 평균의 값이 같다면 $LAM(i,j)$ 의 값은 0이 되어 IEE의 값도 0이 되고 Floyd가 제안한 오차확산법과 동일한 특성을 갖는다. 공간적 차이값이 음의 값이면,

즉 국부 평균값이 원 화소의 값보다 크면 $LAM(i,j)$ 의 값이 음의 값을 나타내며 이는 공간적으로 현재의 값이 주변의 값보다 더 낮은 값을 갖는 것을 의미한다. 반대로 국부 평균값이 원 화소의 값보다 작으면 $LAM(i,j)$ 의 값은 양의 값을 나타내며 이는 공간적으로 원화소의 값이 주변의 값보다 높은 값을 갖는다는 것을 의미한다. 이와 같이 $LAM(i,j)$ 은 원 화소와 주변화소와의 관계를 나타내며 화소의 값을 인간의 시각에 적합하게 표현하기 위한 가중치가 된다.

[그림 3]은 국부적 공간 정보를 고려한 예지 강조 정보량을 결정하는 알고리즘의 블록도이다.

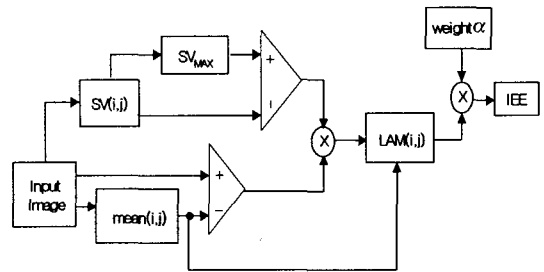


그림 3. IEE의 결정

제안방법은 구해진 IEE의 값을 양자화 입력 영상에 더해서 예지를 강조하게 된다. [그림 4]는 IEE를 이용한 제안방법의 블록 다이어그램이다.

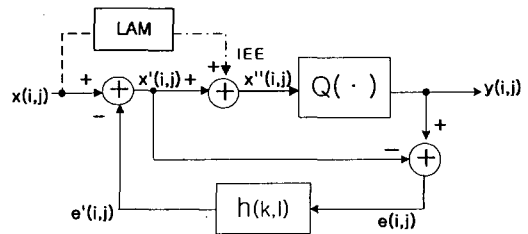


그림 4. IEE를 이용한 예지 강조 오차확산법

IV. 실험 결과

제안방법의 성능을 평가하기 위해 본 논문에서는 Floyd-Steinberg 방식과 Knox에 의해 제안된 예지

강조 오차확산법, Hwang 등에 의해 제안된 에지 강조 오차확산법을 적용한 결과를 비교한다. 이때 Konx 방법은 L=2, Hwang 등의 방법은 a=2.5, b=0.02로 하였다. 제안방법은 실험에 의하여 정보량 조절계수 α 의 값을 선택했다. 본 논문에서는 0.48을 적용하여 결과를 구했다.

영상의 중요한 정보는 대부분 에지 부분에 존재하며 인간의 눈은 에지에 민감하다. 따라서 화질의 평가에 있어 원영상과 해프톤 영상간의 에지가 얼마나 일치하는가를 나타내는 에지 상관도(edge correlation)는 중요한 파라메타이다. 에지 상관도 함수는 다음과 같다[12].

$$C_E = \frac{1}{N-1} \frac{1}{M-1} \left(\sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 W_{kl} D_I(k, l) D_B(k, l) \right) \quad (9)$$

여기서 가중치 W_{kl} 은 수평과 수직, 대각 방향에 대한 가중값으로 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. 또한 $D_I(k,l)$ 와 $D_B(k,l)$ 은 다음과 같이 구한다.

$$D_I(k, l) = I_h(i, j) - I_h(i-k, j-l) \quad (10)$$

$$D_B(k, l) = B_h(i, j) - B_h(i-k, j-l) \quad (11)$$

여기서 $I_h(i, j)$ 은 원영상, $B_h(i, j)$ 는 관측거리에 따라 주파수 인식도가 다른 HVS 특성을 고려하여 7x7 윈도우의 저역 통과 필터를 구성하고, 이로서 이진 영상을 필터링하여 복원한 영상이다. 에지 상관도는 인간의 눈이 원영상과 이진영상에 대한 에지 부분을 얼마나 잘 일치하게 판단하는지를 평가하는 함수로서 C_E 의 값이 클수록 에지 부분이 잘 일치한다고 판단할 수 있다.

[표 1]은 HVS 함수를 이용하여 7x7의 저역 통과 필터를 구성하고 관측거리가 30인치일 때 256X256 크기의 airplane, boat, lena, peppers, zelda 영상의 해프톤 영상을 복원한 후 식(9)에 의해 원영상과 복원 영상의

에지 상관도를 구한 결과이다. Knox 방법과 Hwang 등의 방법은 Floyd 방법에 비해 에지 상관도에서 개선되었으며 비슷한 결과를 보인다. 제안방법은 기존의 세 방법보다 경계 상관도가 더 높은 결과를 보인다. 이것은 제안방법의 해프톤 영상이 기존 방법의 해프톤 영상보다 경계영역에서 잘 재현함을 의미한다.

표 1. 기존 방법과 제안방법의 에지 상관도

영상 \ 방법	Floyd	Knox	Hwang	제안방법
airplane	111.32	117.43	118.57	120.8
boat	104.65	110.74	113.19	116.98
lena	96.88	101.81	103.52	106.12
peppers	100.83	104.48	106.29	108.25
zelda	65.64	68.3	70.64	73.04

[그림 5]와 [그림 6]은 boat 원영상과 boat 영상에 기존의 방법과 제안방법을 적용한 결과 영상이다. Floyd 방법의 결과 영상은 에지 영역에서 화질이 저하됨을 보인다. Knox 방법의 결과 영상은 에지가 강조되었으나 공간 정보를 고려하지 않으므로 돛대를 이어주는 줄 등의 미세한 에지가 보존되지 못하였고 부분적으로 눈에 거슬리는 패턴이 존재한다. Hwang 등에 의한 결과 영상은 에지가 강조되고 공간 정보를 고려하여 미세 영역의 에지도 보존되었음을 보인다. 제안방법 처리화소와 이웃화소의 평균 값과 주변화소와의 차이 값을 이용하여

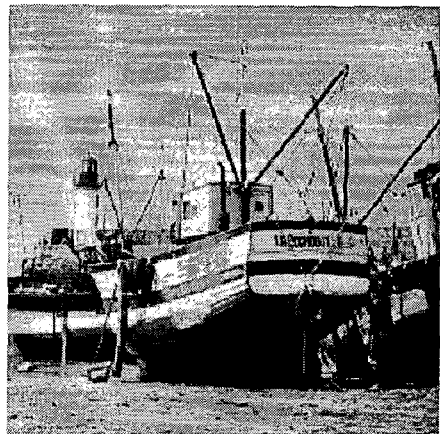
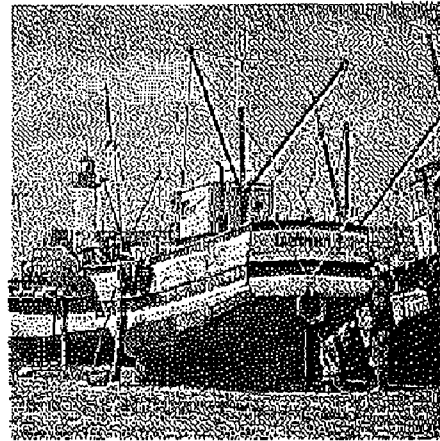


그림 5. boat 영상



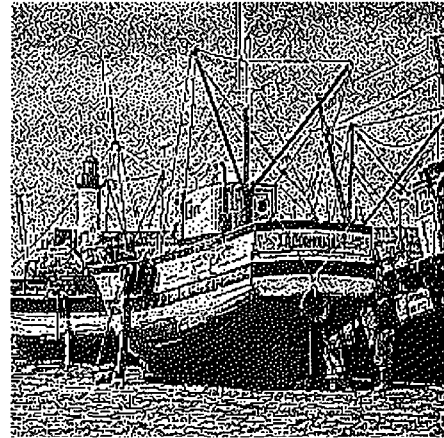
(a) Floyd



(b) Knox



(c) Hwang



(d) 제안방법

그림 6. 기존 방법과 제안방법의 결과 영상

공간정보를 적용하여 에지 강조계수를 결정함으로 눈에 거슬리는 패턴도 줄고 에지도 명확해졌다. 또한 (c)에서 잘 표현되지 않는 돛대의 줄이나 등대의 에지 영역도 명확히 표현되며 전체적으로 더 선명하게 영상을 재현한다.

[그림 7]은 Lena 영상 중 모자와 깃털 부분이 있는 영역을 잘라낸 영상이며 [그림 8]은 [그림 7]을 기존의 방법과 제안방법을 이용하여 해프톤한 후 3×3 평균 필터를 이용하여 역 해프톤한 영상으로 제안방법에 의한 역해영역이 잘 복원됨을 볼 수 있다. 따라서 제안방법이다.



그림 7. Lena 영상의 부분 영상

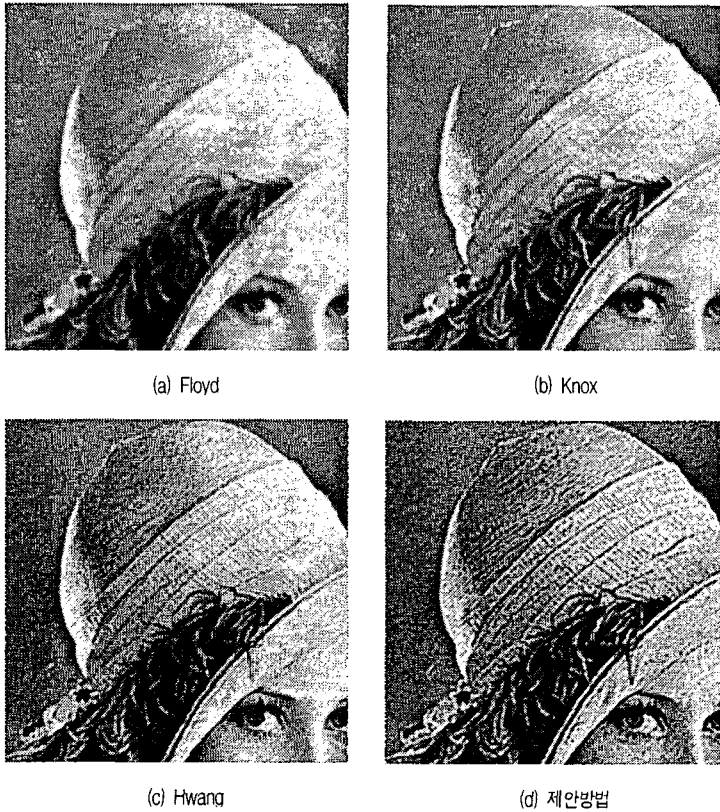


그림 8. 기존 방법과 제안방법의 역 해프톤 영상

해프톤 영상은 모자의 미세 영역과 얼굴의 눈 등의 에지 강조 방법에 비해 에지 영역을 잘 보존하며 강조함을 알 수 있다.

V. 결론

오차확산법은 영상의 출력 장치에서 제한된 계조로 자연색 영상을 출력할 경우 일정한 거리에서 관측시 원 영상과 이진 영상이 유사하게 보이도록 하는 방법이다. 본 논문에서는 기존의 오차확산법의 에지가 흐려지는 특성을 개선하기 위한 방법을 제안한다. 제안방법은 에지를 강조하기 위하여 영상의 국부적 공간 정보를 이용한다. 먼저 원화소와 주변의 평균값을 이용하여 공간 활성도를 구하고 국부 평균값과 공간 변화량으로 에지 강

조 정보량을 구하여 수정된 입력화소에 더함으로 에지를 강조하였다.

제안방법은 에지 상관도에서 개선된 결과를 보였다. 이는 영상의 에지 영역의 재현성이 기존의 방법에 비해 개선되어졌음을 의미한다. 또한 제안방법은 공간 정보를 고려함으로 눈에 띄는 에지뿐 아니라 미세한 에지도 잘 보존한다. 그리고 기존의 오차확산 방법에서 나타나는 규칙적인 패턴도 기존의 방법에 비해 줄어들어 화질이 개선되어졌다.

참고 문헌

- [1] R. A. Ulichney, Digital Halftoning, MIT Press, Cambridge Mass., 1987.

[2] P. W. Wong, "Error diffusion with dynamically adjusted kernel," IEEE Int. Conf. on ASSP, Vol.5, pp.113~116, April. 1994.

[3] D. Anastassiou, "Neural net based digital halftoning of images," IEEE International Symposium on. Circuits and Systems, Vol.1, No.4, pp.507~510. 1988.

[4] N. Kobayashi and H. Saito, "Halftoning technique using genetic algorithm," ICASSP, Vol.5, pp.105~108, 1994.

[5] R. W. Floyd and L. Steinberg, "An adaptive algorithm for spatial scale," Proc. Soc. Inf. Disp., Vol.17, No.2, pp.75~77, 1976.

[6] J. F. Javis, 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, 1996.

[8] 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, 1993.

[9] J. B. Mulligan and A. J. Ahumada, "Principled halftoning based on models of human vision," in Proc. SPIE, Human Vision, Visual Proc., Digital Display III, Vol.1666, pp.109~121, 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, 2004.

[12] 이을환, 박장식, 박창대, 김재호, "청색 잡음 마스크 임계값 변조를 이용한 예지 강조 오차 확산법", 전자공학회논문지, 제36권 S편, 제10호, pp.72~82, 1999.

저자 소개

곽 내 정(Nae-Joung Kwak)

정회원



- 1993년 2월 : 충북대학교정보통신 공학과(공학사)
- 1995년 2월 : 충북대학교정보통신 공학과(공학석사)
- 2005년 2월 : 충북대학교정보통신 공학과(공학박사)

• 2005년 3월~현재 : 목원대학교 정보통신 공학부 프로그래밍 전문강사

<관심분야> : 해프토닝, 영상분할, 영상정보처리, 컴퓨터 비전, 멀티미디어 콘텐츠