

영상 에지 정보를 이용한 히스토그램 평활화 기법의 개선

윤종섭[†], 김진현^{**}

An Improvement of Histogram Equalization Using Edge Information of an Image

Jong Seob. Yun[†], Jin Heon Kim^{**}

ABSTRACT

The paper presents a histogram equalization method using the edge information of an image to be processed. The basic idea of this method is to carry out histogram equalization with edge information, which is important and essential for object conformation. In the proposed method, the edge information is used to generate histogram for the equalization process. It is found to be effective to suppress the histogram spikes that cause quantum jumps in mapping function for the equalization process. The proposed method is tested for randomly selected 30 images and compared to conventional approaches with a quantitative measure to check it preserves the structural similarity. Experimental results show that the proposed method has better performance and no artifacts caused by histogram spikes.

Key words: Histogram Equalization, Histogram Spike, Contrast Enhancement

1. 서 론

영상 화질 개선 기술은 사람의 육안 혹은 컴퓨터 비전 기술을 이용하여 영상을 관찰할 때 더 많은 정보를 취득할 수 있도록 영상을 처리하여 개선된 결과 영상을 얻는 기술이다. 영상 화질 개선 기술은 의료 영상 처리 및 분석, 수중 영상 품질 개선, 폐쇄 회로 TV 영상 품질 개선 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 영상 화질 개선 기술들 중에서 연구가 활발히 진행되고 있는 분야로는 영상 대조 강화가 있으며 감마 변환, 히스토그램 평활화 등의 기법들이 이에 속한다.

이 중에서 히스토그램 평활화 기법은 입력 영상의 히스토그램 확률분포와 이를 기반으로 만들어지는 누적 분포를 이용해 매핑함수를 생성하여 영상에 적

용시킴으로써 대조가 강화된 결과 영상을 얻는 기술이다. 매핑함수 생성에 사용되는 연산이 단순하고, 그 단순함에 비해 좋은 성능을 보이기 때문에 널리 활용되고 있다. 하지만 히스토그램 평활화 기법은 영상의 지역적 정보들을 고려하지 않고 전체 영상의 히스토그램만을 사용하여 대조 강화를 수행하므로 영상의 부분적인 개선이 힘들고, 원본 영상의 밝기가 유지되지 않는 문제가 있다[1]. 그리고 이 기법은 같은 계조 값을 갖고 있는 분포도가 높은 화소들이 해당화소의 히스토그램을 과다하게 증가시켜 고질적인 히스토그램 스파이크(spike) 문제를 야기한다. 급작스러운 히스토그램의 증가는 매핑 함수의 약진(quantum jump)을 불러와 출력 영상의 부자연스러움을 야기한다.

이에 원본 영상의 밝기를 유지하면서 히스토그램

※ Corresponding Author: Jin Heon Kim, Address: (02713) Bukakwan 513, Seogyong-ro 124, Seongbuk-gu, Seoul, Korea, TEL: +82-2-940-7747, FAX: +82-2-940-7114, E-mail: jinheon@skuniv.ac.kr

Receipt date: Jan. 13, 2017, Approval date: Jan. 23, 2017

[†] Dept. of Computer Eng., Seokyeong University
(E-mail: cjsqkwkd4@gmail.com)

^{**} Dept. of Computer Eng., Seokyeong University

평활화를 수행하기 위해 원본 영상의 히스토그램을 두 개의 하위 히스토그램으로 분할한 뒤 개별적으로 평활화를 수행한 후 합치는 방법인 BBHE[2]가 제안되었다. 이후에 제안된 하위 히스토그램을 이용하는 다른 방법으로는 DSIHE[3], RMSHE[4], RSIHE[5], MMBEBHE[6], QHECL[7], BHEPL[8] 등이 있다. 지역적 정보를 고려하지 않는 문제를 해결하는 접근법으로는 지역적 히스토그램의 데이터를 이용하는 적응적 히스토그램 평활화(Adaptive Histogram Equalization)기법이 있다. 이 기법의 대표적인 방법으로는 CLAHE[9], DPHE[10], GCCHE[11] 등이 있다. 그리고 전역 히스토그램과 지역 히스토그램에서 발생하는 문제들을 해결하기 위해 Gaussian Mixture Model(GMM)을 이용한 히스토그램 평활화 방법이 연구되었다[12].

본 논문에서는 히스토그램 스파이크 현상을 방지하는 방안으로 에지 기반의 히스토그램 평활화 기법을 제안하고자 한다. 제안한 기법에서는 2차원 필터를 이용한 컨볼루션 연산을 통해 원본 영상의 에지 검출 영상을 얻어 에지 영상을 기반으로 히스토그램을 생성하여 평활화를 수행함으로써 스파이크 현상을 방지한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 히스토그램 평활화 기법에 대해 설명한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 에지 정보를 이용한 평활화 기법을 설명한다. 4장에서는 기존의 히스토그램 평활화 기법들과 본 논문에서 제안한 기법을 정성적, 정량적인 지표를 이용하여 분석하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 히스토그램 평활화의 이론적 배경

입력 영상 $I(i, j)$ 가 그레이레벨 화소 값으로 이루어져 있고 영상에서 표현할 있는 화소 값의 개수를 L 이라고 할 때 영상 $I(i, j)$ 에서 표현할 수 있는 화소 값의 범위는 $[0, L-1]$ 이다. 입력영상의 히스토그램에서 각 레벨을 $X_k (0 \leq k \leq L-1)$ 로 표시할 때 확률밀도함수(PDF)는 다음과 같이 정의된다.

$$PDF(X_k) = \frac{n_k}{N} \quad (1)$$

수식에서 n_k 는 영상 $I(i, j)$ 에서 k 값을 가진 화소들의 개수, N 은 영상 전체 화소의 개수이다. 그리고 확률밀도함수를 기반으로 구한 누적분포함수(CDF)는

다음과 같다.

$$CDF(X_k) = \sum_{i=0}^k PDF(X_i) \quad (2)$$

모든 레벨 $[X_0, X_1, X_2, \dots, X_{L-1}]$ 에 대한 n_k 값들의 합은 전체 화소의 개수 N 와 같으므로 (1)과 (2)의 정의에 의하여 $CDF(X_{L-1})=1$ 이 된다. (2)에서 정의된 누적분포함수(CDF)를 이용하여 도출된 히스토그램 평활화를 위한 변환함수 $f(x)$ 는 다음과 같다.

$$f(x) = X_0 + (X_{L-1} - X_0)CDF(x) \quad (3)$$

(3)수식의 x 값은 입력영상 $I(i, j)$ 상에 있는 하나의 화소 값이다. 영상 $I(i, j)$ 의 모든 화소에 대해서 변환함수 $f(x)$ 를 적용하여 변환 시키면 히스토그램 평활화 처리가 완료된 영상 $Y(i, j)$ 를 얻을 수 있다. 평활화된 결과영상 $Y = Y(i, j)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다[13].

$$Y = f(I) = \{f(I(i, j)) \mid \forall I(i, j) \in X\} \quad (4)$$

Fig. 1의 (a), (b)는 대조비가 낮은 입력 영상과 히스토그램 평활화 기법을 적용한 결과 영상이다. (c), (d)는 각각 입력 영상과 결과 영상의 히스토그램을 보인 것이다. 그림에서 보이듯 원본 영상의 대조비가 처리된 영상에서는 매우 개선됨을 알 수 있다. 이는 원본 영상의 히스토그램이 특정 영역에 집중되어 있는데 반해 처리된 영상에서는 고르게 펼쳐져 있기 때문이다. 이와 같이 히스토그램 평활화는 계조 분포를 고르게 하여 영상의 대조비를 향상시키는 목적으로 활용할 수 있다.

Fig. 2의 (b)는 특정 화소 값의 분포가 (a)영상의 히스토그램을 그래프로 보인 것이다. 그래프의 가로축은 0~255의 범위를 가지는 그레이레벨 영상의 화소 값이고, 세로축은 영상에서 각 화소 값들의 개수이다. (b)에서는 화소 값 150 근처에서 히스토그램 스파이크가 발생하는 것을 확인할 수 있다. (c)는 (b)의 히스토그램을 기반으로 생성된 매핑 함수 그래프를 보인 것이다. (b)에서 스파이크가 발생한 영역을 (c)에서 관찰했을 때 매핑 함수의 약진이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 결과적으로 매핑 함수의 약진으로 인해 결과 영상이 가질 수 있는 계조치가 줄어들어 대조비의 향상이 약하게 된다.

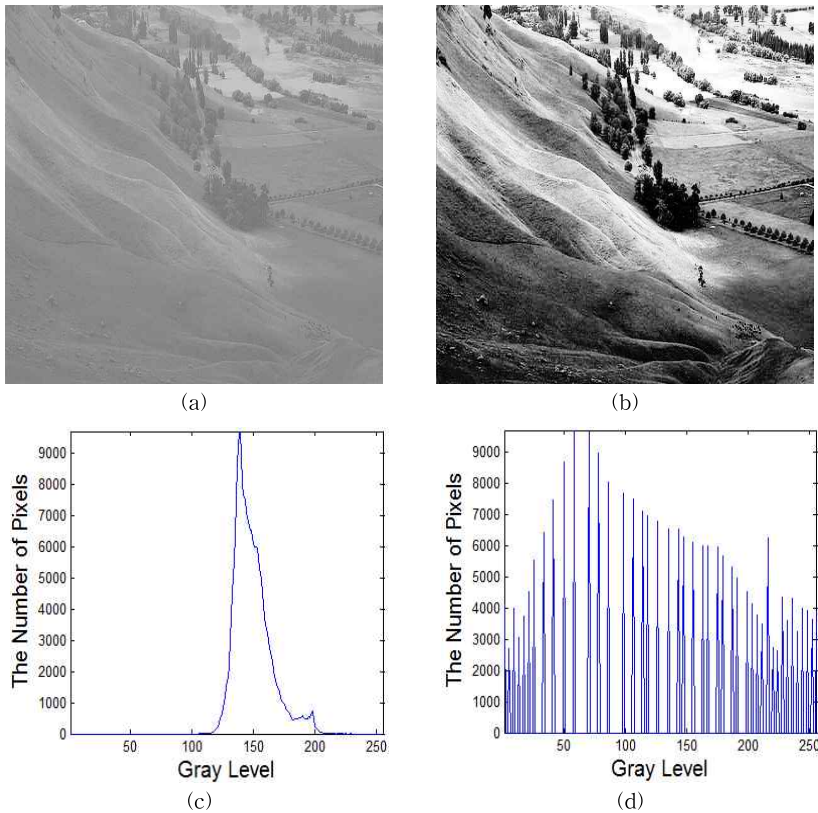


Fig. 1. Conventional histogram equalization. (a) low contrast image, (b) histogram equalized image, (c) histogram of low contrast image, and (d) histogram of processed image.

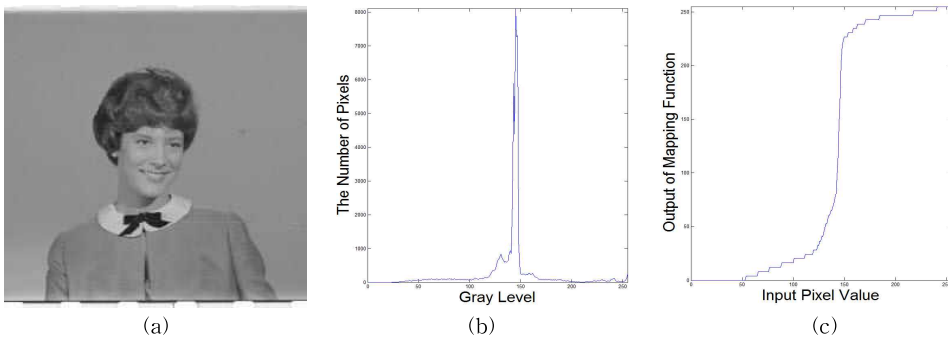


Fig. 2. Histogram spike and quantum jump, (a) original (b) histogram spike, and (c) quantum jump of mapping function.

3. 제안한 방법

3.1 에지 검출

본 논문에서는 기존 히스토그램 평활화에서 발생하는 히스토그램 스파이크 발생을 줄이면서 영상의 대조를 강화시키기 위해 원본 영상의 에지 정보를 검출하고, 검출된 에지 정보에 대응하는 화소 값을

이용하여 생성된 히스토그램으로 매핑함수를 생성하는 기법을 제안한다.

영상의 에지 정보를 구하기 위해 3×3 크기의 2차원 커널을 사용한다. Fig. 3(b)는 본 논문에서 사용된 에지 검출을 위한 커널을 보인 것이다. 정의된 커널에 대하여 커널 중앙의 값을 $f(x,y)$ 로 나타내는 경우 수평 방향 미분 연산 결과 $G(x)$ 와 수직 방향 미분

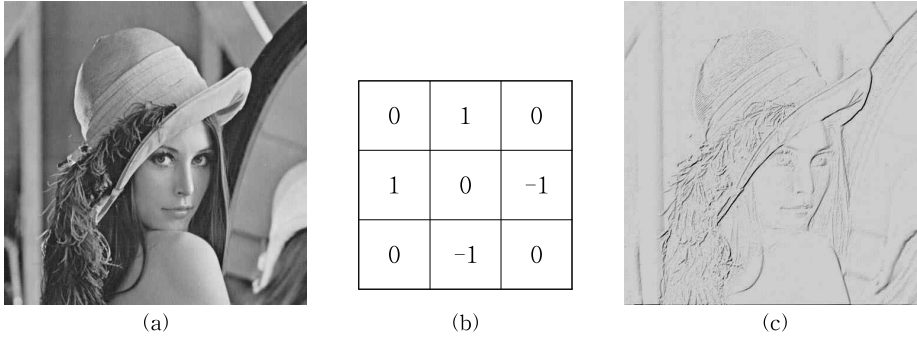


Fig. 3. Edge Detection. (a) original, (b) simple edge detection kernel, and (c) result of convolution using the simple kernel.

연산 결과 $G(y)$ 는 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$G(x) = f(x-1, y) - f(x+1, y) \tag{5}$$

$$G(y) = f(x, y-1) - f(x, y+1) \tag{6}$$

그리고 컨볼루션 연산으로 검출된 에지 정보 E 는 다음과 같은 수식으로 나타내어진다.

$$E = \sqrt{G(x)^2 + G(y)^2} \tag{7}$$

그리고 (7)의 제곱, 제곱근 연산에 의한 연산량을 줄이기 위하여 (7)은 다음과 같이 단순화시킬 수 있다.

$$E = |G(x)| + |G(y)| \tag{8}$$

Fig. 3(a)와 (c)에는 각각 원본영상과 Fig. 3(b)에서 보인 커널을 이용해 컨볼루션 연산을 수행하여 얻은 에지 검출 영상을 보였다.

3.2 에지 정보를 이용한 히스토그램 평활화

제안하는 기법에서는 2차원 컨볼루션 연산을 통해 얻은 에지 정보를 히스토그램 생성을 위한 화소 값을 선택하기 위한 정보로 사용한다. 원본 영상의 화소들 중 임계 값 이상의 에지 정보를 가지고 있는 화소에 대해서만 히스토그램을 생성하여 히스토그램 스파이크를 방지한다. 히스토그램 생성을 위한 화소들의 좌표 값에 대한 집합 P 는 다음과 같은 조건을 만족한다.

$$P = \{(i, j) | E(i, j) > T\} \tag{9}$$

식 (9)의 $E(i, j)$ 는 좌표 (i, j) 에 존재하는 화소를 중심으로 식 (8)의 연산을 수행했을 때 얻을 수 있는 에

지 정보이다. 히스토그램은 원본 영상에서 집합 P 에 속한 좌표 상에 있는 화소 값들을 이용하여 생성한다. 이후 만들어진 히스토그램으로 평활화를 진행한다.

4. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안하는 방법과 기존의 히스토그램 평활화 기법들을 비교하기 위하여 표본 영상을 이용한 정성적 평가 방법과, Wang에 의해 개발된 SSIM [14] 지표를 사용하는 정량적 평가 방법을 사용하였다. SSIM 지표는 Structural SIMilarity(구조적 유사성)의 약어로 인간의 시각체계에서 중요한 정보로 받아들이는 휘도(luminance), 명암비(contrast), 구조(structure) 정보들을 기반으로 원본 영상과 왜곡된 혹은 처리된 영상의 품질을 측정하는 지표이다. SSIM 지표는 일정한 크기(예를 들어 11×11)의 윈도우(window) 단위로 연산된다. 이러한 연산은 (x, y) 좌표 변화에 따라 영상의 전 영역에 대해 구해진다.

SSIM 지표의 수식은 휘도(l), 명암비(c), 구조(s) 함수로 구성되며 각 함수는 식 (10), (11), (12)로 나타난다. 식에서 사용되는 매개변수 μ_x 와 μ_y 는 영상에서 윈도우 내부의 평균을 의미하고 σ_x 와 σ_y 는 윈도우의 내부 표준편차를 의미한다. σ_{xy} 는 영상 윈도우 내부의 공분산을 의미한다.

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \tag{10}$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \tag{11}$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \tag{12}$$

휘도와 명암비, 구조의 값을 이용하여 구하는 SSIM의 식은 (13)으로 나타낸다. 또, (13)의 식에서 α, β, γ 를 1로 설정하고, C_3 를 $C_2/2$ 로 설정하여 간단하게 표현한 공식은 (14)로 나타낸다.

$$SSIM(x,y) = [l(x,y)]^\alpha \cdot [c(x,y)]^\beta \cdot [s(x,y)]^\gamma \quad (13)$$

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (14)$$

전역적인 구조적 유사성을 알기 위하여 윈도우 단위로 구한 SSIM 지표들의 평균을 구한 지표인 Mean SSIM(MSSIM)의 식은 (15)로 나타낸다. 식에서 사용되는 매개변수 M은 영상 전체의 면적을 나타낸다.

$$MSSIM(X, Y) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M SSIM(x_j, y_j) \quad (15)$$

SSIM 및 MSSIM의 수치는 [0, 1]구간 사이에 속한 실수로 표현되며 수치가 1일 때 원본 영상과 가장 유사하고, 0일 때 가장 차이가 심하다[15].

Fig. 4는 30 개의 표본 영상에 대하여 다양한 히스토그램 평활화 기법들을 적용하고 원본 영상을 기준 영상으로 구한 MSSIM 수치를 그래프로 나타낸 것이다. 표본 영상들은 다양한 형태의 히스토그램을 가진 영상들을 무작위로 선택하였다. 그래프의 가로축은 사용된 표본 영상의 번호를 나타내고, 세로축은 각 표본 영상에 대해 평활화 기법들을 수행한 후 측정된 MSSIM 수치를 나타낸다. 그래프를 통하여 제안한 히스토그램 평활화 기법과 기존에 연구되었던

기법들의 MSSIM 수치를 비교했을 때 제안한 기법의 MSSIM 수치가 평균적으로 높은 수준의 구조적 유사성을 보임을 알 수 있다. 이를 통하여 제안한 기법이 히스토그램 평활화의 결과 발생하는 원본 영상의 정보손실을 방지할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 Bone 영상에 기존의 평활화 기법과 본 논문에서 제안하는 기법을 사용한 결과 영상을 보인 것이다. (a)는 원본 영상을 나타내며 (b)~(f)는 원본 영상의 일부 영역을 각각 HE, BBHE, DSIHE, CLAHE, 제안한 기법으로 처리한 결과를 보인 것이다. 처리된 영역은 원본 영상 (a)의 우측 상단에 점선으로 표시하였다. HE를 적용한 (b) 영상의 경우 검은색 배경에 히스토그램 스파이크로 인해 나타나는 노이즈가 강하게 발생함을 관찰할 수 있다. 나머지 영상들 (c)~(f)를 관찰한 결과 제안한 기법을 적용한 영상이 기존의 기법들과 유사한 대조 강화 결과를 보이면서 배경의 히스토그램 스파이크로 인한 노이즈를 방지한 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 Bone 영상에 평활화 기법을 적용한 결과 영상들로부터 측정된 SSIM Map을 보인 것이다. SSIM Map은 SSIM 지표를 (x,y) 좌표 변화에 따라 그림으로 표현한 것으로 지역적인 유사성을 분석하는데 유용하게 활용할 수 있다. SSIM은 0~1의 지표로 유사성을 나타내기 때문에 0에 해당하는 검은 색은 유사성이 낮은 부분을 나타내고 1에 해당하는 밝은 색은 유사성이 높은 부분을 나타낸다. 제안한 기

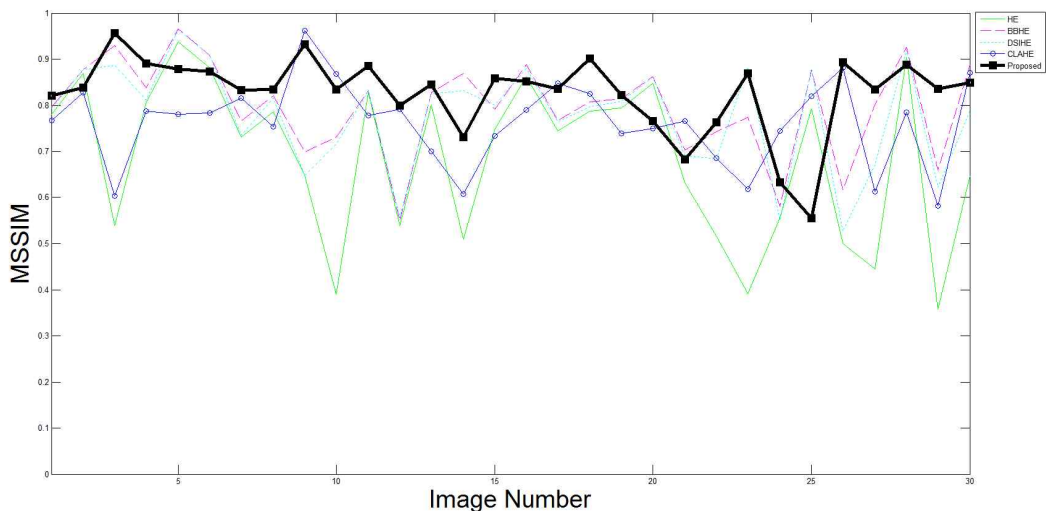


Fig. 4. MSSIM obtained from 30 sample Images.

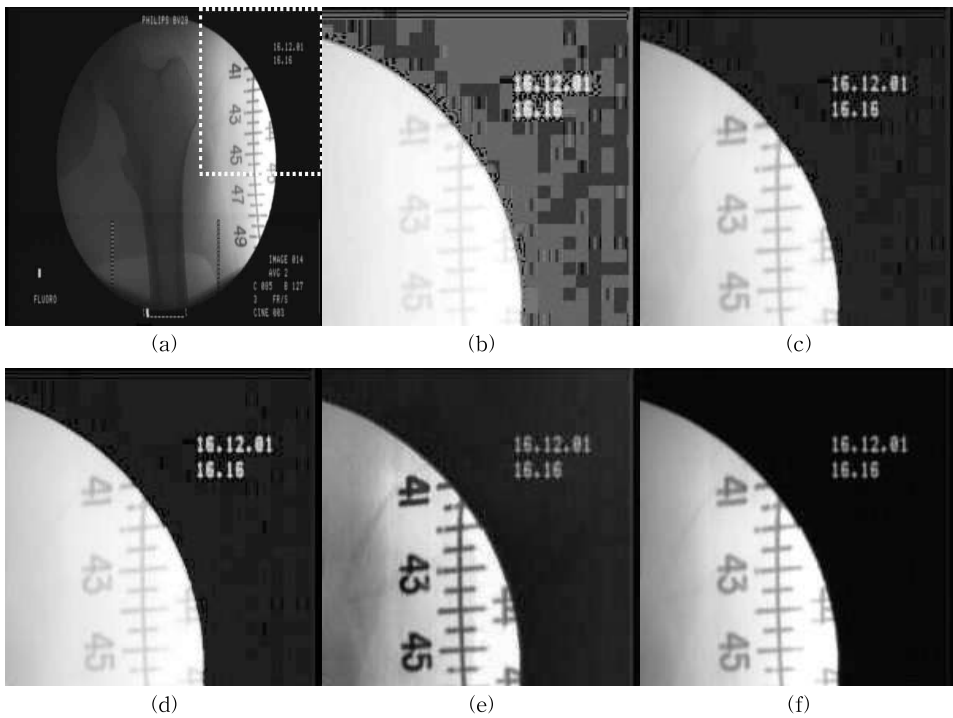


Fig. 5. Enhancement results of clipped image of bone. (a) original, (b) HE, (c) BBHE, (d) DSIHE, (e) CLAHE, and (f) proposed.

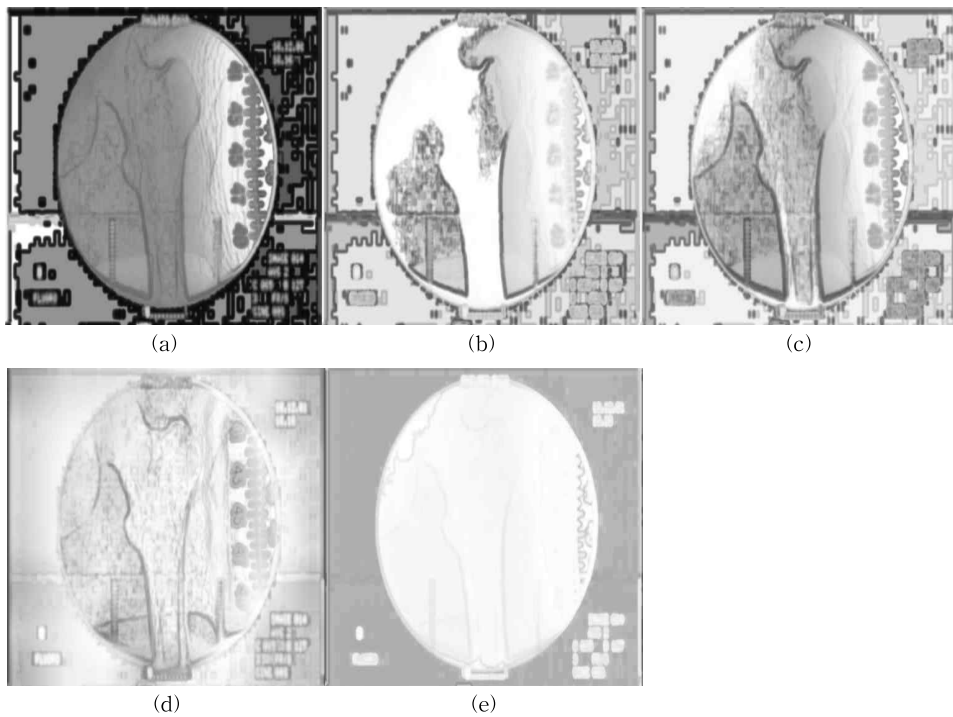


Fig. 6. SSIM map obtained from bone image. (a) HE, (b) BBHE, (c) DSIHE, (d) CLAHE, and (e) proposed.

법과 기존 기법들의 SSIM Map을 관찰하였을 때 제안한 기법의 SSIM Map이 가장 기본적인 HE(a) 기법보다는 밝게 표현되어 있어서 전 영역에 걸쳐 구조적 유사도가 크게 개선된 것을 알 수 있으며 HE를 개선한 다른 방식(b)~(d)에 비해서도 개선된 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 히스토그램 스파이크로 인해 발생하는 매핑함수의 약진 현상을 방지하기 위하여 영상의 에지 정보를 활용하는 방법을 제시하였다. 제시한 기법에서는 영상에서 에지 정보를 검출한 후 임계값 이상의 에지 정보를 가지고 있는 영역의 화소 값에 대해서만 히스토그램을 생성하여 평활화를 진행하였다. 영상 객체들의 중요한 정보인 에지 정보를 이용함으로써 영상의 정보를 보존하면서 히스토그램 스파이크의 영향을 줄였다. 제안한 기법의 결과는 처리된 영상을 이용한 정성적 평가 방법과, 원본 영상과의 유사성을 나타내는 지표인 SSIM을 이용한 정량적 평가 방법을 통해 기존의 기법들과 비교하였다. 정성적인 평가 결과 제안한 기법이 대조 강화 측면에서 기존의 기법들과 비교했을 때 유사한 결과를 나타내고, 히스토그램 스파이크로 인한 배경의 잡음을 방지한 것을 확인할 수 있었다. 정량적인 평가에서는 30개 영상에 대해서 MSSIM 수치를 관찰하여 제안한 기법의 전역적인 구조적 유사성이 기존의 기법들과 비교했을 때 좋은 결과를 보여줌을 알 수 있었다. 정성적, 정량적 평가를 통해 제안하는 기법이 비교적 단순한 기법을 사용하여 기존의 방법들과 유사한 성능을 내는 것을 확인하였다. 단순한 연산과 준수한 성능으로 인하여 히스토그램 평활화 기법을 하드웨어로 구현하는 경우 제안한 기법이 유용하게 활용될 수 있을 것으로 보인다.

REFERENCE

- [1] C.R. Nithyananda, A.C. Ramachandra, and Preethi, "Review on Histogram Equalization based Image Enhancement Techniques," *Proceeding of International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques*, pp. 2512-2517, 2016.
- [2] Y.T. Kim, "Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-histogram Equalization," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 43, No. 1, pp. 1-8, 1997.
- [3] Y. Wang, Q. Chen, and B. Zhang, "Image Enhancement Based on Equal Area Dualistic Sub-Image Histogram Equalization Method," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 45, No. 1, pp. 68-75, 1999.
- [4] S.D. Chen and A.R. Ramli, "Contrast Enhancement Using Recursive Mean-separate Histogram Equalization for Scalable Brightness Preservation," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 49, No. 4, pp. 1301-1309, 2003.
- [5] K.S. Sim, C.P. Tso, and Y.Y. Tan, "Recursive Sub-image Histogram Equalization Applied to Gray Scale Images," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 28, pp. 1209-1221, 2007.
- [6] S.D. Chen and A.R. Ramli, "Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization in Contrast Enhancement," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 49, No. 4, pp. 1310-1319, 2003.
- [7] Z. Yao, Q. Zhou, X. Yang, C. Yang, and Z. Lai, "Quadrants Histogram Equalization with a Clipping Limit for Image Enhancement," *Proceeding of International Conference on Wireless Communications and Signal Processing*, pp. 1-5, 2016.
- [8] C.H. Ooi, N.S.P. Kong, and H. Ibrahim, "Bi-histogram Equalization with a Plateau Limit for Digital Image Enhancement," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 55, No. 4, pp. 2072-2080, 2009.
- [9] S.M. Pizer, R.E. Johnston, J.P. Erickson, B.C. Yankaskas, and K.E. Muller, "Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization: Speed and Effectiveness," *IEEE Conference Publications*, pp. 337-345, 1990.
- [10] K. Liang, Y. Ma, Y. Xie, B. Zhou, and R. Wang, "A New Adaptive Contrast Enhance-

ment Algorithm for Infrared Images based on Double Plateaus Histogram Equalization,” *Proceeding of International Conference on Infrared Physics and Technology*, Vol. 55, pp. 309-315, 2012.

[11] T. Kim and J. Paik, “Adaptive Contrast Enhancement Using Gain-Controllable Clipped Histogram Equalization,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 54, No. 4, pp. 1803-1810, 2008.

[12] M.J. Jun and J.J. Lee, “Image Histogram Equalization Based on Gaussian Mixture Model,” *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 15, No. 6, pp. 748-760, 2012.

[13] A. Rani and R. Kaur, “Image Enhancement using Histogram Equalization,” *Proceeding of International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, Vol. 5, No. 7, pp. 603-606, 2015.

[14] Z. Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh, and E.P. Simoncelli, “Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity,” *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 13, No. 4, pp. 600-612, 2004.

[15] J.S. Jeong and Y.J. Kim, “Structural Similarity Index for Image Assessment using Pixel Difference and Saturation Awareness,” *Journal of KIISE*, Vol. 41, No. 10, pp. 847-858, 2014.



윤 종 섭

2011년 현재 서경대학교 컴퓨터공학과 학사과정
 관심분야: 디지털영상처리, 컴퓨터 비전, 영상신호처리(ISP)



김 진 현

1982년 고려대학교 공과대학 전기공학과 공학사
 1984년 고려대학교 대학원 전기공학과 공학석사
 1983년 동양정밀공업(OPC) 중앙연구소 연구원
 1986년 삼성종합기술원 선임연구원
 1989년 ZyMOS 한국지사 FAE
 1990년 고려대학교 대학원 전기공학과 공학박사
 1995년 현재 서경대학교 컴퓨터공학과 부교수
 관심분야 : 디지털영상처리, 영상신호처리(ISP), 영상/비디오시스템