

## 배경 정보 파악을 통한 X-ray 영상 히스토그램 평활화

\*강영민 \*\*이경준 \*\*\*정제창

한양대학교 융합전자공학부

\*dudmin90@naver.com \*\*kjlee888@naver.com \*\*\*jjeong@hanyang.ac.kr

## X-ray Image Histogram Equalization based on Understanding of Background Information

\*Kang, Young-Min \*\*Lee, Kyung-Jun \*\*\*Jeong, Je-Chang

Department of Electronic Engineering of Hanyang University

## 요약

X-ray 영상의 경우 검은 배경으로 인해 기존의 히스토그램 평활화를 사용하여 대비비를 향상 시킬 경우 문제가 발생한다. 전역 히스토그램 평활화의 경우 영상의 특징을 고려하지 않은 채 전체적으로 히스토그램 평활화가 이루어지기 때문에 부분적인 명암값을 개선시키기 어렵다. BBHE(Bright Preserving Bi-Histogram Equalization)과 DSIHE(Dualistic Sub-Image Histogram Equalization)과 같은 영역별 히스토그램 평활화의 경우 X-ray 사진특성상 검은 배경으로 인하여 히스토그램 평활화를 적용해도 원하는 대비비를 얻기 힘들며 부분적으로 왜곡이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 영상의 히스토그램을 통해 배경 정보를 파악하여 밝기 영역을 나누는 후 히스토그램 평활화를 진행함으로써 X-ray 사진의 대비비를 효율적으로 향상시킨다.

## 1. 서론

X-ray를 이용하여 얻어진 의료영상의 화질은 의료진의 인지와 진단에 큰 영향을 미친다. 이러한 영상 화질 개선을 위해 공간과 주파수 영역을 기반으로 한 방법이 사용된다. 전자의 방법에는 명암도 변환할 수 이용법, 히스토그램 처리법, 산술논리연산 이용법, 공간 필터링 이용법 등이 있으며, 후자의 방법에는 푸리에 변환법, 지역통과 필터링법, 고역통과 필터링법, 준동화 필터링법 등이 있다. 일반적으로 계산의 간단함과 구현의 용이함을 가지는 히스토그램 처리법이 실시간 영상처리에 널리 이용되고 있으며, 여기에는 명암대비 스트레칭과 히스토그램 평활화가 있다[1].

히스토그램 평활화는 다른 이미지 대비비 향상법에 비해 알고리즘이 단순하고 효율적이므로 보편적으로 사용된다. 히스토그램 평활화는 확률밀도함수(PDF : Probability Density Function)을 이용하여 큰 값을 가지는 영역은 넓게, 작은 값을 가지는 영역은 좁게 만들어 주는 과정을 통해 대비비를 향상시킨다[2].

히스토그램 평활화 기법은 크게 전역 히스토그램 평활화 기법과 지역 히스토그램 기법으로 구분된다. 전역 히스토그램 기법은 영상의 전체 히스토그램 분포를 구한 뒤 이를 이용하여 히스토그램이 전체적으로 균일한 분포를 가지도록 명암값을 재분배한다. 하지만 이 경우 지역적인 정보를 고려하지 않으므로 부분적인 명암 대비를 개선시키기 어렵다. 지역 히스토그램 평활화의 경우 전역 히스토그램 평활화와 다르게 지역적으로 히스토그램을 평활화 하는 방법이다. 이 방법은 영상을 여러 블록으로 나누고 각 블록에 대한 히스토그램 평활화를 진행함으로써 명암 대비를 개선시킨다. 이 경우 전역 히스토그램 평활화 방법

의 부분적인 명암대비 문제를 개선 할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 영상 전체 밝기를 고려하지 않으므로 블록 간 명암대비가 커져 블록화 현상이 발생한다[2-3].

본 논문에서는 X-ray사진의 대비비를 향상시키는 히스토그램 평활화 방법을 제시한다. X-ray 사진의 경우 대부분의 배경이 검은 특성으로 인하여 기존의 히스토그램 평활화 방법을 사용할 경우 왜곡이 생기거나 원하는 대비비 결과를 얻어낼 수 없다. 이를 위해 영상의 히스토그램을 구한 후 배경 정보를 기준으로 영역을 나누어 평활화를 함으로써 대비비를 개선시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서 기존의 히스토그램 평활화에 대해 설명하고 3절에서는 제안하는 히스토그램 평활화 방법에 대해 설명한다. 4절에서는 기존의 히스토그램과 제안하는 히스토그램을 비교한 후 5절에서 결론을 기술한다.

## 2. 기존 알고리즘

영상의 밝기 정보가 한곳으로 치우칠 경우 대비비가 떨어지게 된다. 이러한 영상을 히스토그램 재분배과정을 거쳐 균일한 분포를 가지는 히스토그램을 생성하는 것이 히스토그램 평활화이다. 히스토그램 평활화는 먼저 영상의 히스토그램을 생성한다. 밝기 레벨의 범위가  $[0, L-1]$ 인 영상의 히스토그램을 식 (1)과 같이 정의할 수 있다[3].

$$H(X_k) = n_k \quad (1)$$

$X_k$ 는  $k$ 번째 밝기 레벨을 의미하며  $n_k$ 는 영상에서 밝기  $X_k$ 를 갖는 픽셀의 수를 나타내며 히스토그램의 각각의 성분은 영상 전체 픽셀 수로 나누어 정규화 한다. 정규화 된 히스토그램  $p(X_k)$ 는 밝기  $X_k$ 가 발생할 확률을 나타내는 PDF이며, 식 (2)와 같이 정의할 수 있다[3].

$$p(X_k) = \frac{n_k}{n}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (2)$$

여기서  $n$ 은 영상의 전체 픽셀 수를 나타내며, 정규화 된 히스토그램의 모든 요소의 합은 1이다. 히스토그램 평활화는 정규화 된 히스토그램의 CDF를 구하여 최대 명암값 ( $L-1$ )을 곱하여, 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다[3].

$$s_k = T(X_k) = (L-1) \sum_{i=0}^k p(X_i) \quad (3)$$

$$= (L-1) \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n} \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

여기서  $p(X_i)$ 는 밝기값  $X_i$ 의 PDF이며,  $s_k$ 는 영상의 밝기값  $X_k$ 에 대응하는 변환된 밝기값이다[3].

히스토그램 평활화는 주로 영상의 밝기값 분포가 어느 한쪽에 밀집되어 있어 매우 낮은 명암대비를 이루고 있는 영상에 대해 적용된다. 이때 히스토그램 평활화를 영상 전체에 적용할 경우 원영상의 특성에 따라 명암대비의 개선효과가 다르게 나타나며 지역적으로 밝기를 개선할 수 없다.

반면 지역 히스토그램 평활화 방식은 영상 내  $N \times N$  블록을 정하여 그 블록안의 히스토그램 정보를 이용하여 블록 중앙 픽셀의 밝기 값을 변화시킨다. 이를 한 픽셀만큼 이동하여 같은 연산을 반복함으로써 전체 영상을 평활화 한다. 하지만 총 픽셀 수만큼 연산량이 필요하므로 처리속도가 느리다. 이러한 단점을 해결하기 위해 제안된 POSHE(Partially Overlapped Sub-Block Histogram Equalization)은 일정한 픽셀씩 블록을 이동 시켜 밝기값을 보정함으로써 연산량을 줄이게 된다. 하지만 일정 픽셀씩 이동하는 만큼 블록간의 영상 밝기 차이로 인해 경계선이 생기는 단점이 존재한다[4-5].

이외에 영역별로 히스토그램을 평활화하는 방법으로 BBHE, DSIHE 등이 제안되었다. BBHE는 영상을 평균 밝기 값을 기준으로 두 개의 영역으로 나누어 각각 히스토그램 평활화를 한다. BBHE의 알고리즘의 경우 영상의 평균 밝기값  $X_M$ 을 구하고 이를 기준으로 식 (4)처럼 평균밝기보다 밝은 부분인  $X_L$ 과 어두운 부분인  $X_U$ 로 영상을 분해한다[6].

$$X = X_L, X_U \quad (4)$$

$$X_L = X_0, X_1, \dots, X_M$$

$$X_U = X_{M+1}, X_{M+2}, \dots, X_{L-1}$$

이를 이용하여  $X_L$ 과  $X_U$ 에 대한 PDF인  $P_L(X(k))$ 와  $P_U(X(k))$ 를 구한 후 식 (5)와 같이 각각의 CDF인  $C_L(x)$ 와  $C_U(x)$ 를 구한다[3].

$$C_L(x) = \sum_{j=0}^k P_L(X(j)) \quad k = 0, 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$C_U(x) = \sum_{j=m+1}^k P_U(X(j)) \quad k = m+1, m+2, \dots, L-1$$

마지막으로 구해진 CDF값을 이용하여 식 (6)과 같이 변환된 밝기 값인  $f_L(x)$ 와  $f_U(x)$ 을 구할 수 있다. 하지만 이 경우 평균밝기의 크고 작음에 상관없이 변환됨으로 인해 변환 후 평균밝기가 과도하게 바뀌게 된다[6].

$$f_U(x) = X_0 + (X_m - X_0) \cdot C_U(x) \quad (6)$$

$$f_L(x) = X_{m-1} + (X_{L-1} - X_{m+1}) \cdot C_L(x)$$

한편 DSIHE의 경우에는 평균 정보량을 이용하여 명암도를 결정하는 방법이다. DSIHE는 먼저 영상의 히스토그램을 통하여 이미지 전체의 CDF를 구하게 된다. 여기서  $C(x)$ 의 값이 0.5가 되는 명암값  $X_k$ 를 찾고 이를 통하여 이미지를 분할한 후 히스토그램 평활화를 하게 된다[6].

그림 1은 원영상에 BBHE와 DSIHE를 적용한 결과 영상을 비교하여 보여준다. 그림 1(c)는 원영상에 BBHE를 적용한 결과 영상이며 그림 1(e)는 원영상에 DSIHE를 적용한 결과 영상이다. 두 가지 방법 모두 원영상과 비교하여 대비비가 개선되었으며 DSIHE를 적용한 영상이 BBHE를 적용한 영상에 비해 대비비가 더 선명하게 개선되었다.

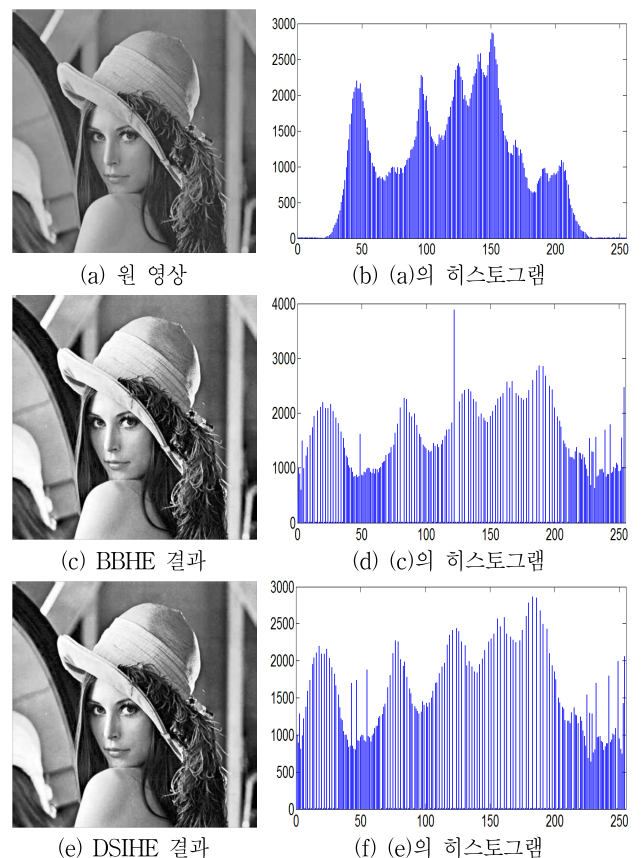


그림 1. BBHE와 DSIHE 적용 영상 비교

### 3. 제안하는 히스토그램 평활화 방법

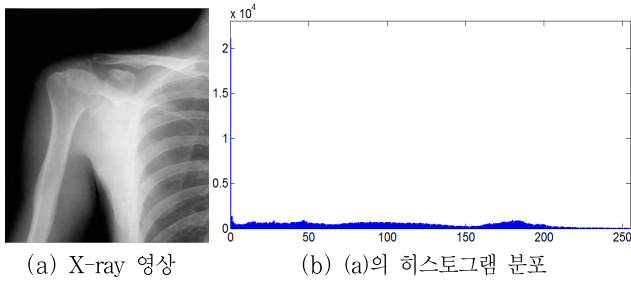


그림 2. 어깨 부위 X-ray 영상과 히스토그램 분포

X-ray 영상의 경우 검은 배경으로 인해 그림 2(b)의 히스토그램 분포와 같이 낮은 밝기값에 많은 정보가 몰려있다. 기존의 히스토그램 평활화 방식들의 경우 원만한 분포를 보이는 이미지들에 대해 명암 대비 개선을 보이지만 X-ray 영상처럼 검은 배경으로 인해 낮은 밝기값에 정보가 많이 몰린 영상에 적용할 경우 왜곡이 생기거나 원하는 대비비가 얻어지지 않는다. 이러한 점을 개선하기 위하여 제안하는 방법은 히스토그램을 통하여 배경 정보를 파악 후 히스토그램을 평활화하는 방식이다.

제안하는 방법은 1차적으로 영상을 밝기값  $X_M$ 을 기준으로 두 부분으로 나눈다. 기준 밝기값  $X_M$ 은 크기가 작을수록 전체적인 영상의 대비비가 상승하지만 밝은 영역에 대하여 부분적으로 대비비가 떨어지게 된다. 따라서 영상의 특성에 따라 적응적인 기준 밝기값  $X_M$ 을 적용한다. 실험적으로 8비트 영상의 경우  $X_M$ 을 50~70으로 설정 하였을 때 대비비가 효과적으로 개선되었다.  $X_M$ 을 기준으로 하위 영역과 상위 영역으로 나눌 경우 하위 영역 내 픽셀의 60%이상이 15이하의 어두운 밝기값을 가지고 있다. 따라서 하위 영역 전체를 히스토그램 평활화를 하게 될 경우 검은 배경이 밝아지는 문제가 발생한다. 따라서 하위 영역을  $C(X_k) = C(15) + \alpha$  값을 가지는  $X_k$ 를 기준으로 2차적으로 영역을 나누어 히스토그램 평활화를 한다. 실험적으로  $\alpha$  값은 0.01~0.02일 때 대비비가 효과적으로 개선되었다. 상위 영역의 경우 DSIHE 적용하여 영상의 대비비를 향상시킨다. 이와 같이 히스토그램에서의 배경 정보를 기준으로 영상을 나눈 후 평활화를 할 경우 이전 히스토그램 평활화 방법에서 나타난 검은 배경이 밝아지는 문제와 영상 주변으로 발생하는 왜곡 문제를 해결 할 수 있다.

### 4. 실험 결과

제안하는 평활화 방법의 성능을 기존의 히스토그램과 비교하기 위해 여러 가지 X-ray 사진에 적용해 실험하였다. 그림 3은 기존의 히스토그램 평활화 방법들과 제안하는 평활화 방법을 척추 부위를 찍은 X-ray 영상에 적용한 결과와 히스토그램 분포를 보여준다.

그림 3(a) 영상은 척추 부위를 찍은 X-ray 영상의 원본이다. 그림에서처럼 영상의 신체 내부의 대비비가 다소 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이를 개선하기 위해 전역 히스토그램 평활화, BBHE 그리고 DSIHE를 한 결과가 그림 3(c), 그림 3(e), 그림 3(g)이다. 전역 히스토그램 평활화를 적용할 경우 영상의 전체 밝기를 고려하지 않아 검은 배경이 밝기 값이 커져 전체적인 명암의 대비비는 떨어지게 된다.

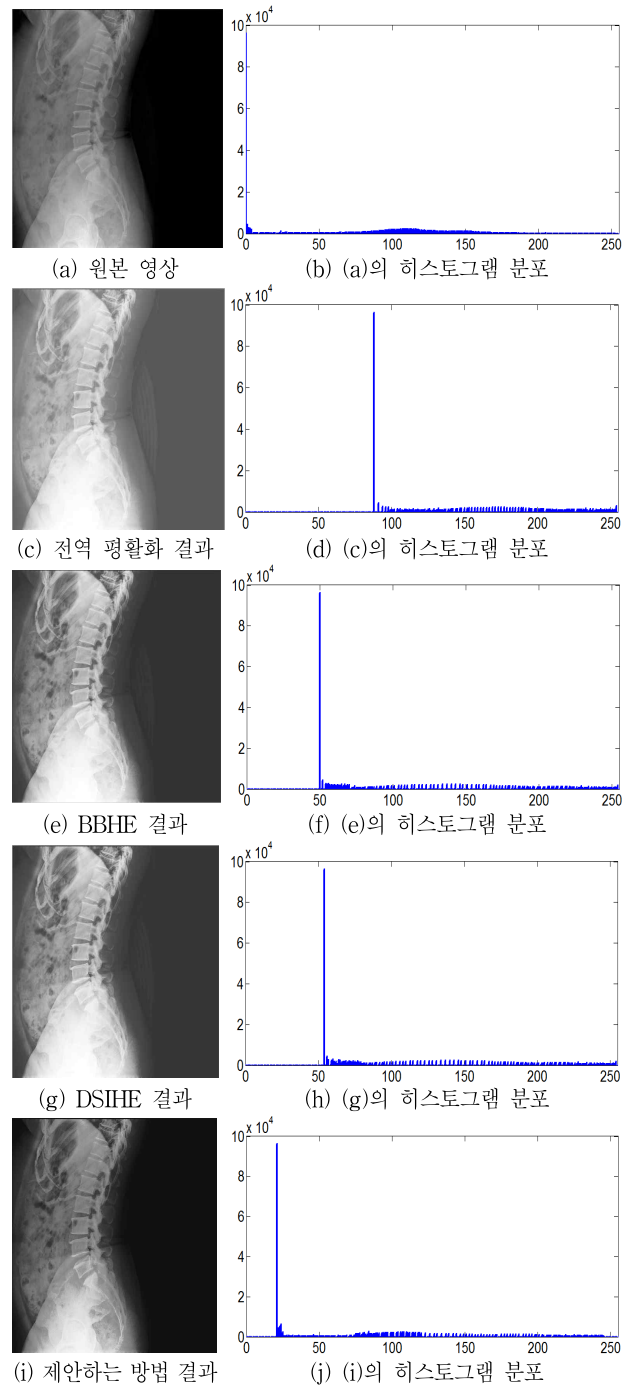


그림 3. 척추 부위 X-ray 영상 처리 결과

또한 그림 3(e)와 그림 3(g)의 경우에는 영상 내의 명암 대비비가 개선된 반면 배경인 검은 부분이 다소 밝아졌으며 척추 뒷부분에 영상의 왜곡이 발생한 것을 볼 수 있다. 제안하는 평활화 방법으로 영상을 히스토그램 평활화 한 그림 3(i)의 경우 신체 내부의 명암 대비비가 좋아졌으며 앞에서 보였던 배경의 밝기 변화와 왜곡문제가 없다.

그림 4는 그림 2(a)를 그림 3과 같은 방법으로 대비비를 개선시킨 결과이다. 그림 3에서와 마찬가지로 전역 평활화, BBHE 그리고 DSIHE를 적용할 경우 영상의 대비비는 부분적으로 개선되지만 배경의 검은 영역의 밝기도 밝아지며 영상 주위로 왜곡이 발생한 것을 볼 수 있다. 반면 그림 4(e)를 보게 될 경우 제안하는 방법에서는 왜곡이

나 배경의 밝기 변화 없이 대비비가 개선된 것을 볼 수 있다.

그림 3과 그림 4의 결과와 같이 제안하는 방법과 기존의 히스토그램 평활화 방법을 비교할 경우 제안하는 방법이 검은 배경의 밝기 변화와 왜곡 없이 영상의 대비비를 효과적으로 개선한 것을 볼 수 있다.

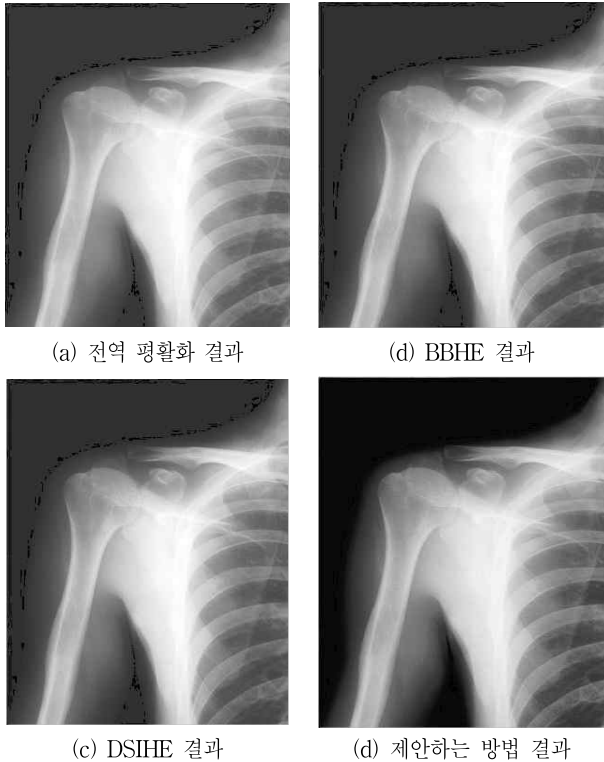


그림 4. 어깨 부위 X-ray 영상 처리 결과

#### 4. 결론

본 논문에서는 X-ray 영상의 히스토그램 분포를 통해 얻어진 배경 정보를 기반으로 영역을 나누어 히스토그램을 평활화하는 방법을 제안하였다. 기존의 방법인 전역 히스토그램 평활화나 BBHE 그리고 DSIHE를 사용할 경우 X-ray 영상이 밝아져 원하는 대비비를 얻을 수 없으며 부분적으로 왜곡 현상이 발생하였다. 제안하는 방법은 이러한 문제점을 개선하기 위하여 1차적으로 원본 영상의 히스토그램 정보를 기반으로 하여 밝기 영역을 구분하고 검은 배경 정보가 포함된 영역에 대해서는 적응적인 기준 밝기값을 정하여 2차적으로 밝기 영역을 나누었다. 제안하는 방법을 X-ray 영상에 적용한 실험 결과 주관적 측면에서 검은 배경의 밝기가 밝아지는 문제를 해결할 수 있었다. 또한 검은 배경의 밝기는 크게 변화하지 않도록 유지하면서 외형, 골격, 장기와 같은 인체의 내부 구조물에 해당하는 부분은 밝기 분포가 넓어져 대비비가 향상되었으며, 부분적으로 발생하던 왜곡 현상도 개선되었다. 제안하는 방법에 대해서는 향후 X-ray 영상의 특성에 따라 검은 배경을 적응적으로 구분할 수 있도록 히스토그램을 1차적으로 나누는 기준값에 대한 연구가 추가되어야 한다.

#### 참고 문헌

- [1] Y. H. Cho, "Quality Enhancement of Medical Images by Using Nonlinear Histogram Equalization Function," *Korean Society of Industrial Application*, vol. 13, no. 1, pp.23-30, Feb. 2010.
- [2] Rafael C. Gonzalez, and Richard E. Woods, "Digital Image Processing," *Pearson*, chapter-3, part-3, histogram processing, third international edition, 2010.
- [3] M. J. Jun, and J. J. Lee, "Image Histogram Equalization Based on Gaussian Mixture Model," *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 15, no. 0, pp. 740-700, June. 2012.
- [4] J. W. Jung, D. Y Um, and H. Kang, "No Image Contrast Enhancement Using Histogram Equalization with Genetic Algorithm," 2004 정보 및 제어 심포지엄 논문집. pp.111-113, may, 2004.
- [5] J. Y. Kim, L. S Kim, and S. H. Hwang, "An Advanced Contrast Enhancement Using Partially Overlapped Sub-Block Histogram Equalization," *IEEE Transaction on Circuit and Systems For Video Technology*. vol. 11, no. 4, April. 2001.
- [6] J. M. Lee, "히스토그램 적응적 변형을 이용한 화질 개선 방법," 한양대학교 석사학위논문, 2008
- [1] Y. H. Cho, "Quality Enhancement of Medical Images by Using