

대비제한 적응 히스토그램 평활화에서 매개변수 결정방법

민병석^{1*}, 조태경²

¹충청대학교 디지털전자통신과, ²상명대학교 정보통신공학과

A Novel Method of Determining Parameters for Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization

Byong-Seok Min^{1*} and Tae-Kyung Cho²

¹Department of Digital Electronic Communications, Chungcheong University

²Department of Information & Telecommunications Engineering, Sangmyung University

요 약 히스토그램 평활화는 영상의 밝기 분포를 변화시킴으로써 화질을 향상시키는 방법으로 다양한 분야에서 응용되고 있다. 전역적인 방법은 영상 밝기의 전체적인 분포를 균등 분포로 변환함으로써 영상의 밝기가 과도하게 변하는 단점을 갖고 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 K. Zuierveld가 제안한 대비 제한 적응 히스토그램 평활화(CLAHE)가 실용적으로 널리 사용되고 있다. 이 방법에서는 블록단위의 처리를 위한 블록 크기와 대비 제한을 위한 매개변수 등 두 개의 매개변수가 히스토그램의 평활화 성능을 결정하는데, 이것들을 결정하는 구체적인 알고리듬은 없으며 실험적으로 시행착오학습 통해 결정한다. 본 논문에서는 영상의 엔트로피에 기반해서 CLAHE의 매개변수인 블록 크기와 대비제한 매개변수를 결정하는 새로운 방법을 제안한다. 제안한 방법은 CLAHE를 자동화할 수 있으며, 전체적으로 어두운 영상이나 밝은 영상에 적용한 결과 전역적인 방법에 비해 주관적 화질 개선의 효과를 나타내었다.

Abstract Histogram equalization, which stretches the dynamic range of intensity, is the most common method for enhancing the contrast of image. Contrast limited adaptive histogram equalization(CLAHE), proposed by K. Zuierveld, has two key parameters: block size and clip limit. These parameters mainly control image quality, but have been heuristically determined by user. In this paper, we propose a novel method of determining two parameters of CLAHE using entropy of image. The key idea is based on the characteristics of entropy curves: clip limit vs entropy and block size vs entropy. Clip limit and block size are determined at the point with maximum curvature on entropy curve. Experimental results show that the proposed method improves images with very low contrast.

Key Words : Image enhancement, CLAHE, Contrast limited adaptive histogram equalization, Entropy

1. 서론

다양한 소스로부터 얻어진 디지털 영상은 응용분야에 따라 화질 개선의 필요가 발생한다. 특히, 조명의 강도가 너무 강하거나 너무 약한 경우, 저대비 영상이 생성될 수 있으며, 이러한 영상 내에는 시각적으로 정보를 얻기 곤란한 부분이 발생할 수 있다. 또한, 영상의 밝기 히스토그

램이 전체적으로 특정 부분에 집중적으로 분포하는 경우, 영상의 다른 영역들의 자세한 내용은 파악하기 어렵게 된다. 영상 밝기의 동적 영역을 조절함으로써 대비를 향상시켜 화질을 개선하는 방법 중 널리 사용되는 방법은 기존의 밝기 값을 새로운 밝기 값으로 변환하는 방법이다[1-4]. 이러한 화질 개선(enhancement) 방법은 매우 주관적 평가의 대상이며 다음 처리를 위한 개선된 입력을

본 논문은 2011년도 충청대학교 교내연구비 지원에 의하여 이루어졌다.

*Corresponding Author : Byong-Seok Min (Chungcheong University)

Tel: +82-43-230-2324 email: min@ok.ac.kr

Received October 19, 2012 Revised (1st December 24, 2012, 2nd January 15, 2013, 3rd January 30, 2013) Accepted March 7, 2013

제공하는 데 목적이 있다[5,6].

히스토그램 평활화는 영상 밝기 값의 분포를 균일하게 변환하여 화질을 개선하는 매핑 방법 중 가장 널리 사용되는 방법이다. 기존의 표준적으로 사용되는 전역적 히스토그램 평활화는 히스토그램에서 밝기 값의 균일한 분포를 목적으로 변환하는 함수를 사용하기 때문에 밝기 값이 과도하게 변함으로써 화질을 개선하지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제는 발생 빈도가 높은 부분에서는 변환함수의 기울기가 급격히 증가하고, 발생 빈도가 낮은 부분에서는 기울기가 급격히 감소하기 때문이다 [1,2]. 이러한 과도한 대비 향상 문제를 해결하기 위해 다양한 적응적 기법들이 제안되고 있다[5,6].

이러한 방법들은 크게 전역적 방식과 지역적 방식으로 구분할 수 있다. 전역적 방식에서는 영상의 모든 화소에 대해 하나의 변환 함수를 적용하는 방법이고, 지역적 방식에서는 각 화소의 근방의 특성을 반영해서 다수의 변환함수를 적용한다[1-2]. 전역적 방식이든 지역적 방식이든 화질 개선은 최종 사용자의 요구에 적합해야 하기 때문에, 응용 분야 또는 영상의 특성에 따라 처리 방식을 선택하게 된다[5,6].

TV와 같은 연속성이 있는 영상을 대상으로 자연스러운 화질을 유지하기 위해서 영상의 평균밝기를 유지하기 위한 제약조건(constraints)을 두는 히스토그램 평활화 방법들이 제안되고 있다[8-11]. BPHEME(Brightness Preserving Histogram Equalization with Maximum Entropy)[9]는 영상 평균을 유지하면서 엔트로피를 최대화하는 목적함수를 사용하는 히스토그램 명세화 기법을 제안하였다. 이 방법은 평균 밝기를 유지하면서 엔트로피를 최대화시키는 것은 히스토그램을 가능한 평평한(flat) 분포로 만들어 주관적 화질을 개선하는 것이다. HSEM(Histogram Specification based on Maximum Entropy using brightness mean and variance)[11]는 BPHEME 방법에서 엔트로피를 최대화시키는 분산(variance)을 구해 목적함수를 결정하고 히스토그램 명세화를 시도하고 있다.

평균 유지라는 제약조건을 설정하고 있는 접근 방법들은 해당 논문에서 언급한 바와 같이 TV와 같은 동영상은 대상으로 하고 있기 때문에 조명의 강도가 너무 강하거나 너무 약한 환경에서 촬영된 영상에는 적합하지 않다. 이러한 영상들은 밝기의 평균이 낮거나 높아서 평균을 변화시켜야 하기 때문이다.

지역적 처리 방식은 서브 히스토그램 방식으로서 영상을 고정 크기 블록으로 분할하거나 영역 분할을 통해 영상의 지역적 특성을 반영해서 전역적 처리 방식의 단점을 개선하고 있다. BBHE(Brightness perserving

Bi-Histogram Equalization)[8], DSIHE(Dualistic Sub-Image Histogram Equalization)[12], CESHET (Contrast Enhancement Using a Density based Sub- histogram Equalization Technique)[13] 등의 방법들의 핵심 차안은 히스토그램을 몇 개의 서브 히스토그램으로 분할한 후 해당 영역 내에서 평활화를 수행하는 것이다. 이 방법들은 영상내에 오브젝트(object)가 있다거나 몇 개의 영역으로 분할될 수 있을 때 유리하지만, 영역분할시 영역 개수를 효과적으로 결정하지 못하는 단점을 갖고 있다.

K. Zuierveld가 제안한 CLAHE(Contrast Limited Adpative Histogram Equalization)[14] 방법은 비교적 단순한 적응적 히스토그램 평활화 기법의 하나로 고정 크기를 갖는 블록 단위로 발생 빈도에 대해 상한을 설정함으로써 히스토그램의 과도한 평활화를 피할 수 있고 화질도 개선된다는 장점을 갖고 있다. 그러나 블록킹 현상을 제거하기 위한 쌍일차 보간(bilinear interpolation)을 부가적으로 적용하였고, 영역 분할 처리 방식에 비해 지역적 특징을 잘 반영하지 못하는 단점도 또한 갖고 있다.

CLAHE의 성능을 결정하는 매개변수는 크게 두 가지인데, 블록단위의 처리를 위한 블록 크기와 대비 제한을 위한 매개변수 등이다. 이를 매개변수가 히스토그램의 평활화 성능을 결정하며 또한 주관적 화질에 영향을 끼친다. 그러나, 이 두개의 매개변수를 결정하는 구체적인 알고리듬은 K. Zuierveld의 방법에서는 제안되지 않았으며, 대부분 실험적으로 시행착오학습을 통해 구한 값을 사용하고 있다[14,15].

본 논문에서는 전체적으로 어둡거나 전체적으로 밝은 저대비 영상을 대상으로 엔트로피에 기반해서 CLAHE 방법의 성능에 영향을 끼치는 블록 크기와 대비제한 매개변수를 결정하는 방법을 제안한다. 2장에서는 히스토그램 평활화에 대해 간략히 분석한다. 3장에서는 CLAHE 방법을 분석하고 제안하는 방법에 대해 기술하며 4장에서는 실험 결과를 분석한다. 그리고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 히스토그램 평활화

표준적으로 사용되는 전역적 히스토그램 평활화(HE)[1,2]는 영상의 밝기 범위가 $[0,1]$ 로 정규화된 연속적인 신호라고 할 때, $P_r(r)$ 은 영상 밝기값의 확률밀도 함수라고 하자. 또한, 입력 영상의 밝기에 식(1)의 변환을 수행해서 출력된 밝기를 s 라고 하자.

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(w) dw \quad (1)$$

여기서 w 는 적분 매개변수이다. 이때, 변환된 밝기값의 확률밀도함수는 식(2)와 같이 균등하다.

$$P_s(s) = \begin{cases} 1 & \text{for } 0 \leq s \leq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

식(2)는 변환된 영상의 밝기값 확률이 범위 $[0,1]$ 상에서 동일하다는 것을 의미하며 밝기값의 동적범위가 늘어나 영상의 대비가 전체적으로 증가한다.

이산적인 디지털 영상의 밝기값에 적용하기 위해서, 영상의 히스토그램에서 이산적인 밝기값을 $j = 0, 1, \dots, L-1$ 라고 할 때, 밝기값 r_j 의 확률 $p_r(r_j)$ 은 밝기값 r_j 에 해당하는 화소 개수를 전체 화소 개수로 나눈 것과 동일하다. 이 불연속 값들에 대한 합산은 식(1)의 이산화에 대응되며, 평활화 변환함수 $T(\cdot)$ 는 식(3)과 같다.

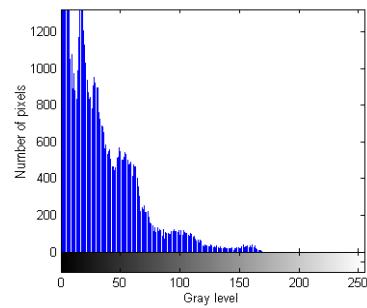
$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_j(r_j) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^k n_j \quad (3)$$

여기서, $k = 0, 1, \dots, L-1$ 이며, $p_r(r_j)$ 는 밝기값 r_j 의 확률 밀도 함수이고, N 은 입력 영상의 전체 화소 개수이고, s_k 는 입력 영상의 밝기값 r_k 에 대응하는 변환된 밝기값이다.

Fig. 1에 밝기 레벨이 주로 어둡고 밝은 두 부분에 집중되어 있는 영상에 대해 히스토그램 평활화를 수행했을 때의 결과를 나타내었다. 히스토그램 평활화를 수행함으로써, 밝기 값이 집중되어 있는 영역들이 중간 값 영역으로 변환되면서, 전반적으로 영상이 밝게 보인다. 그러나 입력영상에 전체에 적용하는 히스토그램 평활화된 영상은 주관적인 화질이 떨어지는 현상이 나타나서 화질을 개선하는 효과가 저하된다.



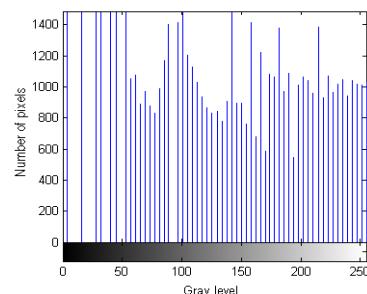
(a)



(b)



(c)



(d)

[Fig. 1] Extreme change of gray level by histogram equalization

- (a) Input image
- (b) Histogram of (a)
- (c) Results of HE
- (d) Histogram of (c)

3. CLAHE 및 제안하는 방법

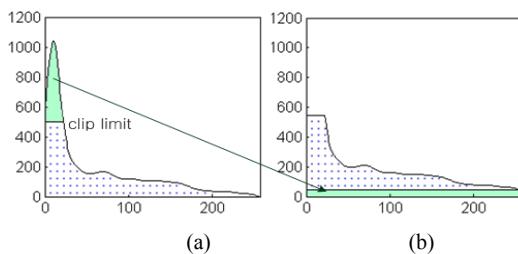
히스토그램 평활화 방법으로 처리하고자 하는 입력 영상은 대개 전체적으로 밝거나 어둡거나 해서 히스토그램이 특정 밝기 부분에 집중되어 있다. 이런 영상에 대한 히스토그램 평활화 목적은 특정 밝기에 집중되어 있는 히스토그램을 분산시켜 고른 화질을 갖도록 하는 것이다. 즉, 영상 처리에서 히스토그램 평활화(HE)는 영상의 히스토그램을 균등분포(uniform distribution)에 근사하도록

히스토그램을 분산시키는 것이다.

K. Zuierveld가 제안한 CLAHE은 영상을 고정된 크기의 블록으로 분할한 후 히스토그램 클립핑(clipping) 방법을 적용한다. 히스토그램 평활화를 적용할 때, 비교적 균일한 밝기의 영역내에서는 특정 밝기의 히스토그램이 첨두치로 나타나고 매핑함수를 통해 이것이 영역 전반에 흡수되며 밝기를 주어서 결과 영상은 잡음을 부가한 것처럼 되는 문제를 히스토그램 클립핑을 통해서 해결하고 있다. 그리고, 블록킹 현상을 줄이기 위해서 이웃한 블록의 화소들로 쌍일차 보간을 적용한다. CLAHE에서의 히스토그램 클립핑 과정은 히스토그램의 최대치(clip limit)를 설정해서 이것을 초과하는 히스토그램의 값을 다른 밝기의 히스토그램에 균일하게 분산해서 더해주는 것이다.

Fig. 2 (a)는 영상의 한 지역 히스토그램을 나타내고 있으며 clip limit이 주어졌을 때, 이 문턱치 보다 큰 히스토그램을 잘라내고 밝기의 동적 범위에 균일하게 배분해 주면 Fig. 2 (b)와 같은 히스토그램을 얻는다.

K. Zuierveld는 CLAHE에서 두개의 중요한 매개변수인 clip limit와 블록 크기에 대한 실용적인 방안은 제안하지 않았다. 따라서, 두개의 매개변수는 시행착오학습(trial-and-error learning)에 의해 결정하는 것이 일반적이다.



[Fig. 2] Clipping histogram in CLAHE

- (a) Histogram before clipping
- (b) Histogram after clipping

Fig. 3에서 전역 히스토그램 평활화와 clip limit와 블록크기에 따른 CLAHE 결과 영상을 보인다. Fig. 3 (a)는 Aerial 입력영상이고 Fig. 3 (b)는 전역적인 히스토그램 평활화의 결과 영상이다. Fig. 3 (c)는 clip limit가 0.1이고 블록 크기가 8×8 인 CLAHE를 적용한 결과인데, Fig. 3 (b)와 비교했을 때 전반적으로 화질 개선과 세부적인 텍스처가 개선되었지만, 고안자가 지적한 바와 같이 비교적 균일하면서도 높은 밝기의 변화도를 갖는 하늘영역과 구름에서는 잡음이 두드러지게 나타났다. Fig. 3 (d)는 clip limit가 0.3이고 블록 크기가 64×64 인 CLAHE를 적용한

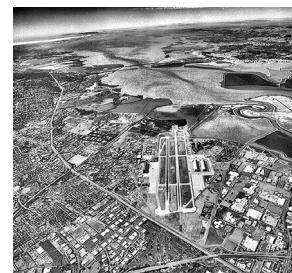
결과이며 화질이 개선되었다가 보다 오히려 열화되었다고 할 수 있다. 그러므로, CLAHE 실험 결과 두개의 매개변수를 적절하게 결정하지 못하면 전역적인 히스토그램에 비해 화질의 개선 효과가 떨어지는 것을 알 수 있다.



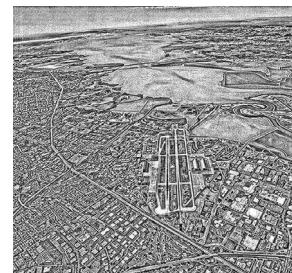
(a)



(b)



(c)



(d)

[Fig. 3] The result images with different clip limit and block size

- (a) Aerial image
- (b) Result of histogram equalization
- (c) CLAHE(CL=0.1, BS= 8×8)
- (d) CLAHE(CL=0.3, BS= 64×64)

Fig. 4에서 Crowd 영상을 입력 영상으로 블록 크기는 16×16 으로 고정시키고 clip limit를 변화시키면서 CLAHE 방법을 적용한 결과 영상들을 보이고 있다. Crowd 영상은 낮은 광원에서 촬영되어 영상이 전체적으로 어두운 특징을 갖고 있기 때문에, clip limit를 증가시킬수록 히스토그램의 분포가 더욱 평활화되어 영상이 밝아지는 것을 알 수 있다. 또한, 평활화 정도가 커질수록 균일한 밝기를 갖는 평탄한 영역에서는 잡음이 두드러져 보이는 것을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

[Fig. 4] The result images with different clip limit(BS= 16×16)

- (a) Crowd image (b) CL=0.005 (c) CL=0.01
- (d) CL=0.03 (e) CL=0.04 (f) CL=0.06

그리고, Fig. 5은 Crowd 영상에 대해 clip limit는 0.026으로 고정시키고 블록 크기를 변화시키면서 CLAHE 방법을 적용한 결과 영상들을 보이고 있다. 블록 크기가 증가시킬수록 히스토그램 평활화 과정에서 밝기의 동적범위가 넓어져 영상의 대비가 증가되는 것을 알 수 있다. 또한, 블록의 크기가 상당히 커서 대비가 크게 증가되면 영상의 어두운 부분은 더욱 어두워지고 밝은 부분은 더욱 밝아져서 오히려 주관적 화질이 떨어진다.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

[Fig. 5] The result images with different block size(CL=0.026)

- (a) BS=2×2
- (b) BS=4×4
- (c) BS=8×8
- (d) BS=16×16
- (e) BS=32×32
- (f) BS=64×64

엔트로피 관점에서 보면 영상의 히스토그램이 특정영역에 집중되어 있다면 엔트로피는 상대적으로 낮고 히스토그램이 균등하게 분포되어 있다면 엔트로피는 높다. 이러한 영상에 히스토그램 평활화를 적용하면 입력 영상의 엔트로피 보다 결과 영상의 엔트로피는 증가한다.

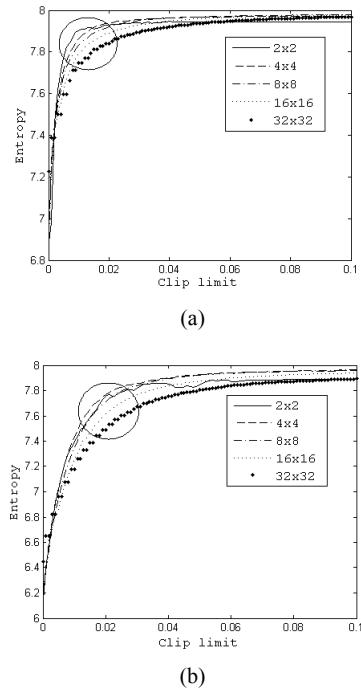
이산랜덤변수 X 가 N 개의 결과값 $\{x_i : i = 1, 2, \dots, N\}$ 을 가질 때, 엔트로피 $H(X)$ 는 식(4)와 같이 정의된다.

$$H(X) = - \sum_{i=1}^N p(x_i) \log_2 p(x_i) \quad (4)$$

여기서, $p(x_i)$ 는 결과값 x_i 의 확률질량함수(pmff)를 의미한다[17,18].

Clip limit와 블록크기를 변화시키면서 CLAHE 방법을 Aerial 영상과 Crowd 영상에 적용한 결과 영상들의 엔트로피를 Fig. 7에 나타내었다. Aerial 영상은 전체적으로 밝고 Crowd 영상은 전체적으로 어두워서 히스토그램 평활화의 화질 개선 효과를 주관적 화질로서 평가할 수 있

다. 실험 결과, Aerial 영상과 Crowd 영상의 엔트로피의 증가는 clip limit에 크게 영향을 받고 있으며 블록 크기의 영향은 상대적으로 작다. Fig. 6에서 원으로 표시된 영역의 clip limit와 블록 크기에서 주관적 화질이 급격하게 변하는 것이 Fig. 4와 Fig. 5에 나타난 것과 같이 실험을 통해서 확인되었다.



[Fig. 6] Entropy with different clip limit and block size
(a) Aerial image (b) Crowd image

본 논문에서는 평균 밝기 유지와 같은 제약조건을 설정하지 않았기 때문에 히스토그램 평활화의 성능을 객관적으로 평가하기가 곤란한 점이 있다. 따라서, 엔트로피 변화에 따른 주관적 화질을 실험적으로 평가한 결과, 엔트로피 곡선의 골률이 최대로 되는 점에서 매개변수 값을 결정하였다. 여기서 엔트로피는 clip limit와 블록 크기의 2변수 함수이고 볼록함수가 아니기 때문에 비선형 최적화 방법[19]을 이용한다면 식(7)의 국소 최적해를 구할 수도 있다.

본 논문에서는 처리를 효율적으로 수행하기 위해 clip limit와 블록 크기를 독립적으로 계산한다. 엔트로피는 블록 크기의 영향을 상대적으로 크게 받기 때문에 중간 블록 크기인 8×8 블록의 크기를 기준으로 clip limit를 0부터 0.1 까지 변화시키면서 엔트로피 곡선을 구한다.

일반적으로 CLAHE를 적용해서 구한 엔트로피 곡선

은 Fig. 7에서 나타난 것과 같이 단조 증가함수가 아니므로 실용적인 해를 구하기 위해 곡선 적합을 수행해서 구한다. 화질을 개선하기 위한 영상의 엔트로피 곡선은 지수 형태로 모델링할 수 있으며, 식(5)와 같은 곡선으로 적합시킬 수 있다.

$$f(x) = c_1 \cdot e^{-\lambda_1 x} + c_2 \cdot e^{-\lambda_2 x} \quad (5)$$

곡선 적합 방법은 MATLAB의 fitoutputfun()과 fminsearch()를 사용한다[20].

Clip limit를 $x(t)$, 엔트로피를 $y(t)$ 라고 하고, t 에 관해 두 번 미분가능한 함수라고 가정할 때, 골률 κ 는 식 (6)과 같이 정의되고[21], 골률이 최대가 되는 위치는 식 (7)으로 결정된다.

$$\kappa = \frac{\ddot{xy} - \ddot{yx}}{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (6)$$

$$x_{opt} = \arg \max \{\kappa(x)\} \quad (7)$$

그리고, 식(7)에서 결정된 clip limit를 블록의 크기 8×8 에 대한 것이라 하고, 같은 방법으로 블록크기를 2×2 로부터 64×64 까지 변화시키면서 각각의 블록의 크기에 대해 clip limit를 결정하여 최대 엔트로피를 갖는 clip limit와 블록크기를 결정한다. 이렇게 결정된 clip limit와 블록 크기를 매개변수로 해서 CLAHE 방법을 입력 영상에 적용한다.

4. 실험결과

제안된 방법의 성능을 평가하기 위해서 전체적으로 어두운 영상인 Office1 영상과 전체적으로 밝은 영상인 Aerial 영상, 그리고 적절한 조도하에서 촬영된 Announce 영상을 대상으로 히스토그램 평활화(HE)와 CLAHE의 결과를 영상의 평균, RMS 대비도, 엔트로피 측면에서 분석한다.

평균은 다음 식(8)과 같이 정의된다.

$$\frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} I_{ij} \quad (8)$$

여기서, M, N 은 영상의 크기, I_{ij} 는 화소 위치 (i, j) 의 밝기이다.

RMS 대비도(root mean square contrast)는 다음 식(9)

과 같이 정의된다.

$$\sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (I_{ij} - \bar{I})^2} \quad (9)$$

여기서, M, N 은 영상의 크기, I_{ij} 는 화소 위치 (i,j) 의 밝기이고 \bar{I} 는 영상의 평균 밝기이다. I 는 범위 $[0,1]$ 로 정규화된 값이다.

평균의 변화는 전체적인 밝기의 변화를 나타내고 RMS 대비도는 영상의 대비 변화를 나타내는데 두 가지 방법이 동일값을 가질 때 엔트로피의 변화를 참고하면 평활화에 따른 대비의 변화가 지역적으로 발생했는지 전역적으로 발생했는지를 판단할 수 있다.

Office1 영상(크기: 903×600)의 경우 낮은 조도에서 촬영되어 전반적으로 낮은 밝기값에 히스토그램이 집중되어 있어 평균밝기, RMS 대비도와 엔트로피가 상당히 낮다. 히스토그램 평활화를 수행하면 밝기값 $0 \sim 255$ 에 걸쳐 평활화가 수행되므로 과도한 대비를 갖는 결과를 초래한다. 제안된 방법으로 구한 clip limit(CL)는 0.048이 고 블록 크기(BS)는 4×4 이었으며, CLAHE를 적용한 결과 영상은 전체적으로 밝아지고 과도한 대비를 억제하면서 엔트로피가 증가되어 평활화가 전역적으로 수행되었다.

[Table 1] Experimental results of Office1 image

	Mean	RMS	Entropy
office1	10.6	0.20	4.87
HE	128.4	0.50	4.58
Proposed method	81.6	0.47	7.41

Aerial 영상(크기: 764×768)의 경우는 높은 조도에서 촬영되어 밝기의 중간 값과 높은 값에 히스토그램이 주로 분포한다. 히스토그램 평활화를 수행하면 영상이 입력 영상보다 어두워지면서 화질이 개선된다. 그러나, 영상의 왼쪽 중하단부는 과도하게 어두워져 자세한 부분에서 뚜렸하지 않다. 반면, 제안된 방법으로 구한 clip limit(CL)는 0.014이고 블록 크기(BS)는 2×2 이었으며, CLAHE를 적용한 결과 영상의 대비도는 HE와 동일하였으나 평균과 엔트로피가 다소 높아 전반적으로 평활화 효과를 높여 왼쪽 중하단부의 주관적 화질이 개선된 것을 알 수 있다.

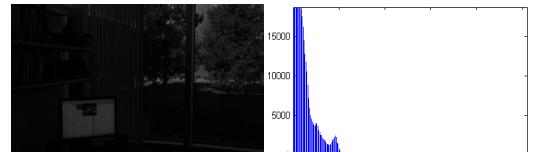
[Table 2] Experimental results of Aerial image

	Mean	RMS	Entropy
Aerial	197.2	0.42	6.87
HE	127.7	0.50	5.92
Proposed method	136.2	0.50	7.94

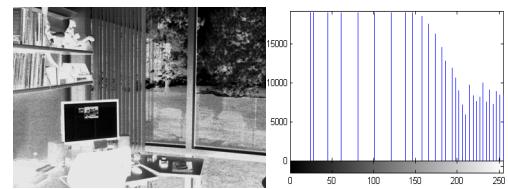
적절한 조도하에서 촬영된 Announce 영상(크기: 512×480)은 히스토그램이 밝기값 0 ~ 255에 걸쳐 분포하므로, 전반적인 화질을 개선하기 위한 히스토그램 평활화의 필요성이 떨어진다. 히스토그램 평활화를 수행한 결과 대비도의 변화는 큰 차이가 없고 엔트로피가 낮아졌지만 평균이 높아져 밝기의 변화가 일어났다. 제안된 방법으로 구한 clip limit(CL)는 0.008이고 블록 크기(BS)는 2×2 이었으며, CLAHE를 적용한 결과 대비도는 크게 변화되지 않았고 입력영상의 엔트로피와도 큰 차이가 없었고 다만 영상의 밝기가 향상되었다.

[Table 3] Experimental results of Announce image

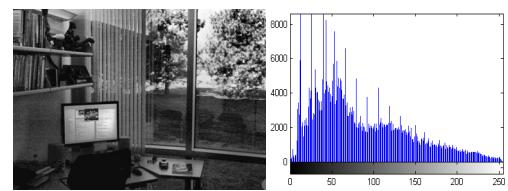
	Mean	RMS	Entropy
Announce	103.7	0.49	7.47
HE	127.5	0.50	5.98
Proposed method	121.8	0.50	7.91



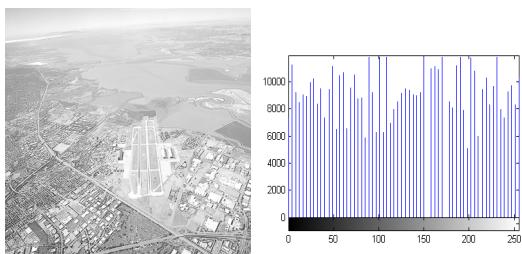
(a)



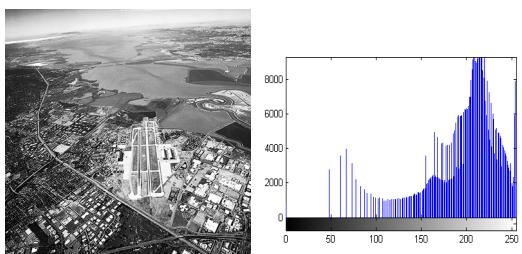
(b)



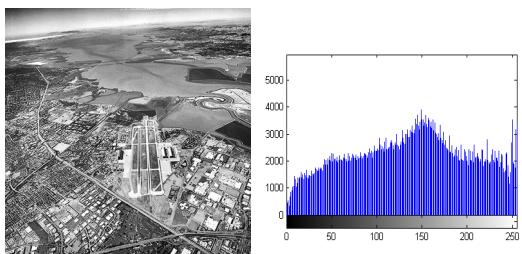
(c)



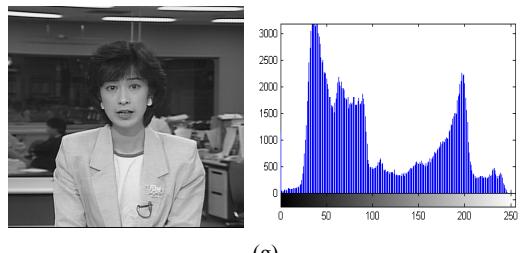
(d)



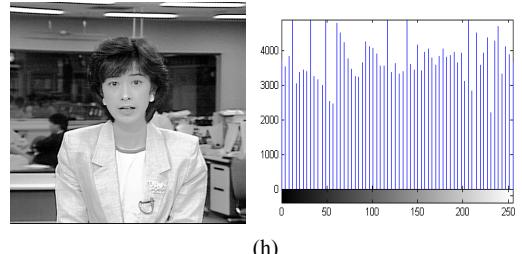
(e)



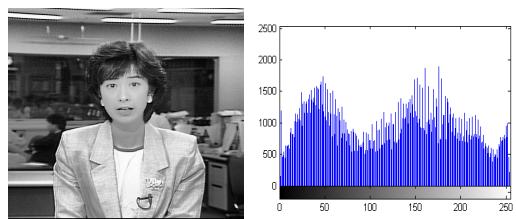
(f)



(g)



(h)



(i)

[Fig. 6] Results of histogram equalization(HE) and the proposed method(CLAHE)

(a) Office image and histogram (b) HE of office image and histogram (c) CLAHE(CL=0.048, BS=4×4) (d) Aerial image and histogram (e) HE of aerial image and histogram (f) CLAHE(CL=0.014, BS=2×2) (g) Announce image and histogram (h) HE of announce image and histogram (i) CLAHE(CL=0.008, BS=2×2)

5. 결론

낮은 대비를 갖는 영상은 히스토그램의 분포가 밝기의 동적 범위 일부에 집중되어 있다. 히스토그램 평활화는 집중되어 있는 히스토그램을 동적 범위 전체에 분산시킴으로써 주관적 화질을 개선한다. 히스토그램 평활화 방법은 과도한 대비를 발생시킬 수 있는 단점이 있다. 이를 개선하기 위해서 적응 히스토그램 평활화 방법들이 제안되었으며, CLAHE는 고정 크기 블록단위의 처리와 대비 제한 매개변수를 조절해서 과도한 대비를 억제해서 화질을 개선하는 방법이다. CLAHE 방법을 적용할 때 결과 영상의 화질을 결정하는 중요한 두개의 매개변수로 clip limit와 블록크기가 있는데, 기존의 경우 사용자 개입을 통해 시행착오학습법으로 이러한 매개변수들을 결정하였다.

본 논문에서는 CLAHE 매개변수 결정을 위해 영상의 엔트로피를 고려한 최적화 함수를 모델링했고, clip limit와 블록크기를 결정하는 실용적인 방법을 제안했다. 제안한 방법은 사용자 개입없이 CLAHE 방법을 자동화할 수 있다. 낮은 대비를 갖는 전체적으로 어두운 영상이나 밝은 영상을 대상으로 전역적인 히스토그램 평활화와 제안된 방법의 실험결과에 대해 평균, RMS 대비도와 엔트로피 측면에서 주관적 화질을 분석하였다.

References

- [1] R. Gonzalez, R. Wood, *Digital Image Processing*, 3rd ed., Pearson Education, 2009.
- [2] R. Gonzalez, R. Woods, S. Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB*, 2nd ed., Prentice Hall, 2003.

- [3] W. Burger, M. Burge, *Principles of Digital Image Processing*, Springer-Verlag, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-84800-191-6>
- [4] A. Bovik, *The Essential Guide to Image Processing*, Academic Press, 2009.
- [5] R. Grag, B. Mittal, S. Grag, "Histogram Equalization Techniques For Image Enhancement," *International Journal of Electronics & Communication Technology*, pp. 107-111, 2011.
- [6] M. Kaur, J. Kaur, J. Kaur, "Survey of Contrast Enhancement Techniques based on Histogram Equalization," *International Journal of Advanced Computer Science and Application*, Vol. 2, No.7, pp.137-141, 2011.
- [7] R. Sharmila, R. Uma, "A New Approach To Image Contrast Enhancement using Weighted Threshold Histogram Equalization with Improved Switching Median Filter," *International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies*, Vol. 7, No. 2, pp. 208-211, 2011.
- [8] Y_T Kim, "Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization." *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 43, No. 1, pp. 1-8. 1997.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/30.580378>
- [9] C. Wang, Z. Ye, "Brightness Preserving Histogram Equalization with Maximum Entropy: A Variational Perspective," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 51, No. 4, pp.1326-1334, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TCE.2005.1561863>
- [10] H. Ibrahim, N. Kong, "Brightness Preserving Dynamic Histogram Equalization for Image Contrast Enhancement," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 53, No. 4, pp. 1752-1758, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TCE.2007.4429280>
- [11] J. Yoo, S. Ohm, M. Chung, "Maximum-Entropy Image Enhancement Using Brightness Mean and Variance," *Journal of Korean Society Internet Information*, Vol. 13, No. 3, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7472/jksii.2012.13.3.61>
- [12] Y. Wang, Q. Chen, B. M. Zhang, "Image Enhancement based on Equal Area Dualistic sub-Image Histogram Equalization Method," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 45, No. 1, pp.68-75, 1999.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/30.754419>
- [13] H. Yoon, Y. Han, H. Hahn, "Contrast Enhancement Using a Density based Sub-histogram Equalization Technique," *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol.46, SC, No.1, pp.61-72, 2009.
- [14] K. Zuiderveld, "Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization," Academic Press Inc., 1994.
- [15] A. Reza, "Realization of the Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization(CLAHE) for Real-Time Image Enhancement," *Journal of VLSI Signal Processing*, Vol. 38, pp. 35-44, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/B:VLSI.0000028532.53893.82>
- [16] S. Chen, A. Ramli, "Contrast Enhancement using Recursive Mean-Separate Histogram Equalization for Scalable Brightness Preservation," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 49, No. 4, pp. 1301-1309, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TCE.2003.1261233>
- [17] P. Peebles, *Probability, Random Variables, and Random Signal Principles*, 3rd ed., McGraw-Hill, 1993.
- [18] R. Gray, *Entropy and Information Theory*, Springer-Verlag, 1990. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4757-3982-4>
- [19] J. Arora, *Introduction to Optimum Design*, 2nd, Academic Press, 2004.
- [20] Mathworks Inc., *Matlab 7 Function Reference*, 2004.
- [21] T. Finney, *Calculus and Analytic Geometry*, 8th ed., Addison-Wesley, 1992.

민 병 석(Byong-Seok Min)

[종신회원]



- 1990년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
- 1992년 6월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학석사)
- 2002년 6월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학박사)
- 2003년 7월 ~ 2004년 7월 : 캐나다 알버타대학교 전기 및 컴퓨터공학과 박사후연수
- 1995년 3월 ~ 현재 : 충청대학교 디지털전자통신과 교수

<관심분야>
멀티미디어통신, 영상처리, 패턴인식

조 태 경(Tae-Kyung Cho)

[종신회원]



- 1984년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학박사)
- 2003년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야>
초고속통신망, e-Learning