

히스토그램 보정을 통한 적응형 명암비 향상 방법

강현우¹, 황보현¹, 윤종호¹, 조태경², 최명렬^{1*}
¹한양대학교 전자전기제어계측공학부, ²상명대학교 정보통신공학과

An Adaptive Contrast Enhancement Method by Histogram Compensation

Hyun-Woo Kang¹, Bo-Hyun Hwang¹, Jong-Ho Yun¹, Tae-Kyung Cho²
and Myung-Ryul Choi^{1*}

¹Dept of EECS, Hanyang University

²Dept of IEC, Sangmyung University

요약 히스토그램 평활화는 가장 잘 알려진 명암비 향상기법이지만 밝기 값이 크게 변화해서 색의 왜곡과 노이즈가 두드러지고 색번짐 현상 같은 부작용이 발생한다. 이러한 문제들을 해결하기 위한 기존의 기법들은 유저가 영상마다 일일이 파라미터를 수정해야 하거나 다양한 영상에 대해 결과를 보장하지 못했다. 제안된 기법은 영상의 median값을 바탕으로 보정계수를 계산하고 히스토그램에서 가장 큰 빈도수를 기준으로 보정계수에 비례하여 나머지 히스토그램들을 보정한 뒤 평활화 한다. 제안한 방법의 결과영상은 각기 다른 특성을 가진 여러 가지 영상들에 대해 안정적으로 HE의 부작용들을 해결하였음을 알 수 있게 한다. 뿐만 아니라 연산이 복잡하지 않고, 보정계수가 자동적으로 계산되기 때문에 FPD에 직접 적용할 수 있다.

Abstract Histogram Equalization(HE) is one of the well known methods for contrast enhancement. but, it did not applied directly due to side effects such as significant change in brightness or washed out appearance. Many conventional method try to overcome this problem but they did not guarantee various image or depend on user define parameter. In this paper, an Adaptive histogram Compensated Histogram Equalization(ACHE) is proposed for contrast enhancement. ACHE has a parameter that based on median of input image. Histogram of input image is compensated according to parameter. And then finally compensated histogram is equalized. Experimental results show that proposed method suppresses side effects such as detail loss or washed out appearance. Moreover, parameter calculated automatically with low computation complexity. As a result, it could applies FPD directly.

Key Words : Image Enhancement, Contrast Enhancement, Histogram Equalization, Histogram Compensation.

1. 서론

명암대비 향상은 영상의 어두운 영역과 밝은 영역의 차이를 명확히 하는 것으로서, 영상내의 관심 영역을 선명하게 하거나 명암 값을 재분배하여 화질을 개선시키는 낮은 단계 영상처리 기법이다. 명암대비 향상은 화질개선을 통하여 인간의 눈에 선명한 영상을 제공하거나 컴퓨터 영상 시스템에서 상위 영상처리를 위한 전처리과정으

로 사용된다.

명암대비 향상 기법은 크게 전역(Global) 명암대비 향상 기법과 지역(Local) 명암대비 향상 기법으로 구분되어진다. 전역 명암대비 향상 기법은 영상의 명암 값의 범위를 늘림으로서 화질을 향상시키는 방법으로 가장 널리 쓰이는 방법 중의 하나가 전역 히스토그램 평활화(Global Histogram Equalization)이다. 가장 잘 알려진 명암비 향상 기법인 히스토그램 평활화(Histogram Equalization,

*교신저자 : 최명렬(hyangrfd@yahoo.co.kr)

접수일 10년 01월 08일

수정일 (1차 10년 02월 05일, 2차 10년 03월 11일)

게재확정일 10년 03월 18일

HE)는 영상의 히스토그램을 분포를 계산하고, 히스토그램 분포는 누적 분포 함수 생성 및 정규화를 통하여 입력영상의 화소값과 곱해서 수행되며, 히스토그램이 균일한 분포를 갖도록 명암값을 재분배한다. 이는 간단하고 명암비 향상 효과가 좋지만, 영상 특성을 고려하지 않은 히스토그램 균일화로 전체적인 히스토그램은 좋아 질지 수 있으나, 영상의 부분 부분에서 과도한 변화로 영상의 일그러짐이 발생할 수 있다.

2. 히스토그램 평활화 및 기존 알고리즘

2.1 히스토그램 평활화

이상적인 영상의 히스토그램은 균일한 분포를 가진다. 명암도[0, L-1] 범위 내의 명암도를 갖는 영상의 히스토그램은 식(1)과 같은 이산 함수로 정의 할 수 있다. 여기서 X_k 는 k번째 명암도이고, n_k 는 명암도 X_k 가 가지는 화소들의 수를 나타낸다.

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

정규화 된 히스토그램은 식(2)와 같으며, $p(X_k)$ 는 명암도 X_k 가 일어날 수 있는 확률에 대한 예측을 나타낸다. 정규화 된 히스토그램의 모든 요소들의 합은 1이 된다.

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

$$\sum_{k=0}^{L-1} p(X_k) = 1 \quad (2)$$

식(2)의 확률 밀도함수를 이용하여 식(3)과 같이 정의되는 누적 분포 함수(CDF : Cumulative Distribution Function)로 나타낼 수 있다. 여기서 $k=0, 1, 2, \dots, L-1$ 이고, $CDF(X_{L-1}) = 1$ 로써 정의된다.

$$CDF(X_k) = \sum_{i=0}^k p(X_i) \quad (3)$$

히스토그램 평활화는 입력 영상을 전체 영역(X_0, X_{L-1})로 매핑(Mapping)하는 역할을 수행하며, 이때 원 영상의 밝기값 X_k 와 변환된 영상의 화소값 S에 대한 변환 함수 $T(x)$ 는 식(4)와 같이 정의 할 수 있다. 여기에서 x 는 최대 밝기값을 나타낸다.

$$S = T(X_k) = x \times CDF(X_k) \quad (4)$$

히스토그램 평활화는 비교적 간단한 연산과정과 높은 명암비 향상 효과로 인해 대표적인 명암비 향상 기법중 하나이지만 실제적으로 산업에서 많이 쓰이지는 않는다. 히스토그램 평활화는 이상적으로는 모든 밝기 값에서 같은 확률로 균일한 히스토그램을 갖게 한다. 하지만 실제로는 입력영상의 밝기 값의 빈도수가 각기 다르므로 전체 화소에 대한 각 밝기 값의 빈도수에 비례하여 0에서부터 최대 밝기 값 L-1까지 재분배 하게 된다. 빈도수에 비례하게 되므로 높은 빈도수의 성분은 다수의 밝기값 레벨들을 차지하게 되고 낮은 빈도수의 성분은 적은 수의 밝기 값 레벨들을 차지하거나 옆의 성분들과 병합되어 버리는 현상이 발생한다. 이러한 히스토그램 평활화의 특성 때문에 몇 가지 부작용들이 발생하는데 이를 구분하면 다음과 같다.

첫 번째로, 히스토그램 평활화는 입력영상이 원래 밝은 영상이든 어두운 영상이든 전체 밝기값 레벨들에 재분배하기 때문에 밝기 값이 크게 변화 할 수 있다. 이로 인해 색의 왜곡(color distortion)이 발생하고 자연스러운 결과 이미지를 만들지 못한다. 두 번째는 색이 하얗게 보이는 색번짐 현상(washed out appearance) 특히 어두운 배경이 많을 때 보여진다. 세 번째로는 앞서 언급했듯이 낮은 빈도수의 성분들은 평활화를 거치며 옆의 성분들과 병합이 되기도 하는데 이러한 병합으로 인해 원래 이미지가 가지고 있던 디테일이 손상될 수 있다. 마지막으로 영상이 계단식으로 갈라지는 현상으로 (Contour) 빈도수가 높은 성분들의 간격이 넓어져서 생기는 부작용이다.

2.2 기존의 명암비 향상기법

히스토그램 평활화의 부작용을 줄이기 위해 다양한 방법들이 고안되었다. BBHE[3], RMSHE[4], DSIHE[5]등의 방법은 히스토그램을 분할하고 분할된 히스토그램을 각각 평활화 하는 방법으로 입력영상의 밝기 값의 분포와 비슷한 결과영상을 만들어낼 수 있다. 그러나 다른 부작용을 해결하지는 못했다. 이외에도 다양한 방법이 제안되었지만 영상에 따라 파라미터 값을 각각 달리 해야 하거나 다양한 영상에 대해 안정적인 결과를 얻지 못하거나 연산량이 너무 많다는 문제를 안고 있다. 본 논문에서는 히스토그램 평활화 부작용의 원인을 분석하고 적은 연산량으로 부작용을 해결해보고자 한다.

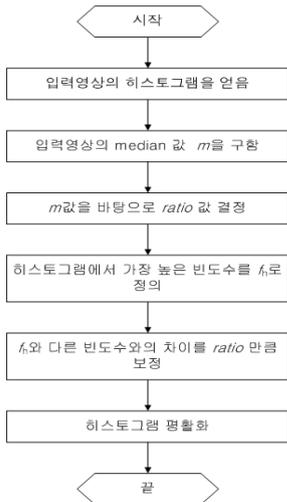
3 제안한 알고리즘

[표 1]은 히스토그램 평활화의 문제점을 알아보기 위한 것이다. 히스토그램 평활화의 방법으로 좋은 결과가 나오는 영상을 A군으로, 그렇지 않은 영상을 B군으로 놓고 영상의 특징들을 정리하였다. A군과 B군의 특징을 잘 살펴본 결과 mean이나 표준편차에서는 별 다른 차이점이 없었지만 median 값에서는 A군 영상들이 대체적으로 중간 밝기값에 가까운데 반해 B군 영상들은 0이나 최대 밝기값에 가까움을 알 수 있었다.

[표 1] 입력영상의 특성 분석

image	mean	median	std_deviation
A군	100	105	24
A군	135	125	60
A군	122	127	55
A군	86	84	62
A군	88	92	42
B군	65	57	33
B군	179	200	46
B군	50	0	66
B군	27	19	23
B군	53	21	33

제안 알고리즘은 이러한 특징을 이용하여 입력영상의 median값이 중간 밝기 값에서 얼마나 떨어져 있는가를 판단하여 중간 밝기 값에서 멀리 떨어져 있을수록 히스토그램 평활화시 부작용이 많이 생길 수 있다고 판단 이를 보정하도록 한다. 제안한 방법의 프로세스는 [그림 1]과 같다.



[그림 1] 제안한 방법의 프로세스

먼저 RGB 영상을 YCbCr로 변환하고, Y에 대한 히스토그램을 얻는다. 입력영상의 median 값을 m이라고 정의하고 이를 바탕으로 보정계수 ratio를 정의한다. 보정계수를 바탕으로 입력영상의 히스토그램을 보정하고, 보정되어 픽셀의 총합보다 커진 히스토그램의 총합을 구하고 평활화를 거치게 된다.

3.1 보정계수 결정

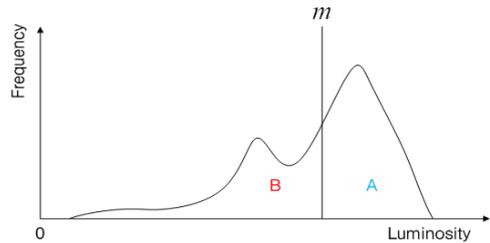
입력영상의 RGB 정보로 휘도값 Y를 계산한다.(ITU-R BT.601)

$$Y = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \quad (5)$$

휘도값 Y에 대해 영상의 히스토그램 $H(i)$ 를 구하고, $(i = 1, 2, 3, \dots, n-1)$ 이를 바탕으로 Y의 median 값 m 을 구한다. 이때 median값의 정의는

$$P(X \leq m) = P(X \geq m) = \int_{-\infty}^m f(x) dx = \frac{1}{2} \quad (6)$$

식(6)과 같고, [그림 2]는 이를 도식화 한 것이다.



[그림 2] 입력 영상의 median값 (A=B)

median 값이 최대 밝기 값이나 최소 밝기 값에 가까워질수록 기존의 기법들이 실패하는 경우가 많았는데 밝기 값의 중간값을 Y_m 이라 한다면 밝기의 중간 값과 median 값의 차이를 $|Y_m - m|$ 이라고 표현할 수 있다. 이를 0에서 1사이로 정규화 하면 보정계수 ratio는 식 (7)과 같이 정의 될 수 있다.

$$ratio = \frac{|Y_m - m|}{n \times \frac{1}{2}} \quad (7)$$

3.2 히스토그램 보정

보정계수가 결정되면 이를 바탕으로 히스토그램을 보

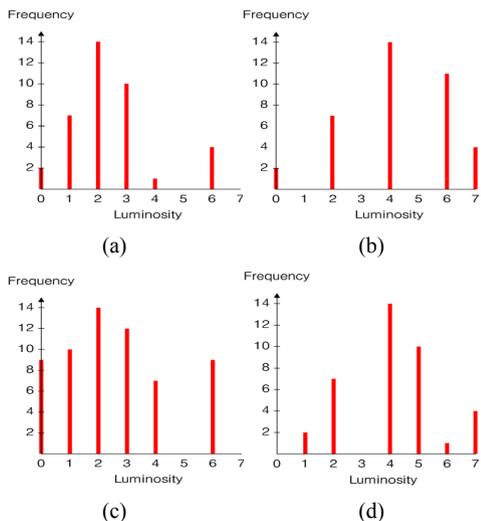
정한다. 먼저, 히스토그램에서 가장 큰 빈도수를 f_h 로 정의하고 이때의 히스토그램 밝기값을 i_h 라고 한다. 그런 뒤에 다른 히스토그램 빈도수들과의 차이를 *ratio*에 비례해 줄여서 보정하도록 한다. 이러한 보정으로 생기는 가상의 히스토그램을 $H_v(i)$ 라고 정의한다.

$$H(i_h) = \max(H(i)) = f_h \tag{8}$$

$$H_v(i) = (H(i_h) - H(i)) \times \text{ratio} + H(i) \tag{9}$$

보정이 끝나면 새로운 가상의 히스토그램으로 평활화를 거치게 되는데 이때 히스토그램의 총 합이 전체 픽셀 수보다 많아지게 되므로 이에 유의하여야 한다. 보정계수 *ratio*의 범위는 0에서 1까지로 *ratio*가 0일 경우에 결과 영상은 히스토그램 평활화와 완전히 같아지게 되고 1일 경우에는 평활화가 이루어지지 않는다.

[그림 3]은 3bit, 38 pixel 영상의 예를 들어 히스토그램 평활화와 제안된 방법의 결과 히스토그램의 차이를 보여준다. (a)는 입력영상의 히스토그램이고, (b)의 히스토그램 평활화 된 영상의 히스토그램이다. (c)의 히스토그램은 *ratio*를 계산하고 (a)의 히스토그램을 보정한 가상의 히스토그램이고 (d)는 (c)에서 다시 평활화를 거쳐 최종적인 결과 히스토그램을 나타낸다.



[그림 3] 히스토그램 비교

(b)의 히스토그램 평활화 된 영상에서는 빈도수가 낮은 밝기 값이 다른 밝기 값과 병합되어 버렸지만 (d)의 제안한 방법에서는 병합되지 않은 것을 알 수 있다. 이러한 밝기 값의 병합은 디테일의 손상을 가져올 뿐만 아니라 다른 밝기 값들이 더욱 넓은 간격을 유지하게 되어 과

도한 색변화의 원인이 되기도 한다.

4. 시뮬레이션 결과

[그림 4]는 제안한 방법과 기존의 방법들의 결과 영상을 보여주고 있다. (a-1)의 pepper 영상은 전체적으로 어둡고 좁은 다이내믹 레인지를 가지고 있다. 이를 히스토그램 평활화한 (b-1) 영상의 경우에 전체적으로 색변짐 현상이 보이며 노이즈가 많이 보인다. (c-1)의 RMSHE [4] 방법의 결과영상은 (b-1) 영상보다 색변짐 현상이나 노이즈가 덜하지만 계단식으로 갈라지는 Contour 현상이 보인다. 하지만, 제안한 방법의결과 (d-1) 영상은 높은 명암비를 유지하면서도 별다른 부작용을 찾기 어려웠다. (a-2)의 F-16 영상은 매우 밝고 넓은 다이내믹 레인지를 가지고 있다. 이를 히스토그램 평활화한 (b-2) 영상은 색의 왜곡으로 인해 원래의 색을 잃어버렸고, DSIHE[5]의 결과영상인 (c-2) 영상도 (d-2) 영상보다는 덜하지만 여전히 부작용을 안고 있다. 그에 반해 제안된 방법의 영상은 다른 부작용 없이 비행기의 동체가 더욱 선명해진 것을 볼 수 있다. (a-3) 영상은 (a-1),(a-2)에 비해 안정적인 별다른 문제가 없는 영상으로 히스토그램 평활화한 (b-3) 영상만 약간 밝아졌을 뿐 MMBEHE[6]과 제안 알고리즘(d-3) 원본영상과 비슷한 결과를 보였다.



(a-1) pepper

(a-2) F-16



(a-3) castor

(a) 원영상



(b-1) pepper



(b-2) F-16



(d-1) pepper



(d-2) F-16



(b-3) caster

(b) HE 시물레이션 결과



(c-3) caster

(c) 제안알고리즘 시물레이션 결과

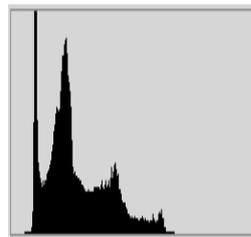


(c-1) RMSHE 결과영상



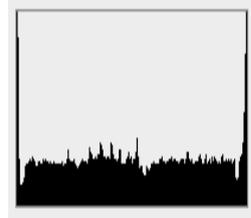
(c-2) DSIHE 결과영상

[그림 4] 영상 시물레이션 결과



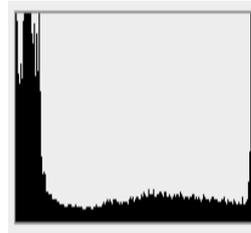
원영상

- 평균 값 : 65
- 표준편차 : 33
- 중간 값 : 57



HE 알고리즘

- 평균 값 : 130
- 표준편차 : 78
- 중간 값 : 128



제안 알고리즘

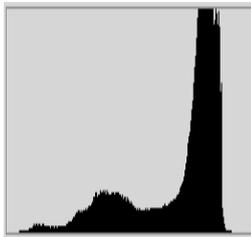
- 평균 값 : 80
- 표준편차 : 90
- 중간 값 : 23

(a) paper 영상



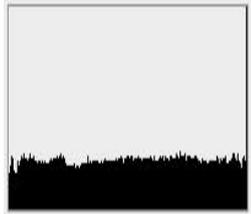
(c-3) MMBEHE 결과영상

(c) 기존 알고리즘 시물레이션 결과



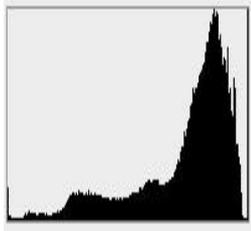
원영상

- 평균 값 : 179
- 표준편차 : 46
- 중간 값 : 200



HE 알고리즘

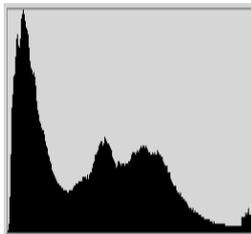
- 평균 값 : 132
- 표준편차 : 75
- 중간 값 : 133



제안 알고리즘

- 평균 값 : 188
- 표준편차 : 53
- 중간 값 : 207

(a) F-16 영상



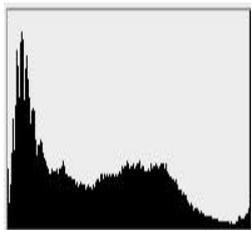
원영상

- 평균 값 : 86
- 표준편차 : 62
- 중간 값 : 84



HE 알고리즘

- 평균 값 : 130
- 표준편차 : 75
- 중간 값 : 130



제안 알고리즘

- 평균 값 : 130
- 표준편차 : 75
- 중간 값 : 130

(a) Caster 영상

[그림 5] 영상 히스토그램

[그림 5]는 영상의 히스토그램을 보여준 것이다. 결과에서 확인할 수 있듯 히스토그램은 영상에 특성을 고려하지 않은 상태에서 히스토그램이 균일하게 이루어져 있는 것을 확인할 수 있다. 그러나 제안 알고리즘은 원영상의 특성을 유지하면서 히스토그램의 분포를 고르게 한 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 평판 디스플레이 시스템을 위한 명암비 향상 기법을 제안하였다. 제안 알고리즘은 입력영상의 median 값을 바탕으로 히스토그램을 보정했는데 이로 인해 빈도수의 차이가 줄어들어 다시 히스토그램 평활화를 거치더라도 과도한 색변화가 일어나지 않는다. 결과 영상은 제안된 방법이 다른 특성을 가진 여러 가지 영상들에 대해 안정적으로 HE의 부작용들을 해결하였음을 알 수 있게 한다. 그러나 어두운 영상이나, 어두운 부분이 많은 경우는 성능이 저하 되는 경향이 있다. 그래서 향후에는 이 부분 대한 추가 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] R. C. Gonzalez, "Digital Image Processing", 2nd Edition, Prentice Hall, pp. 75-146, 2002.
- [2] R. Crane, "A Simplified Approach to Image Processing", Prentice Hall, pp. 42-66, 1997.
- [3] Y. T. Kim, et al., "Contrast enhancement using Brightness preserving Bi-Histogram Equalization," IEEE Trans. on Consumer Electron, vol.43, no.1, pp.1-8, 1997.
- [4] S. D. Chen, et al., "Contrast Enhancement using Recursive Mean-Separate Histogram Equalization for Scalable Brightness Preservation," IEEE Trans. on Consumer Electron, vol.49, no.4, pp.1301-1309, 2003.
- [5] Wang, Chen and 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.
- [6] Chen and R.Ramli, " Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization in Contrast Enhancement," IEEE Trans on Consumer Electronics, vol. 49, no. 4, pp.1310-1319, 2003.

강 현 우(Hyun-Woo Kang)

[준회원]



- 2008년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터공학부
- 2008년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 전자전기제어계측공학과 석사과정

<관심분야>

이미지 프로세싱, SoC/ASIC 설계

조 태 경(Tae-Kyung Cho)

[종신회원]



- 1984년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과
- 1986년 2월 : 한양대학교 대학교 전자통신공학과 석사
- 2001년 8월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 박사
- 2003년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야>

유·무선통신프로토콜, 정보보호, 이더닝

황 보 현(Bo-Hyun Hwang)

[정회원]



- 2004년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터공학부
- 2006년 2월 : 한양대학교 전자전기제어계측공학과 석사
- 2007년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 전자전기제어계측공학과 박사과정

<관심분야>

이미지 프로세싱, SoC/ASIC 설계

최 명 렬(Myung-Ryul Choi)

[정회원]



- 1983년 2월 : 한양대학교 전자공학과
- 1985년 2월 : 미시간주립대학교 컴퓨터 공학 졸업 (공학석사)
- 1991년 2월 : 미시간주립대학교 컴퓨터 공학 졸업 (공학박사)
- 1992년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 컴퓨터공학과 교수

<관심분야>

SoC/ASIC 설계, 3D, FPD 컨트롤러, RFID응용

윤 종 호(Jong-Ho Yun)

[정회원]



- 2001년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터공학부
- 2003년 2월 : 한양대학교 일반대학원 전자전기제어계측공학과 졸업 (공학석사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 일반대학원 전자통신전파공학과 박사과정

<관심분야>

SoC/ASIC, 3D, 영상처리