

Image Signal Processor 를 위한 High Dynamic Range Algorithm 성능 분석 연구

임찬휘, 홍석인¹

¹ 성균관대학교 정보통신대학
roy980618@skku.edu, seokin@skku.edu

An Experimental Analysis of High Dynamic Range Algorithm for Image Signal Processor

Chan-Hwi Lim, Seok-In Hong¹

¹ College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

요 약

High Dynamic Range 는 디지털 카메라에 내장된 영상 보정 장치인 Image Signal Processor 의 주요 기능 중 하나로서, 영상의 밝고 어두운 정도의 범위를 넓혀, 피사체가 더 또렷하게 보이도록 한다. 초당 수십 프레임을 촬영하는 경우, 실시간 보정처리를 위해 ISP 에 사용되는 기능 및 알고리즘은 신속성과 효율성이 요구된다. 본 연구는 ISP 에 적합한 HDR 알고리즘을 선정할 목적으로 하여, Histogram Equalization 과 Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization 을 소개한다. 이어 해당 알고리즘들을 컴퓨터 프로그래밍으로 구현, CMOS 이미지 센서를 통해 추출한 raw image 를 보정하여 각 알고리즘의 성능을 검토하였다.

1. 서론

Image Signal Processor(ISP)는 디지털 카메라에 들어가는 신호 처리 장치로서, CMOS 이미지 센서가 촬영한 Raw Image 를 보정하여 사용자가 육안으로 보는 것과 유사하게 영상을 구현하는 것을 목표로 한다. High Dynamic Range(HDR)은 ISP 의 기능 중 하나로, 영상의 밝고 어두운 정도의 범위를 넓혀, 피사체가 더 또렷하게 보이도록 한다. 녹화 장치 등에 사용되는 ISP 는 초당 수십 프레임의 실시간 보정을 위해 신속하고 효율적인 알고리즘을 채택할 수 있어야 한다. 본 연구는 이러한 ISP 에 적합한, 신속하고 효율적인 HDR 알고리즘 선정을 목표로 한다.

2. Histogram Equalization

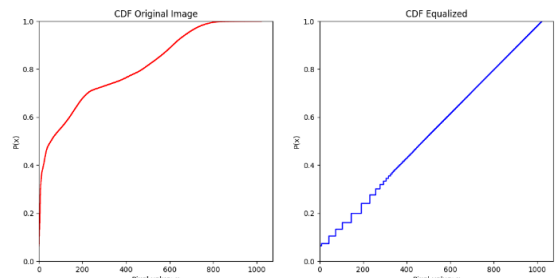
$$h(v) = \text{round}\left(\frac{cdf(v)-cdf_{min}}{cdf_{max}-cdf_{min}} \times (L-1)\right) \quad (1)$$

Histogram Equalization(HE)는 화소값들의 히스토그램을 활용하는 HDR 알고리즘이다.^[1] (그림 2)와 같이 화면의 누적분포함수(Cumulative Distribution Function, CDF)와 균등분포의 누적분포함수에 가깝게 함으로써 HDR을 구현한다. 최대 밝기 L 에 대하여 특정 화소 v 에 대응하는 보정 화소값 h(v)은 수식(1)을 통해 산출한다. HE 를 통한 HDR 구현은 저명도 구역에서 noise 검출의 한계와 화면 내 밝기 차이가 도드라질 때 개선이 미미하다는 단점이 존재한다.



(a)HDR 구현 전 원본. (b) HE 를 통한 보정 사진.

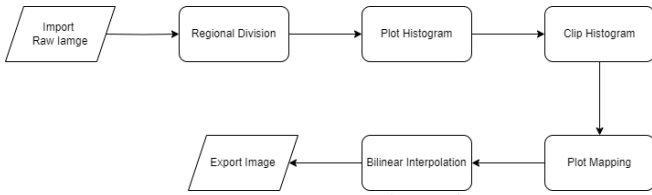
(그림 1) HE 를 통한 HDR 구현



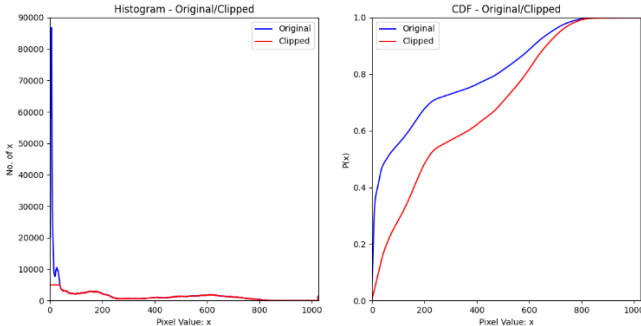
(그림 2) (그림 1-a)의 CDF 와 (그림 1-b)의 CDF 비교

3. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization

의학 촬영에서는 HE 의 개선 보정기법으로 Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization(CLAHE)가 소개되었다.^[2] CLAHE 는 (그림 3)의 순서대로 구획화, 각 구획 별 Clipping 및 히스토그램 산출, CDF 생성, Bilinear Interpolation 을 통한 보정치 결정의 과정을 거친다. CLAHE 는 영상을 균일한 크기의 작은 영상들로 구획하여, 각 구획에 대한 개별적인 연산을 수행한다.



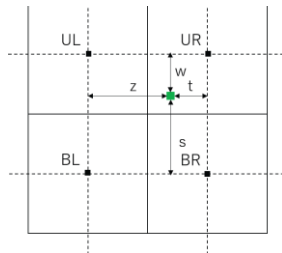
(그림 3) CLAHE의 순서도



(a) (그림 1-a)의 히스토그램(파란색)과 bin의 최댓값을 5000으로 제한한 히스토그램(빨간색). (b) (그림 1-a)의 CDF(파란색)과 bin의 최댓값을 5000으로 제한한 CDF(빨간색).

(그림 4) Clipping에 따른 히스토그램/CDF 비교

각 구획은 히스토그램 각 막대(bin)의 최댓값을 제한(Clipping)하여 히스토그램을 산출한다. (그림 4-b)와 같이 Clipping을 거친 누적분포함수는 저명도의 민감도가 감소하여 균등분포에 가까워지며, 저명도 영역의 noise를 개선할 수 있다. 각 구획은 상이한 누적분포함수를 가지게 된다. (그림 5)에서 특정 화소값(녹색)은 수식 (2)와 같이 해당 화소와 인접한 네 구획들의 CDF의 관계식을 통해 결정할 수 있다. 이러한 Bilinear Interpolation을 통해 영상 전체의 화소들을 보정한다.



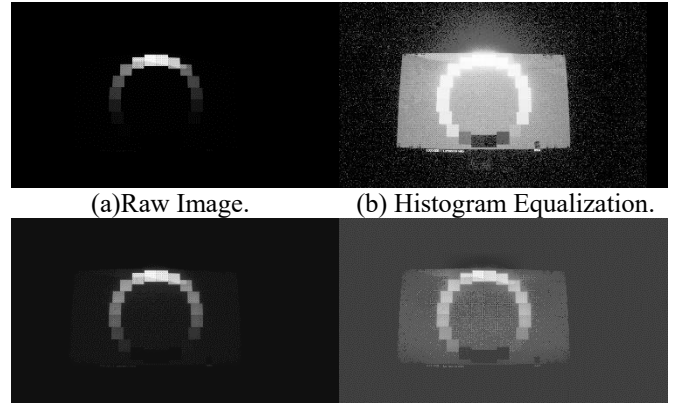
(그림 5) Bilinear Interpolation^[3]

$$I_{new} = \frac{s}{s+w} \left(\frac{t}{z+t} cdf_{UL}(n) + \frac{z}{z+t} cdf_{UR}(n) \right) + \frac{w}{s+w} \left(\frac{t}{z+t} cdf_{BL}(n) + \frac{z}{z+t} cdf_{BR}(n) \right) \quad (2)$$

4. 실험 과정 및 결과

본 연구에서는 python으로 알고리즘을 구현해 단일 raw image를 보정하여 성능을 검증하고자 하였다. 본 실험에 사용하기 위해 CMOS 이미지 센서를 이용해 화소값을 10bit로 표현하는 크기 1920*1080의 raw image를 추출하였다. CLAHE의 경우 선행 연구의 최확치를 반영하여, raw image를 8*8로 구획하여 보정을 수행하였다.^[4] 또한, bin의 상한값을 다양하게 설정하

여, 상한값에 따른 CLAHE 성능을 비교하고자 하였다. 결과물은 (그림 6)과 같다. (그림 6-a)는 암실에 촬영한 test chart로, chart 내 panel들은 위에서부터 아래로 어두워지는 연속적인 밝기 분포를 보인다. HE를 적용한 (그림 6-b)에서는 chart의 윤곽과 chart 하단의 LED의 가시성이 개선되었으나 chart 외곽의 noise와 panel 간 밝기 차이 왜곡을 관측할 수 있었다. CLAHE를 적용한 (그림 6-c)에서는 (그림 6-b)의 왜곡을 개선했지만, LED의 가시성이 다소 감소하였다. (그림 6-c)보다 상한값을 높인 (그림 6-d)에서는 LED의 가시성을 개선했지만, (그림 6-c)보다 높은 noise를 검출하였다.



(a) Raw Image. (b) Histogram Equalization. (c) CLAHE(상한값:8). (d) CLAHE(상한값:32). (그림 6) 실험 원본과 각 알고리즘 별 적용 결과

5. 결론

HE와 CLAHE를 통한 HDR 구현 모두 화면 전체의 가시성이 개선되었다. HE를 통한 HDR 구현에서 고명도 영역에서의 왜곡과 저명도 영역에서의 noise의 한계를 관측하였다. CLAHE를 통한 HDR 구현에서 이러한 noise와 왜곡을 보완했지만, 상한값의 최확치를 사용자가 직접 결정해야 된다는 한계를 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(교육부-산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0022098, 2024년 미래형자동차 기술융합혁신인재양성사업)

참고문헌

[1] A. K. Jain. 'Fundamentals of digital image processing', Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1989.
 [2] J. Rosenman, C. Roe, R. Cromartie, K. Muller, & S. Pizer. 'Portal film enhancement: Technique and clinical utility', International Journal of Radiation Oncology·Biology·Physics, 25(2), 333-338, 1993.
 [3] K. Honda, K. Wei, M. Arai, and H. Amano, "CLAHE implementation on a low-end FPGA board by high-level synthesis," 2020 Eighth International Symposium on Computing and Networking Workshops (CANDARW), Naha, Japan, 2020, pp. 282-285
 [4] K., J., Zuiderveld. 'Contrast limited adaptive histogram equalization.' Graphics gems, 474-485, 1994.