

# ISP 에 적용 가능한 HDR 을 위한 Log Histogram Equalization 기법

신지환<sup>1</sup>, 홍석인<sup>2</sup>

<sup>1</sup>성균관대학교 전자전기공학부 학부생

<sup>2</sup>성균관대학교 전자전기공학부 교수

sjhzza@g.skku.edu, [seokin@skku.edu](mailto:seokin@skku.edu)

## Log histogram equalization techniques for HDR applicable to ISPs

Ji-hwan Shin<sup>1</sup>, Seok-in Hong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School. of Electronic and Electrical Engineering, Sung-Kyun-Kwan University

<sup>2</sup>Dept. Electronic and Electrical Engineering, Sung-Kyun-Kwan University

### 요 약

본 연구는 ISP(Image Signal Processing) 모듈에 적용 가능한 HDR(High Dynamic Range)을 위한 Log Histogram Equalization 기법을 제안한다. 기존의 HDR 기술은 다양한 노출로 찍은 사진들을 합쳐서 한 장의 사진에서 더 넓은 동적 범위를 담아내는 방식에 집중해 왔다. 이 연구에서는 단일 노출 이미지에서도 향상된 HDR 을 구현하기 위해, 로그 함수를 이용한 히스토그램 평준화 방법을 탐구한다. 이 기법은 로그 함수의 특성을 활용하여 이미지의 대비를 증가시킨다. 또한, 룩업 테이블과 선형 근사를 도입하여 연산량을 줄이고, ISP 모듈 내에서의 실시간 처리 가능성을 높인다.

### 1. 서론

이미지는 bayer 센서에서 들어온 값을 여러 이미지 처리 과정을 거치며, 실제 눈으로 보이는 것처럼 보이도록 한다. AWB(Auto White Balance), HDR(High Dynamic Range) 등의 기술은 정확한 이미지 생성을 위해 중요하다. 이러한 기술은 대부분의 SoC chip 에서 ISP(Image Signal Processing) module 에서 처리하고 있으며, 스마트폰, cctv, 최근에는 자율주행용 카메라 등의 다양한 분야에서 쓰이고 있다. [1],[2] 최근에는 노출을 다르게 한 여러 이미지를 합쳐, 하나의 HDR 이미지를 만들어내는 기술들이 활발히 연구되고, 적용되고 있다. 본 연구에서는 이것이 적용 불가능한, 단일 노출 촬영 이미지를 처리함에 있어, 보다 향상된 HDR 을 위해 Log 함수의 개형을 이용한 histogram equalization 기법을 소개하고, 이를 ISP module 에서의 구현 가능성에 대해 논의할 것이다.

### 2. HDR 기술 동향

HDR 연구들이 디지털 카메라의 한계를 넘어서기 위한 다양한 시도를 하고 있다. 예를 들어, [1]S. Mann 과 R. W. Picard 는 다양한 노출로 찍은 사진들을 합쳐서 한 장의 사진에서 더 넓은 동적 범위를 담아내는 방법을 제안한다. 이들은 각기 다른 노출로 찍힌 사

진들이 실제로 보여주는 동적 범위가 단일 사진으로는 담아낼 수 없는 부분들까지 포착할 수 있다고 말하며, 이를 자동화된 방식으로 처리하는 방법을 개발했다.

또 다른 연구에서 [2]Mark A. Robertson, Sean Borman, Robert L. Stevenson 은 여러 노출로 찍은 사진을 활용하여 카메라의 효과적인 동적 범위를 향상시키는 새로운 접근법을 소개한다. 이들은 다양한 노출로 얻은 사진들을 이용하여 밝은 부분과 어두운 부분 모두를 정확하게 포착할 수 있는 방법을 제시한다. 이 과정에서 확률적 관점을 도입하여, 기존 방법들과 차별화된 접근을 시도한다.

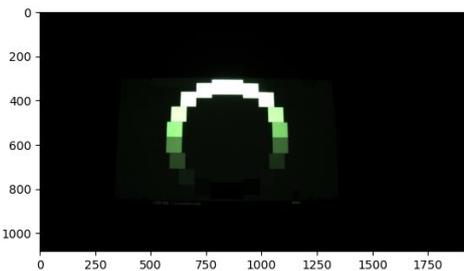
또한 [3] Salim A. Mohammed Ali 와 Aymen M. Al-Kadhimi 가 2021 년에 발표한 논문 'Implementation of Parallel Components of High Dynamic Range Images Algorithm Using FPGA'는 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 사용하여 HDR(High Dynamic Range) 이미지를 생성하는 알고리즘의 병렬 구성 요소를 구현하는 연구를 다룬다. 디지털 회로에서 HDR 알고리즘을 구현하려는 연구 또한 진행되고 있음을 알 수 있다.

### 3. 제안하는 기법

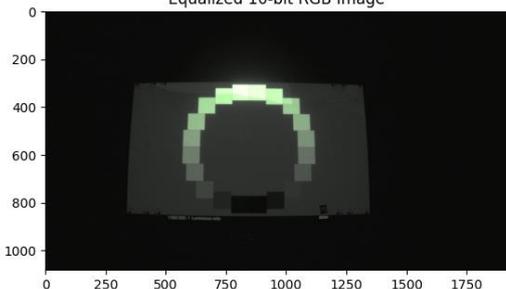
앞에 동향에서 볼 수 있듯이, 단일 노출 이미지에 대한 연구는 상대적으로 관심도가 떨어지지만, 단일 노출 이미지 처리 방식은, 다중 노출 이미지 합성에도 적용할 수 있어, 더욱 범용성이 크다는 점에서 의의가 있다. [4] 이를 구현하기 위해, 본 연구에서는 로그 함수를 활용한 히스토그램 평준화 기법의 수학적 기초를 다룬다. 특히, 누적 분포 함수(CDF)를 모델링하기 위해 로그 함수를 사용하는 방식에 주목한다. 로그 함수의 적용은 확률 밀도 함수(PDF)가 분수함수 형태로 나타나게 하며, 이는 동적 범위 내에서, 암부를 강조하고, 명부에서 saturation 되는 현상을 막는다. 이러한 접근은 김원균의 박사학위 논문 "히스토그램 변형을 이용한 적응적인 대비 향상 및 동적 영역 압축 기법"에서 언급된 이론에 기반하였다.

제안하는 Log Histogram Equalization 알고리즘은 다음과 같은 단계로 진행된다. 우선, 입력 이미지의 히스토그램을 계산하고, 로그 함수를 사용하여 각 픽셀 값에 대한 새로운 확률 분포를 생성한다. 이 과정에서, 연산량을 줄이기 위해, approximation 방법으로 룩업 테이블(LUT)과 선형 근사를 도입한다. 룩업 테이블을 이용함으로써 복잡한 로그 연산을 단순화할 수 있으며, 선형 근사를 통해 연속적인 값들 사이에서 빠르게 값을 추정할 수 있다. 룩업 테이블은 미리 계산된 로그 함수 값들을 저장하며, 이를 통해 실시간 이미지 처리 과정에서의 연산 시간을 줄일 수 있다. 선형 근사 모듈은 룩업 테이블에서 발생할 수 있는 불연속성을 줄이며, 보다 부드러운 이미지 대비를 구현하는 데 기여한다. ISP 모듈 내에서 이러한 기법들의 구현은 실시간으로 HDR 이미지를 생성할 수 있는 능력을 향상시킨다.

### 4. 실험 및 결과



<그림 1. HDR 적용 전>  
Equalized 10-bit RGB Image



<그림 2. Log HDR 적용 후>

그림 1 과 그림 2 를 비교해보면, 기존에 보이지 않던 암부 부분이 강조되고, 명부 부분 밝기를 감소함으로써, HDR 이 구현됨을 확인할 수 있다. 허나, 이것은 Python 을 이용한, log 함수 연산으로 구현된 이미지로, 룩업 테이블과 선형 근사를 적용한 실제 ISP 모듈에서는 실제 Log 값과 차이가 있어, 결과물이 달라질 수 있다.

### 5. 향후 연구 방향

FPGA 보드에서 제안된 Log Histogram Equalization 기법을 구현하고, 효율성과 실제 처리 속도를 평가하는 것이 있다. 적절한 룩업 테이블을 찾고, 선형 근사 구간을 설정하여, 계산 효율성과 이미지 품질 사이의 최적의 균형을 찾는 것이 중요한 연구 주제가 될 것이다.

### ACKNOWLEDGMENT

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

### 참고문헌

- [1] Mann, S. & Picard, R. W., "On Being `Undigital' with Digital Cameras: Extending Dynamic Range by Combining Differently Exposed Pictures," Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA
- [2] Robertson, M. A., Borman, S. & Stevenson, R. L., "Estimation-theoretic Approach to Dynamic Range Enhancement Using Multiple Exposures," Journal of Electronic Imaging, 12(2), 219–228, April 2003.
- [3] Mohammed Ali, S. A. & Al-Kadhimi, A. M., "Implementation of Parallel Components of High Dynamic Range Images Algorithm Using FPGA," Virtual Conference on Engineering, Science and Technology (ViCEST) 2020, Journal of Physics: Conference Series, 1933, 012056, IOP Publishing, 2021, doi:10.1088/1742-6596/1933/1/012056.
- Yaduwanshi, K. S. & Mishra, N., "Contrast Enhancement of HDR images using Linear Transformation and Kernel Padding," International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 5 (2), 1718-1723, 2014.
- [4] 김원균, "히스토그램 변형을 이용한 적응적인 대비 향상 및 동적 영역 압축 기법," 박사학위논문, 한양대학교 대학원, 2014 년 8 월.