

단일 LDR 영상을 이용한 역 톤 매핑을 위한 최적화 프레임워크

범명(Fan Ming), 김효영, 이인재, 고성제*
고려대학교 전기전자공학과

mingfan@dali.korea.ac.kr, hykim@dali.korea.ac.kr, ijlee@dali.korea.ac.kr, *sjko@korea.ac.kr

An optimization framework for inverse tone mapping using a single low dynamic range image

Fan Ming, Hyo-Young Kim, In-Jae Lee, and Sung-Jea Ko*
School of Electrical Engineering
Korea University

요 약

기존의 역 톤 매핑(Inverse tone mapping, ITM) 방법은 재구성된 High dynamic range(HDR) 영상에서 대비손실, 밝기 역전현상 등의 대비 왜곡을 발생시키는 경향이 있다. 본 논문은 입력 Low dynamic range(LDR) 영상은 원본 HDR 영상을 톤 매핑한 LDR 영상과 유사하다는 가정을 바탕으로 새로운 ITM 최적화 프레임워크를 제안한다. 제안된 프레임워크는, 기존의 톤 매핑 함수의 역함수를 이용하여 HDR 영상을 재구성된 다음, 입력 LDR 영상과 재구성된 HDR 에서 얻은 LDR 영상 간의 차이를 최소화하는 과정을 반복적으로 수행함으로써 최적의 HDR 영상을 구한다. 실험 결과는 제안된 프레임워크가 다른 기존 방법에 비해 고품질 HDR 이미지를 효과적으로 재구성하고 객관적으로 품질이 우수함을 보인다.

I. 서론

최근에는 풍부한 시각적 경험을 제공하기 위하여 High Dynamic Range(HDR) 디스플레이가 빠르게 개발되고 있다. HDR 디스플레이에서 낮은 동적 범위(Low dynamic range, LDR) 영상을 표시하기 위해 다양한 역방향 톤 매핑(Inverse tone mapping, ITM) 방법이 제안되었다[1].

LDR 영상에서 재구성된 HDR 영상의 품질을 높이기 위해서는, 전체 구조를 유지하면서 원본 영상의 중요한 특징을 유지하는 것이 중요하다[1]. 그러나 기존 ITM 방식에 사용되는 LDR-to-HDR 매핑 기능은 입력 LDR 영상의 중요한 특징과 전체적인 구조에 대한 고려없이 LDR 영상의 대비 범위 확장을 통해 HDR 영상을 재구성한다. 이 방법들은 대조도 손실과 왜곡이 있는 저품질의 HDR 영상을 생성하는 경향이 있다.

본 논문은 이 문제를 극복하기 위해 입력 LDR 영상이 원본 HDR 이미지에서 톤 매핑된 LDR 이미지와 유사하다는 가정을 바탕으로 새로운 ITM 최적화 프레임워크를 제안한다. 먼저, 기존의 TM 함수의 역함수를 통해 HDR 영상을 재구성한다. 재구성한 HDR 영상을 톤 매핑한 LDR 영상과 입력 LDR 영상의 차이를 최소화하는 과정을 Newton-Raphson 방법[2]을 통해 반복적으로 수행함으로써 최적의 HDR 영상을 구한다. 실험 결과는 제안된 알고리즘이 고품질 HDR 이미지를 재구성하고 객관적 품질에서 기존의 ITM 방식으로 구한 결과와 비교하여 더욱 우수함을 보인다. 본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성되어 있다. 2 장에서는 제안된 ITM 방법의 설명과 함께 실험결과를 설명하고, 3 장에서 본 논문을 마무리한다.

II. 본론

제안하는 기법의 목표는 반복 과정을 통해 HDR 영상을 톤 매핑한 LDR 영상이, 입력 LDR 영상과 동일하도록 하는 HDR 영상을 얻는 것이다. 픽셀위치 \mathbf{p} 에서의 LDR 의 휘도를 $L_L(\mathbf{p})$, i 번째 반복 과정에서 HDR 의 휘도를 $L_H^i(\mathbf{p})$ 로 정의할 때, 아래와 같이 차 LDR 영상 $\Delta L_L^i(\mathbf{p})$ 을 계산할 수 있다.

$$\Delta L_L^i(\mathbf{p}) = f(L_H^i(\mathbf{p})) - L_L(\mathbf{p}) \quad (1)$$

여기서 f 는 임의의 연속이고 미분 가능한 톤 매핑 함수이고, 반복과정을 통해 $\Delta L_L^i(\mathbf{p})$ 가 특정 임계값 δ 보다 작아지게 되면 해당 단계의 영상 $L_H^i(\mathbf{p})$ 을 최종 HDR 영상 $L_H^*(\mathbf{p})$ 으로 삼는다.

$$f(L_H^i(\mathbf{p})) - L_L(\mathbf{p}) = 0 \quad (2)$$

(2)의 최적의 해를 구하기 위해 HDR 영상의 초기값 함께 뉴턴-Raphson 방법을 사용한다. 각 반복에서 각 픽셀에 대한 HDR 휘도는 다음과 같이 얻어진다.

$$L_H^{i+1}(\mathbf{p}) = L_H^i(\mathbf{p}) - \frac{f(L_H^i(\mathbf{p})) - L_L(\mathbf{p})}{f'(L_H^i(\mathbf{p}))} \quad (3)$$

(3)에서 f 의 계산은 상당히 복잡하기 때문에, 다음과 같이 주어지는 역함수의 성질을 이용한다.

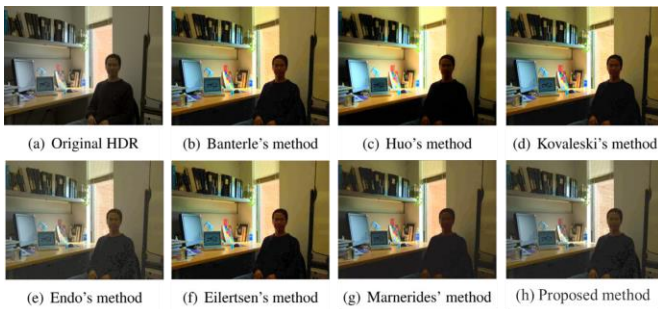


그림 1. 원본 HDR 영상과 다양한 ITM 알고리즘을 통해 구한 HDR 결과 비교 영상

$$f'(L_H^i(\mathbf{p})) = \frac{1}{g'(L_L^i(\mathbf{p}))} \quad (4)$$

이를 이용하여 식 (3)을 다음이 풀어 쓸 수 있다.

$$L_H^{i+1}(\mathbf{p}) = L_H^i(\mathbf{p}) - g'(L_L^i(\mathbf{p}))(f(L_H^i(\mathbf{p})) - L_L(\mathbf{p})) \quad (5)$$

최종적으로 식 (5)를 반복적으로 수행하여 최종 HDR 영상 $L_H^*(\mathbf{p})$ 을 구한다.

제안하는 방법의 성능을 평가하기 위해, 기존의 ITM 기법인 Banterle[3], Huo[4], Kovaleski[5], Endo[6], Eilertsen[7], Marnerides[8]기법과 비교하였다. 정량적인 ITM 성능을 평가하기 위해, HDR 영상의 품질 측정에 사용되는 고동적범위 가시 차이 예측자 (high dynamic range visible difference predictor; HDR-VDP)-2 를 사용하였다.

그림 1.과 같이 대부분의 기존의 ITM 알고리즘을 통해 생성된 HDR 영상은 원본 HDR 영상보다 밝아지는 반면, 제안하는 방법은 영상 밝기가 유지된다. 표 1.에서는 다른 알고리즘과의 객관적인 평가를 확인할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 재구성한 HDR 영상으로 부터 톤 매핑된 LDR 영상과 입력 LDR 영상의 차이를 최소화하여 HDR 영상을 재구성하는 ITM 방법을 제시하였다. HDR-VDP-2 결과는 제안된 방법에 의해 재구성된 HDR 영상이 다른 방법에 의해 재구성된 영상과 비교하여 대비 왜곡이 적고, 원본 HDR 영상과 더 유사한 결과를 보인다는 것을 확인하였다. 또한 제안된 방법의 해당 톤 매핑된 LDR 이미지는 기존 방법과 비교하여 세부 보존 및 전역 대비 측면에서 더 나은 시각적 품질을 달성한다. 본 알고리즘은 한 장의 LDR 영상에서 HDR 를 생성해 내는 기법으로써 카메라센서가 제공하는 HDR 기능을 모사하는데 활용될 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.2019-0-00268, Development of SW technology for recognition, judgment and path control algorithm verification simulation and dataset generation).

Method	North Bubble	Delicate Arch	Welly Desk
Banterle's method	69.76	69.35	56.20
Huo's method	58.64	61.54	56.62
Kovaleski's method	64.70	64.80	54.36
Endo's method	69.65	69.81	49.00
Eilertsen's method	67.13	68.12	52.38
Marnerides' method	64.54	62.20	50.96
Proposed method	70.37	70.04	57.29

표 1. 다양한 ITM 알고리즘을 통해 구한 HDR 결과 HDR-VDP-2 지표를 통한 정량적 비교

참 고 문 헌

- [1] B. Masia, S. Agustin, R. Fleming, O. Sorkine, D. Gutierrez, Evaluation of reverse tone mapping through varying exposure conditions, ACM Trans. Graph. 28 (5) (2009) 160.
- [2] R.L. Burden, J.D. Faires, Numerical Analysis, Thomson Wardsworth, 2010, pp.67-71
- [3] F. Banterle, P. Ledda, K. Debattista, A. Chalmers, Expanding low dynamic range videos for high dynamic range applications, in: Proceedings of the 24th Spring Conference on Computer Graphics, ACM, 2008, pp. 33-41.
- [4] Y. Huo, F. Yang, L. Dong, V. Brost, Physiological inverse tone mapping based on retina response, Vis. Comput. 30 (5) (2014) 507-517.
- [5] R. Kovaleski, M. Oliveira, High-quality reverse tone mapping for a wide range of exposures, in: Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI), 2014 27th SIBGRAPI Conference on, IEEE, 2014, pp. 49-56.
- [6] Y. Endo, Y. Kanamori, J. Mitani, Deep reverse tone mapping, ACM Trans. Graph. 36 (6) (2017) 117.
- [7] G. Eilertsen, J. Kronander, G. Denes, R.K. Mantiuk, J. Unger, HDR image reconstruction from a single exposure using deep CNNs, ACM Trans. Graph. 36 (6) (2017) 178.
- [8] D. Marnerides, T. Bashford-Rogers, J. Hatchett, K. Debattista, Expandnet: A deep convolutional neural network for high dynamic range expansion from low dynamic range content, in: Computer Graphics Forum, vol. 37, no. 2, Wiley Online Library, 2018, pp. 37-49.