

양방향 필터와 선형 사상 함수를 이용한 역 톤 매핑

김대은, 김문철
한국과학기술원

kimde@kaist.ac.kr, mkim@ee.kaist.ac.kr

Inverse tone mapping using bilateral filter and linear mapping function

Dae Eun Kim and Munchurl Kim
Korea Advanced Institute of Science and Technology

요 약

본 논문에서는 양방향 필터와 (bilateral filter) 선형 사상 함수를 (linear mapping function) 이용한 역 톤 매핑 (inverse tone mapping, iTMO) 알고리즘을 제안한다. 상용 HDR (high dynamic range) 디스플레이가 (display device) 보급됨에 따라 이미 존재하는 수 많은 LDR (low dynamic range) 영상을 활용하여 HDR 디스플레이에서 시청할 수 있도록 동적 범위를 (dynamic range) 확장하는 (expand) 역 톤 매핑 방법이 개발되어야 한다. 여러 논문을 통해 다양한 역 톤 매핑 방법이 제안되어 왔는데, 대부분의 방법이 HDR 디스플레이의 동적 범위에 맞춰 LDR 영상의 동적 범위를 확장하는 것에 그쳤다. 확장하는 방법은 다양하지만, 동적 범위의 한계로 인해 LDR 영상에서 사라진 세부 사항을 (detail) 복원하는 것에는 전혀 효과적이지 않았다. 이에 본 논문에서는 LDR 영상의 동적 범위를 확장하는 것뿐만 아니라 LDR 영상에서 표현되지 못한 디테일을 복원하는 방법을 제안한다. 이를 위해 입력 영상에 양방향 필터를 적용하여 영상을 기본 계층과 (base layer) 세부 계층으로 (detail layer) 분해한 후 기본 계층에 대해서는 동적 범위에 맞게 확장하고, 세부 계층에 대해서는 디테일을 복원하기 위해 선형 사상 함수를 적용하였다. 실험을 통해서 다른 iTMO 방법에 비해 세부 사항을 효과적으로 복원할 수 있음을 확인할 수 있었다.

1. 서론

최근 IFA 2015 와 CES 등의 각종 가전쇼에서 상용 HDR TV 가 소개됨에 따라 HDR 디스플레이의 보급이 점차 가시화되고 있다. 그에 비해 현존하는 대부분의 영상 콘텐츠는 LDR 영상들이며, 향후에도 얼마간은 많은 영상들이 LDR 영상으로 제작될 것으로 예측된다. 따라서 기존의 LDR 영상들을 HDR 디스플레이에서 시청할 수 있도록 하는 방법이 필요한데, 이를 역 톤 매핑 알고리즘이라고 한다.

역 톤 매핑 알고리즘은 여러 논문들을 통해 소개된 바가 있다 [1, 2, 3, 4]. 이들 방법의 목적은, 입력된 LDR 영상의 동적 범위보다 출력 HDR 디스플레이의 동적 범위 넓기 때문에 이에 맞추어 입력 LDR 영상의 동적 범위를 확장시키는데 있다.

그러나 이런 방법들은 모두 LDR 영상의 동적 범위를 확장시키는 목적만을 위해 설계되어, 동적 범위의 한계로 인해 LDR 영상에서 사라진 세부 사항을 복원하지는 못한다는 한계가 있다. 본 논문에서는, 이전 방법들의 이 같은 한계점을 극복하고 입력 LDR 영상의 동적 범위 확장은 물론 사라진 세부 사항을 복원하는 새로운 역 톤 매핑 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 기존의 역 톤 매핑 방법에 대해서 소개하고, 3 장에서는 양방향 필터와 선형 사상 함수를 이용한 역 톤 매핑 방법을 제안한다. 4 장에서는 본 논문의 제안 방법의 성능을 실험을 통해서 확인한다.

마지막으로 5 장에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

2. 기존의 역 톤 매핑 방법

앞서 기술한 대로 기존의 역 톤 매핑 방법은 LDR 영상의 동적 범위를 그보다 넓은 HDR 디스플레이의 동적 범위에 맞추도록 확장 시키는 것이 그 목적이었다. 이 같은 목적을 달성하기 위해서 몇몇 방법이 제안되었는데, 이 방법들 모두 입력 LDR 영상에 역 감마를 (gamma) 취해서 휘도영역에서 (luminance domain) 연산하였다. [1]에서는 Reinhard 의 톤 매핑 방법 [5]의 역 함수를 계산하여 입력 LDR 영상에 적용하여 초기 HDR 영상을 생성한다. 그와 동시에 LDR 영상에 median cut 을 적용하여 확장 지도를 (expand map) 생성한다. 초기 HDR 영상과 원본 LDR 영상의 밝기 값에 대해 확장 지도의 값을 계수로 한 내분 점을 계산해서 최종 HDR 영상을 계산한다. [2]에서는 LDR 영상에서 diffuse 영역과 specular 영역을 나누는 기준 밝기 값 ω 와 이 때의 출력 밝기 값 ρ 를 기준으로 정한다. L_{max} 가 HDR 디스플레이의 최대 밝기 일 때, $(0, 0)$ 과 (ω, ρ) 를 잇는 선형함수와 (ω, ρ) 와 $(1, L_{max})$ 를 잇는 선형함수를 만들어서 영상 전체에 대해 이 곡선을 적용하여 HDR 영상을 생성한다. [3]에서는 단순히 입력 LDR 영상을 휘도영역으로 변환하고, 이를 출력 HDR 디스플레이의 최대 값에 맞추도록 선형적으로 확장시켰다. [4]에서는 입력 LDR 영상에서 픽셀 값이 임계치를 넘는 위치들과 에지 (edge)

정보를 이용하여 확장 지도를 만들어서 입력 LDR 영상에 확장 지도를 적용하여 최종 HDR 영상을 만들어 낸다.

3. 제안 방법

2 장에서 소개한 역 톤 매핑 방법들은 모두 입력된 LDR 영상의 동적 범위를 출력 HDR 디스플레이의 동적 범위에 맞춰 확장하는 것이 그 목적이었다. 따라서 HDR 영상으로 획득되었다면 보존되었겠지만 LDR 영상으로 획득되었기 때문에 사라진 세부 사항의 명암은 (contrast) 복원하지 못한다는 제약이 존재한다. 이 같은 한계를 극복하기 위해 본 논문에서는 새로운 역 톤 매핑 방법을 제안한다. 그림 1 은 제안하는 역 톤 매핑 방법의 순서도를 나타낸다.



그림 1. 제안 방법의 순서도

LDR 영상이 입력되면, 양방향 필터를 적용하여 기본 계층과 세부 계층으로 분해한다. 기본 계층에 대해서는 [0-1]로 정규화된 LDR 영상의 휘도를 (luminance) L_{max} 가 HDR 디스플레이의 최대 밝기일 때, [0- L_{max}] 범위로 선형적으로 확장시킨다. 이는 [3]에서 적용된 방법과 마찬가지로 [3]에서와는 다르게 기본 계층의 휘도만을 확장한다. 이와 동시에 세부 계층에 대해서는 선형 사상 함수를 적용한다. 그림 2 는 선형 사상 함수의 개념을 나타낸다.

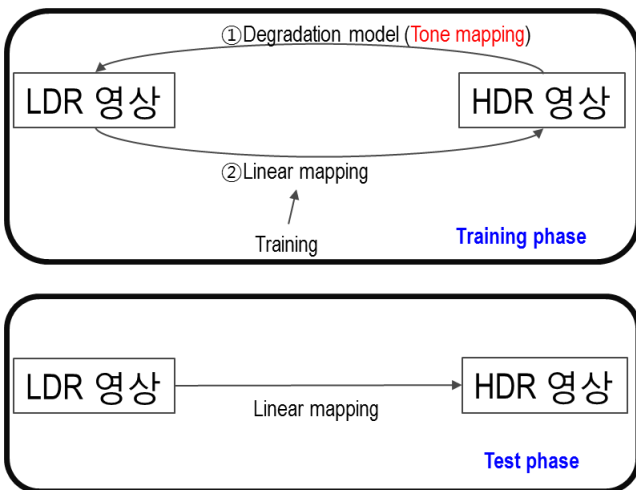


그림 2. 선형 사상 함수의 개념도

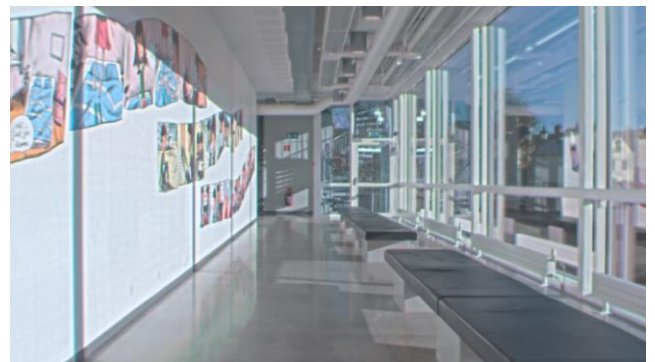
훈련 과정에서는 HDR 영상에 대해 톤 매핑을 적용하여 LDR 영상을 만들어 낸 후, 영상을 패치 (patch)로 분할하여 LDR 영상 세부 계층의 패치와 HDR 영상 세부 계층의 패치 사이의 관계를 설명하는 선형 함수를 학습한다[6]. 그 후 시험 과정에서는 입력된 LDR 영상의 세부 계층에 학습된 선형 사상 함수를 적용하여 HDR 영상의 세부 계층을 계산한다. 최종적으로 기본 계층과 세부 계층을 곱해서 HDR

영상을 출력한다.

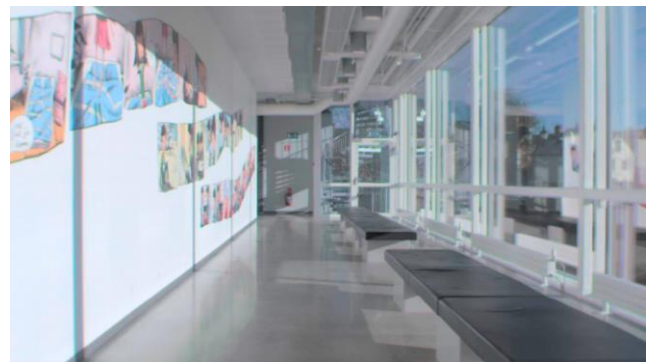
4. 실험 결과

그림 3 은 3 장에서 제안한 알고리즘을 적용하여 얻은 HDR 영상과 기존의 역 톤 매핑 방법을 통해 얻은 HDR 영상을 비교하여 제시한다.

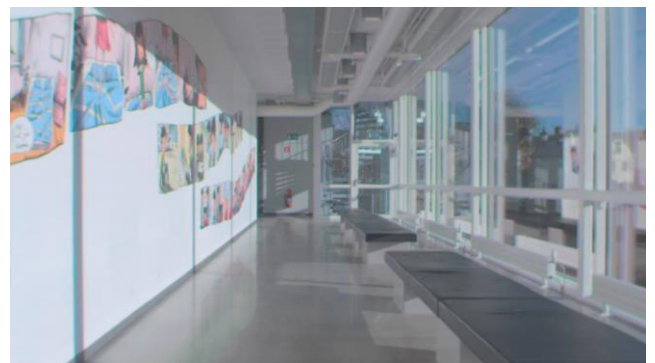
그림 3 과 그림 4 에서 볼 수 있듯이 제안 알고리즘이 기존의 방법보다 세부 사항의 명암을 더 잘 복원함을 알 수 있다. 그림 3 의 왼쪽 벽면에 그려진 그림을 살펴보면 제안 알고리즘은 그림의 세부 사항이 선명한 반면에 기존의 역 톤 매핑 방법은 그렇지 못한 것을 볼 수 있다. 이 같은 현상은 그림 4 에서도 동일하게 확인할 수 있다.



(a) 제안 알고리즘



(b) Akyuz [3]



(c) Meylan [2]

그림 3. 제안 알고리즘과 기존 방법 비교 1



(a) 제안 알고리즘



(b) Akyuz [3]



(c) Meylan [2]

그림 4. 제안 알고리즘과 기존 방법 비교 2

그림 4 의 중앙에 있는 액자와 액자 아래의 털 문치를 살펴보면 제안 방법이 영상의 세부 사항의 명암을 더 선명하게 복원하였음을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 LDR 영상을 입력으로 받아 HDR 디스플레이의 동적 범위에 맞도록 LDR 입력 영상의 동적 범위를 확장시키는 역 톤 매핑 방법을 제안하였다. 기존의 역 톤 매핑 방법들과는 다르게 세부 사항을 복원하기 위해 양방향 필터를 적용하여 기본 계층과 세부 계층으로 분해하여 각각 동적 범위 확장 연산과 선형 사상 함수를 적용하였다. 실험을 통해 제안 방법과 기존의 역 톤 매핑 방법을 비교하여, 제안 방법이 주관적으로 더 우수한 HDR 영상을 생성할 수 있음을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] F. Banterle, P. Ledda, K. Debattista and A. Chalmers, "Inverse Tone Mapping," *Proc. Int'l Conf. Computer Graphics and Interactive Techniques (GRAPHITE)*, pp. 349-356, 2006.
- [2] L. Meylan, S. Daly and S. Süsstrunk, "The Reproduction of Specular Highlights on High Dynamic Range Displays," *Proc. Color Imaging Conf.*, 2006.
- [3] A.O. Akyüz, R. Fleming, B.E. Riecke, E. Reinhard and H.H. Bühlhoff, "Do HDR Displays Support LDR Content? A Psychophysical Evaluation," *Proc. ACM SIGGRAPH*, p. 38, 2007.
- [4] A.G. Rempel, M. Trentacoste, H. Seetzen, H.D. Young, W. Heidrich, L. Whitehead and G. Ward, "Ldr2hdr: On-the-Fly Reverse Tone Mapping of Legacy Video and Photographs," *Proc. ACM SIGGRAPH*, p. 39, 2007.
- [5] E. Reinhard, M. Stark, P. Shirley and J. Ferwerda, "Photographic Tone Reproduction for Digital Images," *Proc. ACM SIGGRAPH*, vol. 21, no. 3, pp. 267-276, 2002.
- [6] Jae-Seok Choi and Munchul Kim, "Super-Interpolation With Edge-Orientation-Based Mapping Kernels for Low Complex 2x Up-Scaling," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 25, issue 1, pp. 469-483, Jan. 2016.