

프레임 평균 밝기를 이용하여 프레임간 깜박임 현상을 줄이는 HDR 동영상 톤 매핑 방법

김대은, *김문철
한국과학기술원

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

A HDR video tone mapping operator reducing the flickering artifact by using average luminance of frames

Dae Eun Kim and *Munchurl Kim

Korea Advanced Institute of Science and Technology

요 약

본 논문은 HDR(high dynamic range) 동영상을 기존의 LDR(low dynamic range) 디스플레이 단말에 표현하기 위해 톤 매핑을 수행할 때 발생할 수 있는 프레임간 깜박임 현상(flickering artifact)을 줄이는 방법에 관한 연구이다. HDR 동영상의 톤 매핑 문제에 있어 HDR 정지영상을 대상으로 개발된 많은 톤 매핑 방법을 그대로 적용하는 경우 시간 축 정보가 고려되지 않아서 깜박임 현상이 발생하여, 주관적 화질을 떨어뜨리는 결과를 초래한다. 이러한 프레임간 깜박임 현상을 줄이기 위해, 본 논문에서는 프레임의 평균 밝기 정보를 이용하여 HDR 동영상 톤 매핑 과정에서 프레임간의 밝기 일관성이 유지하도록 하는 방법을 제안한다.

1. 서론

최근 UHD TV 등의 보급과 함께 실감형의 고품질 동영상 콘텐츠에 대한 수요가 극대화 되고 있다. 영상 콘텐츠의 최종 소비자인 사람의 눈은 해당 콘텐츠가 모니터를 통해 보여질 때, 화면이 실제 장면과 유사하게 느껴질수록 고품질의 동영상이라고 판단한다. 이러한 유사성은 화면 내의 픽셀 수 외에도 초당 프레임 수나 색채의 풍부함, 그리고 표현할 수 있는 명암비(contrast ratio) 등에 의해 결정된다. 사람의 눈이 받아들일 수 있는 가장 어두운 빛과 가장 밝은 빛의 밝기 차이를 명암비라고 하며 이는 일반적으로 $1:10^{10}$ 정도라고 알려져 있고, 동시에 받아들일 수 있는 장면의 명암비는 $1:10,000$ 정도라고 알려져 있다[4]. 그러나 일반적인 디지털 카메라로 획득되어 모니터에 표현되는 디지털 영상의 명암비는 $1:100$ 에서 $1:1000$ 정도의 수준으로서, 표현 가능 빛의 명암비 범위가 사람 눈이 받아들이는 범위에 비해 상당히 작다. 그렇기 때문에 모니터를 통해 보여지는 화면은 실제 장면과 상당한 차이가 발생한다. 이 문제를 해결하고 디지털 영상을 실제 장면과 더 유사하게 만들기 위해 High Dynamic Range (HDR) 영상처리 방법에 관해 많은 연구가 진행되고 있다.

HDR 영상은 기존의 디지털 영상과 비교하여 scene-referred 영상이라고도 불린다[1]. 일반적으로 기존의 디지털 영상은 RGB 칼라 성분별로 256 단계의 화면 밝기 값으로 표현되어 모니터의 특성에 따라 영향을 받는 것에 비해 HDR 영상은 실제 장면의 상대적인 radiance 값을 소수점 정확도까지 표현하여 실제 장면의 밝기 값을 유사하게 표현한다. 이렇듯 HDR 영상과 LDR 영상은 화소값의 명암비를

표현하는데 있어 근본적인 차이가 있기 때문에 HDR 영상을 LDR 디스플레이에 재현하기 위해서는 LDR 디스플레이상에서 표현되는 화소 값의 동적 범위 내로 변환하는 톤 매핑이라고 불리는 과정이 필요하다. 본 논문에서는 이제까지 여러 논문들을 통해 소개되어온 HDR 톤 매핑에 대한 연구들을 간략하게 소개하고, 기본 HDR 동영상에 대한 톤 매핑 방법을 개선할 수 있는 방안에 대해 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 HDR 정지영상이나 동영상을 톤 매핑하는 기존 방법에 대해 소개하고, 3 장에서는 기존 HDR 동영상 톤 매핑 방법의 개선 방안을 제안한다. 마지막으로 4 장에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

2. HDR 정지영상 및 동영상의 톤 매핑

언어인 HDR 정지영상 또는 동영상은 기존의 LDR 모니터로 바로 보거나 프린터로 출력할 수 없다. 이는 기존 LDR 모니터나 프린터로 표현할 수 있는 명암비가 HDR 영상의 명암비에 비해 상당히 작은 범위이기 때문이다. 이를 해결하기 위해 HDR 영상의 넓은 명암 범위를 좁은 명암 범위로 대응시켜 압축시키는 방법을 톤 매핑이라고 한다. 톤 매핑 방법을 크게 두 가지로 구분하면 전역(global) 톤 매핑과 지역(local) 톤 매핑으로 나눌 수 있다[1]. 전역 톤 매핑은 영상 전체에 하나의 함수를 이용해 HDR 영역에서 LDR 영역으로 매핑 시킨다. 사용되는 매핑 함수로는 선형 함수나 로그함수나 시그모이드 (sigmoid) 함수 등이 있다. 전역 톤

매핑을 이용하는 경우 계산이 복잡하지 않지만 부분적인 영역의 디테일이 손상될 가능성이 있다. 한편, 지역 톤 매핑은 처리하고자 하는 픽셀의 주변 픽셀을 이용해 픽셀마다 서로 다른 매핑 함수를 적용하는 것이다. 지역 톤 매핑은 전역 톤 매핑에 비해 복잡한 연산을 요구하며, 부분적인 디테일을 잘 유지할 수 있다. 그러나 지역적인 특성에 너무 치중하게 되면 밝기 차이가 큰 에지 부근에서 밝기가 지나치게 부각되는 할로 현상(halo artifact)이 발생할 수 있다. [3]에서는 영상을 베이스 계층과 디테일 계층으로 분해하여 디테일을 보존하며 베이스 계층의 명암비를 압축하는 방식을 적용하였고, [4]에서는 주변 픽셀 값의 평균 값을 이용해 톤 매핑 함수를 픽셀마다 변경하는 지역 톤 매핑 방법을, [5]에서는 빛에 대한 사람의 반응을 모사하여 명암비를 압축하는 방법을 적용하였다. 이 외에도 톤 매핑에 대해 많은 연구들이 진행되어 왔다.

HDR 정지영상에 대한 톤 매핑 방법에 비해 동영상 톤 매핑의 경우 아직 연구되어야 할 부분이 상당히 많이 남아있다. 양질의 HDR 동영상 데이터가 상대적으로 부족하기 때문에 HDR 정지영상에 대한 연구에 비해 HDR 동영상에 대한 톤 매핑 연구는 상대적으로 덜 진행되어 왔다[6]. HDR 정지영상에 적용되던 톤 매핑 방법을 그대로 HDR 동영상 톤 매핑에 적용하면 깜박임 현상 (brightness flickering artifact)이 발생하거나 시간 축에 따른 밝기 변화를 잘 표현하지 못하는 문제가 발생한다. 또는 프레임 간의 변화가 거의 정적이라는 가정을 두고 시간축 정보를 고려하는 경우 전후 화면의 잔상이 발생하는 고스트 현상(ghosting artifact)이 발생하기도 한다. 이를 해결하기 위해 [7]에서는 전후 프레임들 간의 광흐름(optical flow)을 계산하여 보정한 정보를 시간축 정보로 활용하는 방법을 이용했다. 또 [8]에서는 기존의 정지영상 톤 매핑 방법 2 가지를 적용적으로 적용시킨 후, 프레임간의 깜박임 현상을 완화하기 위해 프레임의 평균 밝기 차이가 일정 임계치를 넘으면 임계치 안으로 들어오도록 밝기를 재 조정하는 방법을 적용했다. [7]의 경우 광흐름을 계산해야 하며, 반복적인 필터링 적용 등 상당한 계산량이 소요된다. [8]의 경우 깜박임 현상을 줄이기 위해 지나치게 간단한 방법을 적용하였는데, 프레임 밝기가 실제로 변하는 경우를 고려하지 못했다. 이 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 기존의 동영상 톤 매핑 방법의 개선 방안을 제안한다.

3. 제안하는 개선된 HDR 동영상 톤 매핑 방법

그림 1 은 제안하는 HDR 동영상 톤 매핑 방법의 블록도를 나타낸다. 제안하는 방법은 기존의 어떤 정지영상 톤 매핑 방법이라도 적용할 수 있는 후처리 필터 개념의 방법이다.

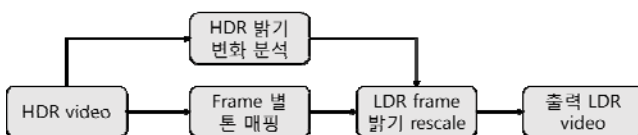


그림 1. 제안 방법의 흐름도

그림 1 에서와 같이 입력된 HDR 동영상의 각 프레임에 기존의 정지영상 톤 매핑 방법을 이용해서 톤 매핑한다. 그 후 실제 HDR 동영상의 밝기 변화에 맞춰 톤 매핑된 LDR 영상의 밝기를 재 조정한다. HDR 동영상의 각 프레임별 평균 밝기는 다음과 같이 계산한다.

$$\bar{L}_w = \exp\left(\frac{1}{N} \sum_{i \in I} \log(\delta + L_w(i))\right) \quad (1)$$

여기서 \bar{L}_w 는 평균 밝기, i 는 픽셀 위치, I 는 프레임 내의 모든 픽셀의 집합, $L_w(i)$ 는 i 번째 픽셀의 밝기 값을 의미한다. 식 (1)을 통해 계산된 HDR 영상 밝기의 평균값이 이전 프레임과 밝기 비율 차이가 크지 않다면 실제로는 밝기가 일정한 것으로 판단하여 톤 매핑된 LDR 영상에서도 이전 프레임과의 평균 밝기 차이가 주어진 밝기 차이 비율의 변화량 이내로 줄어들도록 밝기 값을 재조정한다. 즉 밝기 값 비율 변화에 대한 임계값을 5%로 설정하는 경우, 식 (1)을 통해 계산된 HDR 영상 밝기의 평균 값이 5% 이상의 차이를 보인다면 그것은 실제로 밝기가 변하는 부분이므로 톤 매핑된 LDR 영상의 밝기 값에 추가적인 후처리 과정을 적용하지 않는다. 이와 같은 방법을 통해, 기존 방법[7]에 비해 매우 적은 계산량을 소모하는 동시에 [8]에서 해결하지 못한 실제로 프레임간의 밝기 값이 변하는 문제를 해결할 수 있게 된다.

4. 결론

본 논문에서는 HDR 정지영상 톤 매핑 방법을 HDR 동영상에 적용하는 경우 발생하는 깜박임 현상을 효과적으로 줄이는 동영상 톤 매핑 방법을 제안하였다. 프레임간에 실제로 밝기 변화가 있는 부분과 톤 매핑 과정을 지나면서 깜박임 현상이 발생하므로 인해 발생한 밝기 변화를 구분하여 후처리를 적용했다. 이 같은 방법을 통해 계산량을 줄이면서도 효과적으로 깜박임 현상을 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 논문 연구는 연구재단 중견연구자사업 핵심연구(개인) 과제(과제번호: 2014R1A2A2A01006642)로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] E. Reinhard, G. Ward, S. Pattanaik and P. Debevec, *High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display and Image-Based Lighting*, 2005: Morgan Kaufmann.
- [2] P. Debevec and J. Malik, "Recovering high dynamic range radiance maps from photographs," *Proc. SIGGRAPH*, pp. 369-378 1997.
- [3] F. Durand and J. Dorsey, "Fast bilateral filtering for the display of high-dynamic-range images," *Proc. SIGGRAPH*, pp. 257-266, 2002.
- [4] E. Reinhard, M. Stark, P. Shirley and J. Ferwerda, "Photographic Tone Reproduction for Digital Images," *ACM Trans. Graphics*, vol. 21, no. 3, pp. 267-276, 2002.
- [5] F. Drago, K. Myszkowski, T. Annen and N. Chiba, "Adaptive Logarithmic Mapping for Displaying High Contrast Scenes," *Computer Graphics Forum*, vol. 22, no. 3, pp. 419-426, 2003.
- [6] G. Eilertsen, R. Wanat, R.K. Mantiuk and J. Unger "Evaluation of the tone mapping operators for HDR-Video," *Comput. Graph. Forum*, vol. 32, no. 7, pp. 275-284, 2013. [online] Available: <http://dx.doi.org/10.1111/cgf.12235>
- [7] T. O. Aydin, N. Stefanoski, S. Croci, M. Gross and A. Smolic, "Temporally coherent local tone mapping of HDR video," *ACM Trans. Graphics*, vol. 33, no. 6, pp. 196:1-196:13, 2014.
- [8] H. Shahid, D. Li, A. Fanaswala, M. T. Pourazad, and P. Nasiopoulos, "A New Hybrid Tone Mapping Scheme for High Dynamic Range (HDR) Videos," *IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 351-352, 2015.