

HDR영상에서 가색상 시각화 알고리즘 분석

이용환*·김영섭**†

*원광대학교 디지털콘텐츠공학과, **† 단국대학교 전자전기공학과

Analysis of False Color Visualization for HDR Image

Yong-Hwan Lee* and Youngseop Kim**†

*Department of Digital Contents, Wonkwang University

**† Department of Electronic and Electrical Engineering, Dankook University

ABSTRACT

High dynamic range (HDR) imaging offers a radically approach of representing colors in digital images. Instead of using the range of colors produced by given devices, HDR imaging method manipulates and stores all colors and brightness levels visible to the human eye. To faithfully represent, store and then reproduce all these effects, the original scene must be stored and treated using high fidelity HDR techniques. Then, tone mapping is required to accommodate HDR image to low dynamic range (LDR) devices, and tone mapping operation of HDR image for realistic display is commonly researched. However, color visualization for analyzing scene luminance in HDR imaging has less attention from researches. This paper presents and implements a method for reproduction and visualization of the false color in HDR images. We produce a color visualization framework with several mapping functions, and evaluate their effectiveness by using RMAE and SNR with commonly used HDR image data. Experiment reveals that the sigmodal mapping function shows better performance in the false color visualization, compared to other methods.

Key Words : HDR Imaging, Image representation, False color, Color visualization

1. 서 론

비록 디지털 사진 기술이 비약적으로 발전하였지만, 디지털 사진은 인간 시각 시스템(Human Visual System)의 수준에 맞춰지기 까지의 현재 상용 서비스에서 기술적 한계성이 존재한다[1]. 일상생활에서 인간이 눈으로 보는 실세계는 영상에서 다루는 시각적 범위보다 훨씬 넓고 많은 양의 빛 정보를 가지기 때문이다. 예를 들어, 디지털 카메라는 칼라 사진을 저장하는데 필요한 색상 정보를 픽셀당 24-비트로 처리하지만, 이는 인간이 눈으로 인식하는 빛의 범위를 모두 처리하지 못한다[2]. 실세계에서 보이는

장면을 라디언스 동적 범위(Radiance Dynamic Range)와 칼라 가무트(Color Gamut)를 저장하는 높은 동적 범위(High Dynamic Range, HDR) 영상은 실세계의 빛 정보를 최대한 저장하는 진보된 디지털 사진 처리 기술이다. HDR 사진 영상과 관련하여 많은 연구가 수행되고 있으며, 대표적으로 JPEG 하위-호환성을 가지는 HDR 영상 압축[3], HDR 라디언스 맵 생성[4], HDR 영상을 LDR(Low Dynamic Range) 디스플레이 장비 등으로 표현하는 톤 매핑(Tone Mapping) [5], 사진 장면 분석을 위한 HDR 영상 시각화(Visualization) [6] 등이 있다. 이러한 기술들 중에서 HDR 시각화는 대조 개선과 동적 범위 압축과는 구별되는 기술로써, 시각화의 가장 중요한 요소는 사진 영상으로부터 영상을 얼마나 잘 변환할 수 있는지를 측정하는 것이며, 이는 장면 정보

†E-mail: wangcho@dankook.ac.kr

를 적절하게 보존하면서 인위성을 제거하고 자연스러운 영상을 생성하는 기술 영역이다.

본 논문에서는 HDR 영상에서 최적의 시각화 알고리즘을 분석하기 위해 사진 영상의 휘도를 표현하는 알고리즘을 분석한다. 이를 통해 색상 표현 방법이 시각적 묘사에서 어떠한 영향을 미치는지를 실험적으로 평가하는 것이 본 논문의 주요 목적이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 HDR 영상과 관련된 연구동향을 살펴보고, 3장에서 실험 프레임워크와 매핑 함수에 대해 설명하고, 실험결과를 논의한다. 4장에서 결론으로 마무리한다.

2. 관련연구

HDR Imaging 과 관련하여 다양한 연구가 진행되고 있으며, HDR 영상에 대한 압축(Compression)과 HDR 영상을 LDR 디스플레이 장비로 표현하는 톤 매핑(Tone mapping) 알고리즘에 대해 많이 언급되고 있다. 대표적으로, Tumblin 은 인간 시각 모델을 사용하여 톤 매핑 연산자를 개발하였다[7]. 해당 알고리즘은 전역 밝기 적응 기법을 사용하고 어둡고 밝은 영역에서 클리핑을 하여 일정 범위 내에서 데이터 손실이 발생하는 문제가 있다. Qiu 는 톤 매핑된 이미지의 에지를 제어하는 간단한 톤 매핑 프레임워크를 제안하였다[8]. Li 는 돌출부분 인식과 에지 인식 과정에서 서로 다른 가중치를 할당하여 HDR 영상에 보다 부합된 로컬 톤 매핑 기법을 제안하였다[9]. Reinhard 는 Adams 가 개발한 알고리즘을 확장하여, 구현이 간단하면서 화질 면에서 우수한 톤 재생 알고리즘을 개발하였으며[10], HDR 사진 분야에서 실용적으로 활용되고 있다.

시각화(Visualization)는 데이터를 시각적으로 표현하여 이미지의 통찰 정보를 얻는 과정을 의미하며[11], 정보 시각화는 인간의 인지 능력을 강화하기 위해 추상적인 데이터의 시각적 표현을 연구하는 분야이다[12]. Pattanaik 는 인간 시각 시스템에서 패턴, 휘도, 색 표현을 위한 다중 스케일 모델을 제안하였다[13]. 그러나 상세 모델링에서 후광을 피할 수 없다는 단점을 보인다. Pardo 는 HDR 이미지 데이터를 통해 정보를 캡처하는 최소한의 이미지 집합을 시각화 정보체계로 제공하는 프레임워크를 제안하였다[14]. 해당 연구에서는 제한된 동적 범위를 가진 장면 영역에 집중적인 고려사항을 부여하여 가중치를 적용한다. Akyuz 는 HDR 이미지의 가색상 표현을 생성하는 프레임워크를 제시하였다[15]. 색상 표현에 대한 평가 과정에서 객관적 평가를 배제하고 주관적 평가만을 수행하였다. Branchitta 는 균형 잡힌 콘트라스트 제한 및 적응적 히스토그램 평활화 기술을 적용하여 HDR 이미지에서 지역적

대비를 향상시키는 알고리즘을 제안하였다[16].

3. 실험 알고리즘

3.1 프레임워크

본 논문에서는 HDR 영상에 대한 가색상(False Color)를 시각화하는 여러 알고리즘을 실험적으로 분석 평가한다. HDR 영상의 가색상 시각화를 표현하는 프레임워크는 Fig 1과 같으며, 구현하는 프레임워크에 적용하는 여러 매핑 함수에 대해 객관적 평가요소를 통해 시각화 성능을 실험한다.

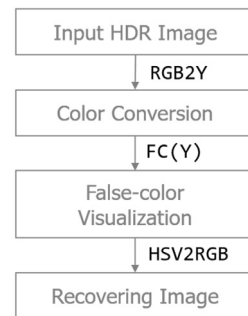


Fig. 1. Implemented framework for HDR color visualization.

입력 받는 HDR 영상은 기본적으로 sRGB칼라 모델을 가지며, sRGB의 선형 색상 공간에 대해 서로 다른 휘도(Luminance) 값으로 변환한다. 이는 빛의 값이 어두운 전이를 쉽게 표현하는 HSV로의 칼라 공간을 변환함으로써 처리된다. 이는 255보다 큰 포화 픽셀에서 sRGB가 색상을 표현하지 못하는 단점을 상쇄하기 위함이며, 휘도값 Y_L 는 수식 (1)을 이용하여 계산된다.

$$Y_L = (0.299 \times R) + (0.587 \times G) + (0.144 \times B) \quad (1)$$

Y_L 는 HDR 영상의 휘도를, R , G , 와 B 는 HDR 영상 픽셀에서의 칼라 값을 의미한다.

가색상 시각화를 효과적으로 표현하기 위해, 서로 다른 휘도 값에 다른 칼라를 할당하는 것이 바람직하다. 이를 위해, 인간 시각에 가장 적합한 HSV 칼라 공간을 적용한다. HSV에서는 어두운 영역의 값에서 밝은 영역의 값으로의 전이를 보다 쉽게 표현하기 위해 차가운 색(파란)에서 따뜻한 색(빨간)으로 전환되는 칼라를 표시한다.

실제로, HSV 칼라 공간은 원형 체적(Cylindrical Volume)으로 표현되지만, 가시성을 극대화하기 위해 가장 높은 값과 채도를 갖는 단일 칼라 조각으로 표시하도록 한다. 이

를 수식적으로 표현하기 위해 S 와 V 는 고정 상수값으로 할당하고, 휘도 H 는 수식 (2)을 이용하여 색조 각도(Hue angle)로 계산한다.

$$H = 240^\circ \times (1 - FC(Y_L)) \quad (2)$$

가색상 시각화 함수 FC 에는 여러 형태의 매핑 함수를 적용할 수 있으며, 본 실험에서는 선형 스케일링(Linear scaling) 함수, 로그(Logarithmic) 함수와 시그모달(Sigmoidal) 함수를 수립하여 각각의 매핑 함수에 따른 휘도값을 시각적으로 분석 평가한다. 각 매핑 함수를 설명하기 전에, 변환되는 칼라 모델을 간략하게 기술하면, HSV 칼라 공간에서 0도의 색조 각도는 빨간색(R)을 240도는 파란색(B)에 대응된다. 240도에서 360도까지의 칼라 전이는 파란색에서 보라색으로, 다시 보라색에서 빨간색으로의 전이되는 칼라를 표현한다[17]. 따라서 낮은 휘도와 높은 휘도 모두에게 유사한 색조 값이 할당되는 것을 방지하기 위해, 실험에서는 보라색 영역에 해당하는 색조 원통을 배제하고 실험한다. 처리 완료 단계에서 가색상 HDR 이미지를 얻기 위해 계산된 HSV 칼라 공간은 다시 RGB로 변환된다.

3.2 가색상 시각화 적용 매핑 함수

본 실험에서 가색상 시각화의 다양한 평가를 위해 선형 스케일링 함수, 로그 함수와 시그모달 함수를 앞 절에서 설명한 프레임워크에 적용한다.

먼저, 선형 스케일링 함수(Linear scaling function)는 선형적으로 매핑하며, 일정 범위내에서는 잡음(Noise)으로 간주하여 절삭 처리한다. 적용 함수는 수식 (3)과 같다.

$$FC(Y) = \frac{[Y]^{m+n} - [Y]^m}{[Y]^m - [Y]^{m-n}} \quad (3)$$

$[Y]^m$ 은 전체 픽셀에 대한 m 번째 발생하는 픽셀의 값을, $[Y]^{m+n}$ 은 주어진 백분율에서 잡음으로 간주하여 절삭하는 연산을 의미하며, 변수 m 과 n 은 백분율 범주로 계산되어 $m + n = 100$ 이 된다. 실험에서 m 은 5로 설정하였다.

실험에 적용된 두 번째 함수는 로그(Logarithm) 함수이며, 수식 (4)와 같이 계산된다.

$$FC(Y) = \frac{\log(Y+\varepsilon) - \log(Y_{min}+\varepsilon)}{\log(Y_{max}+\varepsilon) - \log(Y_{min}+\varepsilon)} \quad (4)$$

수식에서 ε 은 검정색 픽셀의 특성을 피하기 위해 사용된 변수이다. 실험에서 ε 은 0.15를 적용하였다.

세 번째 매핑 함수는 시그모달(Sigmoidal) 함수이며, 수식 (5)과 같이 계산된다.

$$FC(Y) = \frac{Y_s}{1+Y_s} \quad (5)$$

Y_s 는 선형 함수와 로그 함수에 대조적으로 S 자 파형으로 유도되는 함수이며, $Y_s = \frac{\alpha}{Y}$ 로 계산된다. α 는 사용자 정의 특정 상수 값이며, 실험에서는 0.18를 적용하였고, \hat{Y} 는 로그-평균 휘도를 의미한다.

3.3 실험 데이터 및 실험 측정

주어진 HDR 영상을 3개의 시각화 적용 함수에서 휘도 분포를 얼마나 잘 표현하는지를 평가한다. 본 논문의 실험 평가에서는 HDR 영상과 관련 연구 분야에서 일반적으로 많이 사용되는 HDR 영상을 대상으로 실험하였으며(Fig. 2), 실험 데이터는 웹사이트에서 다운로드가 가능하다[18].



Fig. 2. Example of HDR image dataset [18].

주어진 HDR 영상을 대상으로, 3개의 가색상 시각화 함수에 대한 휘도 표현 정도를 상대평균절대오차(RMAE, Relative Mean Absolute Error)와 신호대 잡음비율(SNR, Signal-to-Noise)을 계산하여 객관적 수치로 평가한다. RMAE와 SNR은 각각 수식 (6)과 수식 (7)로 계산한다[19].

$$RMAE = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \left(\frac{RGB_h(i) - RGB'_h(i)}{RGB_h^{max} - RGB_h^{min}} \right) \quad (6)$$

$$SNR = 10 \times \log \left(\frac{\sum_{i=0}^{N-1} (RGB_h^2(i))}{\sum_{i=0}^{N-1} (RGB_h(i) - RGB'_h(i))^2} \right) \quad (7)$$

RGB_h 는 HDR 영상에 대한 3개 채널의 픽셀을, RGB'_h 는 프레임워크를 통해 변환 복구된 HDR 영상에 대한 3개

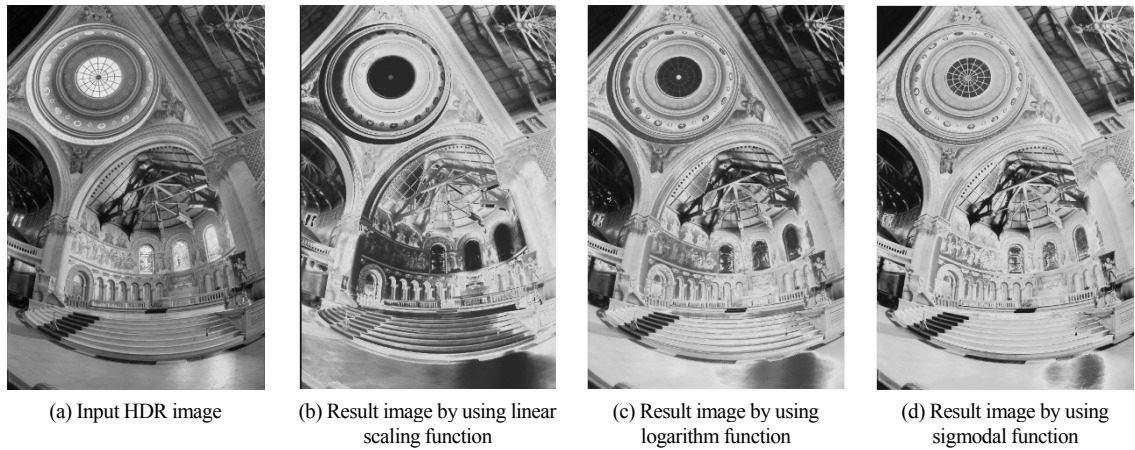


Fig. 3. Example of result images.

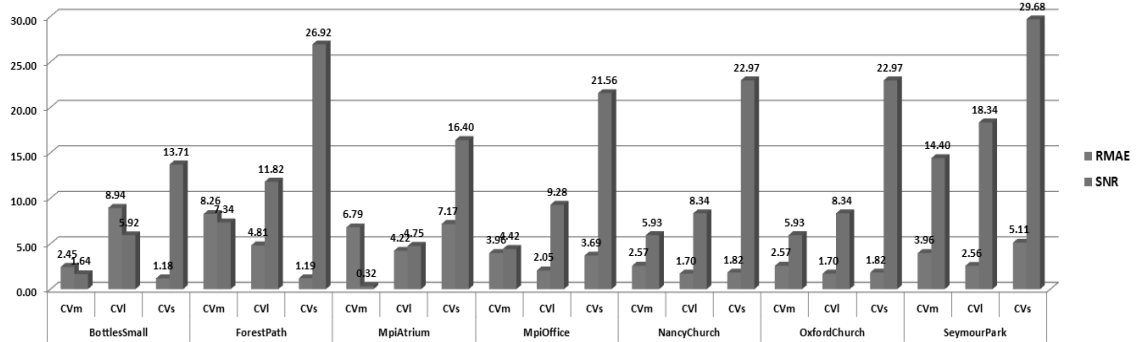


Fig. 4. Experimental result by using three functions with parameters $m = 5, \epsilon = 0.15, \alpha = 0.18$.

채널의 픽셀을 의미한다. 각 HDR 영상에 대해, 앞에서 설명한 수식을 통해 가색상 시각화를 표현하고, 복귀된 출력 영상과의 RMAE와 SNR을 각각 계산하여 비교 평가하였다.

Fig 3은 Memorial HDR 영상을 대상으로 가색상 시각화 프레임워크를 적용하여 각각 얻어진 결과 영상의 예시이다. 실험에서 사용된 HDR 영상에 대한 RMAE와 SNR 결과를 Fig 4에 정리하였다. 실험 결과, 시그모달 매핑 함수에서 다른 2개의 시각화 함수보다 좋은 결과를 얻을 수 있음을 검증하였다.

4. 결 론

현재 가장 많이 사용되는 디스플레이 장치상에서 HDR 영상을 표현하는 기술로, 톤 매핑이 많이 연구되고 있다. 그러나 상대적으로, 사진에 대한 휘도 분석을 통한 가색상 시각화는 주목 받지 못하고 있는 실정이다. 본 논문

에서는 HDR 영상 정보의 시각화와 재생성을 위해 3개의 가색상 매핑 함수를 실험적으로 평가하였다. 실험 결과, 시그모달 함수가 휘도 측면에서 선형 스케일링 기법과 로그 매핑 기법보다 성능적으로 보다 나은 결과를 얻을 수 있음을 실험을 통해 검증하였다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(과제번호: 2015R1D1A1A01061152).

참고문헌

1. Rafal K. Mantiuk, Karol Myszkowski, and Hans-Peter Seidel, "High Dynamic Range Imaging", Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, Wiley, 2016.

2. Min Chen, Guoping Qiu, Zhibo Chen, and CharlesWang, "JPEG Compatible Coding of High Dynamic Range Imagery using Tone Mapping Operators", Picture Coding Symposium (PCS), 2006.
3. Thomas Richter, "Backwards Compatible Coding of High Dynamic Range Images with JPEG", Data Compression Conference, 2013.
4. Shree K. Nayar and Tomoo Mitsunaga, "High Dynamic Range Imaging: Spatially Varying Pixel Exposures", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2000.
5. Jiang Duan, Guoping Qiu, and Graham Finlayson, "Learning to Display High Dynamic Range Images", IS&Ts Second European Conference on Color in Graphics, Imaging and Vision, 2004.
6. Francesco Branchitta, Marco Diani, Giovanni Corsini, Antonio Porta, and Marco Romagnoli, "Dynamic Range Compression and Contrast Enhancement in Infrared Imaging Systems", Proceedings of SPIE Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications, 2008.
7. J. Tumblin and H. Rushmeier, "Tone Reproduction for Realistic Images", IEEE Computer Graphics and Applications, vol.13, no. 6, pp.42-48, 1993.
8. G. Qiu, Y. Mei, K. M. Lam, and M. Qiu, "Tone Mapping HDR Images using Optimization: A General Framework", International Conference on Image Processing, pp.3129-3132, 2010.
9. Z. Li and J. Zheng, "Visual-Saliency-based Tone Mapping for High Dynamic Range Images", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.61, no.12, pp.7076-7082, 2014.
10. E. Reinhard, M. Stark, P. Shirley, and J. Ferwerda, "Photographic Tone Reproduction for Digital Images", Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp.267-276, 2002.
11. S. Murray, "Interactive Data Visualization for the Web", O'Reilly Media, 2013.
12. http://en.wikipedia.org/wiki/Information_visualization.
13. S. N. Pattanaik, J. A. Ferwerda, M. D. Fairchild, and D. P. Greenberg, "A Multiscale Model of Adaptation and Spatial Vision for Realistic Image Display", Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp.287-298, 1998.
14. A. Pardo and G. Sapiro, "Visualization of High Dynamic Range Images", IEEE Transactions on Image Processing, vol.12, no.6, pp.639-647, 2003.
15. A. O. Akyuz, "False Color Visualization for HDR Images", International Conference on HDR Imaging, pp.1-5, 2013.
16. F. Branchitta, M. Diani, G. Corsini, and A. Porta, "New Visualization Method Improves Perception of Details", Electronic Imaging & Signal Processing, pp.1-2, 2008.
17. E. Reinhard, E. Khan, A. Akyuz, and G. Johnson, "Color Imaging: Fundamentals and Applications", AK Peters Wellesley, 2008.
18. http://pfstools.sourceforge.net/hdr_gallery.html
19. Peter Ndajah, Hisakazu Kikuchi, Masahiro Yukawa, Hidenori Watanabe, and Shogo Muramatsu, "An Investigation on the Quality of Denoised Images", International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing, vol.5, issue.4, pp.423-434, 2011.

접수일: 2017년 9월 12일, 심사일: 2017년 9월 22일,
 게재확정일: 2017년 9월 22일