

3차원 TV의 화질 향상을 위한 색상 톤 매핑

정길수 손광훈

연세대학교 전기전자공학과

khsohn@yonsei.ac.kr

Color Tone Mapping for Quality Improvement in 3DTV

Jung, Kilsoo Sohn, Kwanghoon

School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

요약

본 논문은 3차원 TV에 있어서, 인간의 색 순응에 근거하여 3차원 재생 방식에서도 2차원 재생 방식의 색상을 재현하기 위한 색상 톤 매핑 연산자를 제안한다. 이를 위하여 각 재생 방식에 따라 동일한 128단계의 무채색 색표를 이용한 색상 요소 입출력 관계 곡선을 측정 및 모델링하였고, 그 오차를 보정하기 위한 색상 톤 매핑 연산자를 도출하였다. 또한 도출된 색상 톤 매핑 연산자에 의한 색 포화 및 색 대비 왜곡을 완화하기 위하여 동적 영역 정규화를 실시하였다. 이를 통해 기존 3차원 영상 대비 10.13dB의 PSNR 개선 효과를 확인 할 수 있었다.

1. 서론

제한된 동적 영역(Dynamic Range)을 갖는 표시장치에 실세계의 영상을 재현하기 위한 다양한 톤 매핑(Tone Mapping) 방법이 연구되었다. 이들 방법은 전역적(Global) 톤 매핑 방법[1-3]과 국부적(Local) 톤 매핑 방법[4-6]으로 구분되어 질 수 있다.[7] 전역적 톤 매핑 방법은 점대점 픽셀 일치 함수(Point-to-Point Pixel Matching Function)를 통해 동적 영역을 압축하는 방식으로 국부적 방법에 비해 간단하며 빠른 장점이 있으나 영상의 밝기가 과도하게 적용되어 세부 사항을 재현하는데 문제점이 있다. 이와 같은 전역적 톤 매핑 방법으로는 1차 매핑 방식을 사용하는 Gray-World와 White-Patch 방법 및 히스토그램 균등화(Histogram Equalization) 방법이 있다. 한편, 국부적 톤 매핑 방식은 동일한 픽셀 값이라도 위치한 영역에 따라 다른 픽셀 값으로 매핑 될 수 있으며, 영상의 주관적 지각력보다는 세부 사항의 시각화를 목적으로 한다. 하지만 매핑 영역 간 색차로 인해 후광 효과(Halo Artifacts)가 나타나며, 높은 연산 비용이 수반된다.[8]

일반적으로 제한된 동적 영역을 갖는 표시 장치들은 실세계 영상을 동일하거나 혹은 최대한 근접하게 표시하기 위해서 상기와 같은 다양한 톤 매핑 방법들을 적용하고 있다. 한편 3차원 TV의 경우, 동일한 표시 장치임에도 재생 방식에 따라 두 가지 특성을 갖는다. 첫 번째는 종래와 같은 2차원 재생 방식이고, 두 번째는 입체감을 부여하기 위한 3차원 재생 방식이다. 3차원 재생 방식의 경우 일반적으로 좌안 및 우안 영상을 순차 재생하는 3차원 주사(3D Scanning) 방식을 적용하고 있는데, 화면 표시 액정판의 특성에 따라 정도의 차이는 있으나 이들 영상이 제대로 분리되지 않고 겹쳐서 표시되는 누화 현상(Cross-Talk)이 발생한다. 누화 현상은 입체 영상의 구현을 어렵게 할 뿐 아니라 눈의 피로감을 증가시키기 때문에, 배경 조명의 밝기를 제어하는 조광(Dimming) 기술을 적용하여 이를 저감한다. 하지만 조광 기

술을 이용한 누화 현상 완화로 인해 2차원과 3차원 재생 시 배경 조명의 밝기가 각각 다르게 적용되고 Bezold-Brücke 색상 이동에 대한 실험결과와 같이 밝기가 저하됨에 따라 색상이 변하게 된다.[9] 즉, 영상 내 고정된 색 좌표를 갖는 특정 색상이 배경 조명의 밝기가 다른 2차원과 3차원 재생 방식으로 재현됨에 따라 사용자가 인지하는 색상은 다르게 된다.

따라서 본 논문은 채득된 색상을 기억하고 그 기억된 색상에 대한 항상성을 유지하려고 하는 인간의 색 순응(Chromatic Adaption)[9]에 근거하여 3차원 재생 방식에서도 2차원 재생 방식에서 사용자가 기억하고 선호하는 색상을 어떻게 재현해 내는가에 초점을 맞추고 있다. 이를 위해 3차원 TV에 색상 톤 매핑 방법을 제안한다. 제안 방법은 이전 연구[10]에서 적용한 색상 톤 매핑 연산자(Tone Mapping Operator)에 의해 색상이 왜곡되는 문제점을 해결하기 위해 색상 톤 매핑 연산자를 정규화 하였고, 성능 향상 정도를 검증하기 위해, 이전 방법에 더하여 Gray-World, White-Patch 및 히스토그램 균등화 방법과 비교하였다.

2. 3차원 TV의 색상 요소 입출력 관계 곡선

3차원 재생 방식에서 2차원 재생 방식에서의 색상을 재현하기 위한 색상 톤 매핑 연산자를 도출하기 위하여 0에서 255까지 무채색 색표(Gray scale)를 128단계로 나눈 입력 영상 128장에 대하여 3차원 TV의 2차원 재생 방식과 3차원 재생 방식에서 재현되는 출력 영상을 획득하여 색상 요소 입출력 관계 곡선을 측정하였다. 외부 조명에 의한 효과를 없애기 위하여 암실에서 다음과 같은 장비를 이용하여 실험을 실시하였다.

● 3차원 TV: SAMSUNG Full HD 3D LED 55-inch TV

● 카메라: Canon EOS 5D (ISO, 100; 노출시간, 1/20; 초점거리, 35mm; 조리개 값, f/5.0; 렌즈, Canon EF 24mm-70mm F2.8L)

이를 이용하여 각 재생 방식에서 재현된 256장의 출력 영상을 각 색상 채널별로 분석한 후 모델링한 입출력 관계 곡선은 그림 1과 같다. 이때, 제한된 시스템에 대한 적응성을 높이기 위하여 piece-wise linear 곡선을 이용하여 모델링을 실시하였다.

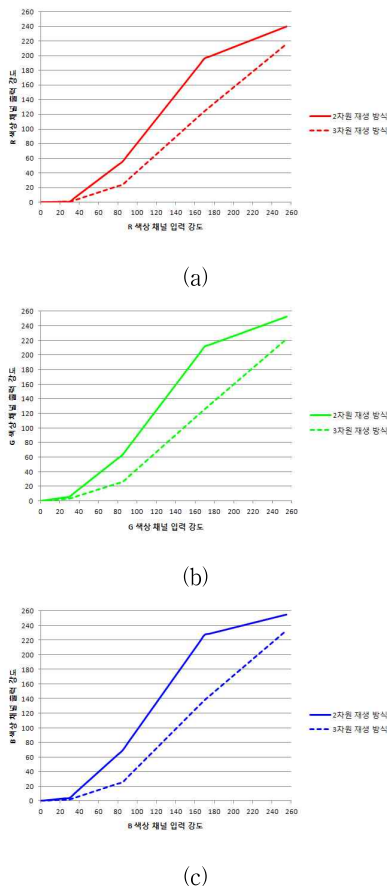


그림 1. 색상 채널 별 입출력 관계 곡선 모델링: (a)R 색상 채널, (b)G 색상 채널, (c)B 색상 채널

3. 색상 톤 매핑 연산자

가. 기존 색상 톤 매핑 연산자

이전 연구[10]에서 사용한 SAMSUNG PDP 3D-ready 50-inch의 경우, 재생 방식 간 B 색상 채널의 오차가 G 색상 채널의 50%이하였으며 또한 밝기가 낮아질수록 B 색상은 열성으로 작용하기 때문에 R 과 G 색상 채널에 한하여 식 (1)과 같이 톤 매핑 연산자를 구하였다.

$$TMO = x + (y_{2D} - y_{3D}) \tag{1}$$

여기서 x 는 색상 채널 별 입력 강도, y_{2D} 는 입력 강도 x 에 대한 2차원 재생 방식에서 출력강도이며, y_{3D} 는 3차원 재생 방식에서 출력 강도이다.

하지만 SAMSUNG Full HD 3D LED 55-inch TV의 경우, 그림 1(c)와 같이 B 색상 채널의 오차를 무시할 수 없으므로 모든 색상 채널에 대하여 톤 매핑 연산자를 구하였다. 이를 통해 구해진 톤 매핑 연산자는 동적 영역의 최대값이 255로 제한되므로 R 색상 채널 톤 매핑 연산자는 입력 강도 201 이상의 값에서 255로, G 색상 채널 톤 매핑 연산자는 입력 강도 170 이상의 값에서 255로 포화되며, B 색상 채널 톤 매핑 연산자는 입력 강도 168 이상의 값에서 255로 포화되어 표시된다.

나. 정규화된 색상 톤 매핑 연산자

기존 색상 톤 매핑 연산자에서 특정 입력 강도 이상에서 출력 강도가 포화되어 이미지가 왜곡될 뿐 아니라 색차를 효율적으로 표현할 수 없는 문제점을 해결하기 위하여 식 (2)와 같이 동적 영역을 정규화 하였다.

$$NTMO = \begin{cases} x + (y_{2D} - y_{3D}) & 0 \leq x < 30 \\ \frac{(DR_{max} - TMO_{min})}{(TMO_{max} - TMO_{min})} (x - TMO_{min}) + TMO_{min} & 30 \leq x \leq 255 \end{cases} \tag{2}$$

(2)

여기서, DR_{max} 는 동적 영역 최대값인 255, TMO_{min} 은 식 (1)에서 $x=30$ 일 때 TMO 값이며, TMO_{max} 는 $x=255$ 일 때 TMO 값이다. 이를 통해 정규화 된 톤 매핑 연산자는 그림 2와 같다.

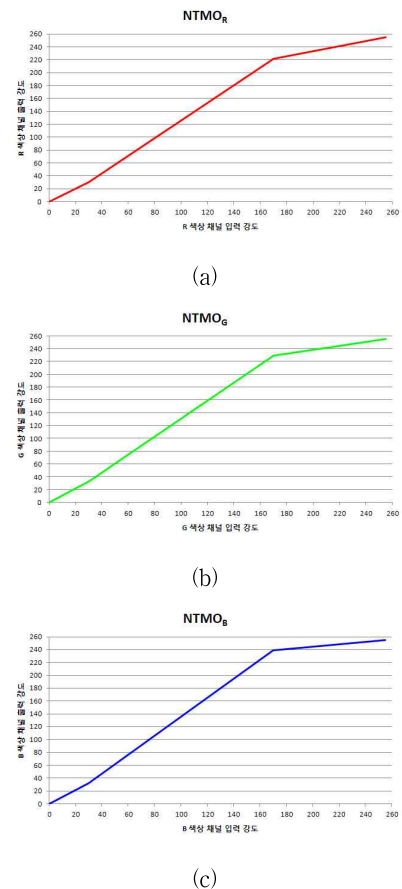


그림 4. 정규화된 톤 매핑 연산자: (a)R 색상 채널, (b)G 색상 채널, (c)B 색상 채널

표 1. 3차원 TV를 이용한 2차원 및 3차원 획득 영상

	2차원 영상	3차원 영상				
		일반 3차원 영상	Gray-World	White-Patch	히스토그램 균등화	정규화된 톤 매핑 연산자
1						
2						
3						
4						

표 2. 2차원 영상에 대한 PSNR 비교 (단위: dB)

	일반 3차원 영상	Gray-World	White-Patch	히스토그램 균등화	정규화된 톤 매핑 연산자
1	13.67	18.44	16.90	14.13	22.47
2	15.93	12.66	17.69	13.87	26.41
3	14.49	10.54	16.55	22.69	24.43
4	14.60	10.59	16.63	20.56	25.89
평균	14.67	13.06	16.94	17.81	24.80
차이		-1.61	+2.27	+3.14	+10.13

4. 실험 결과

정규화 된 톤 매핑 연산자에 의한 화질 향상 정도를 평가하기 위하여 Gray-World, White-Patch 및 히스토그램 균등화와 비교하였다. 모든 입력 영상에 대하여 동일한 톤 매핑 연산자를 적용하는 본 논문 에 의한 방법은 3차원 TV의 영상 출력 전 선처리 과정으로 적용될 수 있으나, Gray-World, White-Patch 및 히스토그램 균등화의 경우, 획득된 영상 단위로 후처리 하는 방법이므로 3차원 TV의 화질 개선 방법으로 적용할 수 없다. 따라서 본 비교의 목적은 이들 방법 간 순위를 정하는 것이 아니고 정규화 된 톤 매핑 연산자에 의한 화질 개선 정도 를 상대 비교하기 위함이다.

표 1은 선정된 입력 영상을 이용하여 2차원 영상 및 본 비교에서 사용한 다양한 방법으로 선처리 혹은 후처리하여 획득한 3차원 영상들 을 나타낸다. 또한 성능 평가의 척도로써 객관적인 화질 비교를 위해 2차원 재생 방식에서 획득한 2차원 영상을 기준으로 일반 3차원 영상 및 선처리/후처리 과정을 거친 3차원 영상에 대한 PSNR를 비교하여 표 2에 나타내었다.

표 2와 같이 단색이 많은 영상에서 해당 색상에 의한 과도한 영향

으로 오차가 크게 발생할 수 있는 Gray-World를 제외한 방법들은 기 존 3차원 영상 대비 향상된 결과를 보였다. 특히 정규화 된 톤 매핑 연 산자를 선처리 후 획득한 3차원 영상의 경우 일반 3차원 영상 대비 10.13dB 향상된 결과를 얻었다. 즉, 색상 톤 매핑을 통해서 3차원 출력 영상의 화질이 개선되었음을 확인하였다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 인간의 색 순응에 근거하여 3차원 재생 방식에서도 2차 원 재생 방식에서 사용자가 기억하고 선호하는 색상을 재현하기 위하 여 3차원 TV의 색상 요소 입출력 관계 곡선을 이용한 색상 톤 매핑 연산자를 도출하였다. 또한 색상 톤 매핑 연산자에 의한 과도한 색 포 화 및 색 대비 왜곡을 완화하기 위하여 동적 영역 정규화를 실시한 결 과 기존 3차원 영상 대비 10.13dB의 PSNR 개선 효과를 얻을 수 있었 다. 향후 3차원 TV에서 입력된 영상의 색상 보정 유무에 따라 자동으 로 정규화 된 톤 매핑 연산자의 처리 유무를 결정할 수 있도록 전송 스트림 내 정보를 추가하는 방법 및 이를 처리하는 3차원 TV 시스템 에 대해 더 연구할 예정이다.

참고문헌

- [1] J. Tumblin, H. Rushmeire, "Tone reproduction for realistic image," *IEEE Computer Graphics & Applications* 13 (6) (1993) 42-48
- [2] G. Qiu, J. Duan, "An optimal tone reproduction curve operator for the display of high dynamic range images," *IEEE ISCAS'05* 6 (2005) 6276-6279
- [3] G.W. Larson, H. Rushmeier, C. Piatko, "A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 3 (4) (1997) 291-253
- [4] K.Chiu, M. Herf, P. Shirley, S. Swamy, C. Wang, K. Zimmerman, "Spatially nonuniform scaling functions for high contrast images," in: *Proceedings of Graphics Interface' 93*, Toronto, Canada, May, 1993, pp. 245-253
- [5] J. Tumblin, G. Turk, "LCIS: a boundary hierarchy for detail-preserving contrast reduction," in: *Proceedings of SIGGRAPH 99*, Los Angeles, CA, August, 1999, pp. 83-90
- [6] J.M. DiCarlo, B.A. Wandell, "Rendering high dynamic range images," in: *IS&T/SPIE Electronic Imaging 2000, Image Sensors*, vol. 3965, San Jose, CA, January, 2000, pp. 292-401
- [7] K. Matkovic, L. Neumann, W. Purgathofer, "A survey of tone mapping techniques," in: *13th Spring Conference on Computer Graphics*, 1997, pp. 163-170
- [8] X. Li et al., "An adaptive algorithm for the display of high-dynamic range images," *J. Vis. Commun. Image R.* 18 (2007) 397-405
- [9] M. D. Fairchild, *Color Appearance Models*, 2nd ed., Addison-Wesley: Reading, MA, 2005
- [10] Kilsoo Jung, Minsung Kang, Donghyun Kim, Kwanghoon Shon, "3D video quality improvement for 3DTV using color compensation," *Journal of Broadcasting Engineering*, Nov., 2010, pp. 757-767