

가이드드 이미지 필터를 이용한 향상된 적응적 로그 매핑 기법

*윤하경, **위승우, 정제창

*한양대학교 융합전자공학부, **한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

*waterhk@hanmail.net, **slike0910@naver.com, jjeong@hanyang.ac.kr

Modified Adaptive Logarithmic Mapping Method using Guided Image Filter

*Hakyung Yoon, **Seungwoo Wee, Jechang Jeong

*Department of Electronic Engineering, Hanyang University

**Department of Electronics and Computer Engineering, Hanynag University

요 약

넓은 동적 영역 (high dynamic range: HDR) 이미지는 시각적으로 우수하지만 대부분의 디스플레이는 좁은 동적 영역 (low dynamic range: LDR)만 지원이 가능하다. 이를 해결하기 위해서 톤 매핑 기법 (tone mapping operator: TMO)을 사용한 동적 영역 압축을 수행한다. 기존의 적응적 로그 매핑 (adaptive logarithmic mapping)의 경우 에지 부분에서 디테일이 손실되는 문제점이 있었다. 본 논문에서는 가이드드 이미지 필터링 (guided image filtering: GIF)을 통해 베이스 레이어와 디테일 레이어로 나눠서 처리하는 알고리즘을 제안한다. 베이스 레이어는 적응적 로그 매핑을 통해 동적 영역을 압축하고 디테일 레이어와 더해 기존의 톤 매핑 과정에서 발생하는 디테일의 손실을 감소시켰다.

1. 서론

이미지의 동적 영역은 가장 높은 휘도 값과 가장 낮은 휘도 값의 비율로 정의된다. HDR 영상은 실제 세계의 휘도 값을 10~16bits 의 실수 값으로 표현한 영상으로서 사람이 시각적으로 인지하는 것과 유사한 동적 영역을 갖는다. 하지만 HDR 영상을 LDR 디스플레이에 출력할 경우 0~255 의 범위를 가지는 정수 값으로 색체에 대응하는 정보를 저장하면서 정보의 손실이 일어난다. 따라서 시각적인 디테일과 명암의 손실을 막기 위한 효과적인 동적 영역 압축 기법이 요구된다.

동적 영역 압축 기법인 TMO 는 HDR 영상을 LDR 디스플레이에 최대한 사실적으로 표현하는 것을 목표로 한다. TMO 를 사용하여 HDR 영상을 LDR 디스플레이에서 최종적으로 출력하기 위해서 사람의 시각 특성 (human visual system: HVS)을 고려하여 8bits 로 매핑함으로써 HDR 이미지를 사실적으로 표현할 수 있다 [1]. 적응적 로그 매핑은 화소 값을 매핑시킬 때 HVS 를 고려하는 알고리즘이다 [2]. 하지만 이 방법은 에지 부분의 디테일이 손실된다는 문제점이 있다. 이를 개선하기 위해서 본 논문에서는 GIF 를 추가하여 베이스 레이어와 디테일 레이어로 나눈 뒤 전역적 톤 매핑을 이용하여 베이스 레이어를 처리하는 방법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2 장에서는 TMO 와 기존의 적응적 로그 매핑에 대한 간략한 개요를 논의한다. 3 장에서는 GIF 에 대해 논의한다. 4 장에서는 제안하는 알고리즘을 설명한다. 5 장에서 실험 결과를 통해 기존의 알고리즘과 제안하는 알고리즘을 비교 및 분석한다. 마지막으로 6 장에서 본 논문이 제안한 알고리즘에 대한 결론을 맺는다.

2. 톤 매핑 기법

2.1 톤 매핑 기법 (TMO) 개요

TMO 는 크게 전역적 톤 매핑과 지역적 톤 매핑으로 분류된다. 전역적 톤 매핑은 단일 매핑 함수를 이미지 전체에 적용한다. 이는 처리 속도가 빠르고 후광 효과 (halo artifact)를 발생시키지 않는다는 장점이 있으나, 이미지의 각 화소에 적용되는 매핑 함수가 지역적 특성을 고려하지 않기 때문에 디테일의 손실을 유발하는 단점이 있다. 지역적 톤 매핑은 화소의 통계적 특성과 문맥적 특성에 따라 지역적으로 다른 매핑 함수가 적용된다. 따라서 계산 복잡도가 높고 사용자가 실험적으로 설정한 파라미터 값들이 상황에 따라 열화 현상과 후광 효과를 초래하기도 한다. 후광 효과를 최소화하는 동시에 디테일을 보존하는 다양한 지역적 톤 매핑들이 제안되고 있다.

2.2 적응적 로그 매핑

매핑 함수들은 디스플레이의 동적 영역을 고려하여 압축을 수행해야 한다. 압축을 수행하면서 영상의 화소 값을 매핑시킬 때 HVS 를 고려하면 우리가 직접 눈으로 보는 것에 가까운 영상의 표현이 가능하다.

최근에 제안된 톤 매핑 기법은 에지를 보존하면서 영상을 스무딩하기 위해서 적응적 로그 매핑을 사용한다 [2]. 이후 CRT (cathode-ray tube)에서 영상을 출력할 때 CRT 색상 표현 구조에서 발생할 수 밖에 없던 왜곡을 보정하기 위해서 감마 보정 (gamma correction)을 한다. 이를 통해 얻은 결과 이미지에서 후광 효과는 감소하였으나 에지 부분에서 디테일의 손실이 초래되었다.

3. 가이드드 이미지 필터 (GIF)

GIF 는 에지 보존 필터의 하나로서 이미지에 스무딩 효과를 주면서 윤곽선 부근의 정보가 손실되어 이미지가 왜곡되는 것을 방지하는 이미지 처리 기법이다. 이 필터는 다른 에지 보존 필터인 양방향 필터 (bilateral filter)에 비해 에지 부분에서 성능이 좋고 속도가 빠른 장점이 있다.

GIF 는 로그 스케일을 통해 전체적인 휘도 값을 압축한 후 자기 자신을 가이드드 이미지로 삼아 베이스 레이어를 추출하고, 마찬가지로 로그 스케일을 통해 휘도 값을 압축한 이미지와 베이스 레이어와의 차분 값을 디테일 레이어로 지정한다. GIF 는 가이드드 I 와 출력 q 사이의 지역적 선형 모델임을 전제로 하며, q 는 중심이 k 인 윈도우 w_k 에서 I 의 선형 변환이다. GIF 는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$q_i = a_k I_i + b_k, \forall i \in w_k, \quad (1)$$

w_k 는 반경이 r 인 정사각형 윈도우로서 그 내부에서 선형 계수 (a_k, b_k) 는 일정한 상수이다. 이 지역적 모델에서 $\nabla q = a \nabla I$ 이므로 I 가 에지를 가질 때에만 q 도 에지를 가지게 된다.

선형 계수 (a_k, b_k) 를 정하기 위해서 입력 p 에서 불필요한 노이즈 요소를 뺀 것을 출력 q 로 모델링한 것은 다음과 같다.

$$q_i = p_i - n_i. \quad (2)$$

선형 모델 식 (1)을 유지하면서 q 와 p 의 차이를 최소화하기 위해서 윈도우 w_k 에서 다음 함수 값을 최소화하는 해를 구한다.

$$E(a_k, b_k) = \sum_{i \in w_k} ((a_k I_i + b_k - p_i)^2 + \epsilon a_k^2). \quad (3)$$

ϵ 는 큰 값을 가지는 a_k 를 정규화하는 파라미터이다. 식 (3)의 해는 다음과 같다.

$$a_k = \frac{\frac{1}{|w|} \sum_{k_i \in \omega_k} I_i p_i - \mu_k \bar{p}_k}{\sigma^2 + \epsilon} \quad (4)$$

$$b_k = \bar{p}_k - a_k \mu_k. \quad (5)$$

μ_k 와 σ^2 는 각각 w_k 에서 I 의 평균과 분산이고, $|w|$ 는 w_k 내부의

화소 개수이고, \bar{p}_k 는 w_k 내부에서 p 의 평균이다.

그 다음으로 이 선형 모델을 전체 영상의 지역적 윈도우에 모두 적용한다. 하지만 화소 i 가 겹쳐지는 w_k 에 모두 관여하게 되면서 식 (2)의 q_i 값이 서로 다른 윈도우에서 일정하지 않은 값을 가지게 된다. 따라서 각 w_k 에 대한 (a_k, b_k) 값을 계산한 뒤 출력 값을 계산하면 다음과 같다.

$$q_i = \frac{1}{|w|} \sum_{k_i \in \omega_k} (a_k I_i + b_k) \quad (6)$$

$$q_i = \bar{a}_i I_i + \bar{b}_i \quad (7)$$

$\bar{a}_i = \frac{1}{|w|} \sum_{k \in \omega_i} a_k$ 이고, $\bar{b}_i = \frac{1}{|w|} \sum_{k \in \omega_i} b_k$ 로서, 겹쳐지는 윈도우에서의 평균이다. 이로써 계수 (\bar{a}_i, \bar{b}_i) 는 공간적으로 변하게 되지만, (\bar{a}_i, \bar{b}_i) 의 그라디언트 (gradient)는 강한 에지 부분에서 I 의 그라디언트보다 훨씬 작은 값을 가지게 된다. 이 경우 $\nabla q \approx \bar{a} \nabla I$ 가 되어 I 에서의 급격한 휘도 변화가 q 에서 보존된다.

4. 제안하는 알고리즘

적응적 로그 매핑 알고리즘에서 화질 개선을 위해 이미지의 휘도 값에 적응적 로그 매핑을 적용한 후 감마 보정을 하였다 [2]. 하지만 본 논문에서는 디테일의 보존을 위해 휘도 값에 GIF 를 적용하여서 추출한 베이스 레이어에만 적응적 로그 매핑을 적용한다.

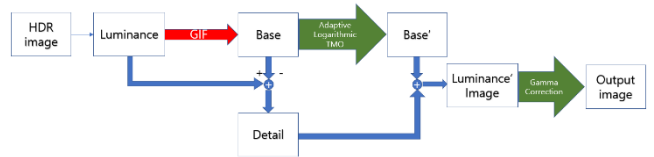


그림 1. 제안하는 알고리즘 순서도

그림 1 은 제안하는 알고리즘의 순서도이다. 먼저 전체적인 휘도 값을 압축한 후 베이스 레이어를 추출하고, 압축한 휘도 값과 베이스 레이어의 차분 값을 디테일 레이어로 지정하였다. 베이스 레이어에 기존의 적응적 톤 매핑을 적용한 후 디테일 레이어와 더해준 결과 이미지에 감마 보정을 수행하였다. 그 결과 기존의 알고리즘에 비해서 디테일이 개선되는 효과를 가져올 수 있었다.

5. 실험 결과 및 분석

기존의 적응적 로그 매핑 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 결과를 비교하기 위해서 3 개의 HDR 영상 CoffeeShop, memorial, tahoe1 을 사용하였다. 크기는 차례대로 1872×2856 , 1536×2048 , 768×512 이다. 실험은 Intel Core i5-6200U CPU @ 2.30GHz, Windows 10 x64 환경에서 MATLAB R2016b 를 이용하여 진행하였다. 감마 보정 시 감마

보정 값은 2.2, f-stop 값은 0.0 으로 설정하였다. 이 파라미터들은 기존의 알고리즘의 필터와 같은 파라미터 값이다.



(a)

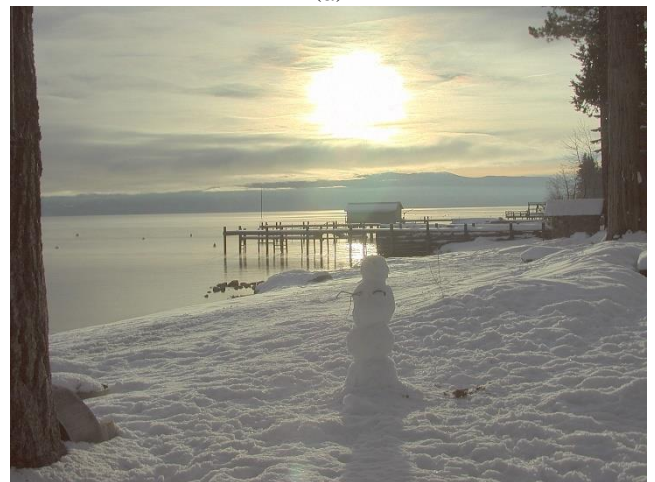


(b)

그림 2. CoffeeShop (a) 적응적 로그 매핑, (b) 제안하는 알고리즘



(a)



(b)

그림 4. tahoe1 (a) 적응적 로그 매핑, (b) 제안하는 알고리즘



(a)

(b)

그림 3. memorial (a) 적응적 로그 매핑, (b) 제안하는 알고리즘

그림 2 부터 4 까지의 그림에서 (a)는 기존의 적응적 로그 매핑 알고리즘의 결과, (b)는 제안하는 알고리즘의 결과다. 그림 2-4 의 결과에서 볼 수 있듯이 제안하는 알고리즘은 디테일을 개선하는 장점이 있다. 그림 2-(b)는 그림 2-(a)에 비해서 벽에 걸린 액자 속 그림이 더 선명하게 보인다. 그림 3-(b)는 그림 3-(a)에 비해서 천장의 그림자와 창문 부분의 디테일이 더 잘 표현되었다. 그림 4-(b)는 그림 4-(a)에 비해서 배경의 나뭇가지가 더 선명하게 보이는 것을 확인할 수 있다.

6. 결론

HDR 콘텐츠는 넓은 휘도 범위와 높은 명암비를 가지는 HDR 디스플레이에서만 온전히 표현할 수 있다. HDR 콘텐츠를 기존의 LDR 디스플레이에 사실적으로 표현하기 위해서는 톤 매핑 기법이 필요하다. 본 논문에서는 전역적 톤 매핑 기법에 기반한 알고리즘을 제안하고 있으며, 추가적으로 GIF 를 적용하여 이미지의 디테일이 손실되는 문제점을 해결하였다.

감사의 글

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2015R1A2A2A01006004)

참고문헌

- [1] M. Narwaria, M. Perreira Da Silca, P.L. Callet, and R. Pepion, "Tone mapping based HDR compression: Does it affect visual experience?," *Signal Processing: Image Communication*, vol. 29, no. 2, pp. 257–273, 2014.
- [2] F. Drago, K. Myszkowski, T. Annen, and N. Chiba, "Adaptive Logarithmic Mapping for Displaying High Contrast Scenes," in *Computer Graphics Forum*, vol. 22, no. 3, pp. 419–426, 2003.
- [3] Kaiming He, Jian Sun, and Xiaoou Tang, "Guided Image Filtering," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 35, no. 6, pp. 1397–1409, 2013.
- [4] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital image processing, 3rd Edition*, Prentice Hall, New Jersey, 2010.
- [5] R. Fattal, D. Lischinski, and M. Werman, "Gradient Domain High Dynamic Range Compression," *Proc. ACM Siggraph*, 2002.
- [6] P. Pe´rez, "Poisson Image Editing," *Proc. ACM Siggraph*, 2003.
- [7] J. Sun, J. Jia, C.-K. Tang, and H.-Y. Shum, "Poisson Matting," *Proc. ACM Siggraph*, 2004.
- [8] P. Bhat, B. Curless, M. Cohen, and C.L. Zitnick, "Fourier Analysis of the 2D Screened Poisson Equation for Gradient Domain Problems," *Proc. European Conf. Computer Vision*, pp. 114–128, 2008.
- [9] P. Perona and J. Malik, "Scale-Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 12, no. 7, pp. 629–639, July 1990.
- [10] Z. Farbman, R. Fattal, D. Lischinski, and R. Szeliski, "Edge Preserving Decompositions for Multi-Scale Tone and Detail Manipulation," *Proc. ACM Siggraph*, 2008.