

히스토그램 변형을 이용한 HDR 영상 렌더링을 위한 인지기반 톤 맵핑 기법

김 원 균*, 하 창 우*, 정 제 창^o

Perception-Based Tone Mapping Technique for Rendering HDR Image Using Histogram Modification

Wonkyun Kim*, Changwoo Ha*, Jechang Jeong^o

요 약

본 논문에서는 HDR (high dynamic range) 영상 렌더링을 위한 히스토그램 변형 기법을 이용한 인지기반 톤 맵핑 (tone mapping) 기법을 제안한다. HDR 톤 맵핑 알고리즘은 넓은 동적 영역을 갖는 영상을 LDR (low dynamic range) 영상 장치에 표현하기 위해 사용된다. 인간의 시각특성을 이용한 톤 맵핑 알고리즘은 상당히 효과적이지만 고정된 형태의 맵핑 함수를 사용하기 때문에 모든 영상에서 동일한 성능을 얻지 못한다. 제안하는 방법은 인지기반 톤 맵핑 함수와 히스토그램 변형기법을 적용하여 HDR 영상의 동적 영역을 압축한다. 인지기반 톤 맵핑 함수를 이용해서 원 영상의 히스토그램을 제한하고 보상과정을 통해서 적응적인 톤 맵핑 함수를 얻을 수 있다. 이는 화소값에 따라 서로 다른 제약 조건들을 사용함으로써 contrast를 향상시킬 뿐만 아니라 원 영상의 디테일도 보존한다. 또한, 히스토그램 변형기법을 사용함으로써 과도한 히스토그램 평활화로 인한 왜곡을 개선할 수 있고, 더욱이 제어파라미터를 이용하여 영상의 contrast를 조절할 수 있다. 시뮬레이션 및 실험을 통해 주관적 및 객관적 성능을 비교하고 기존 방법에 비해 제안한 방법이 우수함을 입증한다.

Key Words : high dynamic range image, tone reproduction, photographic tone mapping, histogram equalization, histogram modification

ABSTRACT

In this paper, we present a perception-based tone mapping technique using histogram modification for displaying high dynamic range image. HDR (high dynamic range) tone mapping algorithms are used to display HDR image on LDR (low dynamic range) devices. Although perception-based tone mapping methods provides better performance, it dose not always produce good results for a wide variety of images. The proposed method reduces dynamic range by using the perception-based tone mapping function and histogram modification. A derivative of perception-based tone mapping function is used as constraint function of histogram and additional compensation process is performed. This method not only improves contrast by adopting different constraints on each pixel value, but also preserves more visual details. In order to prevent over enhancement, histogram modification technique is applied. Furthermore, it can control the rate of image contrast using control parameters. Subjective and objective evaluations show that proposed algorithm is better than existing algorithms.

* First Author : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 영상통신 및 신호처리 연구실, wonkyun.kim@gmail.com, 학생회원

^o Corresponding Author : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 영상통신 및 신호처리 연구실, jjeong@hanyang.ac.kr, 중신회원

* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 영상통신 및 신호처리 연구실, hahanara@hanyang.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2013-04-163, 접수일자 : 2013년 4월 5일, 최종논문접수일자 : 2013년 10월 25일

I. 서 론

사람의 눈은 넓은 동적 영역 (dynamic range)을 가지고 있기 때문에 넓은 밝기 범위를 인지할 수 있지만 이미지 센서 및 디스플레이 장치의 동적 영역은 인간의 시각보다 좁기 때문에 획득한 영상을 디스플레이하면 자연영상과 동일하지 않다. 이러한 현상을 개선하기 위하여 넓은 동적 영역을 갖는 영상을 좁은 동적 영역을 갖는 디스플레이 장치에 우리가 눈으로 보는 장면과 최대한 유사하게 표현하기 위한 방법이 필요하게 되었고 이 방법을 톤 맵핑 또는 톤 재생 (tone reproduction) 이라 한다^[1].

일반적인 톤 맵핑 알고리즘은 인간의 시각 특성에 기반 한 방법들이 있다. 대표적으로 Reinhard는 실제 영상을 사진에 효과적으로 출력하기 위해서 사용한 zone system을 디지털 영상의 톤 맵핑에 적용한 방법이다^[2,3]. 이러한 방법들은 인간이 인지하는 시각 특성에 따라서 톤 맵핑을 수행하기 때문에 실제로 사람이 눈으로 보는 자연 영상과 유사하게 변환할 수 있고 전체 영상에 동일한 맵핑 함수를 적용하기 때문에 낮은 복잡도를 갖는 장점이 있다. 하지만 항상 동일한 맵핑 함수를 사용하기 때문에 전반적인 명암대비 향상에 기여하지만 국부 영역의 향상에는 충분하지 못하고 모든 영상에서 동일한 성능을 보이지 못한다.

이를 개선하기 위해서 국부 영역에 대해서도 향상시키고 원 영상의 에지를 보존하기 위한 방법들도 발달되어 왔다. Durand는 bilateral 필터를 사용해서 원 영상의 에지 정보를 추출하고 에지 이미지를 뺀 이미지를 압축함으로써 톤 맵핑을 수행하더라도 에지 정보를 유지할 수 있게 하였다^[4]. 또한, 이와 유사하게 Farbman은 WLS (weighted least squares)기법을 사용하여 에지정보를 유지하도록 한다^[5]. 이 방법들은 영상의 부분적인 특성을 적용하여 수행하거나 필터를 사용하여 영상의 에지를 보존하기 때문에 영상의 디테일을 향상시키는데 효과적이지만 복잡도가 높고 톤 맵핑을 수행하기 위해 사용되는 변수가 많기 때문에 다양한 영상에서 최적화된 값을 찾는 것에 어려움이 있다.

또 다른 톤 맵핑 알고리즘으로 히스토그램 기반으로 수행하는 방법들이 있다. Larson은 로그 도메인에서 히스토그램을 선형으로 제한함으로써 톤 맵핑을 수행한다^[6]. 이 경우에는 전체적인 contrast는 향상될 수 있지만 히스토그램 도메인에서 수행하기 때문에 기존의 히스토그램 기반의 영상 향상 기술

의 문제점을 그대로 가지고 있다. 히스토그램에서 낮은 빈도를 갖는 부분은 더욱 압축되는 현상이 발생하고 역시 지역적으로 개선되지 않는다는 단점이 있다. 그리고 Duan은 로그 함수를 이용해서 톤 맵핑을 수행하고 히스토그램 변형 기법을 통해서 contrast를 향상시킨다^[7]. 이 방법은 HDR 이미지를 기존의 톤 맵핑 방법을 통해서 LDR 영상으로 변환한 후에 히스토그램 변형 기법을 사용하기 때문에 원영상의 정보를 보존할 수 없다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 인간의 시각 특성을 기반으로 하는 톤 맵핑 함수의 형태를 유지하면서 히스토그램 변형 기법을 통해서 다양한 영상에서도 동일한 성능을 보일 수 있는 알고리즘을 제안한다. 인지기반 톤 맵핑 방법인 PTM (Photographic tone mapping) 함수를 이용하여 원 영상의 히스토그램을 제한하고 히스토그램 변형 기법을 수행하기 때문에 PTM함수 형태뿐만 아니라 히스토그램 기반방법들의 단점도 보완할 수 있다.

II. Photographic tone mapping

톤 맵핑 문제는 처음에 사진사들에 의해서 제기 됐다. 획득한 영상을 현실과 가장 유사하게 출력하고자 했지만 사진에서 표현할 수 있는 동적 영역에는 한계가 있었다. 이 문제를 해결하기 위해서 그들은 zone system을 사용했다. zone은 실제 영상의 휘도 레벨과 사진에서의 반사율로 부터 표현할 수 있는 휘도 레벨을 숫자로 표현한 것이다. 보통 실제 영상에서의 휘도 레벨은 15단계의 zone 으로 나누며 가장 어두운 레벨을 가장 낮은 숫자로 표기한다. 또한 출력할 사진에서의 zone은 11단계(0, I, II, ..., X)를 가지고 있으며 가장 어두운 영역을 0, 가장 밝은 영역을 X로 표기한다. 실제 영상에서 15 단계의 zone 중에서 사람이 인지한 중간 단위의 휘도 레벨을 사진에서의 zone 단계 중 가운데 부분인 V레벨(일반적으로 사진에서의 18% 반사율을 갖는 단계)에 위치하도록 함으로써 사람이 인지하는 휘도 레벨과 유사하게 맵핑할 수 있도록 한다. PTM 방법은 이러한 처리방식을 디지털 이미지에 적용해서 실제 영상에서 얻어진 HDR 이미지를 좁은 동적 영역을 갖는 디스플레이 장치에 사람이 인지하는 장면과 유사하게 표현할 수 있도록 제안한 알고리즘이다^[2,3]. 먼저, 획득한 영상의 전체적인 밝기 정도를 나타내기 위해 영상의 key 값을 구한다. 다음과 같은 HDR 이미지의 평균값을 입력 영상의 key 값으

로 정의하고 식(1)과 같이 나타낸다.

$$L_{aw} = \exp\left(\frac{1}{N} \sum_{x,y} \log(\delta + L_w(x,y))\right) \quad (1)$$

$L_w(x,y)$ 는 이미지의 (x,y) 에서 world luminance를 가리키며, δ 는 L_w 가 0값을 가질 때 계산상의 오류를 피하기 위한 매우 작은 값이다. N 은 이미지에서 전체 픽셀 수를 나타낸다. 그리고 입력 영상의 key 값인 L_{aw} 와 출력 이미지의 중간 밝기를 나타내는 파라미터에 따라서 world luminance를 변환해준다.

$$L_m(x,y) = \frac{\alpha}{L_{aw}} L_w(x,y) \quad (2)$$

여기서 $L_m(x,y)$ 는 스케일 된 luminance를 나타내고, α 는 출력 이미지의 중간 밝기를 나타내는 key 값으로 입력 영상에 따라 다음과 같이 계산한다.

$$\alpha = 0.18 \times 4^{\left(\frac{2\log_2 L_{aw} - \log_2 L_{min} - \log_2 L_{max}}{\log_2 L_{max} - \log_2 L_{min}}\right)} \quad (3)$$

L_{min} 과 L_{max} 는 입력 영상의 히스토그램에서 가장 작은 luminance에서 1%만큼 큰, 가장 큰 luminance에서 1%만큼 작은 luminance를 나타낸다. 따라서, $\log_2 L_{min}$ 과 $\log_2 L_{max}$ 는 입력 영상의 최소와 최대 zone을 가리킨다. 최종적으로 톤 맵핑 함수는 로그 스케일에서 S-커브 형태를 갖도록 다음과 같은 식을 사용한다.

$$L_d(x,y) = \frac{L_m(x,y) \left(1 + \frac{L_m(x,y)}{L_{white}^2}\right)}{1 + L_m(x,y)} \quad (4)$$

$L_d(x,y)$ 는 톤 맵핑된 디스플레이할 luminance이고, L_{white} 는 톤 맵핑 함수가 포화되는 것을 방지하기 위한 파라미터로 식 (5)와 같이 정의하였다.

$$L_{white} = 1.5 \times 2^{(\log_2 L_{max} - \log_2 L_{min} - 5)} \quad (5)$$

기존의 PTM 방법은 zone system을 이용한 커브를 이용하기 때문에 사람이 인지하는 영상과 유사

한 결과를 얻을 수 있다. 하지만 영상의 평균값을 이용해서 맵핑 함수의 중심은 변하더라도 모든 영상에 같은 맵핑 함수의 기울기를 가지고 변환하기 때문에 다양한 영상에서 동일한 성능을 얻지 못한다.

III. 제안하는 알고리즘

히스토그램 평활화 (HE: histogram equalization)는 획득한 영상의 히스토그램으로부터 구해진 CDF(cumulative density function)로 픽셀의 값을 맵핑하여 영상의 동적 범위를 증가시키는 방법이다. 이 방법의 문제점은 히스토그램 분포가 한 곳에 집중되어 있을 때 과도한 평활화로 인해 큰 밝기 변화를 가져올 수 있고 그에 따른 노이즈 현상도 발생한다. 이를 해결하기 위해서 원 영상의 히스토그램을 변형해서 밝기 분포가 집중되어 있는 부분을 낮춤으로써 과도한 평활화를 방지하는 다양한 방법들이 연구되어 왔다. 제안하는 알고리즘은 이러한 히스토그램 변형 기법을 적용해서 PTM 함수의 모양은 유지하면서 주어진 영상에 따라 적응적으로 가장 최적의 톤 맵핑 함수를 구하도록 한다.

먼저 HDR 이미지의 RGB 값으로부터 world luminance를 구한다.

$$L_w(x,y) = 0.2125R_w(x,y) + 0.7155G_w(x,y) + 0.0721B_w(x,y) \quad (6)$$

여기서 $R_w(x,y)$, $G_w(x,y)$, $B_w(x,y)$ 는 HDR 이미지의 (x,y) 위치에서 RGB 값을 나타낸다. 또한, HDR 이미지의 히스토그램을 world luminance가 아닌 로그 도메인에서 구하기 위해 앞에서 사용된 스케일 된 luminance는 다음과 같은 식을 사용한다.

$$L_m(x,y) = \frac{\alpha}{L_{aw}} \exp(B_w(x,y)) \quad (7)$$

여기서 $B_w(x,y)$ 는 HDR 이미지의 (x,y) 위치에서 world brightness를 나타내며 $B_w = \log(L_w)$ 와 같이 world luminance의 로그 도메인에서의 luminance를 가리킨다. 히스토그램을 로그 도메인에서 구하는 이유는 로그 도메인에서의 픽셀 값이 인지기반의 contrast와 직접적으로 관련이 있고, 전체 이미지를

균등하게 처리할 수 있기 때문이다.

히스토그램 평활화 방법은 입력 영상의 CDF를 맵핑 함수로 사용하기 때문에 제안하는 알고리즘에서 입력 영상의 CDF가 PTM 함수의 형태를 갖도록 만들어주면 된다. 다시 말해서, 입력 영상의 히스토그램을 PTM 함수의 미분 형태가 되도록 하면 맵핑 함수는 PTM 함수 형태가 된다. 따라서 입력 영상의 히스토그램을 PTM 함수의 미분으로 제한하기 위해서 먼저 PTM 함수의 미분을 식 (8)과 같이 구한다.

$$P_d(k) = L_d((k+1)\Delta b + B_{wmin}) - L_d(k\Delta b + B_{wmin}), \quad (8)$$

$$k = 0, 1, \dots, T-1$$

$$\Delta b = \frac{B_{wmax} - B_{wmin}}{T} \quad (9)$$

Δb 는 로그 도메인에서 히스토그램의 빈 스텝 사이즈 (bin step size)를 나타내며, T 는 히스토그램 빈의 전체 수를 말한다. 일반적으로 톤 맵핑 된 이미지의 픽셀은 8비트 값을 갖기 때문에 T 는 256을 사용한다. B_{wmin} 과 B_{wmax} 는 world brightness의 최소, 최대 luminance를 가리킨다. 입력 영상의 히스토그램을 식 (8)을 이용해서 클리핑을 수행한 다음 변형된 히스토그램으로부터 CDF를 구하고 그것을 맵핑 함수로 사용하면 집중된 분포를 갖는 부분은 PTM 함수의 커브를 그대로 따르게 되기 때문에 히스토그램 평활화로 인한 과도한 밝기 변화를 방지할 수 있고 인지기반 톤 맵핑 방법도 적용할 수 있다. PTM 함수의 미분이 구해지면 입력 영상의 히스토그램으로부터 구해진 PDF(probability density function)를 P_d 로 다음과 같이 제한한다.

$$P_{CL}(k) = \begin{cases} P_d(k), & P_{in}(k) > P_d(k) \\ P_{in}(k), & P_{in}(k) \leq P_d(k) \end{cases}, \quad (10)$$

$$k = 0, 1, \dots, T-1$$

P_{in} 은 입력 영상의 PDF를 나타내고, P_{CL} 은 P_{in} 을 P_d 를 이용해서 제한한 PDF를 가리킨다. 이렇게 클리핑 된 PDF를 히스토그램 평활화를 수행하면 영상에서 높은 분포를 갖는 영역이 PTM 함수로 제한되기 때문에 과도한 평활화를 방지하면서 맵핑 함

수의 커브 또한 PTM 함수의 형태를 유지할 수 있게 된다. 하지만 낮은 분포를 갖는 부분은 PTM 함수로 제한되지 않고 히스토그램 평활화 방법과 같은 맵핑 함수 형태를 갖기 때문에 그 부분에서 동적 영역이 과도하게 압축되는 현상이 발생한다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서 다음과 같이 클리핑을 수행하고 제한된 영역을 P_{CL} 에 보상해주는 과정을 거친다.

$$P_t(k) = P_{CL}(k) + \left(1 - \sum_{i=0}^{T-1} P_{CL}(i)\right) P_{in}(k), \quad (11)$$

$$k = 0, 1, \dots, T-1$$

P_t 는 입력 영상의 PDF를 클리핑하고 보상과정을 거친 PDF를 나타낸다. 그러나 P_t 로부터 얻어진 CDF를 맵핑 함수로 사용하게 되면 커브 형태는 PTM 함수의 형태를 유지하지만 보상과정에서 일정한 값을 더해주기 때문에 원래 PTM 방법보다 먼저 포화되어 영상의 밝은 부분에서는 디테일을 유지할 수 없게 된다. 또한, 전체적으로 밝은 영상의 경우에는 역시 과도한 평활화 현상이 발생할 수 있다. 따라서 제안하는 알고리즘은 다음과 같은 히스토그램 변형 기법을 적용한다^[8].

$$P_m = \underset{P}{\operatorname{argmin}} [(P - P_d)^T (P - P_d) + \lambda (P - P_t)^T (P - P_t)] \quad (12)$$

여기서 P_m 은 최종적으로 변형된 PDF를 나타내고, λ 는 PTM 함수의 미분인 P_d 와 클리핑하고 보상과정을 거친 PDF P_t 의 결합 정도를 조절하는 파라미터이다. 이 방법은 주어진 두 PDF의 가중결합으로 만든 변형된 PDF로 CDF를 설계하는 방법이다. 식 (12)의 목적함수를 최소화 하는 변형된 PDF P_m 을 구하기 위하여, 목적함수를 미분하여 0이 되는 해를 찾으면 다음과 같다.

$$P_m = \left(\frac{1}{1+\lambda}\right) P_d + \left(\frac{\lambda}{1+\lambda}\right) P_t \quad (13)$$

식 (13)은 λ 값을 조절하여 맵핑 함수를 개선시킬 수 있다. λ 값이 0일 경우에 P_m 은 P_d 와 같게 되고 이 변형된 PDF를 이용해서 맵핑 함수를 구하면

PTM 방법과 일치하게 된다. 또한 λ 값이 커질수록 \mathbf{P}_m 은 \mathbf{P}_l 에 가깝게 변형되기 때문에 좀 더 개선된 맵핑 함수를 얻을 수 있다. 이러한 방법을 이용하면 위에서 언급한 과잉 개선으로 인한 밝은 부분에서의 포화 현상과 과도한 평활화 현상을 방지할 수 있다.

이후의 과정은 일반적인 히스토그램 평활화 방법과 같이 변형된 PDF로부터 CDF를 구하고 그것을 맵핑 함수로 사용해서 톤 맵핑을 수행한다.

$$C_m(k) = \sum_{i=0}^k \mathbf{P}_m(i) \quad (14)$$

$$T_m(k) = (D_{max} - D_{min}) \frac{C_m(k)}{C_m(T-1)} + D_{min} \quad (15)$$

식 (14)와 (15)는 \mathbf{P}_m 로부터 구한 CDF와 디스플레이할 luminance에 맞게 변환할 맵핑 함수를 가리킨다.

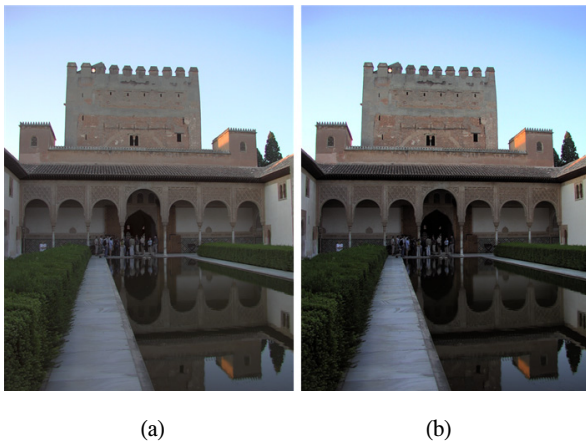


그림 1. (a) photographic 톤 맵핑 결과, (b) 제안하는 알고리즘 결과
Fig. 1. (a) The result of photographic tone mapping, (b) The result of the proposed method

그림 1은 PTM 방법과 제안하는 방법을 적용한 비교 영상이다. 히스토그램 변형 기법을 사용했기 때문에 contrast도 향상된 결과를 얻을 수 있고 어두운 영역과 밝은 영역의 디테일이 보존되는 것을 볼 수 있다. 그림 2는 그림 1 이미지의 히스토그램과 제안하는 방법을 적용했을 때 변형된 PDF를 나타낸다. 입력 영상의 히스토그램을 \mathbf{P}_l 로 제한하고 클리핑된 PDF를 보상해줌으로써 얻어진 변형된

PDF의 그래프를 확인할 수 있다.

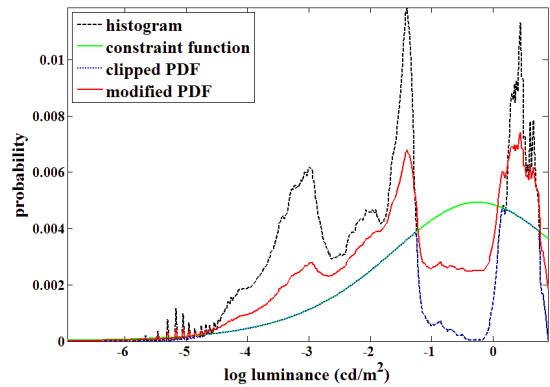


그림 2. 그림 1 이미지의 히스토그램과 변형된 PDF
Fig. 2. Histogram and Modified PDF of image in Fig. 1

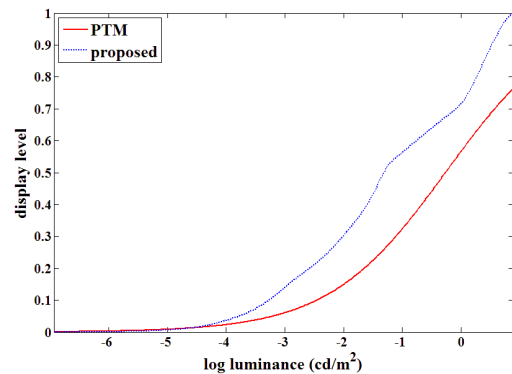


그림 3. photographic 톤 맵핑 함수와 제안하는 알고리즘의 톤 맵핑 함수
Fig. 3. Tone-mapping function of photographic and proposed method

또한 그림 3은 변형된 PDF로부터 구한 톤 맵핑 함수와 PTM 함수의 그래프를 나타낸다. 제안하는 방법의 톤 맵핑 함수는 PTM 함수와 유사한 형태를 가지지만 입력 영상에 따라 기울기가 적응적으로 정해질 뿐 아니라 밝은 영역에서의 포화 없이 모든 동적 영역을 활용함으로써 영상의 화질 개선을 수행할 수 있다.

IV. 실험 및 결과 분석

제안한 알고리즘의 성능평가를 위하여 다양한 실 내의 영상들에 대해 주관적 화질 및 객관적 지표를 통해 비교하였다. 비교평가에는 HAT(histogram adjustment technique)^[6], BFM (bilateral filtering method)^[4], PTM, EPDM (edge-preserving decomposition method)^[5], HALEQ (histogram



그림 4. 주관적 화질 비교, 좌측부터 우측방향으로 HAT, BFM, PTM, EPDM, HALEQ, 제안한 방법
 Fig. 4. Subjective quality comparison, HAT, BFM, PTM, EPDM, HALEQ, proposed algorithm from left to right

adjustment based liner to equalized quantizer)^[7] 방법들을 사용했다. 모든 비교 방법들은 입력 영상의 RGB 색 공간을 CIE XYZ 색 공간으로 변환한 후 Y성분만으로 알고리즘을 적용하고 톤 맵핑을 수행

하였다. 그리고 다음과 같은 식을 이용하여 변환된 luminance에 맞게 색상보정 과정을 거친 후 최종 결과 이미지를 얻었다.

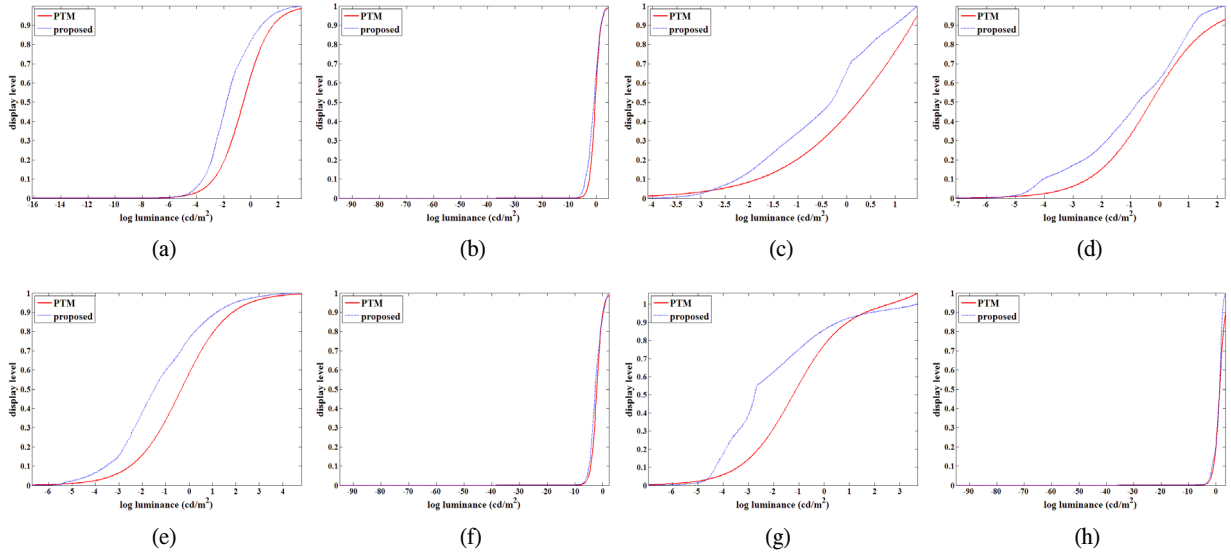


그림 5. 그림 4 이미지의 톤 맵핑 함수 (a) Im01, (b) Im02, (c) Im03, (d) Im04, (e) Im05, (f) Im06, (g) Im07, (h) Im08
 Fig. 5. Tone-mapping function of images in Fig. 4 (a) Im01, (b) Im02, (c) Im03, (d) Im04, (e) Im05, (f) Im06, (g) Im07, (h) Im08

$$\begin{bmatrix} R_d \\ G_d \\ B_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_d \left(\frac{R_W}{L_W} \right)^s \\ L_d \left(\frac{G_W}{L_W} \right)^s \\ L_d \left(\frac{B_W}{L_W} \right)^s \end{bmatrix} \quad (16)$$

여기서 s 는 채도 조절 파라미터 (saturation control parameter)이다.

그림 4는 8개의 테스트 영상에 대한 주관적 화질 비교결과를 나타낸다. 테스트 영상은 전반적으로 밝고 어두운 부분이 혼합되어 있는 경우의 영상을 사용하였고 각 영상은 위에서부터 아래방향으로 Im01 ~ Im08로 지칭하도록 한다. HAT 방법은 히스토그램을 기반으로 톤 맵핑을 수행하기 때문에 전체적인 영상의 contrast는 향상되지만 과도한 평활화 효과로 인해 색상이 왜곡되고, 영상의 밝은 부분에서는 디테일이 부족함을 볼 수 있다. 역시 히스토그램을 기반으로 하는 HALEQ 방법은 톤 맵핑을 수행한 후에 히스토그램 변형 기법을 사용하기 때문에 원 영상의 에지 정보를 보존하지 못하고, Im06과 Im07 영상에서 볼 수 있듯이 어두운 부분의 영상은 contrast가 충분히 향상되지 못한다. BFM과 EPDM 방법은 원영상의 에지 정보를 보존하기 위한 방법이다. 입력 영상의 디테일 영상을 제외한 나머지 영상만을 톤 맵핑을 수행함으로써 원 영상의 에지를 보존하기 때문에 영상의 디테일이 유지됨을 볼 수

있다. 하지만 이러한 방법은 영상마다 파라미터 튜닝을 해야 하는 단점을 가지고 있고 결과 영상에서 볼 수 있듯이 에지가 과도하게 강조되거나 contrast 부분에서는 우수한 성능을 보이지 못한다. PTM 방법은 영상에서 전체적으로 우수한 성능을 보이지만 어두운 부분의 디테일이 상대적으로 부족하고 contrast 역시 향상되지 못하는 것을 볼 수 있다. 제안하는 알고리즘을 적용한 영상은 밝은 부분과 어두운 부분 모두 보다 높은 선명도를 나타내는 것을 볼 수 있고, contrast도 향상됨을 확인할 수 있다.

그림 5는 그림 4 이미지 각각의 PTM 함수와 제안하는 방법의 톤 맵핑 함수를 나타낸다. PTM 함수의 경우에는 기울기는 영상마다 조금씩 차이는 있지만 0값 근처를 중심으로 S-커브 형태를 유지하고 있다. 예외로 그림 5의 (c)는 영상의 전체 동적 영역이 상대적으로 좁기 때문에 S-커브의 중심 부분만이 적용된 경우이다. 맵핑 함수의 그래프에서 볼 수 있듯이 PTM 함수는 모든 영상에 대해서 항상 일정한 형태를 유지하기 때문에 영상에 따라 적응적이지 못하고 그림 5의 (c), (d), (h)를 보면 일부 밝은 부분의 동적 영역을 사용하지도 못한다. 하지만 제안하는 알고리즘은 전반적으로 PTM 함수의 경향을 유지하면서 영상마다 적응적으로 톤 맵핑 함수를 얻을 수 있고, 항상 모든 동적 영역을 활용할 수 있다.

제안하는 방법과 기존의 방법에 대한 성능을 주관적인 평가 외에 객관적인 지표로 비교하기 위해서 EBCM (edge-based contrast measure)^[9]과 GSD

표 1. EBCM과 GSD 객관적 지표 비교
Table 1. The comparison of objective measurement: EBCM and GSD

		HAT	BFM	PTM	EPDM	HALEQ	Proposed
Im01	EBCM	0.8391	0.5529	0.8403	0.8648	0.7919	0.8151
	GSD	38.3522	7.0865	31.4833	26.6877	25.3048	41.3173
Im02	EBCM	0.8259	0.8088	0.7877	0.8749	0.7774	0.7364
	GSD	45.4942	28.1788	66.2277	51.7456	54.4752	64.6101
Im03	EBCM	0.8972	0.9089	0.8695	0.9146	0.8869	0.8796
	GSD	45.5265	57.8798	41.0953	32.8315	57.5302	51.4079
Im04	EBCM	0.8404	0.8436	0.7906	0.9076	0.7965	0.7932
	GSD	47.4078	42.9093	69.8786	38.9322	64.4478	69.2975
Im05	EBCM	0.6369	0.4818	0.6454	0.6694	0.6167	0.5856
	GSD	42.0419	9.4476	43.6806	28.7042	32.9166	46.8141
Im06	EBCM	0.8943	0.8867	0.8741	0.9167	0.8381	0.8739
	GSD	48.2702	24.6086	66.8951	51.3169	62.8152	67.2937
Im07	EBCM	0.7801	0.3785	0.7845	0.8287	0.6485	0.7983
	GSD	31.8643	4.9830	27.8027	19.1374	16.3246	38.0902
Im08	EBCM	0.6819	0.7453	0.6774	0.7680	0.6780	0.7096
	GSD	40.5230	21.6322	52.1886	43.9285	47.1625	58.3715

(global standard deviation)^[10]를 사용하였다. EBCM은 사람의 시각특성이 에지정보에 민감하다는 특성을 이용하여 영상의 에지 정보를 기반으로 영상을 평가하는 지표이고, GSD는 결과영상 전체에 대한 contrast를 나타내기 위한 객관적 지표이다. EBCM이 높을수록 영상의 디테일이 보존되고, GSD가 높을수록 높은 contrast를 나타낸다. 하지만 과도한 평활화 현상이 발생할 경우에는 contrast가 향상됐기 때문에 높은 GSD값을 가질 뿐만 아니라 그로 인한 노이즈 때문에 EBCM도 높은 값을 갖게 된다. 따라서 두 값 모두 높을 때 항상 좋은 화질을 갖는 것이 아니라 상대적인 수치로 비교해야 한다. 표 1은 각 영상의 EBCM과 GSD값을 나타낸다. HAT는 과도한 평활화 현상으로 인해 상대적으로 두 수치 모두 높은 값을 갖는다. 같은 히스토그램 기반 알고리즘인 HALEQ는 낮은 EBCM값을 갖기 때문에 영상의 디테일이 보존되지 못한다고 할 수 있다. 그리고 EPDM과 BFM과 같이 에지정보를 보존하는 알고리즘들은 전체적으로 높은 EBCM값을 갖지만 상대적으로 낮은 GSD값을 갖는다. 제안하는 알고리즘은 표 1에서 보는 것과 같이 높은 GSD값을 갖고, EBCM은 에지정보를 보존하는 알고리즘과 유사한 값을 갖고 있다. 이는 contrast는 향상되었고 그로 인한 추가적인 에지, 즉 노이즈가 발생하지 않았

다는 것을 나타낸다.

V. 결 론

제안한 알고리즘은 히스토그램 변형 기법과 인지 기반 톤 맵핑 함수를 이용해서 HDR 영상의 동적 영역을 줄이는 방법이다. 원 영상의 히스토그램을 인지기반 톤 맵핑 함수로 제한하고 각 단계별 알고리즘에 따라 변경된 PDF에 히스토그램 평활화 기법을 적용하여 최종 맵핑에 사용할 변환함수를 구한다. 이 과정은 인지기반 톤 맵핑 함수의 형태를 유지할 수 있고, 원 영상의 히스토그램에서 분포가 적은 부분이 과도하게 압축되는 것을 방지하여 영상의 에지를 보존할 수 있다. 실험결과 이전의 여러 방법과 비교하여 제안하는 알고리즘의 주관적 화질이 우수함을 확인할 수 있었으며 객관적 화질 지표를 통해서도 개선 효과를 확인할 수 있었다.

References

- [1] H. J. Kwon, S. H. Lee, S. M. Chae, and K. I. Sohng, "Multi scale tone mapping model using visual brightness functions for HDR image compression," *J. KICS*, vol. 37, no. 12,

pp. 1054-1064, Dec. 2012.

[2] 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, July 2002.

[3] E. Reinhard, "Parameter estimation for photographic tone reproduction," *J. Graphics Tools*, vol. 7, no. 1, pp. 45-51, Nov. 2003.

[4] F. Durand and J. Dorsey, "Fast bilateral filtering for the display of high dynamic range images," *ACM Trans. Graphics*, vol. 21, no. 3, pp. 257-266, July 2002.

[5] Z. Farbman, R. Fattal, D. Lischinski, and R. Szeliski, "Edge-preserving decompositions for multi-scale tone and detail manipulation," *ACM Trans. Graphics*, vol. 27, no. 3, pp. 1-10, Aug. 2008.

[6] G. W. Larson, H. Rushmeier, and C. Piatko, "A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes," *IEEE Trans. Vis. Comput. Graphics*, vol. 3, no. 4, pp. 291-306, Oct. 1997.

[7] J. Duan, M. Bressan, C. Dance, and G. Qiu, "Tone-mapping high dynamic range images by novel histogram adjustment," *Pattern Recognition*, vol. 43, no. 5, pp. 1847-1862, May 2010.

[8] T. Arici, S. Dikbas, and Y. Altunbasak, "A histogram modification framework and its application for image contrast enhancement," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 18, no. 9, pp. 1921-1935, Sep. 2009.

[9] T. Celik and T. Tjahjadi, "Automatic image equalization and contrast enhancement using Gaussian mixture modeling," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 21, no. 1, pp. 145 - 156, Jan. 2012.

[10] D. Menotti, L. Najman, J. Facon, and A. de A. Araújo, "Multi-histogram equalization methods for contrast enhancement and brightness preserving," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 53, no. 3, pp. 1186 - 1194, Aug. 2007.

김 원 균 (Wonkyun Kim)



2005년 2월 전자전기컴퓨터공학부 졸업
 2007년 2월 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 졸업 석사
 2007년 3월~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터 공학과 박사과정

<관심분야> 영상처리 및 영상압축

하 창 우 (Changwoo Ha)



2005년 2월 경원대학교 전자공학과 졸업 (현 가천대)
 2007년 8월 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 졸업 석사
 2007년 8월~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터 공학과 박사과정

<관심분야> 영상압축, 영상처리, DTV

정 제 창 (Jechang Jeong)



1980년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업
 1982년 2월 KAIST 전기전자공학과 석사
 1990년 미국 미시간대학 전기공학과 공학박사
 1980~1986 KBS 기술연구소

연구원(디지털 TV 및 뉴미디어 연구)
 1990~1991 미국 미시간대학 전기공학과 연구 교수 (영상 및 신호처리 연구)
 1991~1995 삼성전자 멀티미디어 연구소 (MPEG, HDTV, 멀티미디어 연구)
 1995~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 교수 (영상통신 및 신호처리 연구실)
 1998년 11월 27일 과학기술자상 수상
 1998년 12월 31일 정보통신부장관상 표창
 2011년 5월 제46회 발명의 날 녹조근정훈장 수훈
 <관심분야> 영상처리, 영상압축, 3DTV