

# Block Based Efficient JPEG Encoding Algorithm for HDR Images

## 블록별 양자화를 이용한 HDR 영상의 효율적인 JPEG 압축 기법

Chul Lee\*, Chang-su Kim\*  
이철\*, 김창수\*

### Abstract

An efficient block based two-layer JPEG encoding algorithm is proposed to compress high dynamic range (HDR) images in this work. The proposed algorithm separates an input HDR image into a tone-mapped low dynamic range (LDR) image and a ratio image, which represents the quotients of the original HDR pixels divided by the tone-mapped LDR pixels. Then, the tone-mapped LDR image is compressed using the standard JPEG scheme to preserve backward compatibility and the ratio image is encoded to minimize a cost function that models the perception of each block with different quantization parameters in the human visual system (HVS). Simulation results show that the proposed algorithm provides better performance than the conventional method, which encodes the ratio image without any prior information of blocks.

### 요약

본 논문은 HDR(High Dynamic Range) 영상을 기존의 JPEG 압축 방법을 이용하여 효율적으로 압축할 수 있는 방안을 제안한다. 입력 HDR 영상을 동적 영역 압축(Dynamic range compression)하여 통해 얻어지는 LDR(Low Dynamic Range) 영상 및 HDR 영상과 LDR영상의 비율을 나타내는 비율(Ratio) 영상으로 분리한다. LDR 영상은 하위 호환성을 유지하기 위해 기존의 JPEG 알고리즘을 이용하여 압축하며, 비율 영상은 각 블록별로 HVS(Human Visual System)이 인지하는 차이를 모델링 한 비용함수를 최소화 하도록 압축한다. 따라서 제안하는 알고리즘을 적용하면 동일한 조건에서 압축된 결과 영상에 왜곡이 적게 발생하게 되며, 컴퓨터 모의실험을 통해 그 유효성을 확인한다.

*Key words : High dynamic range image, JPEG coding, Tone mapping*

### 1. 서론

디지털 영상의 동적 영역(dynamic range)은 영상 내에서 가장 밝은 화소값과 가장 어두운 화소값의 비율로 정의된다. 실제 인간의 시각 인지 시스템(HVS)은 차수(order) 5 이상의 동적 영역을 인지할 수 있는

데 반해, 일반적인 디지털 카메라 및 모니터는 차수 2의 동적 영역을 표현할 수 있다. 따라서, 기존의 영상은 인간이 인지하는 그대료를 표현하는 것이 아니라 영상 장치가 표현할 수 있는 동적 영역 범위의 영상만을 나타낸다. 최근 인간이 인지할 수 있는 전 동적 영역 (full dynamic range)을 다룰 수 있는 영상을 표현하는 방식에 대한 연구가 컴퓨터 그래픽스 부

\* 高麗大學校 電子電氣工學科

(Department of Electrical Engineering, Korea University)

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(IITA-2007-C1090-0701-0017) 및 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2006-331-D00410)을 받아 수행된 연구임

接受日:2007年 12月 10日, 修正完了日: 2007年 12月 27日

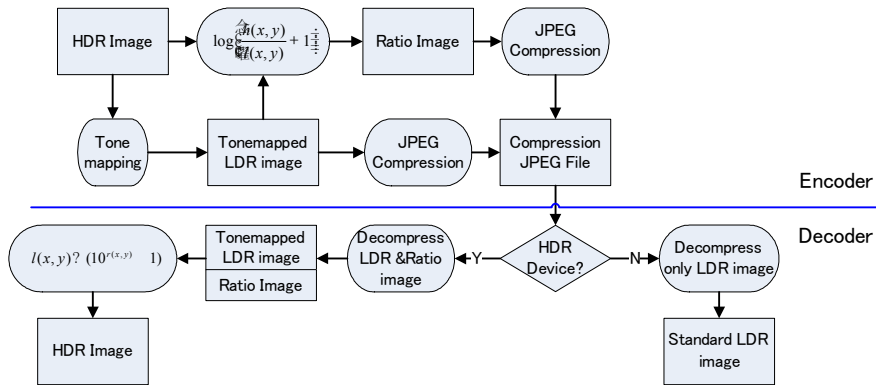


Fig. 1. Block diagram of the proposed HDR image encoding/decoding algorithm  
 그림 1. 제안하는 HDR 영상의 압축/복원 블록도

분에서 활발히 진행되고 있으며, 이와 같이 기존의 영상 장치가 다룰 수 있는 것보다 큰 동적 영역을 갖는 영상을 HDR (high dynamic range) 영상이라고 한다 [1]. HDR 영상의 연구는 획득, 표현 및 압축의 분야에서 많은 연구가 진행되었다.

HDR 영상의 획득은 동일한 장면(scene)을 서로 다른 노출 하에서 촬영된 사진을 이용하여 카메라 반응 함수 (camera response function)를 유추하며, 유추한 카메라 반응 함수를 이용하여 HDR 영상을 획득하는 방법이 대표적이다 [2][3]. 이러한 방법을 이용하면 약 10의 차수를 갖는 HDR 영상을 만들 수 있다. 여러 LDR 영상으로부터 HDR 영상을 획득하는 방법 이외에 큰 동적 영역을 촬영할 수 있는 장비가 개발 중이며, 몇몇 장비는 이미 상용화 되었다 [1]. 이외에도 HDR 영상을 직접 획득할 수 있는 이미지 센서에 대한 연구도 진행되고 있다 [4].

HDR 영상은 게임, 영화의 특수효과 및 감시 카메라 등에 부분적으로 적용되고 있으며, 향후 그 적용 범위는 더 커질 것으로 예상된다 [5]. 하지만 HDR 영상은 큰 동적 영역으로 인하여 기존의 디스플레이 장치에 표현될 수 없으며, 가까운 미래에는 HDR 영상을 표현할 수 있는 장치의 사용이 일반화 될 것으로 예상된다 [6]. 현재 HDR 영상을 기존의 장치에 그대로 출력할 수 없으므로, 출력을 위한 변환의 필요성이 발생하게 되는데 이러한 변환 과정을 톤 매핑 (tone mapping) 또는 동적 영역 압축 (dynamic range compression)이라 하며, 현재까지 많은 연구가 진행되었다 [7][8][9]. 이러한 연구의 목적은 HDR 영상 내의 정보를 최대한 유지하면서 동적 영역을 줄여 기존의 디스플레이 장치에 표현하는 것이다.

이와 같이 디지털 영상 장치의 발전으로 인하여 가까운 미래에는 기존의 영상보다 큰 동적 영역을 갖

는 HDR 정지영상 및 동영상의 사용이 일반화 될 것으로 예상된다. 큰 동적 영역을 갖는 HDR 영상을 저장 또는 전송하기 위해서는 매우 큰 저장 공간과 대역폭이 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 HDR 영상의 효율적인 압축 방법이 필요한 실정이다.

본 논문에서는 HDR 영상을 톤 매핑된 LDR 영상 및 입력 HDR 영상과 LDR 영상의 몫으로 나타내는 비율 (Ratio) 영상으로 나누어 독립적으로 압축하는 기법을 제안한다. LDR 영상은 하위 호환성을 유지하기 위해서 기존의 표준 JPEG을 이용하여 압축을 하며, 비율 영상은 각 블록 별로 HVS이 인지하는 차이를 모델링한 비용 함수를 최소화 하도록 하는 양자화 테이블을 이용하여 압축한다. 기존의 LDR 영상만을 다룰 수 있는 복호기는 LDR 영상만을 복호하며, HDR 영상을 다룰 수 있는 복호기는 LDR 영상뿐 아니라 비율 영상도 복호하여 HDR 영상을 복원한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 HDR 압축에 대한 기존의 연구를 소개하고, 3장에서 제안하는 HDR 영상 압축 방법을 제시한다. 4장에서는 모의실험을 통해 제안하는 알고리즘의 효율성을 평가한다. 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. HDR 영상의 압축

HDR 영상을 압축하는 방법은 최근 활발하게 연구되고 있으며, HDR 영상 압축을 위해 새로 제안된 방법[10][11][12], 기존의 영상 압축 방식을 확장해서 HDR 영상을 입력으로 사용하는 방법[13][14] 및 하위 호환성을 위해 HDR 영상을 LDR 및 오차(Ratio) 영상의 두 층으로 나누어 각각 압축하는 방법 [15][16][17]으로 나눌 수 있다.

HDR 영상만을 압축하기 위한 방식은 주로 초기에 연구되었으며 영상을 표현하기 위한 방법에서 시작한다. 가장 대표적인 방법은 RGBE[11] 방식으로 RGB 색상 정보를 각 1바이트의 가수(mantissa)와 1바이트의 공통된 지수(exponent)로 표현하는 방식이다. LogLuv [12] 방식은 RGB 색상정보를 휘도로 변환하여 16 비트로 표현하고 색차 정보인  $u$  및  $v$ 는 8비트로 표현한다. 위의 두 방식에서는 각 채널을 run-length coding을 이용하여 무손실 압축을 한다. 가장 최근에 제안되어 영화의 특수효과 등의 분야에 사용되기도 하는 OpenEXR[10] 방식에서는 각각의 RGB 색상 채널을 IEEE 부동소수점을 표현하는 방식과 유사하게 부호 비트(sign bit), 가수 및 지수로 분리하여 16 비트로 저장한다. 또한 OpenEXR 방식은 run-length coding 및 웨이블릿을 이용한 압축방법을 제공한다. 위의 3가지 압축 방식은 HDR 영상의 정보를 최대한 유지하기 위한 목표를 가지고 개발되었으며, HVS의 특성을 고려하지는 않는다.

HDR 영상은 데이터 크기가 매우 크므로 매체에 저장 또는 네트워크를 통한 전송을 하기 위해서는 큰 용량 및 대역폭을 필요로 한다. 따라서 향상된 rate-distortion (R-D) 최적화를 통한 손실 압축 기법의 필요성이 대두되었다. 기존의 압축 방식을 확장해서 HDR 영상을 압축하는 방식은 이러한 조건을 만족한다. Xu 등은 JPEG2000을 HDR 영상 압축에 적용하였다 [13]. 이들은 입력 HDR 영상을 로그 영역으로 변환하여, 12 비트의 정수로 양자화 한 후 JPEG2000의 입력으로 사용하였다. 이를 통해 JPEG2000의 전송 오류에 대한 강인성, 스케일러블 특성 등을 그대로 유지하였다. Mantiuk 등은 MPEG4를 확장한 HDR 동영상 압축 기법을 제안하였다 [14]. 이들은 HVS의 threshold versus intensity(TVI)를 이용하여 최적의 양자화 기법을 제안하며, 인간이 인지하는 전체의 동적 영역을 12 비트의 휘도 및 각 8비트의 색차 성분으로 양자화 하여 MPEG 압축을 수행한다. 또한 HDR 영상이 기존의 LDR 영상의 물체 경계 부분에서 큰 고주파 성분을 갖는다는 사실에 근거하여 각 블록별로 고주파 정보를 저장한다. 위의 2가지 방식은 높은 부호화 효율을 갖는다는 장점이 있다.

지금까지 다룬 방식은 모두 하위 호환성을 갖지 않는 방식이다. 따라서 부호기 및 복호기가 모두 HDR 영상을 다룰 수 있는 장치 또는 소프트웨어로 구성되어 있어야 한다. 하위 호환성을 갖는 방식을 사용하면 복호기는 HDR 영상을 다룰 수 없어도 톤 매핑된 LDR 영상을 복호할 수 있다. JPEG-HDR[16]은 HDR 영상을 두 층으로 나누어 압축하는 최초의 방식이다. 이 방식은 입력 HDR 영상을 톤 매핑 하여

얻는 LDR 영상을 기존의 JPEG 방식을 이용하여 압축을 한다. 톤 매핑된 LDR 영상과 입력 HDR 영상의 몫을 비율 영상이라고 하며, 역시 JPEG 방식으로 압축한다. 압축된 비율 영상은 표준 JPEG 파일의 사용자 마커를 이용하여 저장된다. 기존의 복호기는 톤 매핑된 LDR 영상만을 복호할 수 있으며, HDR 영상을 다룰 수 있는 복호기는 LDR 영상뿐만 아니라 비율 영상도 복호하여 HDR 영상을 복원할 수 있다. Okuda 등에 의해서 제안된 방식은 톤 매핑을 S 형태의 함수로 모델링 한 후, inverse tone mapping function(ITMF)을 모델링 하여 비율 영상을 구한다 [17]. 또한 압축 효율을 높이기 위해서 비율 영상은 웨이블릿을 이용하여 압축한다. Mantiuk 등은 이러한 방식을 MPEG으로 확장하여 하위 호환성을 갖는 동영상 압축 기법을 제안하였다 [15]. 위와 같은 방식은 기존의 부호화/복호화 방식을 HDR 영상에 확장한 방식에 비해서 압축 효율은 낮지만 하위 호환성을 갖는다는 장점이 있다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘들은 [16] 및 [17]에서 제안된 아이디어를 확장하여 정지 영상에 대한 압축 효율을 높인다. 즉, 입력 HDR 영상을 두 층으로 나누어 각각 JPEG을 이용하여 압축하며, 하위 호환성을 갖는다.

## II. 제안하는 알고리즘

그림 1은 제안하는 HDR영상 압축 알고리즘의 블록도를 보여준다. 입력 HDR 영상은 톤 매핑 과정을 통해서 LDR 영상으로 변환되며, LDR 영상과 입력 HDR 영상의 비율을 이용하여 비율 영상을 구한다 [16]. LDR 영상 및 비율 영상은 모두 JPEG[19]을 이용하여 압축되어 복호기로 전송된다. LDR 영상만을 다룰 수 있는 기존의 복호기는 LDR 영상만을 복원한다. HDR 영상을 다룰 수 있는 복호기는 LDR 및 비율 영상을 모두 복호하여 HDR 영상을 복원할 수 있다.

### 3.1 비율 영상

입력 HDR 및 톤 매핑된 LDR영상의 각 위치에서의 화소값을 각각  $h(x,y)$ ,  $l(x,y)$ 이라 하면, 입력 영상을 톤매핑된 LDR 영상으로 나눈 비율 영상을 로그 영역에서 아래와 같이 정의한다.

$$R(x,y) = \log\left(\frac{L(h(x,y))}{L(l(x,y))} + 1\right) \quad (1)$$

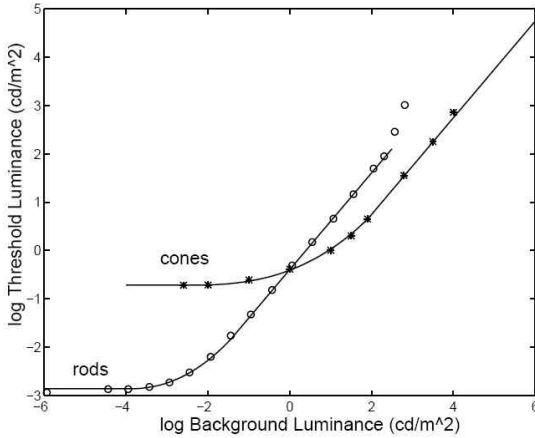


Fig. 2. A psychophysical model of detection thresholds over the full range of vision[18]  
 그림 2. 동적 영역에 대한 시각 인지 임계 모델[18]

$L$ 은 각 위치에서의 밝기 값을 나타낸다. 제안하는 알고리즘에서는 비율 영상을 JPEG-HDR[16]에서와 같이 1 바이트의 정수로 정규화 한다.

### 3.2 Threshold versus intensity (TVI)

제안하는 알고리즘은 HVS의 인지 특성을 고려하기 위해 TVI 함수를 이용한다. TVI는 밝기에 대한 HVS의 차이 인지의 임계값을 나타낸다. HVS의 밝기에 대한 차이의 민감도는 일반적으로 실험을 통해서 측정된다. 실험에서는 피실험자가 검은색의 배경 앞에 앉아서 배경색에 적응될 때까지 기다린다. 피실험자가 배경색에 적응한 후, 수 ms정도의 짧은 시간 동안 특정 밝기의 빛을 배경에 비춘다. 점점 빛의 밝기를 밝게 변화시키면서 피실험자가 밝기의 차이를 감지하는 순간의 빛의 밝기를 기록한다. 이와 같은 실험을 배경색의 밝기를 변화시키면서 적용하여 전 동적 영역에 대한 시각 인지 임계 모델을 구할 수 있다. 그림 2는 HVS의 rod와 cone 모델에 대한 실험 결과를 나타내며 [18], 각 배경의 밝기에 대해서 HVS이 그 차이를 인지할 수 있는 빛의 밝기 값을 도시한다.

### 3.3 블록별 양자화

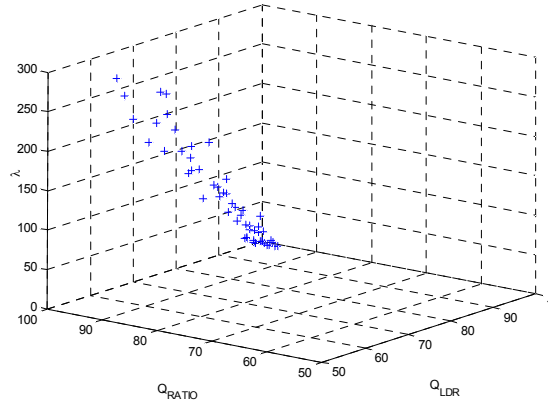


Fig. 3. The relation between  $\lambda$  and the quality factors of LDR and Ratio images  
 그림 3. LDR 및 Ratio 영상의 압축 품질 인자에 따른  $\lambda$

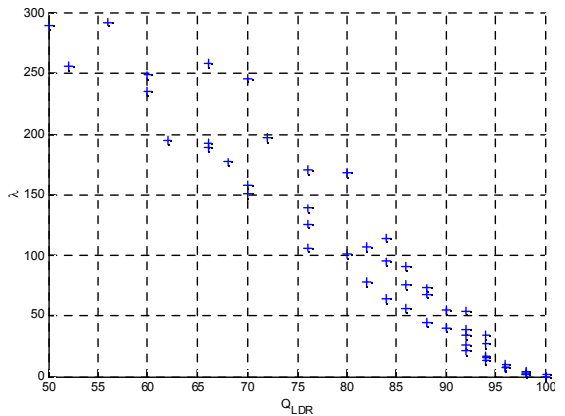


Fig. 4. The relation between  $\lambda$  and the quality factors of LDR images (Projection of Fig. 3)  
 그림 4. LDR 영상의 압축 품질 인자에 따른  $\lambda$  (그림 3의 투영)

본 논문에서는 JPEG-HDR[16]을 확장하여 JPEG 압축 시 각 블록별로 서로 다른 양자화 테이블을 사용하여, 입력 영상에서의 물체의 경계선 부분과 평평한 부분을 구분하여 서로 다른 양자화 계수를 사용하여 압축한다. 제안하는 알고리즘은 압축된 LDR 영상을 기존의 JPEG 복호기를 이용해서 복원할 수 있도록, 비율 영상만을 블록별로 다른 양자화 계수를 사용하여 압축한다. 또한, 각 블록은 기본 양자화 테이블

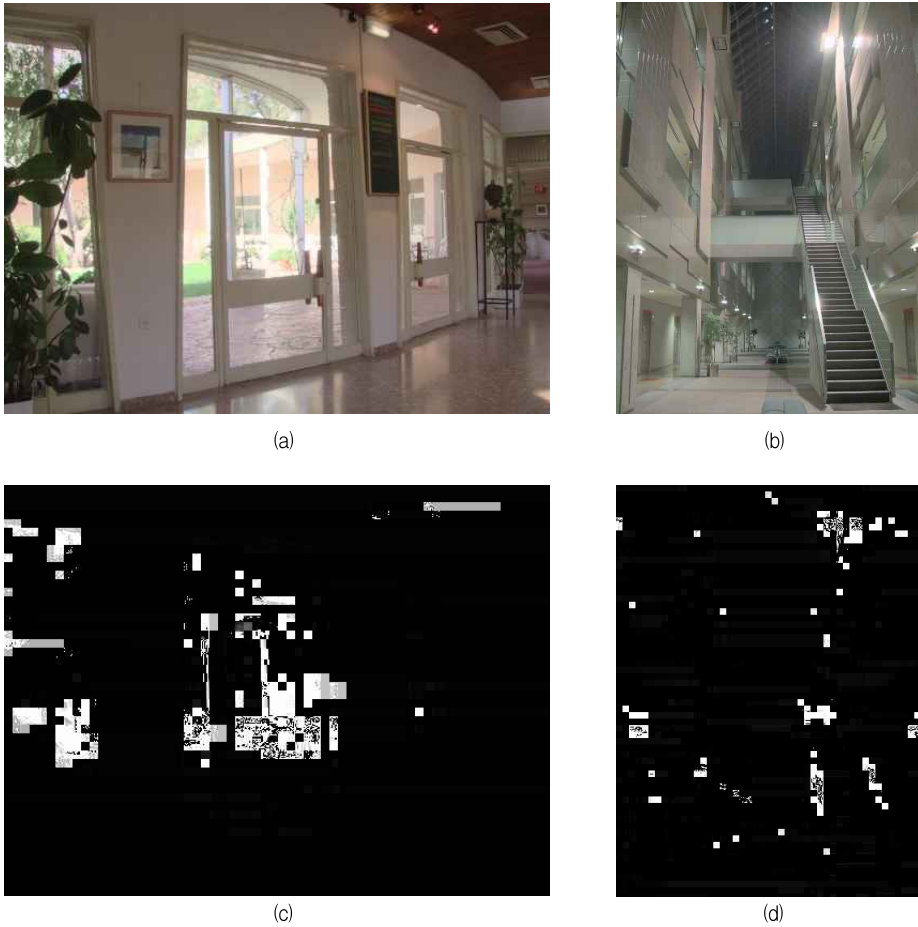


Fig. 5. Results from the proposed algorithm : (a),(b) The tone-mapped "Dani\_Belgium" and "AtriumNight"  
 (c),(d) The encoded Ratio images with different quantization tables  
 그림 5. 제안하는 알고리즘을 이용하여 압축한 결과: (a),(b) 톤매핑 된 "Dani\_Belgium" 및 "AtriumNight"  
 (c),(d) 서로 다른 양자화 테이블을 이용하여 부호화된 비율 영상

블에 정수배 인자를 곱한 테이블로 양자화 한다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 각 블록에 대해서 비용을 아래와 같이 모델링 하여 각 블록별로 비용을 최소화 하는 비율 영상의 양자화 테이블을 구한다.

$$J = D_{LDR} + \mu D_{HDR} + \lambda (R_{LDR} + R_{Ratio}) \quad (2)$$

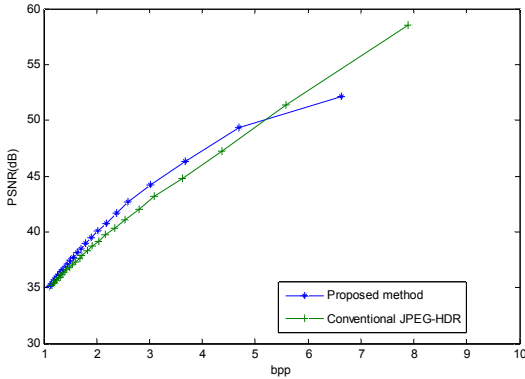
$D_{LDR}$  및  $D_{HDR}$ 은 각각 LDR 및 HDR 영상의 복원 후의 왜곡을 모델링 한 값으로 LDR 영상의 왜곡은 sum of squared differences(SSD)를 사용하여 아래와 같이 계산한다.

$$D_{LDR} = \sum_{x,y} |l(x,y) - \hat{l}(x,y)|^2 \quad (3)$$

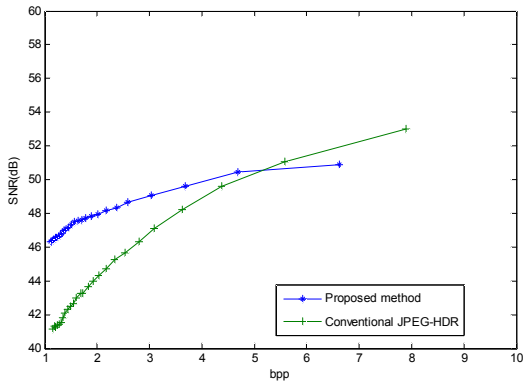
HDR 영상에 대한 왜곡은 다음과 같이 정의한다.

$$D_{HDR} = \sum_{x,y} \log(|h(x,y) - \hat{h}(x,y)| - TVI(h(x,y)))^2 \quad (4)$$

$\hat{l}$  및  $\hat{h}$ 는 복원된 LDR 및 HDR 영상의 화소값이며 TVI는 3.2절에서 언급한 것처럼 화소의 밝기에 따라 HVS가 화소의 차이를 인지하는 임계값을 모델링 한



(a) Result of LDR image  
(a) LDR 영상의 결과



(b) Result of LDR image  
(b) LDR 영상의 결과

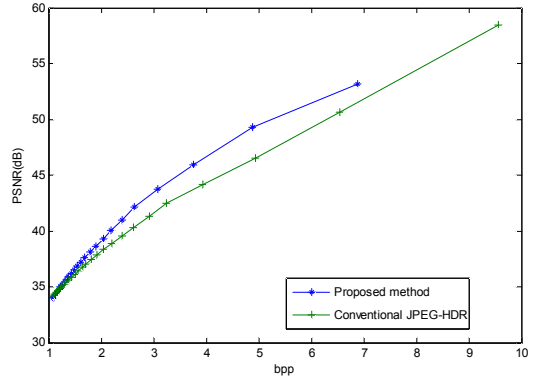
Fig. 6. Comparison for "Dani\_Belgium" image  
그림 6. "Dani\_Belgium" 영상의 결과 비교

것이다. 식 (4)는 입력 HDR 영상의 화소값과 복원된 HDR 영상의 화소값의 차이가 TVI를 초과하는 구간을 모델링 함으로써 실제 HVS에 의해서 차이로 인식되는 부분만 고려한다. 식(2)의  $\mu$ 는 식(1)의 관계로부터 아래와 같이 모델링 한다.

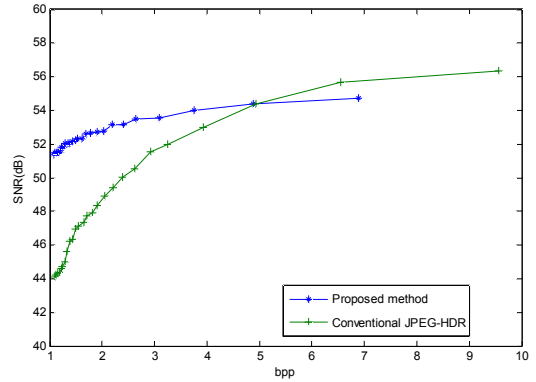
$$\mu = \alpha \frac{1}{10^{R_{\max} - R_{\min}} - 1}, \quad \alpha = \frac{l_{avg}}{h_{avg}} \quad (5)$$

여기서  $R_{\max}$  및  $R_{\min}$ 은 각각 비율 영상의 화소값의 최대 및 최소값을 나타내고,  $l_{avg}$  및  $h_{avg}$ 는 각각 LDR 및 HDR 영상의 평균 화소값이다.

식 (2)의  $\lambda$ 는 LDR 및 비율 영상의 품질 인자 (quality parameter)를 변경시키면서 비율  $J$ 를 최소로



(a) Result of LDR image  
(a) LDR 영상의 결과



(b) Result of LDR image  
(b) LDR 영상의 결과

Fig. 7. Comparison for "AtriumNight" image  
그림 7. "AtriumNight" 영상의 결과 비교

만드는 값을 실험적으로 구하여 모델링 하였다. 그림 3은 여러 HDR 영상에 대해서 LDR 및 비율 영상의 품질 인자를 변화시키면서  $J$ 를 최소로 만드는 점을 표시한 것이다. 부호화 과정에서는 LDR 영상의 품질 인자로만 품질을 제어하므로 그림 3의 3차원 축을  $\lambda$  축으로 투영하여 그림 4와 같은 그래프를 얻을 수 있다. 그림 4의 그래프를 선형 근사화를 하여 아래와 같이 모델링 하였다.

$$\lambda = -6.242676 Q_{LDR} + 615.535889 \quad (6)$$

여기서  $Q_{LDR}$ 은 LDR 영상의 JPEG 압축시의 품질 인자로 100일 때 가장 좋은 압축 품질을 갖는다.

위의 방법을 이용하여 HDR 영상을 압축하면 3

개의 독립된 데이터가 출력되며, 각각 JPEG 압축된 LDR 영상 데이터, 서로 다른 양자화 테이블로 JPEG 압축된 비율 영상 데이터, 각 블록의 양자화 테이블을 복원할 수 있는 인자(parameter)의 스트림이다. 예로서 볼 수 있듯이 비율 영상을 압축할 때 주위의 블록과 대부분 동일한 양자화 테이블을 이용하여 압축한다. 따라서 각 블록의 양자화 테이블을 복원할 수 있는 인자의 스트림은 동일한 인자가 반복되는 형태를 갖으므로 run-length coding을 사용하여 그 크기를 줄인다.

#### IV. 실험결과

본 논문에서 제안하는 방법의 유효성을 검증하기 위해서 압축하기 전후의 HDR 및 LDR 영상의 품질을 기존의 JPEG-HDR[16]의 결과와 비교하였다. 톤매핑 방법은 기존에 제안된 어떠한 방법도 적용될 수 있으나, 실험에서는 동일한 비교를 위해서 JPEG-HDR에서 기본적으로 사용하는 Reinhard등이 제안한 방법[7]을 사용하였다. HDR 영상의 품질을 비교하는 여러 방법이 소개되었으나, 일률적으로 널리 사용하는 방법은 아직 없으며, 본 논문에서는 SNR을 비교하였고, LDR 영상은 PSNR으로 비교하였다.

그림 5에 제시된 HDR 영상을 실험에 사용하였으며, 그림 6 및 그림 7에 제안하는 알고리즘을 이용하여 압축 및 복원한 HDR 및 LDR 영상의 왜곡을 도시하였다. 이를 통해 제안하는 HDR 영상 압축 알고리즘이 기존의 JPEG-HDR과 비교하여 향상된 성능을 보임을 알 수 있다. 특히 낮은 전송률에서 더 좋은 성능을 보이는데 이는 블록별 양자화 테이블을 복원할 수 있는 인자가 전송률에 따라서 다르며, 낮은 전송률에서는 대부분 동일하여 run-length coding 효율이 높고, 높은 전송률에서는 대부분 다르기 때문에 효율이 낮기 때문이다.

#### V. 결론

본 논문에서는 HDR 영상을 LDR 및 비율의 두 영상으로 나누어 하위 호환성을 갖도록 JPEG으로 압축하는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법에서는 비율 영상을 각 블록별로 비용함수를 최소로 하도록 양자화 테이블을 선택하여 압축한다. 모의 실험을 통하여 제안하는 방법이 기존의 HDR영상 압축 방법과

비교하여, 결과 파일 크기 대비 왜곡이 감소하는 효율적인 방법임을 확인하였다.

#### 참고문헌

- [1] E. Reinhard, G. Ward, S. Pattanaik, and P. Debevec, *High Dynamic Range Imaging*, Morgan Kaufmann Publishers, 2005.
- [2] T. Mitsunaga, and S.K. Nayer, "Radiometric self calibration," in Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), vol. 1, pp. 374-380, 1999.
- [3] P. Debevec, and J. Malik, "Recovering high dynamic range radiance maps from photographs," in Proc. of SIGGRAPH 97, pp. 369-378, 1997.
- [4] X. Liu, and A. El Gamal, "Synthesis of high dynamic range motion blur free image from multiple captures," IEEE Trans. Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications vol. 50, no. 4, pp. 530-539, 2003.
- [5] E. Reinhard, P. Debevec, G. Ward, K. Myszkowski, H. Seetzen, D. Hess, G. McTaggart, and H. Zargarpour "High Dynamic Range Imaging: Theory and Practice," in SIGGRAPH 2006 Courses, 2006.
- [6] H. Seetzen, W. Heidrich, W. Stuezelinger, G. Ward, L. Whitehead, M. Trentacoste, A. Ghost, and A. Vorozcovs, "High Dynamic Range Display Systems," ACM Trans. Graphics, vol. 23, no. 3, pp. 760-768, 2004.
- [7] 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.
- [8] R. Fattal, D. Lischinski, and M. Werman, "Gradient domain high dynamic range compression," ACM Trans. Graphics, vol. 21, no. 3, pp. 249-256, 2002.
- [9] 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, 2002.
- [10] R. Bogart, F. Kainz, and D. Hess, "OpenEXR image file format," in ACM SIGGRAPH 2003, Sketches & Applications, 2003.
- [11] G. Ward, "The RADIANCE Lighting Simulation

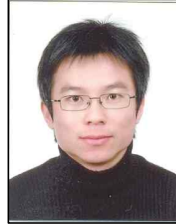
- and Rendering System," in Proc. of ACM SIGGRAPH 1994, pp. 459-472, 1994.
- [12] G.W. Larson, "LogLuv encoding for full-gamut, high-dynamic range images," Journal of Graphics Tools, vol. 3, no. 1, pp. 15-31, 1998.
- [13] R. Xu, S. Pattanaik, and C. Hughes, "High-Dynamic-Range Still-Image Encoding in JPEG 2000," IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 25, no. 6, pp. 57-64, 2005.
- [14] R. Mantiuk, G. Krawczyk, K. Myszkowski, and H.P. Siedel, "Perception motivated high-dynamic range video encoding," ACM Trans. Graphics, vol. 23, no. 3, pp. 733-741, 2004.
- [15] R. Mantiuk, A. Efremov, K. Myszkowski, and H. Seidel, "Backward compatible high dynamic range MPEG video compression," ACM Trans. Graphics, vol. 25, no. 3, pp. 713-723, 2006.
- [16] G. Ward, and M. Simmons, "JPEG-HDR: A Backwards-compatible, High Dynamic Range Extension to JPEG," in Proc. of the 13th Color Imaging Conference, pp. 283-290, Nov, 2005.
- [17] M. Okuda, and N. Adami, "Two-layer coding algorithm for high dynamic range images based on luminance compensation," Journal of Visual Communication and Image Representation, vol. 18, no. 5, pp. 283-290, Oct, 2007.
- [18] J. Ferwerda, S. Pattanaik, P. Shirley, and D. Greeberg, "A Model of Visual Adaptation for Realistic Image Synthesis," In Proc. of SIGGRAPH 96, pp. 249-258, 1996.
- [19] <http://www.ijg.org/>

---

 저 자 소 개
 

---

## 이철 (정회원)



range 영상처리

2003년 : 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업 (공학사)  
 2003년~2006년 : (주)바이오스페이스  
 2006년 9월~현재 : 고려대학교 대학원 전자전기공학과 석사과정  
 <주관심분야> High dynamic

## 김창수



1994년 : 서울대학교 제어계측공학과 졸업 (공학사)  
 1996년 : 서울대학교 대학원 제어계측공학과 (공학석사)  
 2000년 : 서울대학교 대학원 전기공학부 (공학박사)  
 2000년~2001년 : Visiting Researcher, USC  
 2001년~2003년 : 서울대학교 전기공학부 박사후연구원  
 2003년~2005년 : Assistant Professor, Chinese University of Hong Kong  
 2005년 9월~현재 : 고려대학교 전기전자전파공학부 조교수  
 <주관심분야> 비디오 및 3D 영상처리, 멀티미디어 통신