

# 신뢰도 전파를 이용한 HDR 영상의 동적 영역 압축

이철, 김창수  
고려대학교 전자전기공학과  
e-mail : *kayne@korea.ac.kr, changsukim@korea.ac.kr*

## HDR Tone Mapping Using Belief Propagation

Chul Lee, Chang-su Kim  
School of Electrical Engineering  
Korea University

### Abstract

A dynamic range compression algorithm using Markov random field (MRF) modeling to display high dynamic range (HDR) images on low dynamic range (LDR) devices is proposed in this work. The proposed algorithm separates foreground objects from the background using the edge information, and then compresses the color differences across the edges based on the MRF modeling. By minimizing a cost function using belief propagation, the proposed algorithm can provide an effective LDR image. Simulation results show that the proposed algorithm provides good results.

없다. 기존의 영상 장치가 다룰 수 있는 것보다 큰 동적 영역을 갖는 영상을 HDR 영상이라고 한다. 디지털 영상 장치의 발전으로 인하여 가까운 미래에 HDR 영상의 사용이 일반화 것으로 예상되며, HDR 영상을 기존의 LDR 장치에 표현할 필요성이 발생하게 된다. 이와 같이 HDR 영상을 LDR 영상으로 변환하는 과정을 톤-매핑(tone-mapping) 또는 동적 영역 압축(dynamic range compression)이라고 한다[1].

디지털 영상을 MRF로 모델링 하여 처리하는 방법은 컴퓨터 비전 분야에서 활발히 연구되고 있으며 [2][3], 제안하는 동적 영역 압축 기법에서는 HDR 영상을 MRF로 모델링하고, 신뢰도 전파를 이용하여 비용 함수 에너지가 최소가 되도록 LDR영상을 추정한다.

### I. 서론

디지털 영상의 동적 영역(dynamic range)은 영상 내에서 가장 밝은 화소값과 가장 어두운 화소값의 비율로 정의한다. 일반적인 디지털 카메라 및 모니터가 차수(order) 2의 동적 영역을 다룰 수 있는데 반해, 인간의 시각 인지 시스템(HVS)은 차수 5 이상의 동적 영역을 인지할 수 있다. 따라서, 기존의 영상 장치는 인간이 인지하는 영상을 그대로 획득 또는 표현할 수

### II. 제안하는 알고리즘

본 논문에서는 MRF 모델링의 에너지 함수를 아래와 같이 정의한다 [3].

$$E(f) = \sum_{p \in P} D_p(f_p) + \sum_{(p,q) \in N} V(f_p - f_q) \quad (1)$$

$P$ 를 HDR 영상의 화소의 집합,  $L$ 을 레이블(label)의 집합이라 하며, 레이블 값은 추정하는 LDR 화소값이다. 레이블링  $f$ 는  $f_p \in L$ 를  $p \in P$ 에 매핑하는 것이며,  $N$ 은 영상에서 두 이웃한 화소를 연결하는 에지의 집합이다.  $D_p(f_p)$ 는 입력 영상과 결과 영상 사이의 차이를 나타내는 비용이고,  $V(f_p - f_q)$ 는 결과 영상에서 각 화소값과 이웃한 화소값의 차이에 해당하는 비용이다.

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2006-C1090-0603-0017)

최대곱(max-product) 신뢰도 전파에서는 영상의 그리드로 정의된 그래프에서 메시지를 전달한다. 구체적으로 그래프의 각 노드는 4 점의 이웃한 노드에 반복적이고, 독립적으로 메시지를 전달한다. 메시지는 레이블의 수와 같은  $k$  차원의 벡터로, 아래와 같이 정의되며,  $m_{p \rightarrow q}^t$ 는  $t$ 번째 반복에서 노드  $p$ 가 노드  $q$ 에 보내는 메시지이다.

$$m_{p \rightarrow q}^t = \min_{f_p} \left( V(f_p - f_q) + D_p(f_q) + \sum_{s \in N(p)/q} m_{s \rightarrow p}^{t-1}(f_p) \right) \quad (2)$$

메시지의 전달의  $T$ 번째 반복에서 신뢰도 벡터는 아래와 같이 구할 수 있으며, 레이블  $f_q^*$ 는 각각의 노드에 대해서  $b_q(f_q)$ 를 최소로 만드는 값으로 선택된다 [2].

$$b_q(f_q) = D_q(f_q) + \sum_{p \in N(q)} m_{p \rightarrow q}^T(f_q) \quad (3)$$

제안하는 HDR 동적 영역 압축 알고리즘에서는 HDR 영상에 대해서 주변 화소와의 차이가 클수록 동적 영역이 압축되는 양이 커지도록 MRF 모델링을 한다. 따라서 영상에서 물체와 배경을 구별하는 경계선에서만 동적 영역이 압축된다. 또한 인간의 시각 인지 시스템의 특성을 고려하기 위해서 HDR영상의 화소값은 로그 영역에서 처리한다. HDR 영상의  $p$  위치에서의 화소값을  $I_p$ 라고 하고, 그 화소의 4개의 이웃한 화소값을 각각  $I_{p_1}, I_{p_2}, I_{p_3}, I_{p_4}$ 라고 하면, 4개의 각각의 화소값과  $p$  위치의 화소값의 차이를 나타내는 벡터를 다음과 같이 정의한다.

$$C_p = [G_p - G_{p_1}, G_p - G_{p_2}, G_p - G_{p_3}, G_p - G_{p_4}] \quad (4)$$

식(4)를 이용하여, 식(1)의 데이터 비용  $D_p(f_p)$  및 비연속 비용  $V_p(f_p - f_q)$ 는 다음과 같은 식으로 모델링한다.

$$D_p(f_p) = \lambda \min \left[ \left\{ \text{norm} \left( \left( \frac{I_p}{\|C_p\|^\alpha + 0.01} \right)^\gamma - f_p \right), \tau \right\} \right] \quad (5)$$

$$V_p(f_p - f_q) = \min((f_p - f_q)^2, d) \quad (6)$$

식(5)는  $C_p$ 에 반비례 관계가 있으므로, 물체의 경계선에서  $D_p(f_p)$ 가 작은 값을 갖으며,  $\text{norm}(\cdot)$ 은  $[0, 255]$ 으로 정규화하는 연산자이다.

### III. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 [3]에서 제안된 MRF 모델의 효과적인 신뢰도 전파 알고리즘을 이용한다. 5번의 반복적인(iterative) 메시지 전달과 5 레벨의 크기 단계(scale level)를 사용하였다. 식 (5) 및 식



그림 1. 동적 압축된 결과영상

(6)에서 사용된 변수는 다음과 같다.  $\lambda = 5.0$ ,  $\alpha = 3.0$ ,  $\gamma = 0.1$ ,  $\tau = 10000$ ,  $d = 200$ . 제안하는 알고리즘을 이용하여  $256 \times 192$ 의 해상도를 갖는 RBGE 형식의 HDR 영상을 Pentium4 3.0GHz CPU와 1GB 메모리를 갖는 PC에서 동적 영역 압축을 하는데 약 13.7초가 소요되었다. 결과 LDR 영상을 그림 1에 도시하였다.

### IV. 결론

본 논문에서는 HDR 영상을 MRF로 모델링하여 동적 영역을 압축하는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법에서는 신뢰도 전파를 이용하여 비용 함수의 에너지를 최소화하는 LDR 영상을 추정하였다. 실험을 통하여 제안하는 방법이 영상의 대부분의 정보를 유지하면서 효과적으로 동적 영역을 압축함을 확인하였다.

### 참고문헌

- [1] E. Reinhard, G. Ward, S. Pattanaik, and P. Debevec, High Dynamic Range Imaging, Morgan Kaufmann Publishers, 2005.
- [2] Y. Weiss and W. T. Freeman "On the optimality of solutions of the max-product belief propagation algorithm in arbitrary graphs", IEEE Trans. Information Theory, 47(2):723-735, 2001.
- [3] P. F. Felzenszwalb and D. P. Huttenlocher "Efficient belief propagation for early vision", International Journal of Computer Vision, vol. 70, no. 1, Oct. 2006.