

PCA와 선형 양방향필터를 이용한 적응형 톤 매핑 기법

신인호*, 최명렬**

*한양대학교 전자통신공학과

**한양대학교 전자컴퓨터공학과

e-mail:skwak7@hanyang.ac.kr

An Adaptive Tone Mapping Method using The PCA and The Linear Bilateral Filter

In-Ho Shin*, Myung-Ruyl Choi**

*Dept of Electronic and Communication, Hanyang University

**Dept of Electronic and Communication, Hanyang University

요 약

고명암 대비(High Dynamic Range)영상을 일반 디스플레이 장치로 표현하기 위한 톤 매핑 기법을 제안한다. 제안하는 방식은 주성분분석(Principle Component Analysis)을 통해 구한 휘도채널을 양방향필터를 이용하여 기본 영상과 디테일 영상으로 분리한다. 기본영상은 동적영역분할과 재분배를 수행하고, 기본영상의 밝기값과 향상된 밝기값을 이용하여 후광현상을 제거한다.

실험 결과에서 제안하는 기법은 저명암대비 영상에서 명암비 향상과 동시에 디테일이 보존되는 것을 확인할 수 있다.

1. 서론

디지털 영상 획득 기술의 급속한 발달로 인하여 인간의 눈으로 보는 장면(Scene)을 영상 출력 장치에 재현해 내는 것이 영상 화질 개선 연구에 있어서 중요한 목표이다. 그러나, 고명암 대비(High Dynamic Range, HDR)영상의 실제 밝기는 $10^{-4} \sim 10^5$ cd/m² 로 이것을 디스플레이 장치로 표현 할 경우 제한된 저명암 대비(Low Dynamic Range, LDR) 영상내에서 표현이 되어야 하는데, 동적 영역(Dynamic Range)의 불일치로 인해 동적 영역의 압축이 발생하게 되어 영상의 명암비(Contrast)와 디테일(Detail)이 훼손된다. HDR 영상의 동적영역의 범위를 LDR로 변환하여 원 영상의 훼손을 최소화 하는 톤 매핑 기법이 제안되었다[1][4][5].

이에 고명암 대비 영상의 기본 영상과 디테일 영상을 구하여 디테일을 보존하며, 또한 명암비 향상 기법을 이용한 저명암 대비 영상 추출 하는 기법을 제안한다.

본 논문의 2장에서는 제안 하는 기법에 대해 설명하였다. 3장에서는 기존 기법과 제안 하는 기법에 대한 결과 영상들을 비교하였으며, 4장에서는 결론과 앞으로의 연구방향에 대하여 논의 하였다.

2. 본론

2.1 PCA를 이용한 Luminance 생성

주성분 분석법(PCA)은 다차원 신호를 분석하여, 데이터

의 차원을 낮추는데 많이 이용되는 다변량 통계 분석 방법으로 주어진 데이터를 분산이 최대가 되는 축으로 변환하는 것이다. 톤 매핑 과정에 필요한 밝기 정보를 얻기 위해 입력영상의 Red, Green, Blue 채널을 분리하여 주성분 분석을 수행한다[2].

수행 단계는 아래와 같다.

- 1) R, G, B 각각의 성분에 평균 밝기 값을 뺀다.
- 2) 영상의 공분산행렬을 구하고, 공분산행렬의 고유벡터와 고유값을 구한다.
- 3) 특징벡터를 만들고 Luminance를 만든다.

2.2 양방향 필터를 이용한 영역 분할

주성분 분석법으로 생성된 밝기 정보를 이용하여 기본 영상과 디테일 영상을 분리하기 위하여 로그 스케일로 변환한 후에 양방향 필터를 사용한다[1]. 이에 대한 수식은 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} I(x, y) &= \log_{10}(I_{pca}(x, y) + 0.0001) \\ I_b(x, y) &= F_b(I(x, y)) \\ I_d(x, y) &= I(x, y) - I_b(x, y) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $F_b()$, I , I_b , I_d 는 각각 양방향필터[1], 로그 스케일된 밝기, 양방향필터를 통해 추출된 기본영상, 로그스케일된 밝기와 기본영상의 차이값인 디테일 영상이다.

2.3 분할된 동적 영역을 통한 확률분포 결정

기본영상과 디테일 영상을 분할한 뒤에 전체적으로 영상의 향상을 하기위해 기본영상의 동적영역을 k 개로 균등하게 분할하고 각각의 분할된 영역을 분할영역(SDR : Separated Dynamic Range)이라고 정의한다. k 는 1에서부터 최대 밝기값까지의 범위를 가질 수 있으며, i 번째 분할영역의 최소 밝기값을 p_i , 최대 밝기값을 p_{i+1} 로 나타내고 식(2)과 같이 정의한다.

$$P_i = \text{minimum histogram level of } SDR_i + \frac{\text{Dynamic Range}}{k} \times i, \text{ when } 0 \leq i \leq k \quad (2)$$

분할영역의 크기를 기본영상의 동적영역에 대한 비율에 따라 조정하기 위해 분할영역의 확률분포비율(PDRSDR : Probability Distribution Ratio of separated dynamic range)을 식(3)와 같이 정의한다.

$$PDRSDR = \frac{\sum_{j=P_i}^{P_{i+1}} h(X_j)}{N} \quad (3)$$

$h(X_j)$ 는 j 번째 히스토그램의 빈도수이며[3][6], N 은 영상 전체의 픽셀 개수를 나타낸다.

2.4 히스토그램 재분배

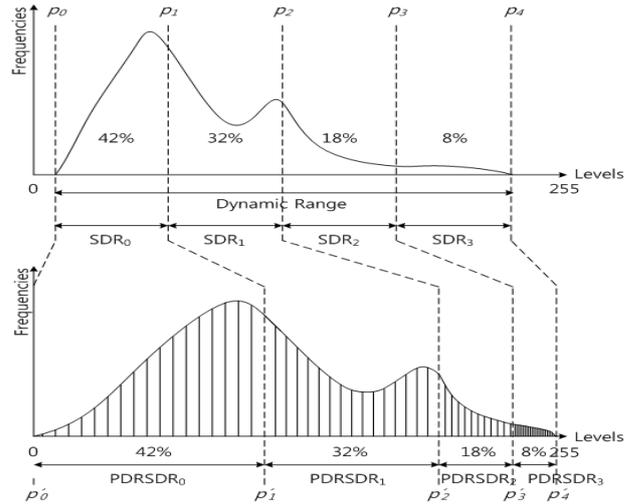
확률분포비율에 비례하여 조정된 분할영역을 정렬된 분할영역(ARSDR : Area Ratio of SDR)으로 정의한다. 이때, i 번째 정렬된 분할영역의 최소 밝기값을 p'_i , 최대 밝기값을 p'_{i+1} 로 나타내고 식(4)과 같이 정의한다.

$$P'_i = \sum_{j=0}^{i-1} PDRSDR \times 255 \quad (4)$$

정렬된 분할영역이 결정되면 분할영역의 히스토그램 레벨을 정렬된 분할영역 내에 균등하게 재분배 한다. 재분배된 히스토그램 레벨(RHL: Rearranged Histogram Level)은 식(5)와 같이 정의한다. 이 식에서 X_j 는 j 번째 히스토그램을 뜻한다.

$$RHL = (X_j - P_i) \times \frac{PDRSDR}{SDR_i} + P'_i, \text{ when } P_i < j < P_{i+1} \quad (5)$$

(그림 1)은 $k=4$ 일 때 동적영역 분할을 이용한 명암비 재분배를 나타낸다.



(그림 1) 동적영역 분할 및 재분배 ($k=4$)

2.5 후광현상을 해결하는 방법

명암비 재분배를 통한 밝기의 변화에 의해 발생하는 후광현상을 해결하기 위하여, 양방향 필터를 통해 추출된 $I_b(x,y)$ 와 $I_d(x,y)$ 의 명암비 재분배를 통해 만들어진 $RHL(x,y)$ 를 이용한 비율과 디테일 영상 $I_d(x,y)$, 디테일 영상 주위 픽셀의 평균값 $I_m(x,y)$ 을 이용하여 국부 디테일을 변화시키고, 이 변화된 디테일을 (CLD : Changed Local Detail)을 식(6)와 같이 정의한다.

$$CLD(x,y) = |I_d(x,y) - I_m(x,y)| \times I_{ratio} \quad (6)$$

$$I_{ratio} = \frac{RHL(x,y)}{I_b(x,y)}$$

식(6)에서 구한 CLD와 디테일 영상(I_d)을 이용하여 향상된 디테일 영상을 만들며, $\alpha = 0.4$ 을 나타내며, 식(7)과 같다.

$$I'_d(x,y) = I_d(x,y) + \alpha CLD(x,y) \quad (7)$$

디테일 영상과 기본영상을 이용하여 식(1)의 반대과정을 수행을 하면 새로운 밝기정보(I')를 얻을 수 있다. 식(7)과 같다.

$$I'(x,y) = I_d(x,y) + RHL(x,y) \quad (7)$$

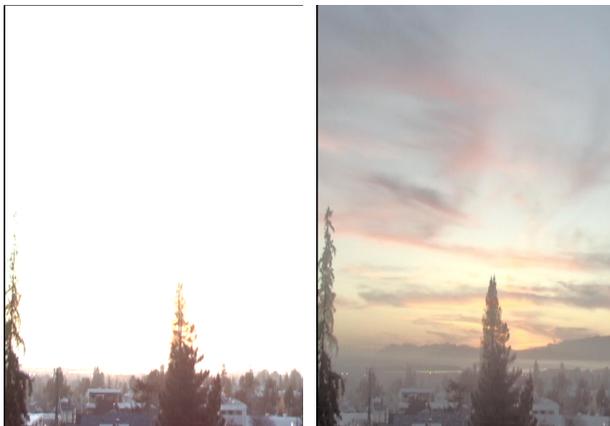
새로운 밝기 정보를 유지하면서 Red, Green, Blue 채널의 색을 변화시켜 저명암대비 영상을 만든다. I' 의 정규화된 값을 I_{new} 로 표기하며, λ 는 색상의 채도 계수로 보통 0.4~0.6사이의 값을 선택하며[1], 식(8)과 같이 정의한다.

$$R_{out} = \left(\frac{R_{IN}}{I}\right)^\lambda \times I_{new}, G_{out} = \left(\frac{G_{IN}}{I}\right)^\lambda \times I_{new} \quad (8)$$

$$B_{out} = \left(\frac{B_{IN}}{I}\right)^\lambda \times I_{new}$$

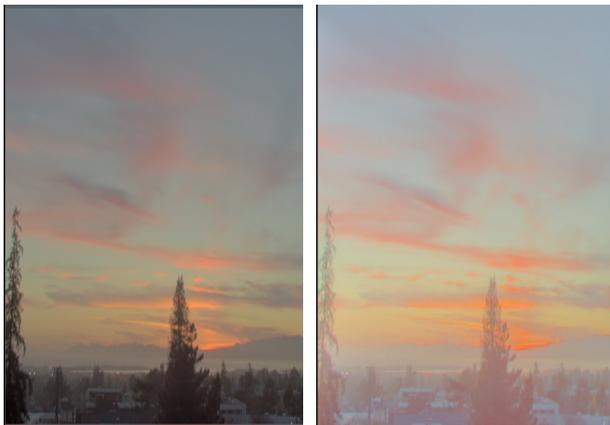
3. 실험결과

제안된 방법의 성능을 평가하기 위해 히스토그램 조정 기반 톤 매핑[1][5]과 양방향필터 기반 톤 매핑[4][5] 과 비교하였다. 해당 영상의 밝기는 $10^{-4} \sim 10^3$ cd/m² 를 가지고 있는 vinesunset 영상을 사용하였다. (그림 2)에서 히스토그램 조정을 통한 결과는 (b), 양방향필터 기반의 결과는 (c), 제안된 방법의 결과는 (d)에서 확인할 수 있다. 히스토그램 조정 기반의 톤 매핑 방법의 경우 과도한 밝기 변화가 발생하여 원 영상의 색상이 크게 훼손되는 문제가 발생하였다. 양방향 필터 기반의 톤 매핑 방법은 영상의 디테일 정보를 훼손시킨 것을 확인할 수 있다. 제안된 방법은 기존의 방법들에 비해 원 영상의 어두운 부분에서의 디테일 정보를 잘 보존하고 있으며, 자연스러운 색상을 표현해주고 있다. 또한, 후광현상이 거의 발생하지 않은 것을 확인할 수 있다.



(a) 원본 이미지

(b) 히스토그램 조정 기반



(c) 양방향필터 기반

(d) 제안 하는 방식

(그림 2) vinesunset 영상의 실험 비교

4. 결론

본 논문은 HDR 영상을 일반적으로 사용하는 LDR 영상출력 장치에 표현하기 위한 톤 매핑 기법을 제시하였다. 제안하는 방법은 주성분분석법을 통해 휘도채널을 추출하여, 이 추출된 휘도를 양방향필터를 통해 기본영상과 디테일 영상으로 분리한 후 기본영상은 동적영역분할과 재분

배를 수행하고, 디테일영상에서는 기본영상의 밝기값과 향상된 밝기값을 이용하여 후광현상을 제거한다.

실험 결과에서 제안하는 방법은 기존 방법들에 비해 후광현상이 거의 발생하지 않았으며 디테일 또한 잘 보존하였다. 또한 자연스러운 색상이 재현된 LDR영상을 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] X. Li, et al., "An adaptive algorithm for the display of high-dynamic range images," Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol. 18, No. 5, pp.379-404,2007.
- [2] L. Meylan and S. Süssstrunk, "High dynamic range image rendering using a retinexbased adaptive filter," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 15, 2006, pp. 2820-2830.
- [3] R. Crane, "A Simplified Approach to Image Processing," Prentice Hall, pp. 42-66, 1997.
- [4] F. Durand and J. Dorsey, "Fast Bilateral Filtering for the Display of High-Dynamic-Range Images," ACM Transaction on Graphics, Vol. 21, No. 3, pp. 257-266 (2002).
- [5] Erik Reinhard, et al., "HIGH DYNAMIC RANGE IMAGING," Morgan Kaufmann, pp. 237-340 (2006)
- [6] R. C. Gonzalez, "Digital Image Processing," 2nd Edition, Prentice Hall, pp. 91-107, 2003.