

저조도 영상의 대조비 향상을 위한 최적의 감마 보정 계수 추정 기법

정인호, 이철

부경대학교

dlshg251@pukyong.ac.kr, chullee@pknu.ac.kr

Optimal Gamma-Correction Parameter Estimation
for Low-Light Image Enhancement

Inho Jeong, Chul Lee

Pukyong National University

요약

본 논문은 감마 보정 기반의 저조도 영상의 대조비 향상을 위한 최적의 계수 추정 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 먼저 입력 영상의 휘도 정보를 로그 함수를 이용하여 정규화 한 후, 입력 영상을 밝은 부분과 어두운 부분으로 나눈다. 그런 다음 각각의 영역에서 통계적 특성을 고려한 비용 함수를 정의하고, 컨벡스 최적화 이론을 이용하여 최적의 감마 보정 계수를 얻는다. 마지막으로 과포화 현상이 발생을 억제할 수 있는 색상 복원 기법을 적용한다. 컴퓨터 모의실험을 통해 제안하는 기법이 기존 기법에 비해서 낮은 계산 복잡도를 보이면서도 향상된 대조비를 보임을 확인한다.

1. 서론

최근 디지털 영상 기술의 발전으로 다양한 영상 장치를 이용하여 고품질의 영상을 취득할 수 있게 되었다. 그럼에도 불구하고 빛의 양이 부족한 저조도 환경에서는 낮은 동적 영역으로 인하여 취득된 영상의 품질이 저하된다. 이러한 저조도에서 취득된 영상은 인공지능 영상처리, CCTV, 물체감지 등 다양한 영상처리 애플리케이션의 성능 저하를 초래한다. 따라서 이를 개선하기 위한 다양한 저조도 영상의 대조비 향상에 기법에 관한 연구가 진행되었다 [1-4]. 특히, 단순하면서도 높은 품질의 결과를 제공하는 감마 보정기법에 대한 많은 연구가 진행되었다 [1, 4].

감마 보정기법은 입력 화소값에 대한 결과 화소값을 구하는 방식을 파워 함수를 이용하는 기법이며, 최적의 감마값을 찾기 위한 연구가 진행되었다. 예를 들어, Yang 등은 최적의 감마값을 찾기 위한 함수에 중앙값을 이용한 기법을 제안하였다 [1]. 하지만 이러한 기법은 비선형적이기 때문에 계산 복잡도가 높고, 입력 영상의 동적 영역이 낮을 경우 과포화 현상이 일어나는 단점이 있다.

본 논문에서는 영상을 밝은 영역과 어두운 영역으로 나눈 후, 각 영역에 대해서 기존 기법에 비해서 더욱 효율적으로 최적의 감마값을

찾는 기법을 제안한다. 구체적으로는 최적의 감마값에 대해 근사화를 더 정확하게 할 수 있도록 문제를 공식화한 후, 컨벡스 최적화 기법을 이용하여 효율적으로 최적의 해를 구하는 기법을 제안한다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 제안하는 기법이 기존 기법[1]에 비해서 저조도 영상의 대조비를 더욱 향상시키면서도 더 낮은 계산 복잡도를 보임을 확인한다.

2. 제안하는 기법

제안하는 기법은 먼저 컬러 입력 영상을 YCbCr 색 공간으로 변환하여 얻은 휘도 정보를 로그 함수를 이용하여 정규화한다. 또한, 정규화된 화소값을 0.5를 기준으로 어두운 영역과 밝은 영역으로 나누고, 각 영역에 대해서 서로 독립적으로 감마 보정기법을 이용하여 대조비를 개선한다.

제안하는 감마보정 기법에서는 통계적 특성을 고려하여 어두운 영역과 밝은 영역에 대한 최적의 감마값(γ)을 구한다. 즉, 각 영역에 해당하는 화소의 휘도값의 평균과 표준편차를 같도록 하는 최적을 γ 을 얻는다. 즉, $\mathbf{s}_{dark} \in \mathbb{R}^N$ 를 어두운 영역에 속하는 화소값의 벡터라고 하고, N 을 어두운 영역에 속하는 화소의 개수라고 하면 최적의 γ 를 구하는 문제는 아래의 최적화 문제로 공식화한다.

이 성과는 2018년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2016R1C1B2010319).

$$\begin{aligned} & \text{minimize} \quad \left(\frac{1}{N} \mathbf{1}^T \mathbf{s}_{\text{dark}}^\gamma - M_L \right)^2 \\ & \text{subject to} \quad 0 \leq \gamma \leq 1 \end{aligned} \quad (1)$$

여기에서 M_L 은 어두운 영역에 속하는 화소의 휘도값의 표준편차이다. 수식 (1)의 비용함수는 지수함수이므로 γ 에 대해서 컨벡스하다. 따라서 (1)의 최적화 문제는 컨벡스 최적화 문제로 풀 수 있으며, KKT조건을 이용하여 감마보정 계수에 대한 수식을 얻을 수 있다. 얻어진 수식은 미분 가능하므로 본 연구에서는 Newton's method를 이용하여 해를 구한다. 실제 구현에서는 근사값 간의 오차가 10^{-7} 보다 작아질 때까지 반복적으로 γ 를 변화시키면서 최적의 값을 구한다.

이와 동일한 방법으로 밝은 영역에 속하는 화소에 적용할 최적의 γ 를 구한다. 밝은 영역에 대해서 최적의 γ 는 $1 \leq \gamma \leq 10$ 의 조건을 만족하도록 구한다. 각 영역에서 얻어진 최적의 γ 값을 이용하여 감마 보정을 적용하여 감마 보정된 휘도 영상을 얻는다.

마지막으로 감마 보정된 휘도 영상으로부터 아래의 기법을 이용하여 컬러 영상을 합성한다.

$$I_{\text{out}}^c(x,y) = L_{\text{out}}(x,y) \left(\frac{I^c(x,y)}{L_{\text{in}}(x,y)} \right)^{s(x,y)} \quad (2)$$

$$s(x,y) = 1 - \tanh(L_b(x,y)), \quad c \in R, G, B \quad (3)$$

여기에서 $s(x,y)$ 은 과포화 현상을 막기 위한 값이며, $L_{\text{out}}, L_{\text{in}}, I^c$ 는 각각 감마 보정된 화소값, 입력 휘도값, 각 컬러 채널의 입력 화소값을 나타낸다.

3. 실험 결과

본 논문에서는 제안하는 기법의 성능을 Yang 등의 기법 [1]과 Lim 등의 기법[2]의 결과와 비교한다. 그림 1은 'Cactus' 영상의 결과를 비교한다. 그림 1. (a)는 원본 영상을 도시하며, 그림 1 (b) 및 그림 1 (c)는 각각 Lim 등의 기법과 Yang 등의 기법을 도시한다. Lim 등의 기법은 대조비를 증가시키지만 블러링 현상이 발생한다. Yang 등의 기법은 블러링 현상이 없이 저조도 영상의 대조비를 효과적으로 향상시키지만 과포화 현상이 발생한다. 제안하는 기법은 기존의 기법과 비교하여 훨씬 높은 품질의 결과를 제공함을 확인할 수 있다.

마지막으로 제안하는 기법은 기존의 기법에 비해서 현저하게 작은 계산 복잡도를 갖는다. 구체적으로, Yang의 기법 [1], Lim의 기법 [2] 및 제안하는 기법은 3.3 GHz CPU의 PC에서 각각 2.1초, 0.4, 및 0.1초가 소요되었다.

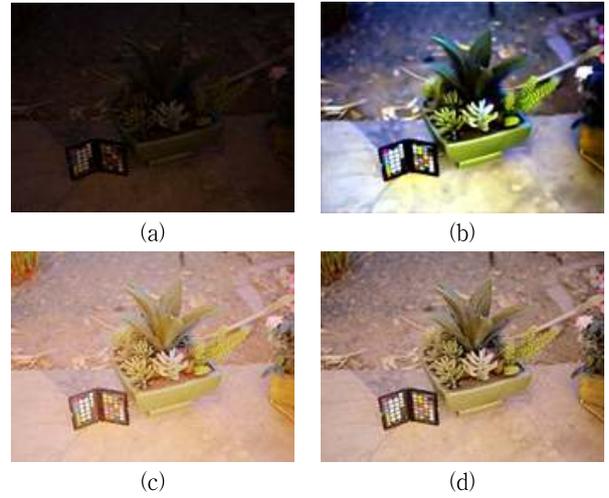


그림 1. 대조비 향상 결과 비교.

(a) 입력 영상, (b) Lim [2], (c) Yang [1], (d) 제안하는 기법.

4. 결론

본 논문에서는 감마보정의 최적 계수 추정에 기반을 둔 저조도 영상의 대조비 향상 기법을 제안하였다. 제안하는 기법에서는 정규화를 통해 얻어진 휘도 정보를 이용하여 입력 영상을 밝은 영역과 어두운 영역으로 분할하고, 각각의 영역에 대해서 통계적 기법을 적용한 컨벡스 최적화 기법을 적용하여 최적의 계수를 구한다. 모의실험을 통해서 제안하는 기법이 기존의 대조비 향상 기법에 비해서 훨씬 적은 계산 복잡도를 가지면서도 더 높은 품질의 결과 영상을 제공하는 것을 확인하였다.

5. 참고문헌

- [1] K.-F. Yang, H. Li, H. Kuang, C.-Y. Li, and Y.-J. Li, "An adaptive method for image dynamic range adjustment," accepted to *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Feb. 2018.
- [2] J. Lim, M. Heo, C. Lee, and C.-S. Kim, "Contrast enhancement of noisy low-light images based on structure-texture-noise decomposition," *J. Vis. Commun. Image R.*, vol. 45, pp. 107-121, May 2017.
- [3] X. Guo, Y. Li, and H. Ling, "LIME: Low-light image enhancement via illumination map estimation," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 26, no. 2, pp. 982-993, Feb. 2017.
- [4] Y. Chang, C. Jung, P. Ke, H. Song, and J. Hwang, "Automatic contrast-limited adaptive histogram equalization with dual gamma correction," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 11782-11792, Jan. 2018.