

라플라시안 피라미드를 이용한 컬러 영상의 화질 개선

백열민[○], 김형준^{*}, 이진언^{**}, 오상근^{**}, 김희율^{*}

^{*}한양대학교 전자통신컴퓨터공학과, ^{**}삼성전자주식회사

ymbaek@vision.hanyang.ac.kr, wykim@hanyang.ac.kr

Color Image Enhancement using Laplacian Pyramid

Yeul-Min Baek^{*}, Hyoung-Joon Kim^{*}, Jin-Aeon Lee^{**}, Sang-Guen Oh^{**}, Whoi-Yul Kim^{*}

^{*}Division of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University,

^{**}Samsung Electronics

요약

본 논문에서는 라플라시안 피라미드를 이용하여 컬러 영상의 밝기 및 색상을 개선하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 입력 영상을 라플라시안 피라미드로 구성된 후 저해상도 근사 영상을 이용하여 영상의 전체적인 밝기를 개선하고 대역 통과 영상들을 이용하여 대비를 개선한 후 입력 영상의 밝기 값에 따라 적응적으로 색상을 재현함으로써 최종적으로 컬러 영상의 화질을 개선한다. 실험 결과 제안하는 방법은 영상 조명 특성에 강인한 화질 개선 성능을 보여주었으며 동영상에 적용시에도 자연스러운 화질 개선 결과를 얻을 수 있었고 실시간 처리가 가능한 수행 속도를 보여주었다.

1. 서론

디지털 영상 화질 개선에 대한 연구는 오래 전부터 있어왔지만 최근 멀티미디어 콘텐츠가 폭발적으로 증가하면서 영상 특성에 강인하고, 동영상에 적용 가능한 화질 개선 방법의 필요성이 더욱 대두되고 있다.

영상 화질 개선에 대한 대표적인 방법으로는 히스토그램 평활화에 기반한 방법[2]과 Retinex 이론에 근거한 MSRCR 방법[3], 라플라시안 피라미드 혹은 웨이블릿 변환을 이용한 unsharp masking 방법[4][5] 등이 있다.

히스토그램 평활화 방법은 그 효과에 비해 구현이 단순하여 영상 대비 개선에 많이 사용되는 방법이다. 그러나 일반적으로 영상의 밝기값을 과도하게 변형시킴으로 인해 오히려 화질이 열화되는 경우가 발생하며 히스토그램의 형태가 쌍봉우리(bimodal)인 영상들에 대해서는 개선효과가 미미하다. 또한 동영상에 적용할 경우 프레임간의 히스토그램 변화에 따라 화면에 깜박임 현상이 발생하는 문제가 있다. 이를 보완하기 위해 BUBO 방법[2]이 제안되었으나 이 또한 입력 영상의 히스토그램의 형태가 쌍봉우리 형태인 영상에 대해서는 화질 개선 효과가 미미하며, 동영상에 적용시 fade in/out 등의 장면 전환 구간에서 화면에 깜박임 현상이 발생하는 문제가 여전히 존재한다.

MSRCR(Multi-Scale Retinex with Color Restoration) 방법[3]은 영상을 조명(illumination)과 반사(reflectance) 성분으로 분리한 후 조명 성분을 제거함으로써 조명에 의한 화질 저하를 개선하고 각 컬러 채널 별 반사성분의 크기를 증가시켜 색상을 복원하는 방법이다. 이 방법은 히스토그램 평활화에 기반한 방법들 보다 상대적으로 영상 특성에 더 강인하고, 색상까지 개선되는 장점이 있으나 영상의 조명 성분을 완전히 배제함으로써 결과 영상의 대비는 개선되지만 과도한 밝기와 색상의 재현으로 부자연스러운 결과를 보인다. 또한 계산량이 높아 동영상과 같이 실시간 처리를 요구하는 경우에는 부적합하다.

라플라시안 피라미드 혹은 웨이블릿 변환을 이용한 unsharp

masking 방법[4][5]들은 대역 통과 영상들에 이득을 줌으로써 영상 대비를 개선하지만 조명에 의한 밝기를 나타내는 저해상도 근사 영상에 대한 변환이 없어 영상의 밝기가 매우 어둡거나 밝은 경우 개선 효과가 미미하다. 또한 라플라시안 피라미드를 이용하는 방법[4]들은 대역 통과 영상의 이득을 결정하는데 있어 국부적인 정보를 고려하지 않아 영상의 밝은 영역에서 과도한 대비 개선으로 인해 부자연스러워 보이는 문제가 있다.

본 논문에서는 라플라시안 피라미드를 이용하여 영상을 다 해상도로 분해한 후 저해상도 근사 영상을 이용하여 영상 전체의 조명에 의한 밝기 개선을 수행하고 대역 통과 영상들을 이용하여 국부적으로 대비의 개선을 수행하며 최종적으로 입력 영상의 밝기 값에 적응적인 채도 증가를 통해 컬러 영상의 화질을 개선하는 방법을 제안한다.

2. 제안된 방법

본 논문에서 제안하는 방법은 그림 1과 같이 영상의 다해상도 분해, 영상의 전체적인 밝기 개선, 국부적인 대비 개선, 색상의 재현이 순차적으로 수행되어 최종적으로 컬러 영상의 화질을 개선한다.

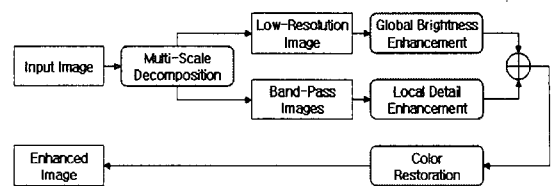


그림 1. 제안한 화질 개선 방법의 전체 과정

2.1. 라플라시안 피라미드를 이용한 다해상도 분해

본 논문에서 제안한 영상 밝기 개선 방법은 조명으로 인한 영상의 전체적인 밝기를 개선하는 것과 국부적으로 영상의 대비를 개선하는 것으로 구성되어있다. 따라서 제안한 방법을 수행하기 위해 입력 영상을 조명에 의한 밝기 성분과 대비 성분으로 분리해야 한다.

영상의 조명에 의한 밝기 성분은 일반적으로 공간적으로 균일한 분포를 가지므로 주로 저주파 성분으로 구성되어 있고 대비 성분은 영상의 경계 및 세부 정보의 표현력을 의미하므로 주로 고주파 성분으로 구성된다고 간주할 수 있다. 이러한 생각을 기본으로 하여 Homomorphic Filtering [1], MSRCR [3]등의 많은 방법들이 영상을 고주파 성분과 저주파 성분으로 분해하기 위해 고속 푸리에 변환, 라플라시안 피라미드, 웨이블릿 변환 등을 이용하고 있다.

본 논문에서는 라플라시안 피라미드를 이용하여 입력 영상으로부터 조명에 의한 영상의 밝기 성분과 대비 성분을 분리한다. 라플라시안 피라미드를 구성하기 위한 가우시안 피라미드의 구성 방법은 식 (1)과 같으며 이를 이용한 라플라시안 피라미드의 구성은 식 (2)와 같다. 식 (1)과 식 (2)에서 n 은 피라미드의 각 계층을 뜻하며 $S \downarrow$ 는 sub-sampling을, $S \uparrow$ 는 up-sampling을 뜻한다. F 는 가우시안 마스크이다.

$$LP_{n+1} = S \downarrow (F * LP_n) \tag{1}$$

$$BP_n = LP_n - S \uparrow LP_{n+1} \tag{2}$$

2.2. 조명에 의한 전체적인 밝기의 개선

라플라시안 피라미드 최상층의 저해상도 근사 영상은 조명에 의한 영상의 전체적인 밝기 성분을 의미한다. 따라서 이 저해상도 근사 영상에 식 (3)의 사상 함수를 적용하여 조명에 의한 영상 전체의 밝기를 개선할 수 있다.

식 (3)는 그림 2와 같은 형태를 가지는 사상 함수로써 입력 영상에서 조명이 어두운 영역에 대해서는 밝기를 높여주고 조명이 지나치게 밝은 영역에 대해서는 밝기를 낮춰주는 역할을 한다. 여기서 α 와 c 는 0에서 1사이의 상수이다.

$$LP_{Top}'(x, y) = -\left\{ -c \ln(LP_{Top}(x, y)) \right\}^\alpha + 1 \tag{3}$$

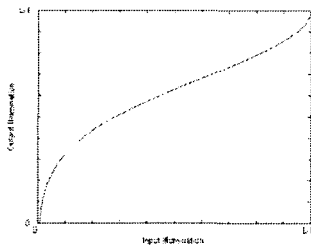


그림 2. 영상 전체의 조명에 의한 밝기 개선 사상 함수

2.3. 국부적인 밝기 대비의 개선

식 (2)로부터 구해진 라플라시안 피라미드의 대역 통과 영상

들은 입력 영상의 대비 성분을 의미하며 식 (4)와 같이 각 대역 통과 영상들의 동적 범위를 넓혀 줌으로써 입력 영상의 대비를 개선 할 수 있다. 식 (4)의 G 는 이득 함수로서 식 (5)와 같으며 이는 밝은 조명보다는 상대적으로 어두운 조명하에서 대비에 민감한 인간 시각 시스템의 특성에 기인한 것으로 그림 3과 같은 형태를 갖는다. 식 (5)에서 k 는 1보다 큰 상수이며 c 는 0과 1사이의 상수이다.

$$BP_n' = G(LP_{n+1}(x, y)) \times BP_n \tag{4}$$

$$G(I) = k \exp(-I^2 / c) + 1 \tag{5}$$

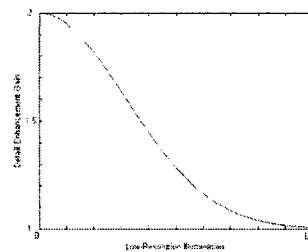


그림 3. 국부적인 대비 개선을 위한 이득 함수 $G(k=1, c=0.2)$

2.4. 색상 재현

앞 절에서 언급한 라플라시안 피라미드를 이용한 영상의 밝기 개선 방법은 입력 영상의 밝기 값만을 이용한 것으로 컬러 영상의 경우 개선된 영상의 밝기 값과 입력 영상의 밝기 값을 이용하여 추가로 색상을 재현해 주어야 한다. 식 (6)은 색상 재현을 위해 많이 사용되는 기존 방법 [6]으로써 C 는 R, G, B 각 컬러 성분값이며 I_{in} 은 입력 영상의 밝기 값, I_{out} 은 라플라시안 피라미드를 이용하여 개선된 밝기 값, s 는 상수이다. 이 방법은 입력 영상의 저채도 영역에 대해서도 채도를 증가시키기 때문에 영상의 어두운 영역에서 매우 부자연스러운 색상을 재현하는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 식 (6)의 상수 s 를 입력 영상의 밝기 값에 따라 식 (7)과 같이 결정함으로써 저채도 영역의 채도 증가를 억제하여 자연스러운 색상을 재현하도록 한다. 식 (7)의 γ 와 β 는 0에서 1사이의 상수이다.

$$C_{out} = \left(\frac{C_{in}}{I_{in}} \right)^s I_{out} \tag{6}$$

$$s = I_{in}^\gamma + \beta \tag{7}$$

3. 실험 및 결과

본 논문에서 제안하는 방법의 성능을 비교하기 위해 히스토그램 평활화, MSRCR 방법과 함께 그림 4, 그림 5와 같이 전체적으로 어둡거나 밝은 특성의 영상과 그림 6과 같이 부분적으로 밝고 어두운 특성의 영상을 실험하였다. 실험 결과 그림 4와 같이 영상 특성이 전체적으로 어두운 경우 히스토그램 평활화와 MSRCR이 제안하는 방법에 비해 더 나은 대비 개선 성능을 보여주었으나 과도한 밝기 개선으로 부자연스러운 결과를 보였다. 반면에 제안하는 방법은 자연스러운 밝기와 대

비 개선 성능을 보여주었다. 그림 5와 같이 영상 특성이 전체적으로 밝은 경우 히스토그램 평활화는 지나친 대비 증가로 인해 오히려 영상 내 객체가 어두워지는 결과를 나타내었고 MSRCR은 영상의 화질이 심하게 저하되었다. 이는 픽셀들의 밝기 값이 서로 비슷하여 조명 성분을 제거하더라도 영상내 객체와 배경의 반사 성분의 크기가 비슷하기 때문이다. 반면에 제안하는 방법은 밝기를 그대로 유지하면서 대비를 개선시키는 성능을 보여주었다. 그림 6과 같이 영상 특성이 부분적으로 밝고 어두운 경우 히스토그램 평활화와 MSRCR 방법은 어두운 영역에 대해서는 밝기와 대비 개선 성능을 보여주지만 밝은 영역의 대비가 심하게 저하되었다. 반면에 제안하는 방법은 밝은 영역의 대비를 저하시키지 않으면서 어두운 영역의 밝기와 대비를 자연스럽게 개선시켰다. 색상 재현의 경우 세 가지 영상 모두 제안한 방법이 MSRCR 보다 더 자연스러운 색상을 재현하였다. 또한 제안하는 방법은 2.0GHz CPU PC에서 QVGA급 해상도인 320×240 영상에 대해 31ms 처리 속도를 보여줌으로써 동영상에 위한 실시간 처리에도 적합한 수행 속도를 나타내었으며 동영상에 적용시 fade in/out 등의 장면 전환이 발생하더라도 영상이 깜박이는 현상이 발생하지 않았다.

4. 결론

본 논문에서는 라플라시안 피라미드를 이용하여 컬러 영상의 화질을 개선하는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 입력 영상을 라플라시안 피라미드를 이용하여 다해상도로 분해한 후 저해상도 근사 영상을 이용하여 영상 전체의 조명에 의한 밝기 개선을 수행하고 대역 통과 영상을 이용하여 국부적인 밝기 대비 개선을 수행하며 자연스러운 색상 재현을 위해 입력 영상의 밝기 값에 적응적인 채도 증가를 통해 최종적으로 개선된 화질의 영상을 획득한다.

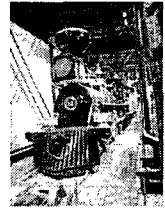
실험 결과 제안하는 방법은 기존의 히스토그램 평활화에 기반한 방법들 보다 영상 특성에 강인한 화질 개선 성능을 보여주었으며 MSRCR보다 더 자연스러운 화질 개선 성능을 보여주었다. 또한 동영상에 적용 시 깜박이는 현상이 발생하지 않고 실시간 처리에 적합한 처리 속도를 보여주었다.

참고문헌

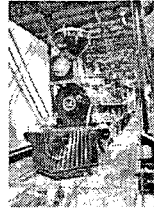
- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd ed., Prentice Hall, 2002.
- [2] S. J. Yang, J. H. Oh, and Y. J. Park, "Contrast Enhancement Using Histogram Equalization with Bin Underflow and Bin Overflow," *International Conference on Image Processing*, pp. 881-884, September 2003.
- [3] Z. Rahman, D. J. Jobson, and G. A. Woodell, "Retinex Processing for Automatic Image Enhancement," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 13, pp. 100-110, January 2004.
- [4] S. Dippel, M. Stahl, R. Wiemker, and T. Blaffert, "Multiscale Contrast Enhancement for Radiographies: Laplacian Pyramid versus Fast Wavelet Transform," *IEEE Transaction on Medical Imaging*, pp. 343-353, April 2002.
- [5] K. Huang, Q. Wang, and Z. Wu, "Color Image Enhancement and Evaluation Algorithm based on Human Visual System," *ICASSP 2004*, pp. 721-724, May 2004.
- [6] R. Fattal, D. Lischinski, and M. Werman, "Gradient Domain High Dynamic Range Compression," *ACM Transaction on Graphics*, pp. 249-256, July 2002.



(a) 원 영상



(b) 히스토그램 평활화



(c) MSRCR



(d) 제안한 방법

그림 4. 전체적으로 어두운 영상에 대한 화질 개선 결과



(a) 원 영상



(b) 히스토그램 평활화

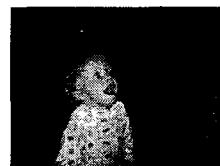


(c) MSRCR



(d) 제안한 방법

그림 5. 전체적으로 밝은 영상에 대한 화질 개선 결과



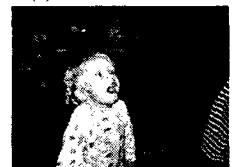
(a) 원 영상



(b) 히스토그램 평활화



(c) MSRCR



(d) 제안한 방법

그림 6. 부분적으로 밝고 어두운 영상에 대한 화질 개선 결과