

영상 선명화를 위한 개선된 Retinex 알고리즘

차효상[†], 홍성훈^{**}

요 약

디지털 카메라는 제한된 크기의 다이내믹레인지에 갖는 이미지 센서의 한계로 인하여 인간의 눈으로 보는 것과 동일한 화질의 영상을 얻을 수 없기 때문에 이를 개선해야 할 필요성이 있다. 기존의 화질개선 방법으로는 Land의 인간의 시각적 모델을 바탕으로 한 Retinex 알고리즘이 대표적이다. Retinex 알고리즘은 칼라의 일관성과 시각적인 개선을 제공하지만, 전역적인 contrast 감소와 후광효과 및 색왜곡 문제를 발생시키기도 한다. 이러한 문제를 개선하기 위해 본 논문에서는 YCbCr 색공간에서 휘도성분의 주파수성분에 대한 처리를 통해 전역적 contrast를 향상시키고, 색차성분에 대한 처리를 통해 칼라 선명도를 향상시키는 방법을 제안한다. 실험 결과영상의 비교를 통해 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 연산량 감소 효과가 뛰어나며 전역적 contrast 향상과 색상 보전 성능이 우수하고 후광효과를 효과적으로 제거함을 확인하였다.

Advanced Retinex Algorithm for Image Enhancement

Hyo-Sang Cha[†], Sung-Hoon Hong^{**}

ABSTRACT

The digital camera is impossible to preserve the appearance of a scene containing high dynamic range due to a limitations of the sensing hardware. The Retinex was proposed on the purpose to solve these problems. While the Retinex enhances visibility and color constancy, it sometimes suffers from color distortion, halo effect and reduced global contrast. This paper presents an advanced Retinex algorithm working on the YCbCr color coordinate to reduce the processing time and to improve the global contrast and color. Simulation results show that our algorithm significantly reduces the total processing time, and provide the superior result image by improving the global contrast and color consistency as well as by reducing the halo effect around the boundaries.

Key words: Retinex(레티넥스), image enhancement(영상 화질 향상), color enhancement(칼라 화질 향상), halo effect(후광효과)

1. 서 론

최근 디지털 기술의 급속한 발달로 다양한 환경에서 뛰어난 화질의 영상을 얻을 수 있는 디지털 카메라들이 개발되고 있다. 그러나 인간시각은 영역에 따

른 적응적인 노출 조절기능으로 인해 높은 다이내믹 레인지(dynamic range)의 장면을 인지하는 능력이 뛰어나지만, 디지털 카메라를 이용해 획득한 영상은 카메라의 물리적 한계로 인해 높은 다이내믹레인지의 장면을 표현할 수 없기 때문에 정보의 손실을 가

※ 교신저자(Corresponding Author) : 홍성훈, 주소 : 광주광역시 북구 용봉동 300 전남대학교 공과대학 전자컴퓨터공학부(500-757), 전화 : 062) 530-1758, FAX : 062) 530-1759, E-mail : hsh@chonnam.ac.kr
접수일 : 2012년 8월 3일, 수정일 : 2012년 10월 23일
완료일 : 2012년 11월 14일

[†] 준회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과
(E-mail : love_sasin@naver.com)

^{**} 정회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학부(정보통신연구소)
※ 본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

저오게 되며, 이것은 눈으로 보는 영상과 디지털 카메라로 촬영한 영상이 다르게 보이는 원인이 된다 [1,2]. 최근 이러한 디지털 영상의 표현의 한계를 극복하기 위한 명암재현 방법으로 인간의 시각적인 모델을 바탕으로 조명성분의 영향을 줄이는 Retinex 알고리즘에 대한 연구들이 진행되고 있다[3]. 가장 대표적인 Retinex 알고리즘은 SSR(Single Scale Retinex), MSR(Multi Scale Retinex), MSRCR (Multi-scale Retinex with Color Restoration) 등이 있으며 인간 시각모델에 기반한 Retinex 알고리즘은 다른 화질개선 기법에 비해 색채정보 보존과 명암대비(contrast) 향상이 우수하다고 알려져 있다[4].

SSR 알고리즘은 Log 연산을 근간으로 Gaussian 함수를 이용하여 입력영상의 조명성분(illumination)을 추정하고 추정된 조명성분을 입력영상으로부터 제거하여 사물의 특징을 표현하는 반사성분(reflectance)을 구해낸다[5]. 구해진 반사성분에서 컬러를 복원하고 게인과 옴셋을 적용하는 과정을 거쳐 최종 결과영상을 생성한다. 그러나 SSR 알고리즘은 가우시안 필터의 크기에 의존적이어서 입력영상의 특성에 따라 밝은 영역과 어두운 영역의 경계 부분에서 후광효과(halo effect)가 발생하거나 전역적인 대비가 감소하여 영상의 밝기가 단조로워진다.

Jobson가 제안한 MSR은 다양한 크기의 가우시안 필터를 사용하여 구한 SSR 결과에 적절한 가중치를 주어 평균함으로써 후광효과를 줄이고 전역적인 대비를 향상시켜 영상의 가시성과 색의 일관성을 유지하였다[6]. 그러나 SSR과 MSR은 R,G,B 채널에 각각 독립적인 연산을 수행하기 때문에 R,G,B 채널간의 비율이 변하여 색상이 입력영상과 다르게 나타나는 문제가 발생한다. 이러한 MSR의 색상왜곡을 보정하기 위하여 MSRCR에서는 R,G,B 채널별 색상의 비율을 유지하기 위한 변수가 사용되었지만 여전히 R,G,B 채널 별로 독립적인 처리를 하기 때문에 정확한 색상을 보정하지 못하였다[7]. 또한, MSR과 MSRCR 역시 차단특성이 다른 다수의 가우시안 필터에 적용되는 가중치가 일정하여 다양한 입력영상에 적응적으로 대응하기가 어려우며 조명성분의 추출 성능이 저하되어 각 반사성분 영상들이 가지는 고유 특성을 손실시키기도 한다. 또한 관심영역이 어렵게 보이는 역광영상에 적용할 경우 어두운 부분에서의 대비는 향상되어 가시성이 개선되지만 밝은 부분

에서는 오히려 표현 가능한 범위가 줄어들어 명암대비 개선의 불균형이 발생하기도 하고, 조명성분 추정 과정에서 R,G,B 각 채널에 convolution 연산이 사용되므로 많은 연산량이 요구된다[8].

이러한 문제점들을 개선하기 위해 여러 가지 연구들이 진행되고 있으며, 그 중 대표적으로 후광 효과 발생과 콘트라스트 손실의 문제의 원인이라고 할 수 있는 조명 성분의 추정 과정을 개선하기 위한 여러 가지 방법들이 제안되었다[9]. 또한, 컬러 복원 과정의 개선을 통해서 노이즈를 억제하고 자연스러운 색 재현을 위한 방법들, 그리고 레티넥스 알고리즘의 처리속도를 개선하여 효율을 높이기 위한 연구들도 진행되었다[10].

본 논문에서는 기존 Retinex 알고리즘 문제점인 가우시안 필터 처리에 많은 연산량이 요구되는 점과 경계 부분에서 후광효과가 발생하고 영상의 특성에 따라 전역적인 명암대비가 향상되지 못하며, 색상오류가 나타나는 단점을 극복하기 위한 방법을 제안한다. 제안 방식은 연산량을 감소시키기 위해 R,G,B 각 컬러 성분에 MSR을 적용하는 기존방식과 달리 YCbCr 색 공간에서 휘도성분(Y 채널)만 주파수 영역에서 조명성분을 구하며, 주파수에 적응적인 가중치 함수를 사용하여 후광효과를 억제하고 전역적으로 명암대비가 향상되도록 하였다. 또한 휘도신호에 대해 Retinex 처리 후 변화된 색선명도를 보정할 때 과도한 채도향상으로 인한 왜곡을 막기 위해 휘도와 색상에 따른 채도의 상관관계를 고려한 최대 색차신호 테이블을 이용하는 색선명도 향상방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존의 Retinex 기법들에 대하여 설명하고, 3장에서는 기존 알고리즘의 문제점을 해결하기 위해 원본의 특성을 유지하고 색채정보를 보존하는 개선된 Retinex 알고리즘을 제안한다. 4장에서 실험을 통해 제안된 방식의 성능을 평가하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 기존의 Retinex를 이용한 화질개선

2.1 SSR(Sigle Scale Retinex) 알고리즘

영상에서 색상은 조명과 물체의 반사 특성에 의해 결정되므로 식 (1)로 표현될 수 있다.

$$I_i(x,y) = l_i(x,y)r_i(x,y), i \in R, G, B \quad (1)$$

여기서 $0 < l_i(x, y) < \infty$ 는 영상에서의 조명성분을 의미하고, $0 < r_i(x, y) < 1$ 은 영상에서의 반사성분을 의미한다. 이 영상모델에서 조명성분은 영상의 한 부분에서 주파수가 느리게 변화하는 성분을 가진다고 가정하였고, 반대로 반사성분은 빠르게 변화하는 성분을 가진다고 가정하였다. Jobson은 조명성분을 추정하기 위해 입력영상에 Gaussian 필터를 적용하여 필터가 적용된 영상을 조명성분으로 가정하였다. SSR은 다음과 같은 식으로 정의 된다.

$$R_i(x, y) = \log I_i(x, y) - \log [F(x, y) * I_i(x, y)] \quad (2)$$

여기서 $I_i(x, y)$ 는 영상의 i 번째 채널의 밝기값을 의미하며 RGB일 경우 $i=1,2,3$ 이다. $F(x, y)$ 는 조명성분 추정을 위한 정규화된 Gaussian C/S(Center/Surround) 함수이며 '*'는 convolution 연산을 나타낸다. Gaussian C/S 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$F(x, y) = Ke^{-\frac{(x^2+y^2)}{c^2}}, \quad \iint F(x, y) = 1 \quad (3)$$

여기서 K는 정규화 계수이며 c 는 Gaussian 분포의 표준편차를 의미하는 C/S 상수를 나타내며 Gaussian 필터의 크기(scale)를 결정한다.

SSR은 c 의 크기에 따라 결과영상의 특성이 결정된다. c 가 너무 작은 경우 영상의 윤곽선이 보존되고 어두운 영역의 정보가 복원되지만, 원 영상에서의 어두운 영역과 밝은 영역 간 밝기차가 너무 줄어들어 전역적인 대비가 감소하는 문제점이 발생한다. 반대로 c 의 값이 너무 큰 경우 어두운 영역과 밝은 영역의 밝기 차이는 적절하게 개선되어 전역적인 대비는 향상되지만, 영상의 윤곽선 정보가 손실되고 밝은 부분과 어두운 부분의 경계에서 후광효과가 발생하여 영상정보가 손실되므로 영상에 따른 적절한 c 값의 결정이 중요하다[11]. 그러나 최적의 c 값 또한 입력영상의 특성과 영상에서 중요하게 관찰되는 부분에 따라 다르게 나타나기 때문에 쉽게 결정할 수 없다.

2.2 MSR(Multi Scale Retinex) 알고리즘

SSR은 적용되는 하나의 Gaussian 필터를 사용함으로써 입력영상의 특성에 따라 충분한 명도개선을 이루지 못한다. 이를 개선하기 위해 MSR(Multi-Scale Retinex)이 제안되었는데, MSR은 식 (4)와 같이 크기가 다른 Gaussian 필터를 적용한 SSR 출력영상들에 가중치를 부여하고, 그 결과를 합하여 출력 영상

을 얻는다.

$$R_{MSR_i}(x, y) = \sum_{k=1}^N W_k R_{k_i}(x, y), \quad \sum_{k=1}^N W_k = 1 \quad (4)$$

여기서 $R_{MSR_i}(x, y)$ 는 i 번째 컬러성분의 MSR 출력 영상을 의미하며, N 은 서로 다른 크기의 Gaussian 필터의 개수를 나타낸다. $R_{k_i}(x, y)$ 는 k 번째의 Gaussian 필터를 통해 생성된 i 번째 컬러성분의 SSR 영상을 의미하고, W_k 는 SSR 영상에 적용할 k 번째 Gaussian 필터에 대한 가중치를 의미하며, 모든 가중치의 합은 1이다. MSR은 서로 다른 크기의 Gaussian 필터를 적용한 여러 개의 SSR 결과를 이용하여 Gaussian의 크기에 따른 영상의 왜곡을 보정한다.

하지만 입력영상의 R,G,B 채널간의 상관도를 고려하지 않고 각각의 채널에 대하여 독립적인 연산을 수행하기 때문에 원본의 색이 왜곡된다. 또한 MSR은 SSR 영상들을 합성할 때 동일한 가중치를 주거나 임의적인 가중치를 주어 Gaussian 필터로 인하여 손실된 대비가 복원되지 못한 채 합성이 이루어진다. 따라서 출력 영상의 품질은 Gaussian 필터의 크기에 의존적일 수밖에 없어 SSR이 가지고 있는 문제를 완전히 개선하지는 못하였다[12].

2.3 MSRCR(MSR with Color Restoration) 알고리즘

SSR이나 MSR은 입력영상의 각 컬러성분에 독립적으로 적용되기 때문에 컬러 성분들 간의 연관성이 고려되지 않아 컬러의 왜곡이 발생하는 문제가 있다. 이를 개선하기 위해 MSR에 컬러 복원 기능을 추가한 MSRCR(Multi Scale Retinex with Color Restoration)이 제안되었다.

$$R_{MSRCR_i}(x, y) = C_i(x, y) \cdot R_{MSR_i}(x, y) \quad (5)$$

여기서 $R_{MSRCR_i}(x, y)$ 는 컬러 복원 과정을 거친 i 번째 컬러성분의 MSRCR 영상을 나타내며, $R_{MSR_i}(x, y)$ 는 i 번째 컬러 성분의 MSR 영상을 나타낸다. $C_i(x, y)$ 는 i 번째 컬러 성분의 컬러 복원 함수를 나타내며 다음과 같이 표현된다.

$$I'_i(x, y) = I_i(x, y) / \sum_{i=1}^S I_i(x, y) \quad (6)$$

$$C_i(x, y) = \beta \log[\alpha I'_i(x, y)], \quad i \in R, G, B$$

여기서 α 와 β 는 컬러 gain 상수이며, S는 컬러성분의 개수를 나타낸다. $I'_i(x,y)$ 는 컬러성분들 간의 연관성을 반영하기 위하여 각 컬러성분의 비율로 정규화된 i 번째 컬러성분의 입력영상을 나타낸다. MSRCR은 입력영상의 각 컬러성분의 비율이 반영된 컬러 복원함수를 적용하여 MSR에 비하여 향상된 컬러를 얻을 수 있다. 그러나 RGB 채널간의 비율을 일정하게 유지하지 못해 색상을 변화시키거나, RGB 공간에서 밝기의 증가로 채도가 RGB 색역의 경계까지 올라가 포화현상이 발생하여 자연스럽지 못한 채도가 나타나기도 한다.

3. 제안하는 Retinex 알고리즘

그림 1은 제안하는 알고리즘의 전체 구성도를 보여준다. 제안하는 알고리즘은 기존 Retinex 알고리즘의 문제점인 큰 연산량을 줄이기 위해 R,G,B 각 컬러 성분에 Retinex를 적용하지 않고 YCbCr 색 공간에서 휘도성분(Y 채널)에 대해서만 주파수 영역에서 Gaussian LPF(Low Pass Filter) 처리를 수행한다. 이때 주파수 영역의 LPF 구성은 가중치 함수로부터 구한 주파수 적응적인 가중치 W_i 를 Gaussian LPF의 주파수 성분에 곱함으로써 조명성분의 추정

에 사용할 가중합된 LPF의 주파수 성분이 구성된다. 여기서 주파수 영역의 LPF 구성은 필터처리 전에 한번 생성하고 메모리에 저장하기 때문에 추가적인 연산은 필요하지 않다. 주파수 영역의 LPF와 FFT(Fast Fourier Transform) 처리된 입력영상을 convolution 연산 대신 곱셈 연산을 수행하여 주파수 영역에서의 LPF 처리를 하고, IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 처리하여 조명성분을 획득한다. 입력영상과 조명성분을 로그를 취한 후 뺄셈 연산을 하고, 매핑 함수를 통해 결과 휘도영상($Y_{retinex}$)을 스트레칭시킨다. 한편 Cb, Cr 색차신호에 대한 색보정은 최대색차신호를 저장하고 있는 LUT(Look-Up Table)을 이용하여 입력 칼라의 색상을 유지하면서 휘도신호의 밝기변화에 따른 채도를 보상하여 색선명도를 개선한다.

3.1 휘도성분의 명도대비 향상을 위한 Retinex 처리

3.1.1 YCbCr 색공간에서의 MSR 처리

기존의 Retinex 알고리즘은 RGB 각 컬러 성분에 MSR을 적용하고 컬러 복원과정을 거쳐 컬러의 왜곡을 보상하는 방법을 사용하는데, 이 방법은 각 컬러 성분 별로 MSR 과정을 거치므로 연산량이 많고 각 컬러 성분의 연관성이 변화되어 컬러 왜곡이 발생한

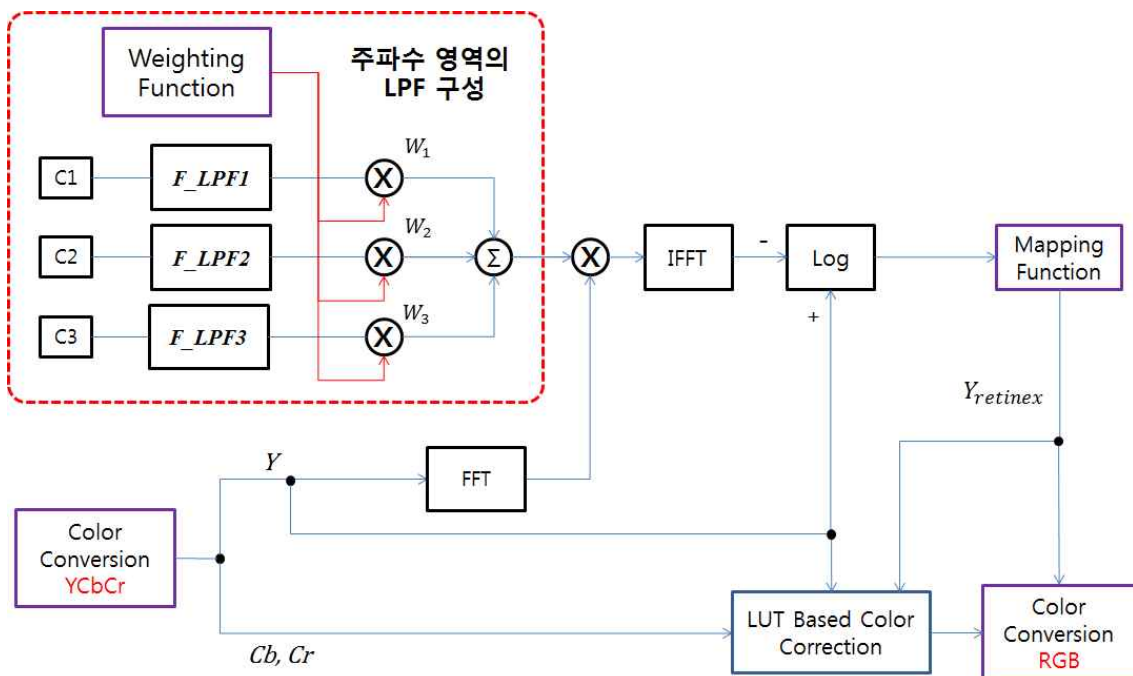


그림 1. 제안하는 알고리즘의 전체 구성도

다. 컬러왜곡을 보정하기 위해 컬러 복원과정을 거치지만 복원과정에 적용되는 gain에 따라 결과영상의 차이가 나므로 적합한 gain을 찾아야하는 어려움이 있다. 반면에 YCbCr 색 공간을 이용하면 입력영상이 휘도성분과 색차성분으로 분리되어 휘도성분에만 MSR과정을 적용하여도 되므로 연산량이 줄어든다. 또한, MSR처리에 따른 휘도성분의 변화율을 색차신호 보정 과정에 적용하면 원본 영상과 유사한 컬러를 얻을 수 있어 컬러 복원과정이 단순화되므로 입력영상이 RGB 색공간을 사용하는 경우 식 (7)과 같이 YCbCr 색공간으로 변환한다[13].

$$\begin{aligned} Y &= 0.2999R + 0.587G + 0.144B \\ C_b &= -0.1687R - 0.3313G + 0.5B \\ C_r &= 0.5R - 0.4187G + 0.0813B \end{aligned} \quad (7)$$

3.1.2 주파수 영역에서의 MSR 처리

Retinex 알고리즘은 원본 영상에 Gaussian LPF를 적용하여 조명성분을 추정하는 과정에서 convolution 연산이 사용되므로 연산량이 많아 실시간 처리에 어려움이 있다. 특히, 영상의 크기가 커짐에 따라 연산량이 가파르게 증가하기 때문에 조명성분을 추정하는 과정의 연산량을 줄이는 것이 전체 시스템의 속도에 중대한 영향을 미친다. 따라서 convolution 연산을 주파수 영역에서의 곱셈 연산으로 치환함으로써 연산량을 줄여 시스템의 속도를 향상시킬 수 있다.

조명성분의 추정을 위한 저역통과필터 처리과정은 식 (8)과 같이 입력영상에 대한 휘도신호(Y)의 주파수 성분을 FFT를 이용하여 구하고, 휘도신호의 주파수 성분과 미리 구해진 저역통과필터의 주파수 성분을 곱한 후 IFFT를 하여 저역통과필터 처리를 할 수 있다. 그리고 입력 휘도(Y)를 log 연산한 값에서 앞서 구해진 조명성분에 대해 log 연산한 값을 뺀다.

$$Y_{out} = \log Y - \log \left\{ \mathcal{F}^{-1} \left[\left(\sum_{i=1}^n W_i \times F_LPF_i \right) \times \mathcal{F}(Y) \right] \right\} \quad (8)$$

여기서 \mathcal{F} 와 \mathcal{F}^{-1} 는 각각 FFT와 IFFT 처리이고, W_i 는 i 번째 저역통과필터의 주파수 성분(F_LPF_i)에 곱해지는 가중치함수의 출력이다.

3.1.3 주파수에 따른 가중치 함수

기존의 Retinex 알고리즘은 MSR에서 부여되는 가중치 W_i 를 임의적으로 부여하기 때문에 영상의 특

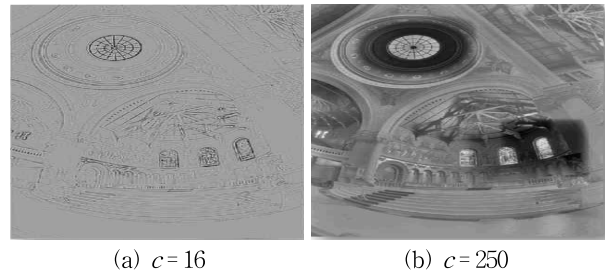
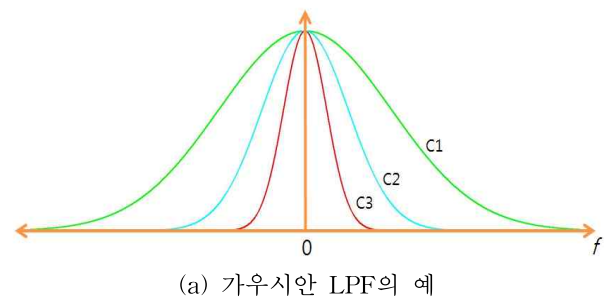


그림 2. Cut off 주파수에 따른 결과영상

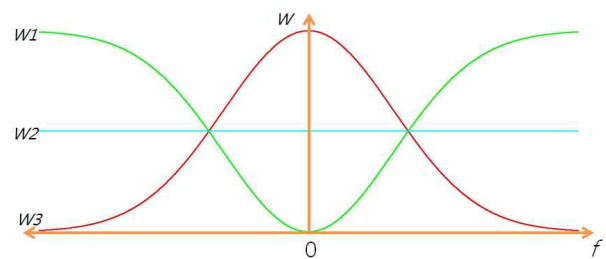
성에 따라 contrast가 손실되었다. 따라서 주파수에 의존적인 가중치 함수를 구현함으로써 다양한 영상에서 어두운 영역과 밝은 영역의 contrast가 균형적으로 향상된 결과영상을 획득할 수 있도록 한다.

그림 2에서와 같이 Retinex 영상은 조명성분 검출에 사용되는 Gaussian 필터의 스케일에 따라 다른 결과영상을 보인다. 즉, 그림 2(a)와 같이 작은 스케일의 Gaussian 필터를 적용할 경우 영상의 디테일은 살아나지만 다이내믹레인지가 크게 줄어들어 전체적인 영상이 회색조를 띠게 된다. 반대로 큰 스케일의 Gaussian 필터를 적용할 경우 다이내믹레인은 늘어나지만 영상의 조명성분을 제대로 찾지 못해 어두운 부분이 효과적으로 살아나지 못하며 고주파성분의 경계부분에서 후광효과가 발생하게 된다.

따라서 본 논문에서는 고주파성분에 발생하는 후광효과를 제거하고 밝은 영역을 효과적으로 개선시



(a) 가우시안 LPF의 예



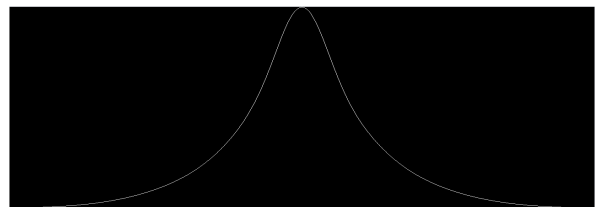
(b) 주파수에 따른 가중치 함수

그림 3. 차단특성이 다른 LPF의 주파수특성과 주파수에 따른 가중치 함수의 예

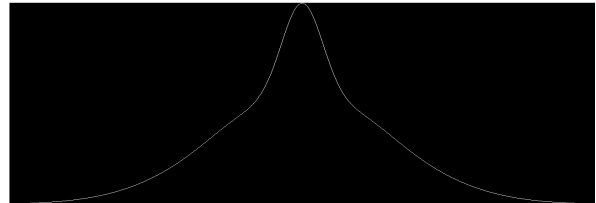
키기 위해 각 주파수 성분에 따라 서로 다른 값을 갖는 Gaussian 필터의 가중치를 주파수에 적응적인 함수로 구현하여 적용한다.

그림 3 (a)는 주파수 영역의 LPF 구성부가 서로 다른 차단특성을 가지는 LPF 3개를 사용하는 경우에 각 LPF의 주파수 특성을 보여준다. C1은 가장 작은 스케일을 갖는(즉, 차단주파수가 가장 높은) LPF, C2는 두 번째로 작은 크기의 스케일을 갖는 LPF, C3는 가장 큰 스케일을 갖는(즉, 차단주파수가 가장 낮은) LPF이다. 한편, 그림 3 (b)는 주파수 성분에 따른 LPF의 가중치 함수의 예를 나타낸 것으로 차단주파수가 가장 낮은 LPF(C3)에는 저주파에 큰 가중치를 부여하고(W3), 차단주파수가 가장 높은 LPF(C1)에는 고주파에 큰 가중치를 부여하며(W1), 중간 스케일의 경우 일정한 가중치를 적용한다. 이때 주파수 영역에서 모든 가중치의 합은 1로 정규화되어야 한다. 본 논문에서는 저역통과 필터에 적용되는 가중치 함수로 그림 3 (b)에 나타난 바와 같이 차단주파수가 가장 낮은 LPF(C3)에 적용되는 가중치 함수 W3의 prototype으로 중간주파수에서 1/2의 크기를 갖는 Gaussian 함수를 사용하였고, 차단주파수가 가장 높은 LPF(C1)에 적용되는 가중치 함수 W1은 W3이 반전된 함수를 사용하였으며, 차단주파수가 중간인 LPF(C2)에 적용되는 가중치 함수 W2는 모든 주파수 구간에서 1/2 값을 사용하였는데, 가중치의 합이 1이 되도록 정규화하였다.

앞서 언급한 바와 같이 고주파 성분의 경우 차단주파수가 낮은 LPF에 작은 가중치를 부여하고 차단주파수가 높은 LPF에 큰 가중치를 부여함으로써 경계부분에서의 후광효과를 감소시킨다. 반대로 저주파 성분에서 차단주파수가 높은 LPF는 어두운 부분의 contrast를 효과적으로 개선시키지 못하므로 작은 가중치를 부여한다. 왜냐하면 Retinex 기반의 조도개선 방법에서 차단주파수가 높은 저역통과필터를 적용할 경우는 영상의 디테일은 살아나지만 다이내믹레인지가 크게 줄어들어 전체적인 영상이 회색조를 띠는 단점이 나타나고, 반대로 차단주파수가 낮은 저역통과필터를 적용할 경우 다이내믹레인지는 늘어나지만 영상의 조명성분을 제대로 찾지 못해 어두운 부분이 효과적으로 살아나지 못하며 고주파성분의 경계부분에서 후광효과가 발생하기 때문이다. 따라서 고주파 성분의 경우 차단주파수가 낮은 저역



(a) 동일한 가중치를 적용한 LPF



(b) 제안한 가중치를 적용한 LPF

그림 4. 가중합한 가우시안 LPF의 주파수 특성

통과필터에 작은 가중치를 부여하고 차단주파수가 높은 저역통과필터에 큰 가중치를 부여함으로써 경계부분에서의 후광효과를 감소시킨다. 반대로 저주파 성분에서 차단주파수가 높은 저역통과필터는 어두운 부분의 contrast를 효과적으로 개선시키지 못하므로 작은 가중치를 부여하고, 차단주파수가 낮은 저역통과필터를 적용하여 영상의 디테일을 살아나도록 한다.

그림 4(a)는 그림 3에 나타난 차단특성이 다른 세 개의 1차원 가우시안 LPF의 주파수 성분에 대해 기존 MSR에서와 같이 동일한 가중치 1/3을 곱하여 가중합한 LPF의 주파수 성분을 나타낸 것이고, (b)는 제안한 주파수 성분에 따른 가중치 함수를 각 가우시안 LPF의 주파수 성분에 곱한 결과이다.

3.2 최대 색차신호를 이용한 색신호 보상

3.2.1 최대 색차신호에 대한 LUT(Look-Up Table)

효율적인 영상의 압축을 위해 DTV 등 멀티미디어 시스템에서는 YCbCr 색 좌표계를 사용한다. YCbCr 색 좌표계는 휘도성분과 색차성분을 분리하여 표현하는 것으로 명암도에 대한 영상 처리를 함에 있어서 색상 정보가 변하지 않는다는 장점이 있다. YCbCr 색좌표계에서는 각 밝기값에 따라 표현 가능한 채도 및 색역(gamut)이 제한되어 있다. 이러한 제한사항을 고려하지 않고 채도향상을 수행할 경우, 과도한 채도향상으로 인하여 색차신호가 색 영역을 벗어나 원본의 색이 변질될 수 있다. 따라서 올바른 채도향

상을 위해서는 휘도와 색상에 따른 채도 및 색역을 파악하여 해당 색역 내에서 채도향상이 이루어지도록 해야 한다.

제안하는 Retinex 시스템에서는 YCbCr 색 공간에서의 채도향상 시 발생하는 과채도 (over-saturation)의 문제점을 해결하기 위해 각 휘도(Y)와 색상(Hue)에 대응하는 표현가능한 채도(Saturation)와 이에 따른 색차신호의 범위를 저장한 LUT을 이용한다.

그림 5 (a)는 디지털 영상에서 표현 가능한 가로축의 색상(0°~359°)값과 세로축의 휘도(0~255)값에 대응하는 채도의 최대값을 밝기 값(0~255)으로 표현한 것으로 0(검은색)은 무채색을 의미하고 255(흰색)에 가까울수록 원색에 가깝다는 것을 의미한다. 즉, 영상처리에 의해 칼라 영상의 채도를 향상시킬 경우 주어진 휘도와 색상에서 향상된 채도 값이 그림 5 (a)의 최대 채도 값보다 크면 과채도로 인한 화질 열화가 발생함을 의미한다. 그림 5의 (b)와 (c)는 (a)에서 보여준 채도의 최대값에 해당하는 각 색차신호 (Cb, Cr)의 값을 표현한 것이다. 결국 특정 화소에 휘도와 색상 값이 주어졌을 때 색차신호 Cb와 Cr이 (b)와 (c)에 나타난 색차신호의 최대값보다 큰 경우 과포화 현상이 발생하게 된다. 따라서 주어진 휘도와 색상에 대해 색차신호는 각각 색차신호의 최대값을 넘지 않도록 제어되어야 한다.

본 논문에서는 특정 화소의 휘도와 색상이 주어졌을 때 채도의 최대값에 대응하는 색차신호 각각의 LUT(Look Up Table)을 구성하고, 색차신호가 LUT의 값을 넘지 않도록 제어한다. 색차신호의 LUT의 구성은 RGB 색공간에서 각 색성분 값을 0에서 255로 변화시키면서 휘도와 색상(H)을 구하는데, 휘도 값은 0에서 255까지 변하고, 256³ 종류의 색상값이 얻어진다. 또한, RGB 색성분의 변화에 따라 채도와 색차신호가 얻어지는데, 특정 휘도와 색상에 대응하는 최대 채도값을 구하고, 이에 대응하는 Cb, Cr 값 (Cb_Max, Cr_Max)을 기록하여 LUT를 구성한다.

이와 같이 구성된 최대 색차신호 LUT은 모든 밝기 값과 색상에 따른 색차신호의 최대값이 2차원 배열로 저장되므로, 한번의 메모리 접근만으로 입력 휘도값과 색상에 따른 최대 색차신호를 쉽게 구할 수 있다. 여기서 색상은 $\tan^{-1}(Cr/Cb)$ 로 계산되지만 구현 상 입력 색차신호 Cb와 Cr의 비율만으로 결정된다.

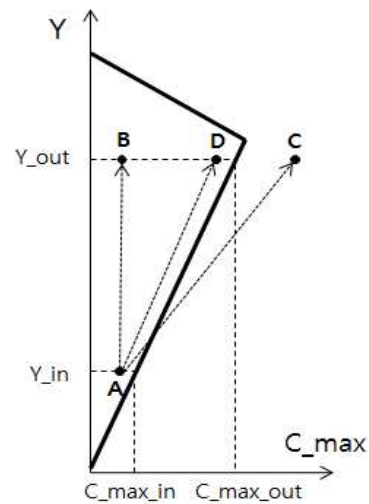


그림 6. 휘도변화에 따른 가중치 계산

3.2.2 최대 색차신호 LUT(Look-Up Table)을 이용한 Retinex 칼라 향상

기존의 방식에서는 입출력 휘도의 변화율을 각 색차신호에 곱하여 휘도 변화에 따른 채도손실을 보정하려 하였다. 그러나 휘도신호의 변화율을 가중치로 사용할 경우 칼라신호에 대한 정확한 채도보상이 어렵고 과채도가 발생하기도 한다.

그림 6은 앞 절에서 설명한 최대 색차신호 LUT에서 특정 색상(Hue)에 대한 최대 색차신호의 단면을 나타낸 것으로, Retinex 처리에 의해 휘도 값이 Y_in에서 Y_out으로 증가할 경우 입력 칼라 영상과 같은 색 선명도를 유지하기 위해서는 색차신호도 증가하여야 한다. 그림 6에서 입력 색차신호 값이 A인 경우 색차신호의 증가없이 휘도신호만 증가할 경우 출력 색차신호는 B가 되어 색신호의 선명도가 감소하게 된다. 또한 휘도신호의 변화율(Y_out/Y_in)에 따라 색차신호를 증가시키면 출력 색차신호 값이 C가 되어 색역을 벗어나므로 색신호의 왜곡이 발생한다. 한편 입출력 휘도신호에 대응하는 최대 색차신호의 증가율(C_max_out/C_max_in)에 따라 색차신호를 증가시키면 출력 색차신호 값이 D가 되어 색왜곡이 없는 색신호 향상이 이루어진다. 따라서 본 논문에서는 색왜곡 없이 색신호의 선명도 향상을 위해 휘도신호의 변화에 따라 두 개의 색차신호(Cb, Cr)에 곱하는 가중치를 식 (9)와 같이 구한다.

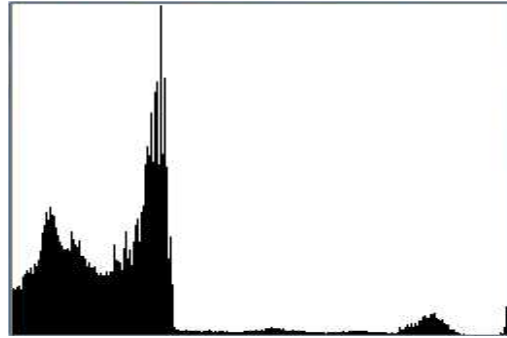
$$\alpha = \min \left[\frac{Cb_max_out}{Cb_max_in}, \frac{Cr_max_out}{Cr_max_in} \right] \quad (9)$$

여기서 Cb_{max_in} 과 Cr_{max_in} 은 최대 색차신호 LUT에서 입력 색차신호(Cb_{in} , Cr_{in})에 따라 결정되는 색상과 입력 휘도신호(Y_{in})에 대응하는 최대 색차신호 값이고, Cb_{max_out} 과 Cr_{max_out} 은

최대 색차신호 LUT에서 입력 색차신호(Cb_{in} , Cr_{in})에 따라 결정되는 색상과 출력 휘도신호(Y_{out})에 대응하는 최대 색차신호 값이다.



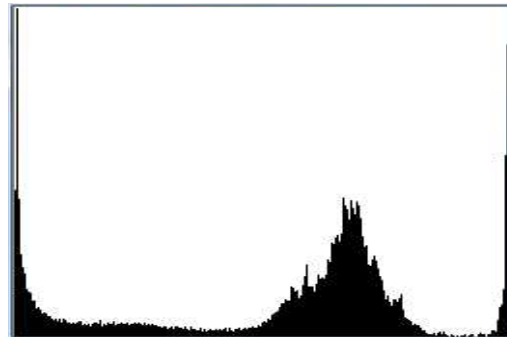
(a) 원본 영상



(b) 원본 영상의 히스토그램



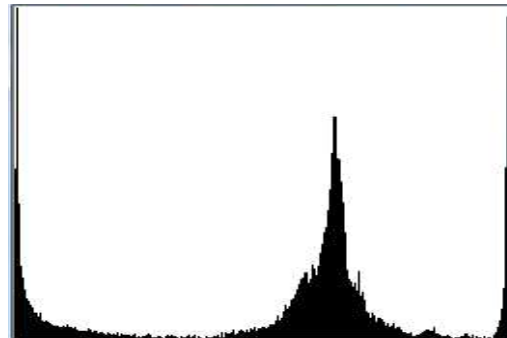
(c) MSR



(d) MSR영상의 히스토그램



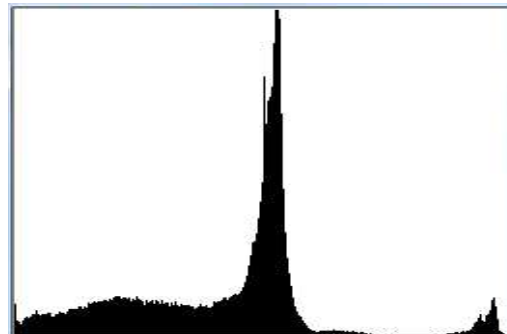
(e) MSRCR



(f) MSRCR영상의 히스토그램



(g) 제안방법



(h) 제안방법의 히스토그램

그림 7. 어두운 영상의 결과

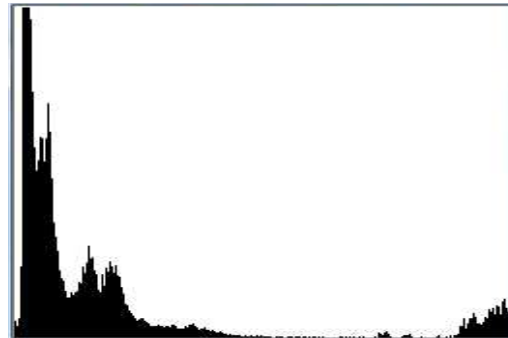
4. 실험 결과

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 역광 영상, contrast가 높은 영상 및 어두운 영상에 대해 제

안된 방식과 기존의 MSR과 MSRCR 방식으로 처리한 결과에 성능을 비교하였다. 휘도성분 처리의 전역적인 명암대비의 향상을 평가하기 위해서 영상의 히스토그램을 기존방식과 비교하였다. 또한 YCbCr 색



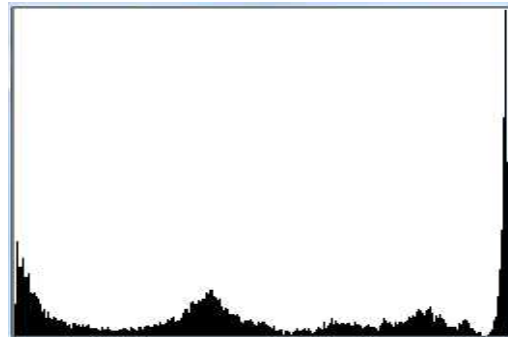
(a) 원본 영상



(b) 원본 영상의 히스토그램



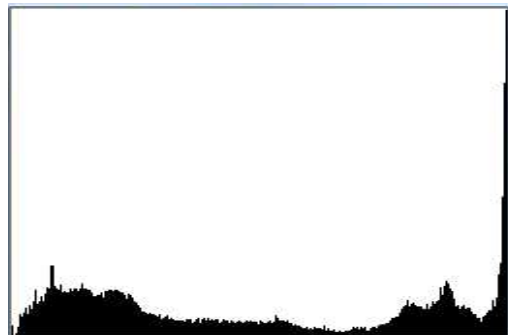
(c) MSR



(d) MSR영상의 히스토그램



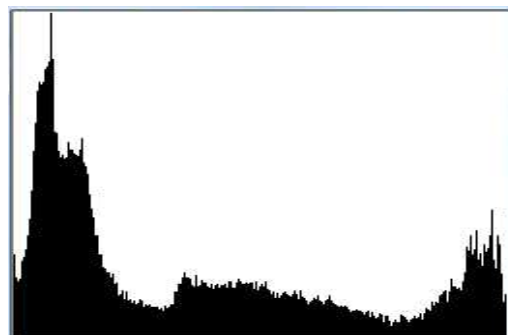
(e) MSRCR



(f) MSRCR영상의 히스토그램



(g) 제안방법



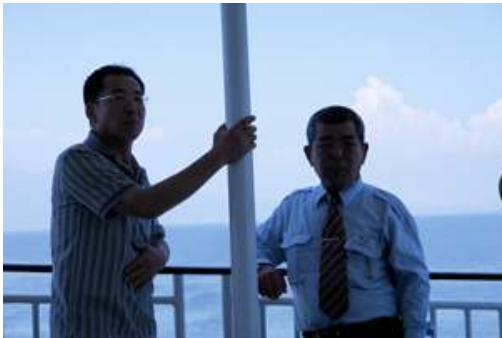
(h) 제안방법의 히스토그램

그림 8. 역광 영상의 결과

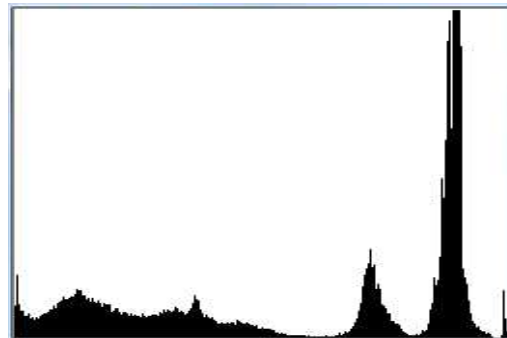
공간에서 색신호의 선명화에 대한 평가를 위해 제안 방식과 기존 방식을 비교 평가하였다.

그림 7은 전체적으로 어두운 조명성분을 포함하고 있는 영상이다. MSR과 MSRCR 방식은 국부적인

명암개선이 이루어졌지만 밝기변화가 큰 영역에서의 후광효과가 나타나고, 나뭇가지 등 어두운 부분의 contrast가 제대로 향상되지 않아 가시성이 떨어진 다. 또한 배경의 밝기가 균일하게 개선되지 않으며,



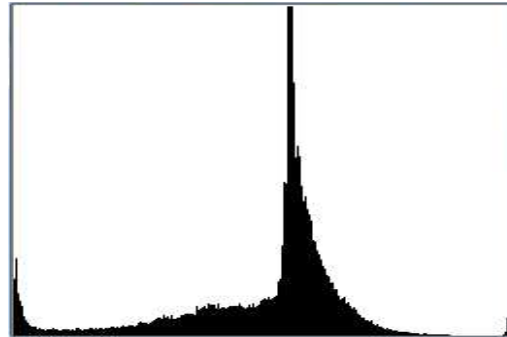
(a) 원본 영상



(b) 원본 영상의 히스토그램



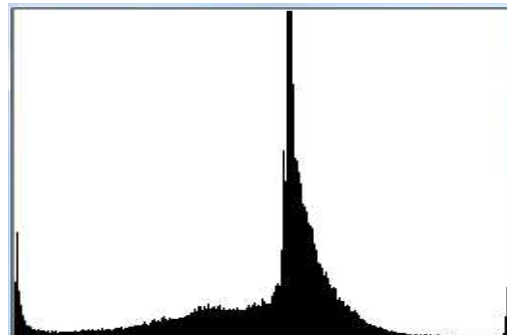
(c) MSR



(d) MSR영상의 히스토그램



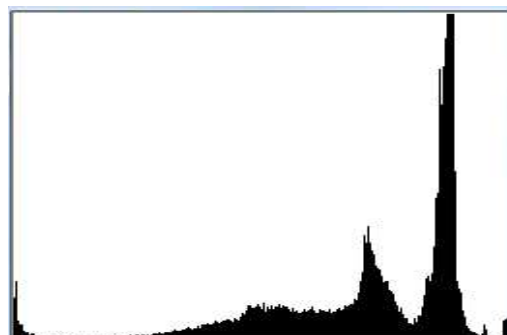
(e) MSRCR



(f) MSRCR영상의 히스토그램



(g) 제안방법



(h) 제안방법의 히스토그램

그림 9. 역광 영상의 결과

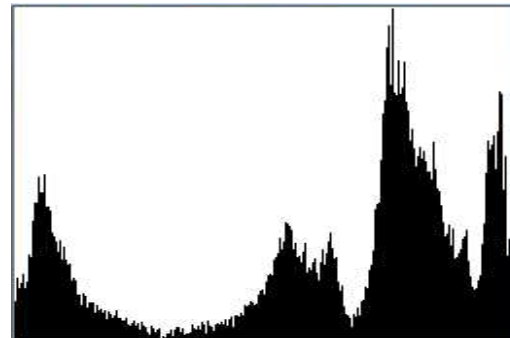
컬러의 채도가 과장되게 증가한 부분이 나타나고 배경에서 회색톤을 띄는 부분이 많다. 반면 제안된 방식은 전체적으로 가시성이 향상된 결과를 보이며, 컬러를 포함하여 보다 사실적인 영상이 제공됨을 알

수 있다. 또한 제안된 방식은 후광효과를 잘 제거하고 나뭇가지 등의 세밀한 부분까지 잘 표현하고 있음을 확인할 수 있다.

그림 8과 9는 어두운 영역과 밝은 영역에서 밝기



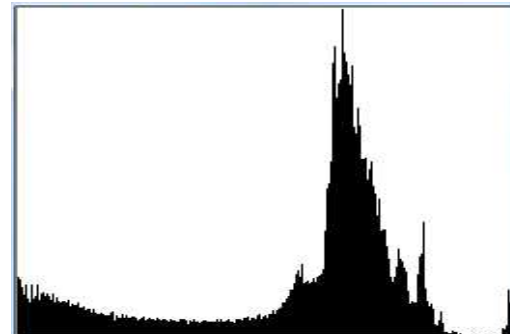
(a) 원본 영상



(b) 원본 영상의 히스토그램



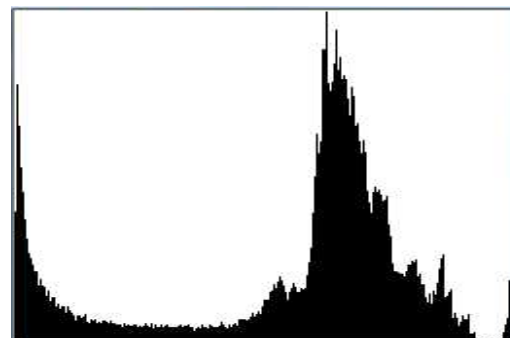
(c) MSR



(d) MSR영상의 히스토그램



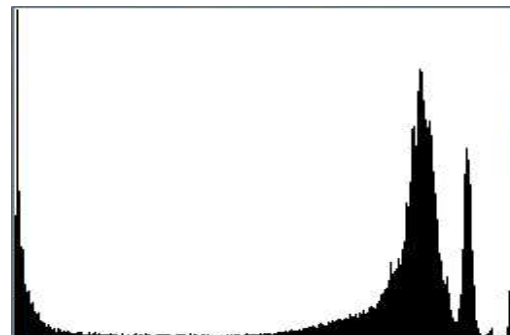
(e) MSRCR



(f) MSRCR영상의 히스토그램



(g) 제안방법



(h) 제안방법의 히스토그램

그림 10. Contrast가 높은 영상의 결과

차이가 큰 역광 영상이다. 그림 8의 경우 기존의 방식들이 어두운 부분의 대비가 크게 증가하여 레벨 노이즈가 생기는데 비해 제안한 방법은 원본의 밝기값의 특성을 따라 처리함으로써 어두운 부분의 레벨 노이즈 증가를 억제하고 있으며 선명도가 향상된 컬러를 제공한다.

그림 9에서 MSR과 MSRCR 방식은 기둥과 사람의 경계부분에서 후광효과가 나타나고, 영상이 전체적으로 회색톤을 띠며, 비록 국부적인 명암도의 개선이 있으나 여전히 어두운 경계영역의 명암개선이 부족하다. 반면 제안된 방식을 적용한 결과는 역광에 대한 개선으로 가시성이 향상된 결과를 보이며, 후광효과가 나타나지 않고, 전체적인 컬러 역시 잘 개선하였다.

그림 10은 원영상의 contrast와 채도가 높으며 밝기값이 밝은 영상이다. 기존의 방식은 원영상의 품질이 우수한 곳에 적용할 경우 오히려 밝기값이 중간으로 몰려 화질이 저하되는 문제가 발생하고, 컬러에 대한 개선이 이루어지지 않아 전체적으로 회색톤의 영상을 제공한다. 또한 팽귤의 등과 같이 어두운 영역에서 지나친 밝기변화로 인해 레벨 노이즈가 발생하고, MSRCR의 경우 색상의 변화가 나타났다. 반면 제안된 방식은 원본의 밝기값을 유지하고 있으며, 색왜곡 없이 색선명화를 이룸을 알 수 있다.

본 논문에서 제안한 Retinex 알고리즘의 연산량 감소 효과를 확인하기 위해 기존의 MSRCR 알고리즘과 제안한 알고리즘을 비교하였고 실험 환경은 다

음의 표 1과 같다. 처리 속도에서 MSRCR 알고리즘은 R,G,B 세 개의 채널에 대해 각각 convolution을 수행하기 때문에 연산량이 많은 반면, 제안하는 방법은 Y 채널에 대해서만 Retinex를 수행하고 FFT를 사용하여 주파수 영역에서 convolution 연산을 곱셈 연산으로 대체함으로써 표 2와 같이 720×480크기의 영상에서 약 76% 가량의 연산량 감소효과를 보이고, 1280×1024 크기의 영상에서는 약 87% 가량의 연산량 감소효과를 보임으로써 영상의 크기가 커질수록 제안하는 방식이 기존 방식에 비해 연산량 감소효과가 뛰어난 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

Retinex 알고리즘은 기존의 다른 조도 개선 기법들에 비해 contrast 향상이 뛰어난 기법이다. 그러나 역광 사진과 같이 어두운 영역과 밝은 영역의 차이가 큰 영상에 알고리즘을 적용할 경우 밝은 영상의 밝기값이 포화되어 전체적인 화질이 저하된다. 또한 R, G, B 성분의 독립적인 연산을 적용함으로써 연산량이 많고, 원본의 색이 변질되어 화질이 저하되며, 필터 별로 임의의 가중치를 부여함으로써 후광 효과가 발생하는 문제가 있다.

본 논문에서는 이러한 Retinex의 단점을 보완하기 위한 알고리즘을 제시하였다. 먼저 RGB 채널에서 독립적으로 알고리즘을 수행하던 것을 YCbCr 색 공간을 사용하고, FFT를 사용하여 convolution 연산을 곱셈 연산으로 대체함으로써 연산량을 감소시키며, 조명성분 추정 시 영상의 주파수에 따른 가중치 함수를 적용하여 고주파 영역에서 발생하는 후광효과를 감소시키고 균형적인 contrast 향상을 가능하게 하였다. 한편, 색차 신호 처리에서는 기존의 방식들이 밝기 변화에 따라 색차성분을 보정함에 있어서 과채도에 의한 색왜곡 문제가 있던 것에 비해 본 논문에서는 LUT를 이용한 최대 색차신호에 따른 채도 보정 방식을 사용함으로써 저 연산으로 과채도 문제와 색왜곡 문제를 해결하였다.

실험 결과 제안한 알고리즘은 기존의 Retinex 알고리즘에 비해 연산량 감소효과가 뛰어나며, 균형 있는 contrast 개선과 색선명화가 이루어져 자연스러운 영상을 획득할 수 있음을 확인하였다.

표 1. 실험환경

구 분	사 양
CPU	Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU 2.6GHz
MEMORY	4.00GB RAM
OS	Window7 32bit
Compiler	Visual Studio 2008 C++

표 2. 처리시간 (단위: s)

구 분	720×480	1280×1024
MSRCR	0.416	1.649
제안방식	0.101	0.209
속도감소비	75.72%	87.32%

참 고 문 헌

- [1] M.Y. Lee, C.H. Son, J.M. Kim, C.H. Lee, and Y.H. Ha, "Illumination-Level Adaptive Color Reproduction Method with Lightness Adaptation and Flare Compensation for Mobile Display," *Journal of Imaging Science and Technology*, Vol. 51, No. 1, pp. 44-52, 2007.
- [2] B. Wandell, P. Catrysse, J. DiCarlo, D. Yang, and A.E. Gamal, "Multiple Capture Single Image with a CMOS Sensor," *Chiba Conference on Multispectral Imaging*, pp. 11-17, 1999.
- [3] E. Land and J. McCann, "Lightness and Retinex Theory," *Journal of the Optical Society of America A*, Vol. 61, No. 1, pp. 1-11, 1971.
- [4] Z. Rahman, G.A. Woodell, and D.J. Jobson, *A Comparison of the Multiscale Retinex with Other Image Enhancement Techniques*, NASA Langley Technical Report, 1997.
- [5] D.J. Jobson, Z. Rahman, and G.A. Woodell, "Properties and Performance of a Center/Surround Retinex," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 6, No. 3, pp. 451-462, 1997.
- [6] Z. Rahman, G. A. Woodell, and D. J. Jobson, "Multiscale Retinex for Color Image Enhancement," *Proc. IEEE Int. Conf Image Processing*, pp. 1003-1006, 1996.
- [7] D.J. Jobson, Z. Rahman, and G.A. Woodell, "A Multi-Scale Retinex For Bridging the Gap Between Color Images and the Human Observation of Scenes," *IEEE Trans. Image Processing: Special Issue on Color Processing* Vol. 6, No. 7, pp. 965-976, 1997.
- [8] M.C. Su, J.H. Guo, D.T. Lin, and G.C. Wang, "New Compensation Algorithm for Color Backlight Images," *Neural Networks 2002, IJCNN '02. Proc. of the 2002 International JointConference*, Vol. 2, pp. 1396-1400, 2002.
- [9] B. Funt, F. Ciurea, and J. McCann, "Retinex in Matlab," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 13, No. 1, pp. 48-57, 2004.
- [10] 한규필, "HDC를 이용한 고속 MSRCR 알고리즘," *멀티미디어학회논문지*, 제13권, 제11호, pp. 1621-1629, 2010.
- [11] D. J. Jobson and G. A. Woodell, "Properties of a Center/surround Retinex: Part 2: Surround Design," *NASA Technical Memorandum 110188*, pp. 15, 1995.
- [12] T. Watanabe, Y. Kuwahara, and T. Kurosawa, "An Adaptive Multi-Scale Retinex Algorithm Realizing High Color Quality and High-speed Processing," *Journal of Imaging Science and Technology*. Vol. 49, No. 5, pp. 486-497. 2005.
- [13] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing 3rd Ed.*, Prentice Hall, New Jersey, 2010.

차 호 상



2003년 3월~2010년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학과 학사
 2010년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정
 관심분야: 영상처리, 컴퓨터 비전, 멀티미디어시스템

홍 성 훈



1988년 2월 영남대학교 전자공학과 공학사
 1991년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
 1999년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사

1991년~2000년 7월 LG전자 DTV 연구소 책임연구원
 2007년~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
 관심분야: 의료영상 처리, 영상 부호화, 멀티미디어 시스템