

정규논문(Regular Paper)  
방송공학회논문지 제17권 제5호, 2012년 9월 (JBE Vol. 17, No. 5, September 2012)  
<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2012.17.5.851>  
ISSN 1226-7953(Print)

## 최대 색차신호 표를 이용한 Retinex 영상의 컬러 향상

이재원<sup>a)</sup>, 정지훈<sup>b)</sup>, 홍성훈<sup>c)‡</sup>

### Color Improvement of Retinex Image Using the Maximum Color Difference Signal Table

Jae-Won Lee<sup>a)</sup>, Jee-Hoon Jung<sup>b)</sup>, and Sung-Hoon Hong<sup>c)‡</sup>

#### 요 약

Retinex 기법은 영상의 어두운 영역의 가시성 향상을 통해 영상의 명암대비를 향상시킨다. 그러나 기존 Retinex 방식들은 RGB 색 공간에서 수행되기 때문에 색상의 왜곡과 과도한 채도향상으로 인한 색신호 재현의 오류가 발생한다. 본 논문에서는 YCbCr 색공간에서 휘도신호에 대한 Retinex 처리를 통해 명암을 향상시키고, 휘도신호와 색상에 따른 최대 색차신호 테이블을 이용하여 휘도신호의 밝기 변화에 따라 변화된 채도를 밝기에 적응적으로 보정하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 과채도 현상을 막기 위해 휘도와 색상에 따른 채도의 상관관계를 고려하여 색차신호가 올바른 색역에 사상될 수 있도록 한다. 실험을 통해 제안된 방식은 기존 방식에 비해 다양한 특성을 갖는 영상에서 우수한 컬러 향상이 이루어짐을 확인하였다.

#### Abstract

Retinex algorithm enhances the contrast of image through visibility improvement. However, the conventional Retinex methods may produce color distortions due to error of hue representation and over-saturation since the methods work in RGB color space. In this paper, we propose a new Retinex algorithm with color correction, which improves contrast by using MSR(Multi-Scale Retinex) working in YCbCr color space and adaptively compensates the color saturation based on the maximum color difference table. Our algorithm maps the color difference signals to the correct gamut to prevent over-saturation phenomenon by considering the correlation between luminance and hue dependent saturation. Simulations results show that the proposed method gives better color improvement compared to the conventional methods.

Keyword : Retinex, MSRCR, color enhancement, over-saturation

a) 전남대학교 전자컴퓨터공학과 (Division of electronic computer Engineering, Chonnam National Univ.)

b) LG이노텍 소재부품연구소 (LG Innotek Ansan Institute)

c) 전남대학교 전자컴퓨터공학부 (정보통신연구소) School of Electronics & Computer Engineering, Chonnam National Univ. (Information & Telecommunication Research Institute)

‡ Corresponding Author : 홍성훈 (Sung-Hoon Hong)

E-mail: hootybaby@hanmail.net

Tel: +82-62-530-0820, +82-62-530-1758 Fax: +82-62-530-1809

※ 본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

· Manuscript received July 16, 2012 Revised September 17, 2012 Accepted September 17, 2012

## I. 서론

디지털 카메라의 눈이라고 할 수 있는 이미지 센서는 해상도(Resolution)와 Dynamic Range의 제약을 가지고 있다. 이미지 센서의 해상도는 단위 면적당 화소(Pixel)의 개수로 표현할 수 있으며 영상에 포함된 휘도(Luminance)와 색채(Chroma) 정보의 양을 의미한다. 반도체 기술의 발달로 인하여 고집적화가 가능해지면서 이미지 센서도 동일 면적에 보다 많은 화소가 집적되고 있지만 한 화소당 빛을 받는 면적이 감소하여 노이즈가 증가하는 문제가 부수적으로 발생하고 있어 이를 개선하기 위한 노력이 진행되고 있다. 이미지 센서의 Dynamic Range는 센서가 반응하는 빛의 밝기의 분포 정도를 나타낸다. 인간의 눈이 인지하는 실제 입력 영상의 Dynamic Range보다 이미지 센서가 반응하는 Dynamic Range가 좁기 때문에 정보의 손실을 가져오게 되며 그로 인하여 눈으로 보는 영상과 디지털 카메라로 촬영한 영상이 다르게 보이는 원인이 된다<sup>[1][2]</sup>.

이러한 디지털 영상의 표현의 한계를 극복하기 위한 명암 재현 방법으로 인간의 시각에 관한 모델을 정의한 Retinex 이론을 바탕으로 설계된 Retinex 알고리즘은 다른 화질 개선방법에 비해 contrast 향상과 컬러 재현 성능이 우수하다고 알려져 있다<sup>[3]-[6]</sup>. 이러한 Retinex 기반의 방법으로서 Jobson 등은 조명성분을 추정하기 위해 입력 영상에 가우시안 필터를 적용하고, 추정된 조명성분을 입력 영상에서 제거하여 반사성분을 획득하는 SSR(Single-Scale Retinex) 알고리즘을 제안하였다<sup>[4][5]</sup>. SSR은 각각의 화소에 대하여 가우시안 필터를 적용하여 인간 시각의 비선형적인 적응을 모델링한 C/S 모델(center/surround model)을 적용하여 영상에 포함된 광원의 효과를 제거함으로써 색의 일관성(color constancy)의 유지와 함께 영상의 명암를 향상시킨다. 하지만 SSR은 입력영상의 특성과 사용되는 가우시안 필터의 차단 특성에 따라 전역적 또는 국부적 contrast가 감소하고 후광효과(halo effect)가 나타나는 문제가 있다. MSR(Multi-Scale Retinex)은 서로 다른 크기의 가우시안 필터가 적용된 SSR을 이용하여 영상의 가시성과 색 일관성의 유지뿐만 아니라, SSR에서 발생하는 후광 효과를 다중의 주변영상들의 가중치 합으로써 억제하였다<sup>[6]</sup>. 그러나

MSR은 RGB 채널간의 독립적인 처리로 인해 입력 영상이 가지는 RGB 채널간의 비율이 변하여 입력 색상의 왜곡이 발생한다. 이러한 MSR의 색상 왜곡을 보정하기 위하여 Rahman 등은 MSR에 대해 RGB 채널별 색상의 비율을 유지하기 위한 변수가 사용된 MSRCR(Multi-Scale Retinex with Color Restoration)이라는 방법을 제시하였다<sup>[7]</sup>. 하지만 여전히 RGB 채널의 독립적인 처리로 인하여 정확한 색상의 보정을 수행하지 못해 RGB 채널간의 비율이 유지되지 못한다. Numan 등은 컬러를 보존하면서 Retinex 수행하여 영상을 개선시키고 이를 얼굴 검출을 위한 전처리로 사용하는 방법을 제안하였다<sup>[8]</sup>. MSR을 통한 레티넥스 처리에서 나타나는 색상의 변화에 대해 원본 영상의 RGB 채널에서 가장 큰 값과 개선된 영상의 휘도 성분의 비율을 원본 RGB 채널에 각각 곱하는 방법을 이용하였는데 과채도의 단점은 MSRCR보다 덜 나타났지만, 영상의 밝기 향상 정도가 떨어지는 단점을 나타냈다. 또한 Hanumantharaju 등은 기존의 MSRCR과 유사한 방법으로 RGB 채널별 색상의 비율을 유지하기 위해 개선된 변수를 사용하는 방법을 제안하였다<sup>[9]</sup>. 하지만 이 방법 역시 RGB 색공간에서 RGB 채널간의 비율을 일정하게 유지하지 못해 색상을 변화시키거나, RGB 공간에서 밝기의 증가로 채도가 RGB 색역의 경계까지 올라가 포화현상이 발생하여 자연스럽지 못한 채도를 보여주었다. 이러한 RGB채널에서의 Retinex 수행이 보여주는 색상 변화의 단점을 보완하기 위하여 Lee 등은 YCbCr 색공간에서 영상의 휘도신호에 Retinex를 수행하고, 원영상의 휘도신호와 결과영상의 휘도신호의 비율을 색차신호인 Cb와 Cr에 적용하는 개선된 방법을 제안하였다<sup>[10]</sup>. 이 방법은 채도신호인 Cb와 Cr의 비율을 유지하면서 영상을 개선시켜, 기존의 RGB 색공간에서의 방법과는 다르게 색상이 유지되는 장점이 나타났으나, 휘도신호의 증가율의 곱에 의해 Cb와 Cr이 최대 신호범위를 넘는 경우를 고려하지 않아 과채도 현상에 의하여 오히려 색상이 변화하는 단점이 나타났다.

본 논문에서는 Retinex 처리된 영상이 입력 영상의 색상을 유지하면서 채도가 포화되는 현상을 방지하는 색차신호 처리 방법을 제안한다. 제안된 색차신호 처리방법은 명암 대비 향상 후 변화된 채도를 보정할 때 과도한 채도 향상으

로 인한 왜곡을 막기 위해 휘도와 색상에 따른 채도의 상관 관계를 고려한 최대 색차신호 테이블을 이용하여 색차신호가 올바른 색역에 사상될 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 본 논문에서 사용되는 Retinex 기법을 간단히 설명하고, 3장에서 제안된 색차신호의 처리방법에 대해 설명한다. 4장에서 실험을 통해 제안된 방식의 성능을 평가하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. Retinex를 이용한 화질개선

Jobson은 불필요한 조명성분을 제거하고 물체의 특징을 나타내는 반사성분만을 획득하기 위해 식 (1)과 같은 SSR (Single-Scale Retinex) 알고리즘을 제안하였다<sup>[4][5]</sup>.

$$R_i(x, y) = \log I_i(x, y) - \log [F(x, y) * I_i(x, y)] \quad (1)$$

여기서  $i$ 는 입력 영상의 각 컬러성분인 R, G, B를 나타내고,  $R_i(x, y)$ 은  $i$ 번째 컬러성분의 반사성분을 나타내는 SSR 출력영상이며  $I_i(x, y)$ 는  $i$ 번째 컬러 성분의 입력영상, \*은 Convolution 연산자이다.  $F(x, y)$ 는 Gaussian Center/Surround 함수이다.

SSR은 하나의 Gaussian 필터를 사용하므로 입력영상의 특성에 따라 충분한 명도개선을 이루지 못한다. 이를 개선하기 위해 MSR(Multi-Scale Retinex)이 제안되었는데, MSR은 식 (2)와 같이 크기가 다른 Gaussian 필터를 적용한 SSR 출력영상들에 가중치를 부여하고, 그 결과를 합하여 출력 영상을 얻는 방법이다<sup>[6]</sup>.

$$R_{MSR_i}(x, y) = \sum_{k=1}^N W_k R_k(x, y), \quad \sum_{k=1}^N W_k = 1 \quad (2)$$

여기서  $R_{MSR_i}(x, y)$ 는  $i$ 번째 컬러성분의 MSR 출력영상을 의미하며,  $N$ 은 서로 다른 크기의 Gaussian 필터의 개

수를 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.

SSR이나 MSR은 입력 영상의 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<sup>[7]</sup>.

$$R_{MSRCR_i}(x, y) = C_i(x, y) \cdot R_{MSR_i}(x, y) \quad (3)$$

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 식(4)와 같이 표현된다.

$$I'_i(x, y) = I_i(x, y) / \sum_{i=1}^S I_i(x, y) \quad (4)$$

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

여기서  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 컬러 gain 상수이고,  $S$ 는 컬러성분의 개수이며,  $I'_i(x, y)$ 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.

Numan 등의 방법은 식 (5)와 같이 RGB 채널에 대해 원영상의 색상에 RGB 채널의 최대값과 개선된 영상의 휘도신호의 비율을 곱하여 향상된 영상을 얻는 방법을 제시하였다<sup>[8]</sup>.

$$R_{enh} = \frac{I_{enh}}{I} R, \quad G_{enh} = \frac{I_{enh}}{I} G, \quad B_{enh} = \frac{I_{enh}}{I} B \quad (5)$$

여기서  $R, G, B$ 는 각각 입력영상의 R, G, B신호를  $I$ 는  $\max[R(x, y), G(x, y), B(x, y)]$ 를 나타내고,  $I_{enh}$ 는 Retinex

처리된 영상의 개선된 휘도신호를 나타낸다. 이 방법은 RGB 채널의 최대값을 이용하여 변수를 구하여 MSRCR에 비해 과채도와 색상의 변화 오류는 적으나 영상의 밝기는 덜 향상 되는 단점이 나타났다.

Hanumantharaju 등은 아래의 식 (6)-(9)를 통하여 Retinex 영상의 컬러를 보정하는 방법을 제안하였다<sup>[9]</sup>.

$$F_{MSR_{CR_i}}(x,y) = \{G \times F'_{MSR_{CR_i}}(x,y)\} + b \quad (6)$$

$$F'_{MSR_{CR_i}}(x,y) = \frac{I'_i(x,y) \times F'_{MSR_i}(x,y)}{255} \quad (7)$$

여기서  $F_{MSR_{CR_i}}$ 는 컬러 복원 과정을 거친  $i$ 번째 컬러성분의 결과 영상을 나타내며,  $G$ 는 gain을  $b$ 는 offset을 나타낸다.  $F'_{MSR_{CR_i}}$ 는 식(7)과 같이  $F'_{MSR_i}$ 과  $I'_i$ 을 이용하여 구해진 개선된 영상 신호이다.  $F'_{MSR_i}$ 과  $I'_i$ 은 식(8)과 식(9)에 의해서 구해진 신호들이다.

$$I'_i(x,y) = \log \left( 1 + C \frac{I_i(x,y)}{\sum_{i=1}^3 I_i(x,y)} \right) \quad (8)$$

$$F'_{MSR_i} = F_{MSR_i} \times 28.44 + 128 \quad (9)$$

여기서  $I_i$ 는  $i$ 번째 컬러 성분을 나타내며  $F_{MSR_i}$ 은 MSR을 이용해 Retinex 처리된 신호이다. 이 방법은 기존의 MSRCR보다 개선된 결과를 보이긴 하였으나 마찬가지로 RGB 채널간의 비율을 일정하게 유지하지 못해 색상이 변하거나, RGB 공간에서 밝기의 증가로 채도가 RGB 색역의 경계까지 올라가 포화현상이 발생하여 자연스럽게 못한 컬러가 나타나기도 하였다.

### III. 제안하는 Retinex 영상의 컬러 향상

앞 절에서 언급한 바와 같이 기존의 MSRCR 알고리즘은

RGB 각 컬러 성분에 MSR을 독립적으로 적용하고 컬러 복원 과정을 거쳐 컬러의 왜곡을 보상한다. 그러나 이 방법은 각 컬러 성분 별로 MSR 과정을 수행해야하므로 연산량이 많고, 각 컬러 성분의 연관성이 변화되어 컬러 왜곡이 발생하는 문제가 있다. 또한 MSRCR과 개선된 MSRCR 방법은 컬러 왜곡을 보상하기 위해 컬러 복원과정을 거치지만 복원과정에 적용되는 gain에 따라 결과 영상이 변하므로 적합한 gain을 찾아야하는 어려움이 있다. 반면에 YCbCr 또는 YIQ와 같이 휘도와 색차성분으로 분리된 색 공간을 이용하면 입력영상이 휘도성분과 색차성분으로 분리되어 휘도성분에만 MSR과정을 적용하므로 연산량이 줄어들고, MSR처리에 따른 휘도성분의 변화율을 색차신호 보정 과정에 적용하면 원본 영상과 유사한 컬러를 얻을 수 있어 컬러 복원과정이 단순화된다. Lee 등의 논문에서는 이와 같은 특성을 이용하여 YCbCr 색공간에서 식(10)과 같은 방법을 통해 Retinex를 수행하고 색상의 변화가 적고 밝기가 개선되는 방법을 제안하였다<sup>[10]</sup>.

$$\begin{aligned} Y_{ratio}(x,y) &= \frac{Y'_{MSR}(x,y)}{Y(x,y)} \\ Cb_{MSR}(x,y) &= Y_{ratio}(x,y) \times (Cb(x,y) - 128) + 128 \\ Cr_{MSR}(x,y) &= Y_{ratio}(x,y) \times (Cr(x,y) - 128) + 128 \end{aligned} \quad (10)$$

여기서  $Y$ 는 원 휘도신호,  $Y'_{MSR}$ 은 휘도신호에 MSR 처리된 개선된 휘도신호이고  $Cb$ 와  $Cr$ 은 YCbCr 색공간의 색차신호이다. 이렇게 구해진 개선된 색차신호  $Cb$ ,  $Cr$ 과 개선된 휘도신호  $Y'$ 을 이용하여 최종적으로 Retinex처리 후 개선된 결과영상을 얻는다. 휘도신호와 독립된 색차신호  $Cb$ 와  $Cr$ 에 대해 휘도신호 증가비를 곱하는 이 방법은 색상 정보를 유지하면서 개선된 영상을 얻을 수는 있지만 색상 정보의 범위에 고려되지 않아서 오히려 과채도가 나타나는 단점이 발생한다.

따라서 본 논문에서는 YCbCr 좌표계에서 휘도신호에 대해서만 MSR 처리를 수행하고 색차신호( $Cb$ ,  $Cr$ )에 대한 컬러 보정을 수행하는 방법을 제시하는데, 제안된 컬러보정 방식은 특정 휘도와 색상에 대응하는 색차신호( $Cb$ ,  $Cr$ )에 대한 최대값을 저장한 LUT(Look-Up Table)을 이용하여 과채도(over-saturation)와 색상 왜곡으로 인한 화질 열화를

방지한다.

### 1. 최대 색차신호에 대한 LUT(Look-Up Table)

이 절에서는 본 논문에서 제안하는 방법에서 사용하는 최대색차신호표에 대해서 언급한다. 그림 1은 YCbCr 색좌표계에서 밝기에 따른 채도(Saturation)와 색상(Hue)의 변화를 도시화한 것으로, 각 밝기값에 따라 표현 가능한 채도 및 색역(gamut)이 제한되어 있다. 이러한 제한사항을 고려하지 않고 채도 향상을 수행할 경우, 과도한 채도 향상으로 인하여 색차신호가 색 영역밖의 존재하지 않는 값을 갖게 되어 부자연스러운 영상이 얻어지고, 이를 표현하기 위하

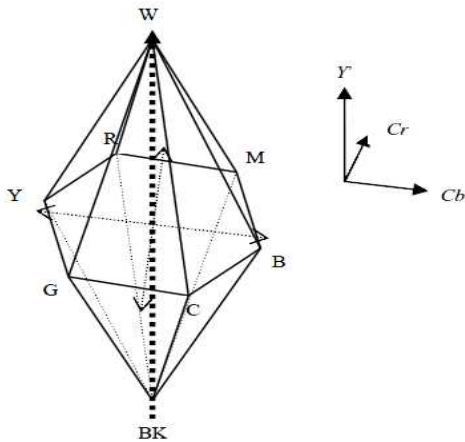


그림 1. YCbCr 색좌표계  
 Fig 1. YCbCr Color coordinates

여 색역을 제한할 경우 원본의 색이 변질될 수 있다. 따라서 올바른 채도 향상을 위해서는 휘도와 색상에 따른 채도 및 색역을 파악하여 해당 색역 내에서 채도 향상이 이루어지도록 해야 한다.

앞에서 언급한 바와 같이 YCbCr 색 공간에서의 채도 향상 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 조사할 필요가 있다.

그림 2의 (a)는 디지털 영상에서 표현 가능한 가로축의 색상( $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ )값과 세로축의 휘도( $0 \sim 255$ )값에 대응하는 채도의 최대값을 밝기 값( $0 \sim 255$ )으로 표현한 것으로 0(검은색)은 무채색을 의미하고 255(흰색)에 가까울수록 원색에 가깝다는 것을 의미한다. 즉, 영상처리에 의해 컬러 영상의 채도를 향상시킬 경우 주어진 휘도와 색상에서 향상된 채도 값이 그림 2 (a)의 최대 채도 값보다 크면 과채도로 인한 화질 열화가 발생함을 의미한다. 그림 2의 (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

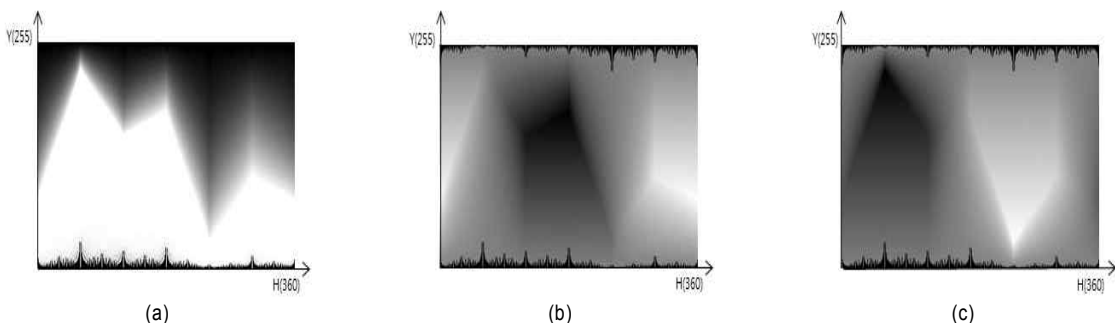


그림 2. 휘도와 색상에 따른 채도와 색차신호의 최대범위. (a) 채도의 최대범위, (b) Cr의 최대범위, (c) Cb의 최대범위  
 Fig 2. maximum range of chrominance signal. (a) maximum range of saturation, (b) maximum range of Cr, (c) maximum range of Cb

제어한다. 색차신호의 LUT는 다음과 같은 방법으로 구성할 수 있다. RGB 색공간에서 각 색성분 값을 반복문을 이용하여 0에서 255로 변화시키면서 색공간 변환식을 이용하여 휘도와 색상(Hue)을 구하는데, 휘도값은 0에서 255까지 변하고, 색상(Hue)는 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.

RGB 색성분의 변화에 따른 휘도(Y)와 색차신호(Cb, Cr), 색상(H) 및 채도(S)는 각각 식(11)과 식(12)와 같이 구한다<sup>[11]</sup>.

$$\begin{aligned} Y &= 0.2999R + 0.587G + 0.144B \\ C_b &= -0.1687R - 0.3313G + 0.5B \\ C_r &= 0.5R - 0.4187G + 0.0813B \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} H &= \cos^{-1} \left( \frac{\frac{1}{2} [(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right) \\ S &= 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)] \end{aligned} \quad (12)$$

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.

## 2. 최대 색차신호 LUT을 이용한 Retinex 영상의 컬러 향상

휘도와 색차신호를 분리하여 휘도신호에만 Retinex처리를 수행하는 기존의 방식에서는 입출력 휘도의 변화율을 각 색차신호에 곱하여 휘도 변화에 따른 채도손실을 보정하려 하였다. 그러나 휘도신호의 변화율을 가중치로 사용할 경우 컬러신호에 대한 정확한 채도보상이 어렵고 과채도가 발생하기도 한다. 그림 3은 앞 절에서 설명한 최대 색

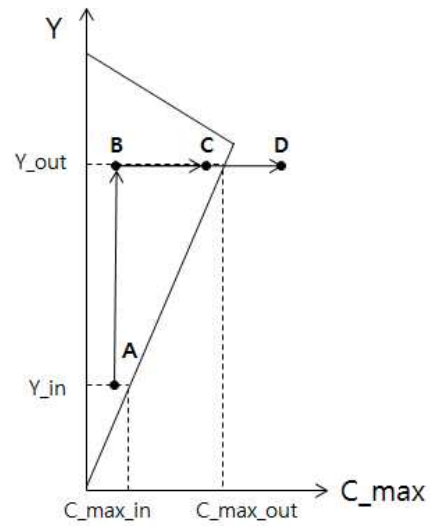


그림 3. 휘도변화에 따른 가중치 계산  
Fig 3. Calculation of Weight factor for change of Y

차신호 LUT에서 특정 색상(Hue)에 대한 최대 색차신호의 단면을 나타낸 것으로, Retinex 처리에 의해 휘도 값이 Y\_in에서 Y\_out으로 증가할 경우 입력 컬러 영상과 같은 색 선명도를 유지하기 위해서는 색차신호도 증가하여야 한다. 그림 3에서 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 D가 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 C가 되어 색왜곡이 없는 색신호 향상이 이루어진다. 색상(Hue)는 Cb와 Cr의 비율로 표현이 가능하다. 그렇기 때문에 두 색차신호에 같은 비율의 상수값을 곱하면 색상을 유지시키면서 향상된 채도값을 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 색왜곡 없이 색신호의 선명도 향상을 위해 휘도신호의 변화에 따라 두 개의 색차신호(Cb, Cr)에 곱하는 가중치를 식 (13)과 같이 구한다.

$$\alpha = \min \left[ \frac{C_{b\_max\_out}}{C_{b\_max\_in}}, \frac{C_{r\_max\_out}}{C_{r\_max\_in}} \right] \quad (13)$$

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.

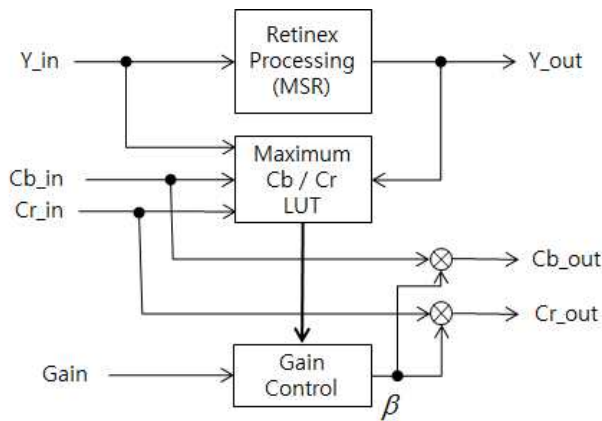


그림 4. 제안된 알고리즘의 전체 블록도  
Fig 4 Block diagram of Proposed algorithm

그림 4는 제안하는 최대 색차신호 LUT을 이용한 Retinex 컬러 향상의 전체 블록도이다. 제안된 방식에서는 입력 휘도신호( $Y\_in$ )에 대해서만 MSR 처리하여 명도가 개선된 출력 휘도신호( $Y\_out$ )를 얻는다. 휘도신호의 명도개선에 대응하는 색신호의 개선을 위해 최대 색차신호 LUT을 이용하여 입력 색차신호에 곱할 가중치를 계산하는데, 사용자 선호도에 따라 추가적인 선명도 향상을 수행하기 위해 사용자 제어변수 Gain을 식 (13)에서 구한 가중치  $\alpha$ 에 곱한 값을 최종적인 가중치  $\beta$ 로 사용한다. 이때 사용자 제어변수 사용으로 인해 발생할 수 있는 색왜곡을 방지하기 위해 최종적인 가중치  $\beta$ 는 식 (14)과 같이 구하고, 최종적으로 색 선명도 개선이 이루어진 출력 색차신호는 식 (15)에 의해 구해진다.

$$\beta = \min \left[ \alpha \times Gain, \frac{Cb\_max\_out}{Cb\_in}, \frac{Cr\_max\_out}{Cr\_in} \right] \quad (14)$$

$$\begin{aligned} Cb\_out &= \beta \times Cb\_in \\ Cr\_out &= \beta \times Cr\_in \end{aligned} \quad (15)$$

#### IV. 실험 결과

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 다양한 특성을 갖는 영상의 채도 향상 처리를 수행하였다. 영상 LUT의 크기는 2563의 색상에 대해 모두 구현이 가능하나, 본 실험에서는 LUT의 크기를 줄이기 위해 1°씩 변화하는 색상만을 고려하여 360가지의 색상에 대한 테이블을 구성하였고, 휘도에 대해서는 256의 밝기를 고려하였다. 따라서 채도 향상 알고리즘을 구현하기 위하여 사전에 LUT는 360×256 byte 크기의  $Cr\_Max, Cb\_Max$  테이블과 256×256 byte 크기의 Hue 테이블이 할당되었다.

먼저 밝기 변화에 따른 채도 보정의 화질 평가를 위하여 원본 영상에서 일정한 밝기만큼 감소된 영상을 획득하고 기존의 방식인 MSRCR을 통한 채도향상과 본 논문에서 제안한 방식의 화질을 주관적으로 평가하였다.

그림 5 (a)는 원 영상이고, (b)는 원 영상에서 모든 화소에 대해 휘도값을 +60만큼 변화시킨 결과이다. 원 영상이 195보다 큰 휘도신호에 대한 출력 휘도신호는 모두 255로 클리핑 처리하였다. (b)에서 볼 수 있듯이 휘도값이 밝아진 경우 전반적으로 영상의 채도가 감소함을 알 수 있다. (c)는 MSRCR을 통한 채도 보정 결과인데, 채도가 향상된 영상이 얻어지지만 특정 영역에서 과채도 현상으로 인한 색왜곡이 발생하여 화질이 저하됨을 확인할 수 있다. (d)는 제안된 방식으로 채도를 보정한 영상으로 밝아진 밝기와 색상에 적응적인 채도향상이 이루어져 모든 색에 대한 채도가 고르게 향상됨을 확인할 수 있다.

다음은 여러 영상에 대해 제안 방식인 최대 색차신호 LUT를 이용한 Retinex 영상 컬러 향상기법과 기존의 Retinex 영상 컬러 향상 기법인 MSRCR 기법과 Numan의 방법, Hanumantharaju의 방법 그리고 Lee의 방법을 수행한 결과를 비교한다. MSRCR 방법의  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 논문에 제시된 값을 사용하였으나, Hanumantharaju 방법의  $G(\text{gain}=2.25)$ 와  $b(\text{offset}=-30)$ 은 해당 논문의 값으로는 결과가 잘 나오지

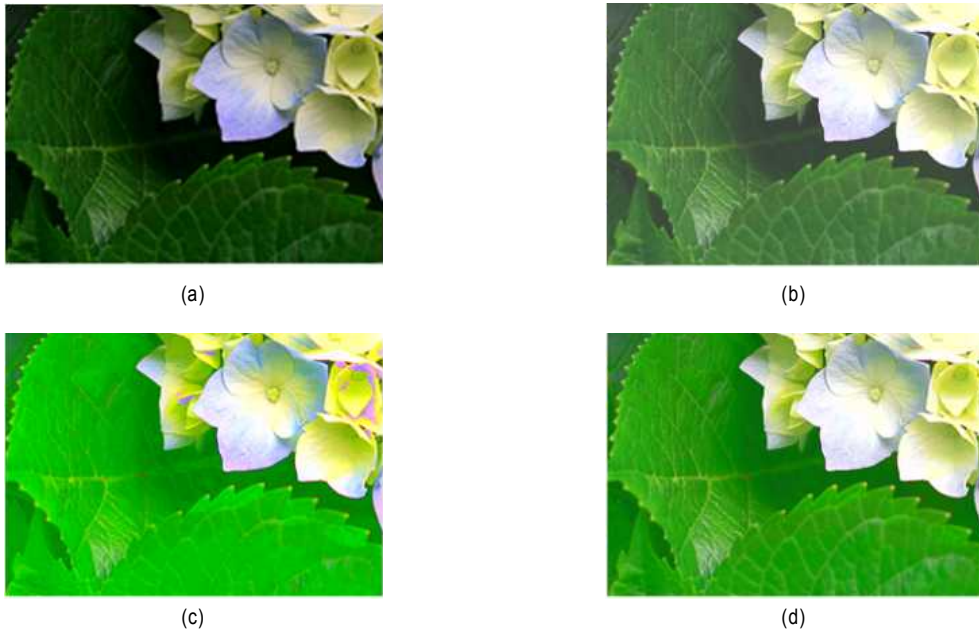


그림 5. 채도 보정 결과 (a) 원영상, (b) 밝기값이 변화된 영상, (C) MSRCR방식, (d) 제안방식

Fig 5. result of saturation enhancement (a) original image, (b) intensity changed image, (c) MSRCR method, (d) Proposed method

않아 다시 실험을 통해  $G(\text{gain}=2.0)$ 와  $b(\text{offset}=0)$ 으로 놓고 실험을 진행하였다.

그림 6은 전체적으로 어두운 조명성분을 포함하고 있는

영상에서의 주관적 화질평가를 위해 기존 방식과 제안방식을 비교한 영상이다. MSRCR 영상은 R, G, B 각각의 독립적인 연산으로 인해 원본영상과 비교할 때 색상 차이가

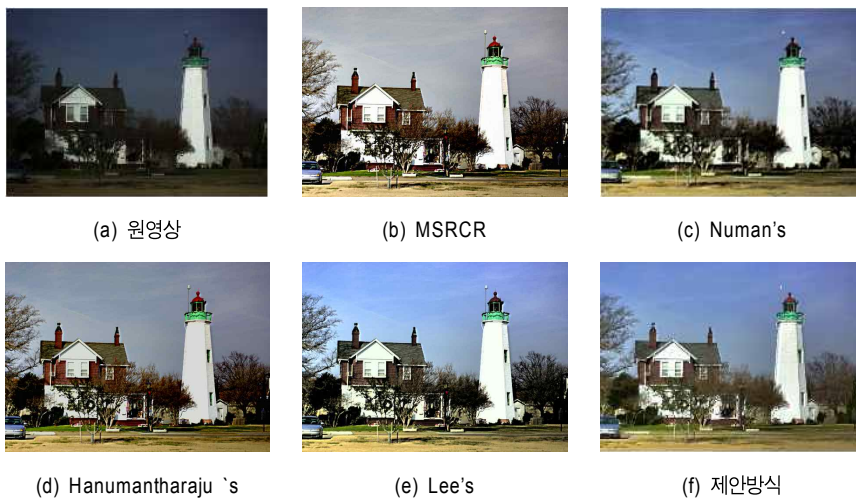


그림 6. 어두운 영상에서의 Retinex 처리 결과

Fig 6. result of Retinex algorithm in dark image



발생하고 있음을 확인할 수 있다. Numan의 방법은 색상은 MSRCR보다 색상은 유지되나 밝기가 덜 개선되었다. Hanumantharaju의 방법은 MSRCR보다는 색상정보에 대해서 더 보존을 잘 하고는 있지만 이 방법 역시 R, G, B에 대해 각각 독립적으로 연산을 하여 원본과의 색상차이가 나타났다. Lee의 방법은 밝기는 많이 개선되었지만 휘도신호가 많이 증가하지 않은 나무나 집의 벽돌 부분 같은 경우

는 영상이 많이 개선되지 않은 것을 확인할 수 있다. 반면, 제안된 방법은 휘도신호에 대한 MSR 처리에 의한 명암 향상에 적응적으로 색차신호를 처리함으로써 원본의 색상을 유지하면서 효과적으로 채도를 향상시킬 수 있었다.

그림 7은 원영상의 contrast와 채도가 높은 영상이다. 기존의 모든 방법들은 과채도에 대한 제한을 두지 않기 때문에 채도가 높은 영상에서 과포화 등으로 인해 색외곡이 발



그림 7. Contrast가 높은 영상에서의 Retinex 처리 결과  
 Fig 7. result of Retinex algorithm in high contrast image

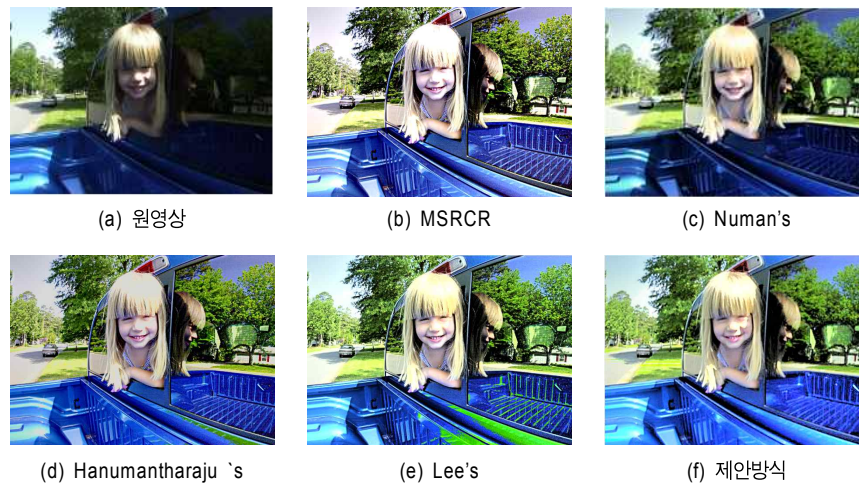


그림 8. 역광 영상에서의 Retinex 처리 결과  
 Fig 8. result of Retinex algorithm in back-light image

생하였다. 반면 제안된 방식은 원본의 밝기값을 유지하면서 전체적으로 contrast가 증가하였고, 색상 또한 잘 유지하고 있어 선명한 영상을 얻을 수 있다.

그림 8은 어두운 영역과 밝은 영역의 차이가 큰 역광 영상에 대한 Retinex 처리 결과이다. 이 경우에도 Numan의 방법을 제외한 기존방법들은 과도한 색상치리로 인해 고채도 영역에서 색상이 왜곡되어 부자연스러운 영상이 얻어진다. 반면 Numan의 방법은 과채도 현상은 나타나지 않았지만 역시 밝기의 개선이 덜 되었다. MSRCR은 트릭의 과관색 부분에서 자두색이 나타나는 과채도 현상이 나타났고, Hanumantharaju와 Lee의 방법은 영상 우하단의 트릭 과관색 부분이 초록색으로 변하는 과채도 현상이 나타났다. 반면, 제안된 방식은 어두운 영역과 밝은 영역에서 고르게 채도가 증가하여 가시성이 향상됨을 확인할 수 있다.

그림 9는 어두운 영역과 밝은 영역에서 밝기 차이가 큰 영상이다. 기존의 방법들에 비해 제안한 방법은 어두운 부분에서 보다 색 선명도가 향상됨을 확인할 수 있다. 또한 제안된 방식은 밝은 부분 역시 색 선명도가 향상됨을 알 수 있다.

위의 그림들을 통하여 영상의 주관적 화질 개선 정도를 확인하였다. 다음으로는 영상의 객관적 화질 개선 정도를

확인하기 위한 몇 가지 방법을 설명하고 해당 방법을 이용하여 기존의 방법들과 제안하는 방법의 객관적 화질 개선 정도를 파악한다.

첫 번째 방법은 영상의 화질 개선 정도를 측정하기 위한 휘도 성분의 Contrast 비고를 위한 Visual Contrast Measure 방법이다. VCM은 다음과 같은 절차를 통해 획득된다.

1. 영상을 특정 크기의 Block으로 분할한다.
2. 각 Block 내의 분산을 측정한다.
3. VCM은 (식 4-1)을 이용하여 구한다.

$$VCM(\%) = 100 \times R_v / R_t \quad (16)$$

이때,  $R_v$ 는 특정 분산 값 이상의 Block 개수,  $R_t$ 는 전체 Block의 개수이다. 일반적으로 분산이 크면 특정 영역에 집중되어 있지 않고 고른 분포를 가지게 되므로 Contrast가 높은 영상을 얻을 수 있다는 것에서 착안한 방법이다.

표 4.1은 블록 크기를 40X40, 특정 분산 값은 8일 때 제안한 방식과 기존방식들의 VCM 결과이다. 표를 통해 확인할 수 있듯, 제안 방식은 기존의 방식에 비해 모든 경우에서 VCM 결과가 높게 측정됨을 확인할 수 있다. 따라서 기존

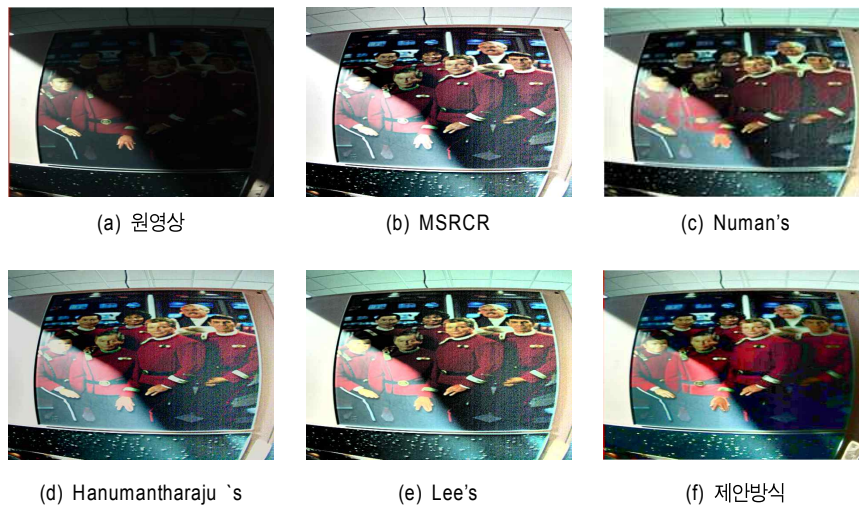


그림 9. 역광 영상에서의 Retinex 처리 결과  
Fig 9. result of Retinex algorithm in back-light image

표 1. VCM 비교 결과  
 Table 1. result of VCM comparison

그림	원 영상	MSRCR	Hanumantharaju's	Numan's	Lee's	제안방식
6	25.52	61.46	59.38	58.85	61.98	61.46
7	57.81	55.73	50.52	53.65	53.51	61.46
8	48.96	94.79	94.79	88.02	95.31	95.83
9	29.17	72.40	75.52	79.17	79.71	75.52
평균	40.37	71.09	70.05	69.92	72.63	73.57

방식들에 비해 제안방식의 Contrast가 더 우수하다는 것을 알 수 있다.

두 번째 방법은 영상의 채도를 비교하는 방법이다. 일반적으로 인간의 눈은 영상을 밝기와 색상, 채도로 구분하여 인식하고, 채도가 높은 영상일수록 좋은 영상으로 인지한다고 알려져 있다<sup>[1]</sup>. 그러므로 제안된 방식과 기존의 방법들의 처리 결과에 대해 식 (17)과 같이 정의되는 RGB 색 공간에서의 채도를 비교하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{Saturation} &= 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I} \\
 &= 1 - \frac{1}{(R + G + B)} \min(R, G, B) \quad (17)
 \end{aligned}$$

여기서 R, G, B는 영상의 Red, Green, Blue의 성분을 나타낸다. 표 2는 각 방식으로 구해진 결과 영상에 대하여 식 (17)로 채도의 평균값을 계산한 결과이다. 표 2에서 확인할 수 있듯 제안 방식이 기존 방식들보다 전반적으로 영상의

채도를 더욱 뚜렷하게 향상시킬 수 있다. 기존의 방법들은 과채도에 대한 고려가 없으므로 과도하게 채도를 높일 경우 표현할 수 있는 채도의 범위를 벗어나게 되어 결과적으로 색상 변화 왜곡의 원인이 된다. 또한 원본영상의 채도가 높은 영상에 기존 방식을 적용할 경우 오히려 채도가 감소함을 확인할 수 있다. 하지만 제안방식에서는 기존의 높은 채도를 유지한다. 이것은 기존방식이 RGB 각 채널에 독립적으로 Retinex 알고리즘을 적용함으로써 나타나는 현상으로 제안방식은 휘도 성분과 색상성분을 각각 따로 처리하기 때문에 기존 방식에 비해 다양한 영상에 안정적인 결과 영상을 획득 할 수 있다.

마지막 방법은 원영상과 결과영상의 색상 변화를 비교하는 방법이다. 원영상의 색상정보 유지에 대한 성능을 평가하기 위해 원본 영상의 색상성분(H)과 기존 방식과 제안된 방식의 색상성분의 차이값을 측정하여 비교하였는데, 차이값이 작을수록 원본의 색상 정보를 잘 보존하는 것을 의미한다. 식 (18)은 색상성분을 추정하는 식이다.

표 2. 채도 비교 결과  
 Table 2. result of saturation comparison

그림	원 영상	MSRCR	Hanumantharaju's	Numan's	Lee's	제안방식
6	87.41	60.88	82.89	78.68	80.63	91.73
7	135.59	49.68	73.72	85.21	86.93	134.00
8	118.87	115.89	143.58	132.23	132.19	123.69
9	88.00	84.19	107.59	83.31	86.41	139.52
평균	107.47	77.66	101.94	94.86	96.54	122.24

표 3. 색상 변화 비교 결과  
Table 3. result of color change comparison

그림	MSRCR	Hanumantharaju's	Numan's	Lee's	제안방식
6	17.79	9.43	3.54	4.97	0.9612
7	53.51	26.44	6.25	7.22	0.4689
8	20.12	11.37	2.58	7.02	0.9531
9	26.56	16.49	6.02	10.77	1.9177
평균	29.50	15.93	4.60	7.50	1.08

$$H = \cos \left( \frac{\frac{1}{2} [(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right) \quad (18)$$

여기서 R, G, B는 영상의 Red, Green, Blue의 성분을 나타낸다.

표 3은 식(18)을 이용하여 원영상과 처리 후 영상들의 색상성분의 차이값을 밝기값으로 표현한 것이다. 표 3에서 확인할 수 있듯이 제안 방식은 기존 방식에 비해 색상 보존 능력이 우수함을 알 수 있다. 기존의 RGB 색공간을 이용하는 방법들은 RGB 각 채널에 Retinex 알고리즘을 적용하여 영상의 색상정보를 효과적으로 보존하지 못하며 결과적으로 이는 원본 영상과 결과 영상의 색상의 차이로 나타난다. Lee의 방법은 색차신호에 같은 비율의 변수를 곱하는 방법으로 원래는 색상의 변화가 본 논문과 같이 매우 적어야하나 과채도에 대해서 고려를 하지 않아 오히려 색상의 변화가 크게 나타났다. 그에 반해 제안하는 방법은 휘도 신호와 색차 신호에 대해 따로 처리를 하기 때문에 색상의 차이가 적게 나타난다.

### V. 결론

Retinex 알고리즘은 기존의 다른 조도 개선 기법들에 비해 contrast 향상이 뛰어난 기법이다. 그러나 R,G,B 성분의 독립적인 연산을 적용함으로써 연산량이 많고, 원본의 색이 변질되어 화질이 저하되는 문제가 있다. 본 논문에서는 이러한 Retinex의 단점을 보완하기 위한 색차신호 처리 알고리즘을 제시하였다. 먼저 RGB 채널에서 독립적으로 알

고리즘을 수행하던 것을 YCbCr 색 공간을 사용하고, 색차 신호 처리에서 영상 화질 개선 과정에서 발생할 수 있는 gamut 밖의 색역에 개선된 화소가 사상되는 현상을 막고 LUT를 이용하여 저연산으로 채도를 향상시키는 방법을 제안하였다. 기존의 방식들이 단순히 휘도가 변화함에 따라 밝기의 변화율만큼 채도를 보정시킨 것에 반해 본 논문에서는 밝기 변화에 따른 최대 색차신호의 비율을 통하여 채도를 보정함으로써 보다 밝기 변화에 적응적인 채도 보정 기법을 제안하였다. 또한 채도 향상에 있어서 향상된 색차 신호의 값이 최대 색차신호의 값을 넘지 않도록 가중치를 제어하여 과채도로 인한 색왜곡을 방지하면서 자연스러운 채도향상을 도모하였다. 또한 제안된 기법은 기존의 멀티미디어 신호에서 사용하는 YCbCr 색 모델을 사용함으로써 비디오 신호처리 알고리즘과의 호환이 용이하다. 실험 결과 제안한 알고리즘은 기존의 Retinex 알고리즘에 비해 입력 영상과 결과 영상의 색상 차가 적어 원본 영상의 색상을 잘 보존함을 확인할 수 있었다.

### 참고 문헌

- [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. H. Land, "An alternative technique for the computation of the designator in the Retinex theory of color vision," Proc. Natl. Acad. Sci.

- U.S.A., vol. 83, 3076, 1986.
- [4] Z. Rahman, "Properties of a center/surround Retinex: Part 1: Signal processing design," NASA Contractor Report 198194, pp. 13, 1995.
  - [5] D. J. Jobson and G. A. Woodell, "Properties of a center/surround Retinex: Part 2: Surround design," NASA Technical Memorandum 110188, pp. 15, 1995.
  - [6] Z. Rahman, D. J. Jobson, and G. A. Woodell, "Multiscale Retinex for color rendition and dynamic range compression," Proc. SPIE 2847, 183, 1996.
  - [7] D. J. Jobson, Z. Rahman, and G. A. Woodell, "A Multiscale Retinex for Bridging the Gap Between Color Images and the Human Observation of Scenes", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 6, No. 7, pp. 965-976, 1997
  - [8] Numan Unaldi, Praveen Sankaran, Vijayan K. Asari, and Zia-ur-Rahman, "Image Enhancement for Improving face detection under Non-Uniform Lighting Conditions", Proceedings of 15th IEEE International Conference on Image Processing, pp.1332-1335, Oct., 2008
  - [9] Hanumantharaju M. C, Ravishnkar M., Rameshbabu D. R., and Ramachandran S, "Color Image Enhancement using Multiscale Retinex with Modified Color Restoration Technique," 2nd Int. Conf. on EAIT, pp 93-97, 2011.
  - [10] Sangwon Lee, Changyoung Song, Seongsoo Cho, Seongihl Kim, and Junegill Kang, "Contrast Enhancement Based on Weight Mapping Retinex Algorithm" Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 46, No.4, pp. 31-41, 2009
  - [11] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing 3rd Ed., Pearson Prentice Hall, 2010.

---

저 자 소 개

---



이 재 원

- 2004년 3월 ~ 2009년 2월 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 학사
- 2009년 3월 ~ 2012년 2월 : 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사
- 2012년 3월 ~ 현재 : 전남대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정
- 주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 비전, 멀티미디어시스템



정 지 훈

- 2003년 3월 ~ 2010년 2월 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 학사
- 2010년 3월 ~ 2012년 2월 : 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사
- 2012년 3월 ~ 현재 : LG이노텍 부품소재연구소 연구원
- 주관심분야 : 영상통신시스템, 영상신호처리, 스테레오 매칭



홍 성 훈

- 1988년 2월 : 영남대학교 전자공학과 공학사
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학석사
- 1999년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학박사
- 1991년 ~ 2000년 7월 : LG전자 DTV 연구소 책임연구원
- 2007년 ~ 현재 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
- 주관심분야 : 의료영상처리, 영상부호화, 멀티미디어시스템