최대색차신호 표를 이용한 컬러 채도 향상

김선정[†], 홍성훈^{††}

요 약

본 논문에서는 디지털 영상의 색상을 유지하면서 영상의 명암대비 향상과 함께 채도를 향상시키는 방법을 제시한다. 제안방법은 명암대비 향상 후 밝기 변화에 따른 시각적인 채도 변화를 보정하기 위해 최대색차신호 테이블을 이용한다. 최대색차신호 테이블로부터 휘도변화에 따른 가중치를 구하고, 입력 색차신호에 가중치를 곱하여 채도를 밝기에 적응적으로 보정한다. 또한 사용자가 입력한 만큼의 채도를 향상시키는 과정에서 과도한 채도 향상으로 인한 왜곡을 막기 위해 휘도와 색상에 따른 채도의 상관관계를 고려하여 색차신호가 올바른 색역에 사상될 수 있도록 한다. 다양한 특성을 갖는 영상에 대한 실험을 통해 제안방법은 기존방식과 비교하여 효과적으로 컬러 영상의 선명도를 향상시킴을 확인하였다.

Color Saturation Improvement using the Maximum Color Difference Table

Sun-Jung Kim[†], Sung-Hoon Hong^{††}

ABSTRACT

In this paper, we propose a new color image enhancement method to improve the color saturation as well as luminance contrast in the YCbCr color space. The proposed method uses the maximum color difference table to compensate the perceived saturation changes due to luminance contrast changes. To improve the color saturation, the method first calculates the weighting factor by using the maximum color difference table and then multiplies the weighting factor to the input color difference signals. In this step, it maps color difference signals to proper color region to prevent the color distortion by considering the correlation of color saturations depending on the luminance and hue. The experimental results show that our method effectively improves color saturation compared to the conventional methods.

Key words: Color image enhancement(컬러 화질 향상), Color saturation(채도 향상), Color difference signal(색차신호), Over-saturation(과채도 현상)

1. 서 론

화질향상(Image enhancement)은 영상처리를 통하여 인간의 눈에 보다 자연스러운 영상을 보여주는 처리과정으로, 최근 디지털 카메라, 디지털 TV 등 멀티미디어 기기의 보급이 확산되면서 그 필요성이

증가하고 있다. 인간은 영상을 밝기와 색상 그리고 채도 성분으로 구분하여 인식하고, 명암대비가 선명한 영상을 좋은 영상으로 인지한다고 알려져 있다 [1]. 영상의 명암대비를 향상시키는 대표적인 방법으로 많이 알려진 히스토그램 평활화(Histogram Equalization)[1] 방법이 있으며, 변형된 방법으로

※ 교신저자(Corresponding Author) : 홍성훈, 주소 : 광주광역시 북구 용봉동 300 전남대학교 공과대학 전자컴퓨터공학부(500-757), 전화 : 062) 530-0820, FAX : 062) 530-1759, E-mail : hsh@chonnam.ac.kr

접수일 : 2012년 7월 24일, 수정일 : 2012년 9월 14일

완료일 : 2012년 12월 18일

[†] 정회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과

E-mail : ksj-legna@nate.com

^{††} 정회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학부(정보통신연구소)

※ 본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구 결과임

(2012H1B8A2025531)

BBHE(Brightness preseving Bi-Histogram Equalization)[2], DSIHE(Dualistic Sub - Image Histogram Equalization)[3], RMSHE(Recursive Mean - Separate Histogram Equalization)[4], 중첩 서브블록 히스토그램 평활화(Partially Overlapped Sub-Block Histogram Equalization)[5] 등이 제안되었다. 그러나 이와 같이 밝기만을 재조정하는 방법은 화질 향상에 있어서 부자연스러운 결과를 보이는데, 일반적으로 밝기의 증가는 사람이 느끼는 채도의 감소로 나타나 영상을 전체적으로 회색 톤으로 만든다. 반대로 밝기의 감소는 채도의 증가로 나타나 과채도(over-saturation)된 결과를 보이기도 한다. 따라서 명암대비 향상 후에 색선명도 개선에 있어 입력영상에 갖는 고유의 색상(Hue)은 유지하면서 입출력 영상의 밝기 변화에 따른 채도 변화를 보정해야 한다 [6,7].

채도향상은 일반적으로 색차신호의 이득을 조정하여 이루어지는데[6,8,10], Huang 등은 각 색상마다 느끼는 인간의 채도 인지율이 다르다는 인간 시각 특성을 기반으로 하여 밝기 변화율에 색상마다 다른 가중치를 주어 채도를 보정하는 방법을 제안하였다 [6]. 그 외에도 YCbCr 색좌표계를 색차신호 Cb-Cr 평면으로 정사영시킨 Normalized YCbCr의 새로운 색공간에서 채도를 보정하는 방법[9], 영상의 명암비를 향상시키고 변화된 밝기 변화율에 따라 색차신호 Cb, Cr에 이득을 주어 채도를 개선하는 방법[10] 등이 제안되었다. 그러나 이와 같은 방법은 명암대비 향상 효과가 큰 영상에서 과도한 채도보정으로 인한 부자연스러운 결과를 보인다. 또한 채도향상 시 적용하는 가중치 함수는 일정한 밝기 변화에 대한 각 색상별 채도 변화율로 사용자가 임의로 정한 값에 의해 크기가 조정되는데, 이때 가중치 함수의 크기를 임의의 값으로 고정시켜 놓고 다양한 영상에 적용했을 때 적절한 개선 효과를 기대하기 어렵다. 또한 DTV 등 멀티미디어 시스템에서는 영상의 왜곡을 방지하기 위해 채도 향상 비율을 제한하여 채도 개선의 효과를 기대하기 어렵다.

본 논문에서는 입출력 영상의 밝기 변화에 따른 채도보정 시 디지털 영상에서 표현 가능한 색역(gamut) 밖의 존재하지 않는 값에 사상되어 영상이 왜곡되는 과채도(over-saturation) 현상을 방지하고, DTV 등 멀티미디어 시스템에서 주로 사용되는 색좌표계인

YCbCr 형태의 휘도와 색차신호에 대해 채도를 향상시키는 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 방식은 휘도값과 색상에 따라 표현 가능한 최대 채도값에 대응하는 색차신호의 최대값을 저장한 최대색차신호 테이블을 사용하여 과채도 없이 컬러영상의 색선명도를 향상시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 본 논문에서 제안하는 채도향상 방법에 적용되는 최대색차신호 테이블 구성과 채도향상 과정을 설명하고, 3장에서 실험을 통해 제안된 방식의 성능을 평가하며, 4장에서 결론을 맺는다.

2. 최대색차신호를 이용한 컬러향상

2.1 최대색차신호 테이블 구성

RGB 컬러 모델은 모니터나 비디오, 카메라 등의 디스플레이 장치에 컬러 이미지를 표현하기 위한 용도로 널리 사용된다. RGB 색 좌표는 영상처리 시 R, G, B 각각이 독립적으로 변환되어 원본 영상의 색이 보존되지 않는 경우가 종종 발생한다.

인간의 눈은 영상을 밝기와 색상, 채도로 나누어 인식하며 밝기 변화에 더 민감하다고 알려져 있다. 이러한 인간의 인지 특성을 이용하여 효율적인 영상의 압축을 위해 대부분의 멀티미디어시스템에서는 YCbCr 색 좌표계를 사용하고 있다. YCbCr 색 좌표계는 휘도 성분과 색차 성분을 분리하여 표현하는 것으로 명암도에 대한 영상처리를 수행함에 있어서 색상 정보가 변하지 않는다는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 YCbCr 좌표계에 대응하는 색상을 계산하여 각 색상에 따른 최대 색차 신호값을 저장하여 채도보정 시 색차 성분이 최대 색차 신호값을 넘지 않도록 하여 과채도 향상으로 인한 화질 열화를 방지한다.

그림 1은 YCbCr 색좌표계에서 밝기에 따른 채도와 색상의 변화를 도시화한 것으로, 각 밝기값에 따라 표현 가능한 색역이 제한되어 있다. 이러한 제한 사항을 고려하지 않고 채도향상을 위한 영상처리를 하는 경우, 과도한 채도향상으로 인하여 색차신호가 색역 밖의 존재하지 않는 값을 갖게 되어 채도의 과포화로 인한 색왜곡 현상 등의 부자연스러운 결과가 나타나며, 이러한 현상을 방지하기 위하여 색역을 제한할 경우 원본의 색이 변질될 수 있다. 따라서 올바른

그림 1. YCbCr 색좌표계

른 채도향상을 위해서는 휘도와 색상에 따른 채도와 색역을 파악하여 해당 색역내에서 채도향상이 이루어지도록 해야 한다[11,12].

YCbCr 색 공간에서의 채도향상 시 발생하는 색왜곡의 문제점을 해결하기 위해 각 휘도(Y)와 색상(H)에 대응하는 표현 가능한 채도와 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 변환하여 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)에 나타난 채도의 최대값에 대응하는 각 색차신호(Cb, Cr)의 값을 밝기 값($0 \sim 255$)으로 변환하여 표현한 것이다. 결국 특정 화소에 휘도와 색상 값

이 주어졌을 때 색차신호 Cb와 Cr이 (b)와 (c)에 나타난 색차신호의 최대값보다 큰 경우 과채도 현상이 발생하게 된다. 따라서 주어진 휘도와 색상에 대해 각 색차신호는 해당 색차신호의 최대값을 넘지 않도록 제어되어야 한다.

본 논문에서 제안하는 채도향상 방법은 특정 화소의 휘도와 색상이 주어졌을 때 그림 2에 나타난 채도의 최대값에 대응하는 색차신호의 테이블을 구성하고, 색차신호가 테이블에 기록된 값을 넘지 않도록 제어한다. 최대색차신호 테이블은 RGB 색공간에서 각 색성분 값을 이용하여 휘도(Y)와 색상(H)을 구하고, 그에 대응하는 최대색차신호(Cb_max, Cr_max) 값을 저장함으로써 구성된다.

그림 3은 휘도와 색상에 대응하는 최대색차신호 테이블을 구성하는 과정을 나타낸 것이다. 디지털 컬러영상에서 표현 가능한 모든 RGB 색신호 level에서 휘도(Y)와 색상(H)을 계산하고, 그에 대응하는 가장 큰 채도(S)를 갖는 색신호 level에서 색차신호(Cb, Cr)을 구하여 Cb_max, Cr_max로 저장한다. 즉, 현

그림 2. 휘도와 색상에 따른 채도와 색차신호의 최대범위

그림 3. 휘도와 색상에 따른 최대 Cb, Cr 테이블 구성

재 level의 RGB 색신호로부터 구해진 Y_{level} 과 H_{level} 에 대응하는 채도($S(Y_{level}, H_{level})$)값과 현재까지 계산된 최대채도값($S_{max}(Y_{level}, H_{level})$)을 비교하여 구해진 채도값이 최대채도값보다 클 경우 최대 채도값을 새로 구한 채도값으로 대체하고 이에 대응하는 최대색차신호($Cb_{max}(Y_{level}, H_{level})$, $Cr_{max}(Y_{level}, H_{level})$)값을 구하여 저장한다. 이 과정을 모든 RGB 값에 대해 수행하면 최종적으로 각 휘도와 색상에 대한 최대색차신호(Cr_{max} , Cb_{max})값이 저장된다. 여기서 사용된 상수 LEVEL_TOTAL은 표현가능한 모든 색신호의 개수로 8bit 컬러영상에서 256^3 의 값을 갖고, RGB 색성분의 변화에 따른 휘도(Y), 색차신호(Cb, Cr), 색상(H) 및 채도(S)는 각각 식(1)과 식(2)를 통하여 구한다[1].

$$\begin{aligned} Y &= 0.2999R + 0.587G + 0.144B \\ C_b &= -0.1687R - 0.3313G + 0.5B \\ C_r &= 0.5R - 0.4187G + 0.0813B \end{aligned} \quad (1)$$

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

그림 4는 색상이 120°, 150°, 180°, 210°일 때 휘도

신호의 변화에 따른 Cb_{max} 의 변화를 보여준다. 여기서 세로축은 Cb_{max} 를 나타내고 가로축은 휘도를 나타낸다. 기존의 채도보정 방식은 휘도의 변화율에 따른 가중치를 각 색차신호에 동일하게 곱하여 휘도 변화에 따른 채도손실을 보정하려 하였다. 그러나 그림 4에 나타난 바와 같이 색상에 따라 가장 큰 Cb_{max} 에 대응하는 휘도값이 서로 다르기 때문에 단순히 휘도의 변화율에 따른 가중치를 색차신호에 곱해서 채도를 보정할 경우 채도 손실이나 과채도의 위험성이 있다. 예를 들어 원본의 휘도가 아주 밝은

그림 4. 휘도와 색상에 따른 Cb_{max} 의 예

값에서 중앙 밝기값으로 변화하였을 때는 색차신호가 커져야함에도 불구하고 가중치가 1보다 작아져 채도가 오히려 감소하는 현상이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 각각의 색상에 따라 다른 가중치를 적용하여 특정 색상에서 최대색차신호를 넘지 않고 자연스러운 채도보정이 이루어지도록 한다.

2.2 최대색차신호 테이블을 이용한 채도 개선

기존의 채도보정 방법에서는 명암도 대비 향상 후 식 (3)과 같이 입출력 휘도의 변화율을 각 색차신호에 곱하여 휘도변화에 따른 채도손실을 보정하려 하였다. 그러나 휘도신호의 변화율을 가중치로 사용할 경우 컬러신호에 대한 정확한 채도보상이 어렵고 과채도가 발생하기도 한다.

$$\alpha = \frac{Y_{out}}{Y_{in}} \quad (3)$$

$$Cb_{out} = \alpha \times Cb_{in}, \quad Cr_{out} = \alpha \times Cr_{in}$$

그림 5는 특정 색상값(210°)에서 표현 가능한 세로축의 휘도(0~255)값과 가로축의 색차신호 Cb(0~128)값에 대응하는 최대색차신호 대비 색차신호(Cb)의 비율(Cb/Cb_max)을 밝기 값(0~255)으로 변환하여 표현한 것이다. 입력 색차신호값이 A인 경우 색차신호의 증가 없이 휘도신호만 증가할 경우 색차신호는 B가 된다. 그러나 이러한 경우에는 그림에서

그림 5. 최대색차신호 대비 색차신호 비율

보다시피 최대색차신호 대비 색차신호의 비율이 낮아진 것을 확인할 수 있다. 따라서 휘도신호의 변화에 따라 변하는 최대색차신호 대비 색차신호의 비율을 D의 경우와 같이 유지하도록 색차신호에 주어지는 이득을 조정해야 한다.

그림 6은 본 논문에서 제안하는 방법으로 최대색차신호 테이블에서 특정 색상(Hue)에 대한 최대색차신호의 단면에서 휘도변화에 따른 색차신호 보정 방법을 나타낸 것이다. 명암도 대비 향상 후 휘도값이 Y_in에서 Y_out으로 변할 때 최대색차신호 대비 색차신호 비율을 유지하기 위해 색차신호를 변환하여 채도 보정을 통한 선명도를 유지해야 한다. 그림 6(a)는 입력 색차신호값이 A인 경우 색차신호의 증가 없이 휘도신호만 증가할 경우 출력 색차신호는 B가 되어 식 (2)로 구한 채도는 입력영상과 동일하지만 휘도신호의 향상으로 인한 최대색차신호 대비 색차신호의 비율이 낮아져 선명도가 낮아지게 된다. 또한 휘도신호의 변화율(Y_out/Y_in)에 따라 색차신호를 증가시키면 출력 색차신호 값이 C와 같이 색역을 벗어나 색신호의 왜곡이 발생할 가능성이 있다. 따라서 본 논문에서는 D와 같이 입출력 휘도신호에 대응하는 최대색차신호의 증가율(C_max_out/C_max_in)에 따라 색차신호를 증가시켜 최대색차신호 대비 색차신호의 비율을 유지하여, 색왜곡 없이 색선명도 향상이 이루어지도록 한다. 한편 그림 6의 (b)는 휘도값이 감소하는 경우의 예로 색차신호의 변화가 없으면 출력 색차신호 값은 B와 같이 최대색차신호 대비 색차신호의 비율이 낮아져 색선명도가 감소하고, 기존의 휘도신호 변화율에 따라 색차신호를 변화시키면

(a) 휘도 증가의 경우

(b) 휘도 감소의 경우

그림 6. 휘도변화에 따른 색차신호 변화 예

출력 색차신호가 C가 되어 오히려 색선명도가 더욱 감소하게 된다. 반면 최대색차신호 변화율을 이용하여 색차신호를 보정하면 출력 색차신호 값이 D가 되어 각 휘도에 따른 색선명도의 비율이 유지된다. 또한 각 색차신호 Cb, Cr에 동일한 비율을 이용하여 보정하였기 때문에 식 (4)에서 보는바와 같이 입력영상과 동일한 색상을 유지할 수 있다[6].

$$Hue = \arctan \frac{Cr}{Cb} \quad (4)$$

따라서 본 논문에서 제안하는 채도보정을 위한 가중치는 휘도 변화에 따른 최대색차신호의 증가율 (C_{max_out}/C_{max_in})을 사용하고, 식 (5)와 같이 최대색차신호의 변화율 중 작은 값을 선택하여 출력 색차신호 Cb와 Cr이 모두 색역을 벗어나지 않으면서 출력영상의 색선명도가 입력영상과 동일할 수 있도록 한다.

$$\alpha = \min \left[\frac{C_{b_max_out}}{C_{b_max_in}}, \frac{C_{r_max_out}}{C_{r_max_in}} \right] \quad (5)$$

여기서 $C_{b_max_in}$ 과 $C_{r_max_in}$ 은 최대색차신호 테이블에서 입력 화소의 색상과 입력 휘도신호(Y_{in})에 대응하는 최대색차신호 값이고, $C_{b_max_out}$ 과 $C_{r_max_out}$ 은 동일한 색상과 출력 휘도신호(Y_{out})에 대응하는 최대색차신호 값이다.

그림 7은 제안하는 컬러영상 선명화 알고리즘의 전체 블록도이다. 제안된 방식에서는 입력 휘도신호(Y_{in})에 대해서만 히스토그램 평활화를 통해 명도 대비가 향상된 출력 휘도신호(Y_{out})를 얻는다. 휘도신호의 명도대비 개선에 대응하는 색신호의 개선을 위해 최대색차신호 테이블을 이용하여 입력 색차신호에 곱할 가중치를 계산하는데, 사용자 선호도에

따라 추가적인 색 선명도 향상을 위해 사용자 제어변수 Gain을 식 (5)에서 구한 가중치 α 에 곱한 값을 최종적인 가중치 β 로 사용한다. 이때 사용자 제어변수 사용으로 인해 발생할 수 있는 색왜곡을 방지하기 위해 최종적인 가중치 β 는 식 (6)와 같이 구하고, 최종적으로 색 선명도 개선이 이루어진 출력 색차신호는 식 (7)에 의해 구해진다.

$$\beta = \min \left[\alpha \times Gain, \frac{C_{b_max_out}}{C_{b_in}}, \frac{C_{r_max_out}}{C_{r_in}} \right] \quad (6)$$

$$\begin{aligned} C_{b_out} &= \beta \times C_{b_in} \\ C_{r_out} &= \beta \times C_{r_in} \end{aligned} \quad (7)$$

식 (6)에서 입력영상의 색차신호(C_{b_in} , C_{r_in})에 곱해질 최종 가중치 β 는 식 (5)에서 구한 휘도 변화에 따른 최대색차신호 변화비율 α 에 사용자가 입력한 Gain을 곱한 값인데, $\alpha \times Gain$ 을 곱한 입력 색차신호가 출력 최대색차신호를 넘지 않도록 최종 이득을 제어함으로써 채도향상 과정에서 과채도로 인한 부자연스러운 결과가 나타나는 문제점을 해결한다. 만일 입출력 휘도의 변화가 없으면 C_{max_in} 과 C_{max_out} 이 같아 식 (5)에서 구한 가중치 α 는 1이고 최종 가중치 β 는 사용자가 초기에 설정한 Gain과 같지만 Gain을 곱한 입력 색차신호가 최대색차신호를 넘지 않도록 최종가중치 β 가 제어된다.

3. 실험 및 분석

제안 방법의 성능을 검증하기 위해 다양한 특성을 갖는 영상에 대해 채도 향상 처리를 수행한다. 본 실험에서는 최대색차신호 테이블의 크기를 줄이기 위해 1도씩 변화하는 색상만을 고려하여 360가지의 색상에 대한 테이블을 구성하고, 휘도에 대해서는 256의 밝기를 고려한다. 따라서 채도향상 알고리즘을 구현 시 360×256 byte 크기의 C_{r_max} , C_{b_max} 테이블을 사용한다. 실험에 사용된 영상은 720×480 해상도의 저채도 영상과 고채도 영상을 사용하고, 명암도 대비 향상 방법으로는 히스토그램 평활화 기법을 사용한다.

제안방식의 성능평가는 식 (3)을 이용하는 명암도 대비 채도향상 방법과 Huang 방법[6]을 비교방식으로 하여 주관적 화질평가와 함께 색선명도에 대한 객관적인 성능검증을 위해 식 (8)을 이용하여 색선명도를 측정한다[13].

그림 7. 제안된 알고리즘의 전체 블록도

$$Vivid = \sqrt{\frac{(R-m)^2 + (G-m)^2 + (B-m)^2}{3}},$$

$$m = \frac{R+G+B}{3} \quad (8)$$

그림 8은 히스토그램 평활화 기법을 이용한 명암도 대비 향상 결과를 나타낸 것으로 (a)에서 (e)는 성능평가를 위해 사용되는 원영상이고, (f)에서 (j)는 원영상에 대한 히스토그램 평활화 기법을 적용시킨 결과이다. 그림 8의 (f)에서 (j)의 결과 영상은 명암도 대비가 향상되었지만 전체적으로 색선명도가 낮아지는 결과를 보인다. 한편, 표 1은 그림 8의 입력 원영상과 히스토그램 평활화 결과인 출력영상에 대해 식 (8)을 이용하여 구한 평균 색선명도를 나타낸 것으로 출력영상의 평균 색선명도가 약간 감소함을 알 수 있다.

그림 9과 그림 10은 그림 8의 (f)와 (g)의 명암대비를 개선한 저채도 영상에 대해 채도향상을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 그림 9과 그림 10의 (a)에서 (c)는 식 (3)에서 구한 휘도의 변화율 α 에 사용자 Gain을 곱한 값을 가중치 β 로 하여 채도를 향상시킨 영상이고[10], (d)에서 (f)는 Huang 방법을 적용한 결과이며[6], (g)에서 (i)는 제안하는 방법을 이용한 채도향상 결과이다. 그림 9과 그림 10에 나타난 결과

영상은 그림 8의 (f), (g)와 비교하여 Gain이 높을수록 색선명도가 향상됨을 보여준다. 하지만 기존 방식은 그림 9에서 채도향상이 전체적으로 균일하게 이루어지 못함을 알 수 있고, 그림 10에서는 펜스부분의 색상이 입력영상과 다르게 표현되는 색왜곡 현상이 나타난다. 하지만 제안된 방식은 영상 전체적으로 균일하게 채도향상이 이루어지고 있으며, 입력영상과 동일한 색상을 유지하고 있음을 알 수 있다.

그림 11는 그림 9과 10보다 채도가 높은 Haze 영상에서의 채도향상 결과를 나타낸 것으로, 그림 8의 (h)에서 히스토그램 평활화된 영상이 입력영상에 비해 전반적으로 밝기가 증가한 경우의 채도향상 처리 결과이다. 그림 11의 (a)에서 (c)에 나타난 명도대비 채도향상 방법의 결과와 (d)에서 (f)에 나타난 Huang의 방법은 출력 화소 값이 색역을 벗어나 녹색이 파란색으로 변하는 심한 색왜곡이 발생하며, Gain이 증가할수록 색왜곡으로 인한 화질 저하가 더욱 심해진다. 그러나 제안된 방식은 큰 가중치를 사용하더라도 과채도 현상이 없고, 나뭇잎과 같은 세부 정보를 잘 유지함을 알 수 있다.

그림 12과 그림 13는 그림 8의 (i)와 (j)에서 히스토그램 평활화된 영상이 입력영상에 비해 전반적으로 밝기가 감소한 경우에 대한 채도향상 처리 결과를

그림 8. 명암도 대비 향상 결과

표 1. 명암도 대비 향상 결과에 대한 평균 색선명도

구 분	(a) Flower	(b) Stefan	(c) Haze	(d) Penguin	(e) Lena
입력 원영상	0.195	0.247	0.344	0.373	0.519
히스토그램 평활화	0.191	0.244	0.340	0.371	0.516

그림 9. Flower 영상에서의 결과

그림 10. Stefan 영상에서의 결과

그림 11. Haze 영상에서의 결과

그림 12. Penguin 영상에서의 결과

보여준다. 그림 12과 그림 13의 (a)에서 (c)에 나타난 명도대비 채도향상 방법과 (d)에서 (f)에 나타난 Huang의 방법은 사용자 Gain이 2인 경우 채도의 감소와 일부 영역의 색이 변하는 색왜곡 현상을 나타낸다. 또한 사용자 Gain이 4 이상인 경우는 배경의 색이 전반적으로 변하고, 그림 12에서 고채도인 팡권의 노란색이 색포화로 인해 하늘색으로 변하였으며, 그림 13에서 머리카락과 배경의 세부정보가 상실되고 과포화되는 화질 저하가 나타난다. 또한 Gain이 증가할수록 이러한 색왜곡 현상이 더욱 심해지는 것을 알 수 있다. 이러한 일부 영상에서의 색왜곡, 과포화 현상은 디지털 컬러 영상에서 표현가능한 색역을 고려하지 않고 채도를 향상시켜서 발생한 현상이다. 반면에 제안된 방법은 색포화나 색왜곡 없이 Gain이 증가할수록 색선명도가 증가됨을 알 수 있다.

표 2는 원 영상의 평균채도 대비 히스토그램 평활화한 영상에 사용자 Gain을 증가시키면서 채도향상 처리를 수행한 결과영상의 평균 색선명도 증가율을 보여준다. 여기서 평균 색선명도 증가율이 1보다 작으면 출력영상의 색선명도가 입력영상보다 감소했

음을 의미하고 1보다 크면 색선명도가 향상됐음을 의미한다. 세 가지 방법 모두 대체로 색선명도가 향상되었고, 특히 제안된 방식의 색선명도 증가율이 기존방식에 비해 대체로 높음을 알 수 있다. 또한 Gain의 증가에 따라 색선명도 증가율이 대체로 증가하지만 제안된 방식의 Gain 증가에 따른 색선명도가 기존 방식에 비해 일관성을 갖고 증가함을 알 수 있다. 특히 그림 8 (d)와 (e) 같이 고채도 영상에서 출력 휘도 값이 입력 휘도 값보다 작아진 경우에 기존 방법을 사용한 경우 선명도가 감소하거나 과포화로 인한 색왜곡이 발생하지만 제안 방법은 색상의 왜곡 없이 모든 영상에서 우수한 채도향상 성능을 보여준다.

4. 결 론

컬러영상의 채도향상은 일반적으로 색차신호의 이득을 조정하여 이루어지는데, 기존 방법의 경우 명암도 대비 향상 효과가 큰 영상에서 과도한 채도보정으로 인한 부자연스러운 결과를 보인다. 또한 채도향상 시 적용하는 가중치 함수는 일정한 밝기 변화에서

그림 13. Lena 영상에서의 결과

표 2. 평균 색선명도 증가율

구 분		Gain = 2	Gin = 4	Gain = 6
그림 7 (a) Flower	명암도 대비 채도향상 방법	1.186	1.628	2.025
	Huang 방법	1.263	1.781	2.220
	제안 방법	1.541	2.566	3.234
그림 7 (b) Stefan	명암도 대비 채도향상 방법	1.041	1.428	1.722
	Huang 방법	1.085	1.484	1.795
	제안 방법	1.639	2.604	3.040
그림 7 (c) Haze	명암도 대비 채도향상 방법	0.935	1.232	1.450
	Huang 방법	0.989	1.314	1.539
	제안 방법	1.553	2.098	2.265
그림 7 (d) Penguin	명암도 대비 채도향상 방법	0.711	0.661	1.573
	Huang 방법	0.574	0.679	1.705
	제안 방법	1.106	1.171	1.786
그림 7 (e) Lena	명암도 대비 채도향상 방법	0.799	1.119	1.272
	Huang 방법	0.877	1.197	1.344
	제안 방법	1.469	1.531	1.533

각 색상 별 채도 변화율로 사용자가 임의로 정한 값에 의해 크기가 조정되는데, 이때 가중치 함수의 크기를 임의의 값으로 고정시켜 놓고 다양한 영상에 적용했을 때 적절한 개선 효과를 기대하기 어렵다.

본 논문에서는 채도향상 결과가 디지털 영상에서 표현 가능한 색역밖의 존재하지 않는 값에 사상되어 색신호가 왜곡되는 과포화와 색왜곡 현상을 방지하고, DTV 등 멀티미디어 시스템에서 주로 사용되는 색좌표계인 YCbCr 형태의 휘도와 색차신호에 대해 채도를 향상시키는 방법을 제안하였다. 기존의 방식은 단순히 휘도가 변화함에 따라 밝기의 변화율만큼 채도를 보정시킨 것에 반해 본 논문에서는 밝기 변화에 따른 최대색차신호의 비율을 통하여 채도를 보정함으로써 보다 밝기 변화에 적응적인 채도보정 기법을 제안하였다. 또한 채도향상기법에 있어서 향상된 색차신호의 값이 최대색차신호의 값보다 클 경우, 이를 최대색차신호 값으로 대체하여 과포화되는 현상을 방지하면서 모든 색의 채도 변화 특성에 따른 자연스러운 결과를 얻을 수 있었다.

실험 결과 제안 방식은 기존 방식들에 비해 대비 향상 효과가 더욱 우수하였고, 다양한 영상에 적응적으로 채도가 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 또한 기존 방식들에서 나타나는 과포화와 색왜곡 현상을 해결하여 입력영상과 동일한 색상을 유지하면서 채도

를 향상시켜 보다 색선명도가 높은 영상을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] R.G. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, Third Edition, Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2008.
- [2] Y.-T. Kim, "Contrast Enhancement using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 43, No. 1, pp. 1-8, 1997.
- [3] Y. Wang, Q. Chen, and B.M. Zhang, "Image Enhancement based on Equal Area Dualistic Sub-image Histogram Equalization Method," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 45, No. 1, pp. 68-75, 1999.
- [4] S.-D. Chen and A.R. Ramli, "Contrast Enhancement using Recursive Mean-Separate Histogram Equalization for Scalable Brightness Preservation," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 49, No. 4, pp. 1301- 1309, 2003.

- [5] J.-Y. Kim, L.-S. Kim, and S.-H. Hwang, "An Advanced Contrast Enhancement using Partially Overlapped Sub-Block Histogram Equalization," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 11, No. 4, pp. 475-484, 2001.
- [6] Y. Huang, L. Hui, and K.H. Goh, "Hue-based Color Saturation Compensation," *IEEE International Conference on Consumer Electronics*, pp. 160-164, 2004.
- [7] 조영심, 윤정효, 박진성, 최명렬, "채도 향상을 이용한 적응형 화질 개선 알고리즘," 멀티미디어학회논문지, 제9권, 제11호, pp. 1455-1464, 2006.
- [8] A.R. Weeks, L.J. Sartor, and H.R. Myler, "Histogram Specification of 24-bit Color Images in the Color Difference (C-Y) Color Space," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 8, No. 3, pp. 290-300, 1999.
- [9] 옥현욱, 최원희, 김창용, "Normalized YCbCr 색 공간에서의 적응적 채도 향상 방법," 신호처리 소사이어티 추계학술대회 논문집, pp. 385-388, 2003
- [10] 양경옥, 황정습, 윤중호, 조화현, 최명렬 "채도 확장을 이용한 컬러 이미지 향상 기법," 대한전자공학회 하계종합학술대회, pp. 371-372, 2007
- [11] J. Morovic, *To Develop a Universal Colour Gamut Mapping Algorithm*, PhD Thesis, University of Derby, U. K., 1998.

- [12] Chao-Chee Ku, Tsung-Ming Wang, "Luminance-Based Adaptive Color Saturation Adjustment," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 51, No. 3, pp. 939-946, 2005.
- [13] Y. Yoda and H.K otera, "Appearance Improvement of Color Image by Adaptive Linear Retinex Model," *Proc. IS&T's NIP21 (IS&T, Springfield, VA)*, pp. 660-663, 2004.

김 선 정

2003년 3월~2010년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학과 학사
2011년 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