

레터논문 (Letter Paper)

방송공학회논문지 제20권 제5호, 2015년 9월 (JBE Vol. 20, No. 5, September 2015)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2015.20.5.770>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

컬러 영상의 Saturation 성분을 이용한 효율적인 화질 개선 기법

김진호^{a)}, 길민균^{a)}, 이창우^{a)†}

Efficient Color Image Enhancement Technique using Saturation Components of Color Images

Jin Ho Kim^{a)}, Min Kyun Gil^{a)}, and Chang Woo Lee^{a)†}

요약

영상의 화질을 향상시키기 위하여 콘트라스트(contrast)를 향상시키는 기법이 많이 사용된다. 컬러 영상의 콘트라스트를 향상시키는 경우에 컬러의 saturation이 높은 순수한 색에 대해서는 과도한 콘트라스트 향상으로 인한 색 포화 현상이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 HSI 컬러 공간에서 saturation 성분을 이용하여 순수한 색에 대한 과도한 콘트라스트 향상으로 발생할 수 있는 색 포화 현상을 방지할 수 있는 기법과 YCbCr 컬러 공간에서도 동일한 효과를 보이는 컬러 영상 화질 향상 기법을 제안한다. 다양한 영상에 대한 실험 결과 제안하는 기법이 기존의 방법에 비하여 좋은 화질의 영상을 생성하는 것을 보인다.

Abstract

The contrast of the intensity components of color images usually needs to be improved in order to enhance the visual quality of color images. However, pure color regions can be saturated due to the excessive enhancement of that color. In this paper, a new method for enhancing the visual quality of color images using saturation components in the HSI color space is proposed, and the same enhancement technique in the YCbCr color space is proposed. Computer simulations show that the proposed method provides improved visual quality compared to the conventional methods.

Keyword: image enhancement, contrast enhancement, HSI color space, YCbCr color space, saturation components

a) 가톨릭대학교 정보통신전자공학부(School of Information, Communications and Electronics Engineering, The Catholic University of Korea)

† Corresponding Author : 이창우(Chang Woo Lee)

E-mail: changwoo@catholic.ac.kr

Tel: +82-2-2164-4369

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8628-9612>

※ 본 연구는 2014년도 가톨릭대학교 교비 연구비 지원 및 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2010-0010470).

· Manuscript received June 25, 2015; Revised July 30, 2015; Accepted July 30, 2015

1. 서론

영상의 화질을 향상시키기 위한 많은 연구가 진행되어 왔는데^[1-5], HE(histogram equalization) 기법은 영상의 히스토그램을 가능한 균일하게 분포하도록 함으로써 콘트라스트를 향상시키는 방법인데 일부 영상에 대해서는 콘트라스트의 과도한 향상으로 인해서 영상이 부자연스럽게 보이는

단점이 있다^[1,2]. 이러한 단점을 해결하기 위하여 HE 기법을 적용하기 전에 히스토그램 분포를 조절함으로써 콘트라스트의 과도한 향상을 제한하는 기법인 histogram filtering 및 HM(histogram modification) 기법 등이 제안되었다^[2].

본 논문에서는 HSI 컬러 공간에서 영상의 밝기 부분을 나타내는 I 성분을 이용하여 콘트라스트를 향상시킬 때 saturation 성분인 S 성분 값을 이용하여 콘트라스트 향상 정도를 조절하는 방법을 사용하여 콘트라스트는 향상시키면서 순수한 색을 갖는 부분의 색 포화를 방지하여 좋은 화질의 영상을 생성하는 기법을 제안한다. 또한 많이 사용되는 YCbCr 컬러 공간에서 같은 효과를 보일 수 있는 콘트라스트 향상 기법을 제안하고 다양한 영상을 이용하여 제안하는 기법이 기존의 기법에 비해서 우수한 화질을 갖는 영상을 생성함을 입증한다.

II. 컬러 영상의 화질 향상 기법

HE 기법은 영상의 밝기 분포를 나타내는 히스토그램을 가능한 균일하게 분포하도록 하여 콘트라스트를 향상시키는 기법인데^[1,2], HE 기법을 적용하면 콘트라스트의 과도한 향상으로 인해서 영상이 부자연스럽게 보일 수 있다. 이러

한 현상을 개선하기 위한 방법 중의 하나로 HM 기법이 제안되었는데^[2], HM 기법에서는 다음 식을 이용하여 히스토그램을 변형한 후에 HE 방법을 적용한다.

$$\tilde{h}_i = \frac{h_i + \lambda \cdot u}{1 + \lambda} = \left(\frac{1}{1 + \lambda} \right) h_i + \left(\frac{\lambda}{1 + \lambda} \right) u \quad (1)$$

식 (1)에서 \tilde{h}_i 는 개선된 히스토그램으로서 영상의 히스토그램 h_i 와 균일 분포 u 의 가중합으로 계산되는데 가중치 λ 를 조절함으로써 균일화의 정도를 조절할 수 있다. λ 값이 0일 때 HM 기법은 HE 기법과 동일하게 되고 λ 값이 커질수록 콘트라스트 향상 정도가 줄어들게 된다.

컬러 영상의 화질을 향상시키기 위하여 RGB 컬러 공간에서 콘트라스트를 각각 향상시킨다면 영상의 색이 변하는 문제가 있다. 영상의 색을 변화시키지 않고 콘트라스트를 향상시키기 위해서는 YCbCr 컬러 공간이나 HSI 컬러 공간에서 콘트라스트를 향상시켜야 한다. 영상의 컬러 공간 중에서 HSI 컬러 공간은 시각 시스템에서 영상을 인식하는 방법과 유사하게 영상을 표현할 수 있다. I(Intensity)는 RGB 성분의 평균 밝기를 나타내고 H(Hue)는 색 성분을 나타내며 S(Saturation)는 색의 saturation을 나타내는데 RGB 성분이 동일하게 섞여 있을 때 S는 최소값 0을 갖고



그림 1. 컬러 영상의 화질 향상 기법 비교(Redbus) (a)원영상 (b)HE 기법 (c)HM 기법 ($\lambda: 1$) (d)HSI 컬러 공간에서 제안하는 기법($\beta: 0.25, \gamma: 0.5$) (e)HSI 컬러 공간에서 제안하는 기법($\beta: 0.75, \gamma: 0.5$) (f)YCbCr 컬러 공간에서 제안하는 기법($\beta: 0.75, \gamma: 0.5$)

Fig. 1. Comparison of color image enhancement methods(Redbus) (a)Original image (b)HE method (c)HM method ($\lambda: 1$) (d)Proposed method in HSI color space ($\beta: 0.25, \gamma: 0.5$) (e)Proposed method in HSI color space ($\beta: 0.75, \gamma: 0.5$) (f)Proposed method in YCbCr color space ($\beta: 0.75, \gamma: 0.5$)

RGB 중 하나 이상의 성분이 0일 때 S 값은 1 값을 갖고 다음 식으로 구할 수 있다.

$$S = 1 - \frac{[\min(R, G, B)]}{I} \quad (2)$$

HSI 컬러 공간에서는 I 성분을 변화시킴으로써 콘트라스트를 향상시킬 수 있다. 또한 영상의 저장 혹은 전송에 주로 사용되는 YCbCr 컬러 공간에서는 밝기 값을 나타내는 Y 성분을 변화시킴으로써 콘트라스트를 향상시킬 수 있다.

III. 컬러의 saturation 성분을 이용한 효율적인 화질 개선 기법 및 성능 분석

2장에서 설명한 HM 기법을 이용하면 콘트라스트를 향상시켜 컬러 영상의 화질을 개선할 수 있지만 saturation 성분이 1에 가까운 순수한 색의 경우에는 RGB 성분 중에서 하나 이상의 성분 값이 0에 가까운 값을 갖기 때문에 콘트라스트 향상에 의해서 하나 혹은 두 개의 성분만이 크게 영향을 받는다. 따라서 같은 밝기 성분에 대해서도 순수한 색을 포함하는 부분의 경우에는 RGB 성분이 고르게 섞인 부분보다 같은 정도의 콘트라스트 향상에 의한 영향을 크게 받는다. 그림 1(a)~그림 1(c)에는 R 성분을 많이 포함한 영상을 사용하여 HE 기법과 HM 기법을 이용한 콘트라스트 향상의 결과를 제시하였다. HSI 컬러 공간에서 I 성분에 대해서 콘트라스트를 향상시켰는데 HM 기법에서 λ 값을 1로 설정하여 HE 기법에서 발생하는 과도한 콘트라스트 향상을 완화시킨 경우에도 순수한 붉은 색 부분은 과도한 콘트라스트 향상으로 색이 포화되는 문제가 발생한다. λ 값을 크게 할수록 색이 포화되는 문제는 줄어들지만 콘트라스트 향상의 정도가 줄어들게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 HSI 컬러 공간에서 I 성분에 대해서 HM 기법을 이용하여 콘트라스트를 향상시킨 후에 S 성분을 이용하여 영상의 saturation 성분이 클수록 콘트라스트 향상 정도를 완화시켜서 순수한 색 부분의 색 포화를 감소시키는 방법을 제안한다. 먼저 (m, n) 위치의 화소에 대해서 콘트라스트 향상 이후의 화소 값을 I' 이라 하고 원 화소 값을 I 라 할 때 콘트라스트 향상 비율을

$\alpha_{m,n}(I) (= \frac{I'}{I})$ 라 하면 다음과 같은 식을 이용하여 콘트라스트 향상 정도를 조절할 수 있다.

$$\alpha'_{m,n}(I) = 1 + (\alpha_{m,n}(I) - 1) \times (1 - \beta \cdot S^\gamma), \quad (3)$$

$(0 \leq \beta \leq 1, 0 \leq \gamma \leq 1)$

S 는 해당하는 화소의 saturation 값이며 β 와 γ 는 S 값이 미치는 영향을 조절하기 위한 계수이다. β 값이 0일 때는 $\alpha'_{m,n}(I)$ 는 $\alpha_{m,n}(I)$ 값과 같아져서 제안하는 식은 HM 기법을 적용한 것과 같은 결과를 얻게 되고 β 값이 증가할수록 S 값에 의한 영향이 커져서 순수한 색에 대한 콘트라스트 향상 정도를 낮추게 된다. γ 값에 따라서 S 값의 콘트라스트 향상 정도에 대한 영향을 조절할 수 있는데 γ 가 1일 때는 선형적인 관계를 갖고 γ 가 작아질수록 S 값이 더 큰 영향을 미친다. 먼저 β 와 γ 값을 결정하기 위해서 값을 다양하게 변화시키면서 최적의 값을 구하였는데 다양한 영상에 대해서 실험한 결과 그림 1(e)에 도시하는 것과 같이 β 는 0.75, γ 는 0.5 값을 가질 때 가장 좋은 결과를 얻었다. 그림에서 알 수 있는 것과 같이 기존의 HE와 HM 기법에 비해서 제안하는 방법이 순수한 색 부분의 포화를 방지하면서 콘트라스트를 향상시키는 것을 알 수 있다. Song 등은 컬러의 saturation 성분을 이용한 화질 향상 기법을 제안하였는데 saturation 성분을 확장시켜 색감을 향상시키는 기법으로 본 논문에서 제안한 방법과 차이가 있다³⁾.

HSI 컬러 공간의 I 성분과 YCbCr 컬러 공간의 Y 성분이 모두 밝기를 나타내는 점과 JPEG을 위한 YCbCr 컬러 공간에서 RGB와 YCbCr 간의 관계를 이용하면 식 (2)의 S 를 대체하기 위한 다음과 같은 근사식을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} S' &= 1 - \frac{\min(R, G, B)}{Y} \\ &= -\frac{\min(1.402Cr, -0.344Cb - 0.714Cr, 1.772Cb)}{Y} \\ &\approx -\frac{\min(Cr, -0.5Cb - Cr, 2Cb)}{Y} \end{aligned} \quad (4)$$

식 (3)에서 S 값 대신에 식 (4)의 S' 값을 이용하고 YCbCr 색 공간에서 밝기를 나타내는 Y 성분에 대해서 제안하는

콘트라스트 향상 기법을 적용할 수 있다.

YCbCr 컬러 공간에서 Y 성분의 콘트라스트를 향상시킨 후에 각 화소의 Cb와 Cr 성분에 대해서도 Y 성분과 같은 비율의 값을 곱하여 영상의 색이 변하지 않도록 할 수 있다. 그림 1(f)에 YCbCr 컬러 공간에서 제안하는 방법을 사용한 결과를 도시하였는데 HSI 컬러 공간에서 제안하는 방법을 사용한 결과와 거의 동일한 결과를 보임을 알 수 있다. 그림 2에 다른 영상에 대한 실험 결과를 제시하였는데 제안하는 방법이 기존의 방법에 비해서 콘트라스트를 향상시키면서 saturation이 높은 순수한 색에 대해서는 색 포화를 방지하는 결과를 보임을 알 수 있다.

표 1과 2에는 콘트라스트 향상 후에 RGB 각 성분에 대해서 제한 값을 초과하여 색 포화가 발생하는 화소 수의 비율을 제시하였는데 제안하는 방법은 색포화가 발생하는 화소 수를 크게 줄이는 것을 알 수 있다. 컬러 영상의 화질 향상 기법에서 이러한 색 포화 문제는 color gamut 문제로 별도로 연구될 정도로 중요한 문제이다^[4].

표 1. Redbus 영상에 대해서 화질 향상 후 RGB 컬러 공간에서 제한 범위를 초과하는 화소 수의 비율 (%)

Table 1. The percentage of the number of pixels that are not within the color gamut in RGB color space (Redbus)

	HE	HM ($\lambda: 1$)	Proposed method ($\beta: 0.25, \gamma: 0.5$)	Proposed method ($\beta: 0.75, \gamma: 0.5$)
R	32.271830	23.609416	19.500732	0.000000
G	1.679993	0.005595	0.001017	0.000000
B	3.410594	0.148265	0.064596	0.000000

표 2. Cap과 Door 영상에 대해서 화질 향상 후 RGB 컬러 공간에서 제한 범위를 초과하는 화소 수의 비율 (%)

Table 2. The percentage of the number of pixels that are not within the color gamut in RGB color space (Cap, Door)

	HM (Cap, $\lambda: 1$)	HM (Door, $\lambda: 1$)	Proposed method (Cap, $\beta: 0.75, \gamma: 0.5$)	Proposed method (Door, $\beta: 0.75, \gamma: 0.5$)
R	3.306071	27.427928	0.013242	0.002294
G	2.036540	0.215912	0.008787	0.000760
B	0.000763	0.000000	0.000008	0.000000

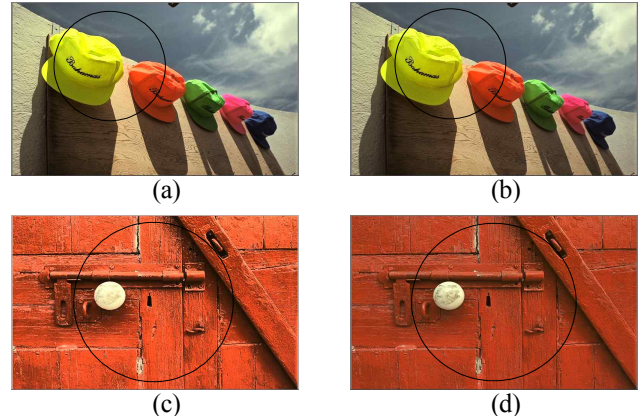


그림 2. 컬러 영상의 화질 향상 기법 비교 (a)HM 기법 (Cap, $\lambda: 1$) (b)제안하는 기법(Cap) (c)HM 기법 (Door, $\lambda: 1$) (d)제안하는 기법(Door)
 Fig. 2. Comparison of color image enhancement methods (a)HM method (Cap, $\lambda: 1$) (b)Proposed method (Cap) (c)HM method (Door, $\lambda: 1$) (d)Proposed method (Door)

IV. 결 론

본 논문에서는 HSI 컬러 공간에서 saturation 성분을 이용하여 순수한 색의 색 포화를 방지하면서 콘트라스트를 향상시킬 수 있는 기법과 YCbCr 컬러 공간에서도 동일한 효과를 보일 수 있는 방법을 제안하였다. 다양한 영상에 대한 실험을 통하여 제안하는 방법이 색 포화를 방지하면서 우수한 화질을 갖는 영상을 생성함을 입증하였다. 제안하는 방법은 컬러 영상의 화질 향상 및 color gamut 문제 해결의 효율적인 방법이 될 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital image processing. Prentice Hall, 2009.
- [2] T. Arici, S. Dikbas and Y. Altunbasak, "A histogram modification framework and its application for image contrast enhancement," IEEE Trans. Image Process., vol. 18, no. 9, pp. 1921-1935, Sept. 2009.
- [3] G. Song and Q. Xiang-lei, "Color image enhancement based on luminance and saturation components," Congress on Image and Signal Processing 2008, Sanya, China, May 2008.
- [4] S. K. Naik and C. A. Murthy, "Hue-preserving color image enhancement without gamut problem," IEEE Trans. Image Process., vol. 12, no. 12, pp. 1591-1598, Dec. 2003.
- [5] C. Lee, C. Lee, Y. Lee and C. Kim, "Power-constrained contrast enhancement for emissive displays based on histogram equalization," IEEE Trans. Image Process., vol. 21, no. 1, pp. 80-93, Jan. 2012.