

칼라 항상성에 기초한 벡터 회전을 이용한 칼라 영상 향상

김 경 만, 이 채 수, 박 영 식, 하 영 호

경북대학교 전자공학과
대구광역시 북구 산격동 1370번지

Color Image Enhancement Using Vector Rotation Based on Color Constancy

Kyeong-Man Kim, Chae-Soo Lee, Young-Sik Park, and Yeong-Ho Ha

Dept. of Electronic Engineering, Kyungpook National University

Tel: 053-950-5535 Fax: 053-957-1194

E-mail: cvip@ee.kyungpook.ac.kr

Abstract

Color image is largely corrupted by various ambient illumination. However, human perceives always white color as white under any illumination because of a characteristic of human vision, called color constancy. In the conventional algorithm which applied the constancy effect, after the RGB color space is transformed to the IHS(Intensity, Hue, and Saturation) color space, then the hue is preserved and the intensity or the saturation is properly enhanced. Then, the enhanced IHS color is reversely transformed to the RGB color space. In this process, the color distortion is included due to the color gamut error. But in the proposed algorithm, there is no transformation. In that, the RGB color is considered as 3 dimensional color vector and we assume that white color is the natural daylight. As the color vector of the illumination can be calculated as the average vector of R, G, and B image, we can achieve the constancy effect by simply rotating the illumination vector to the white color vector. The simulation results show the efficiency of the vector rotating process for color image enhancement.

1. 서 론

물체색(object color)은 빛의 반사, 투과 및 흡수

등에 의해 인식되며 물체색 중에서도 빛의 반사에 의해 나타나는 색을 표면색(surface color)이라고 한다. 이러한 표면색은 물체에 입사되는 광원과 물체로부터 반사되는 빛의 성질에 의하여 크게 달라지는데, 이것은 같은 물체색이라 할지라도 햇빛 아래에서 볼 때와 백열등 아래에서 볼 때 나타나는 표면색은 서로 다르다는 것을 의미한다. 그러나 인간은 주관적인 색채 지각으로 인한 칼라 항상성(color constancy)을 갖고 있어서 조명의 종류 및 조명에 관련된 주변 환경이 달라져도 물체색의 변화를 느끼지 못한다^[1]. 즉, 인간은 자연광, 백열등, 또는 형광등 등의 여러 가지 조명 아래에서도 흰색을 항상 희게 느끼는 항상성을 가진다. 이와 같은 성질을 이용하면 각기 다른 조명이 입사된 영상이라도 원래의 물체가 가진 표면색을 복원한 개선된 영상을 얻을 수 있다. 일반적인 칼라 항상성의 해석에는 파장에 대한 기본 함수(basis function)를 선형 조합하여 물체색을 추정하는 접근 방식과 밝기값에 대한 접근 방식이 있다. 파장에 대한 접근 방식은 밝기값으로 구성된 영상 처리 하드웨어에 적합하지 않은 단점이 있다. 그리고 밝기값에 대한 접근 방식은 색의 세 가지 속성 중의 하나인 색상(hue)을 보존하며, 색의 순도인 색포화도(saturation)나 색의 밝기를 나타내는 요소인 명도(intensity)의 변동폭을 감소시키는 단점이 있다^[2-8].

본 논문에서는 영상 처리 하드웨어 특성상 파장에 대한 접근 방식보다는 여러 가지 조명 아래에서 칼라 카메라를 이용하여 얻어진 칼라 영상에 대해 밝기값에 대한 새로운 접근 방법을 제안한다. 제안한 알고리

즘에서는 자연광을 백색광으로 가정하고 칼라 영상을 구성하는 R, G, 및 B 단색 영상의 평균으로부터 얻어지는 조명의 색을 백색광으로 만들어주기 위해 벡터 처리의 한 방법인 회전을 이용한다. 이때의 회전각은 백색광과 조명색 벡터 사이의 각으로 구해진다. 제안한 방법을 같은 물체에 대하여 푸른색 조명의 bluesunlight 영상과 붉은색 조명의 Tungstenlight 영상에 적용한 결과 조명의 영향을 배제한 향상된 칼라 영상을 얻을 수 있었다. 본 논문에서 제안한 방법은 기존의 방법이 가지는 생동폭 감소의 단점을 개선하며 동시에 칼라 향상성을 얻기 위한 방법이다. 또한 처리 방법에 있어 기존의 방법이 가지는 복잡성을 피하고 간단한 선형 벡터 처리 방법을 이용하기 때문에 매우 간단하며 나중의 하드웨어 구현에 용이하다.

2. 칼라 항상성 이론

인간의 육안으로 느낄 수 있는 가시파장 범위는 대체로 380 ~ 700 nm의 좁은 범위로 제한되어 있다. 인간은 물체에서 반사되는 빛에너지에 기반을 두어 주위 광원의 효과를 상쇄시켜 물체의 고유색을 인지한다. Hering은 인간이 물체를 바라보는 초기단계에서 광원의 변화를 효과적으로 상쇄시키는 어떠한 기계적인 작용이 있다고 주장하였다^[4]. 이것을 인간의 시각적응(visual adaptation) 또는 칼라 항상성(color constancy)이라하며 가상적인 도면으로 그려보면 그림 1과 같다. 그림 1에서 오른쪽 부분은 각 망막상의 위치의 색정보를 적응변환하는 과정이며, 왼쪽 부분은 한 장면으로부터 적응적 상태를 결정하는 정보를 얻기 위한 과정이다. 출력값은 주위 조명을 상쇄시킨 물체 고유의 색을 나타낸다.

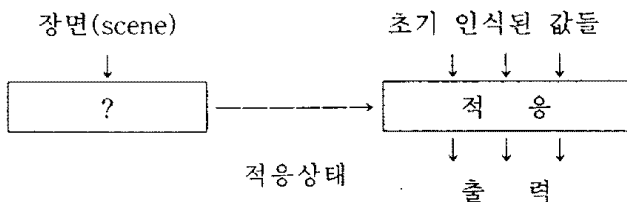


그림 1. 인간의 색상 인식

Fig. 1. Human color recognition

주위 조명과 칼라 항상성을 이루는 적응의 기계적인 작용은 Maloney의 이론^[4]에서 유추할 수 있으며,

이는 고정된 장면에서 주위 조명을 상쇄시키고 표면색을 추정하는데 있어 매우 다른 접근방식을 취하고 있다. Land의 retinex이론^[23]은 한 장면의 R, G 및 B의 세 프레임의 영상들이 각각 독립적으로 처리되며, 경로(path)를 이용하여 광원에 대한 독립적인 칼라 기술자(descriptor)를 만드는 것이다. 망막상의 한 점 (x,y) 에서 반사되는 빛의 양을 감지하는 각 세 수용기의 양자화된 값 $L_k(x,y)$ 를 물체의 반사율 $S_k(x,y)$ 와 광원 $I_k(x,y)$ 로 표현하면

$$L_k(x,y) = I_k(x,y) \times S_k(x,y) \quad k=1,2,3 \quad (1)$$

이다. 여기에서 k 는 세 수용기중 하나를 의미한다.

또한, 칼라 항상성 이론은 인간의 시각인지(visual perception) 초기 단계에서 안구의 움직임에 통하여 공간상의 빛의 평균값을 추정하여 광원의 효과를 상쇄시키는 가설에 근거한다^[5]. 그러므로 대부분의 자연 장면(natural scene)이 인식되는 각 수용기에서 각각의 전체 평균이 광원색(light source color)의 의미를 가지고 있다는 것이다. 이 이론을 이용하여 광원성분을 상쇄시키는 적응화 과정은 각각 프레임별로 평균성분을 제거한 $r, g,$ 및 b 를

$$\begin{aligned} r(x,y) &= \frac{R(x,y)}{R_{ave}} \\ g(x,y) &= \frac{G(x,y)}{G_{ave}} \\ b(x,y) &= \frac{B(x,y)}{B_{ave}} \end{aligned} \quad (2)$$

와 같이 구하는 것이다. 여기에서 R_{ave}, G_{ave} 및 B_{ave} 는 각 프레임의 평균이며, 광원색을 나타내므로 한 화소 (x,y) 에서 각 프레임의 평균성분을 나눈 값은 광원의 변화에 무관하다. 적응화된 상대적 표면 반사율인 r, g 및 b 의 값에 의해 표현되는 임의의 칼라 벡터는 색공간(color space)에서 광원에 대하여 독립적이다. 그러나 이 방법에서는 r, g 및 b 값의 유효범위가 감소하기 때문에 이들을 통하여 영상을 적절히 표현하기 위해서는 색상을 보존하면서 전체영상 내부의 각 화소들 상호간의 채도의 비와 명도의 비를 유지하는 부가적인 정규화 방법을 필요로 하며 그에 따르는 계산량도 증가하는 단점이 있다. 또한 기존의 정규화 방법에서는 RGB 칼라 좌표계에서의 칼라를 인간시각이 색을 인식하는 방법과 유사한 IHS(Intensity, Hue,

and Saturation) 좌표계로 변환하여 색상은 그대로 유지하면서 명도와 채도를 개선시킨 후, 다시 역변환하는 방법을 취하였다. 이 경우 칼라의 변환 과정에서 일어나는 칼라영역(color gamut)의 차이로 일어나는 오차가 동반되어 역변환된 영상에 있어서 색왜곡현상이 두드러짐을 볼 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 변환과정 없이 RGB 칼라 좌표계로 표현된 칼라를 3차원 벡터로 하여 처리하는 새로운 알고리즘을 제안한다.

3. 벡터 회전에 의한 영상향상 알고리즘

칼라 카메라로부터 얻어진 칼라 영상은 적색, 녹색, 및 청색의 빛의 삼 기본색을 바탕으로 한 세 장의 단색 영상으로 구성된다. 또한 디지털 하드웨어 특성상 이 세 단색 영상은 각 픽셀에 대하여 8비트로 양자화되어 표현되는데, 이러한 방식에 의해 얻어진 칼라 영상은 한 픽셀에 대하여 24비트로써 1600만 이상의 칼라를 표현하게 되는데 이것을 자연색(natural color)이라 한다. 위에서 언급하였듯이 같은 물체에 대하여 입사된 조명이 달라지면 얻어진 영상에서는 조명이 가지는 색의 영향으로 표면색이 다른 영상이 된다. 그러나 사람은 항상시에 의해 조명이 다르더라도 같은 물체의 색을 항상 같게 느끼게 된다. 그러므로 본 논문에서는 먼저 항상성을 가지는 영상을 얻기 위해 자연광(혹은 태양광(sunlight))을 백색광으로 가정하였다. 이것을 빛의 삼 기본색으로 표현하면 적색, 녹색, 및 청색에 대해 $\vec{C}_u = (255, 255, 255)^T = (1, 1, 1)^T$ 의 3차원 색벡터로써 표현할 수 있다. 또한 조명의 색은 적색, 녹색, 및 청색의 세 단색 영상의 평균 색벡터 $\vec{C}_{ave} = (R_{ave}, G_{ave}, B_{ave})^T$ 로써 표현될 수 있다. 이 조명의 영향을 제거하고 태양광 조명 아래에서 얻어진 영상처럼 만들기 위해 본 논문에서는 벡터 처리 방법의 회전 처리(rotation process)를 이용하여 조명의 색을 백색광으로 만들어 주는 방법을 제안한다.

먼저, 회전을 위한 기본축 $\vec{C}_p = (R_p, G_p, B_p)^T$ 를 계산하는데, 이 축은 조명의 색벡터와 백색광의 색벡터로 만들어지는 평면에 수직인 축을 기본축으로 하였다. 이 기본축은 \vec{C}_u 와 \vec{C}_{ave} 의 외적으로써

$$\vec{C}_p = \vec{C}_{ave} \times \vec{C}_u \quad (3)$$

와 같이 구할 수 있다. 이 기본축의 단위벡터는

$$\vec{U}_p = (u_1, u_2, u_3)^T \quad (4)$$

이다.

이렇게 구한 기본축을 중심으로 4×4의 회전 처리를 위한 동차 행렬(homogeneous matrix)을 구하는데, 회전각은 조명의 색벡터와 백색광의 색벡터 사이의 각으로 구할 수 있다. 회전각(θ)은

$$\theta = \cos^{-1} \frac{R_{ave} + G_{ave} + B_{ave}}{\sqrt{3} \sqrt{R_{ave}^2 + G_{ave}^2 + B_{ave}^2}} \quad (5)$$

로써 구하고, 변환을 위한 동차행렬 $R(\theta, \vec{U}_p)$ 는 이 회전각과 기본축의 단위 벡터를 이용하여

$$R(\theta, \vec{U}_p) = \begin{bmatrix} a & b & c & 0 \\ d & e & f & 0 \\ g & h & i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6-1)$$

$$\begin{aligned} a &= u_1^2(1 - \cos \theta) + \cos \theta \\ b &= u_1 u_2(1 - \cos \theta) - u_3 \sin \theta \\ c &= u_1 u_3(1 - \cos \theta) + u_2 \sin \theta \\ d &= u_1 u_2(1 - \cos \theta) + u_3 \sin \theta \\ e &= u_2^2(1 - \cos \theta) + \cos \theta \\ f &= u_2 u_3(1 - \cos \theta) - u_1 \sin \theta \\ g &= u_1 u_3(1 - \cos \theta) - u_2 \sin \theta \\ h &= u_2 u_3(1 - \cos \theta) + u_1 \sin \theta \\ i &= u_3^2(1 - \cos \theta) + \cos \theta \end{aligned} \quad (6-2)$$

와 같이 구한다.

이렇게 구한 행렬을 이용하여 한 화소의 칼라를 구성하는 적색, 녹색, 및 청색의 색벡터 $(R_{xy}, G_{xy}, B_{xy})^T$ 를 새로운 공간으로 변환(transform)하면 조명의 영향이 배제된 칼라 영상을 획득할 수 있다. 변환식은

$$\begin{pmatrix} R'_{xy} \\ G'_{xy} \\ B'_{xy} \\ 1 \end{pmatrix} = R(\theta, \vec{U}_\rho) \begin{pmatrix} R_{xy} \\ G_{xy} \\ B_{xy} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

와 같다.

마지막으로, 변환으로 얻어진 적색, 녹색, 및 청색 영상의 값을 조사하면 음의 값과 255보다 큰 값이 나타나는데 후처리(post-processing)로써 각 단색 영상의 최대, 최소값을 구하여 8비트의 0에서 255 사이의 값으로 처리하여 준다. 이 알고리즘을 블록도로 나타내면 그림 2와 같다.

4. 실험 및 결과

제안한 방법을 같은 물체에 대하여 푸른색 조명의 bluesunlight 영상과 붉은색 조명의 tungstenlight 영상에 적용한 결과 조명의 영향을 배제한 향상된 칼라 영상을 얻을 수 있었다.

그림 3은 태양광 아래에 획득된 원 영상을 보여주고 있으며, 그림 4는 같은 물체에 대하여 푸른색의 Bluesunlight에 의한 영상으로서 (a)는 원영상, (b)는 제안한 알고리즘을 적용한 결과 영상을 보여준다. 또한 그림 5는 붉은색의 Tungstenlight에 의한 영상으로서 (a)는 원영상, (b)는 결과 영상을 보여준다. 결과 영상을 보면, 그림 3의 태양광에 의한 원 영상에 가까워진 향상된 결과를 보이므로 적용한 알고리즘이 조명의 영향을 배제하는데 효과적이라는 것을 알 수 있다. 이 실험결과를 이용하여 자연영상(natural image)에 제안한 알고리즘을 적용하여 보았다. 그림 6와 7에서는 실내외에서의 칼라 영상에 제안한 알고리즘을 적용한 결과를 보여준다.

표 1은 그림 4와 5에 대한 실험 전과 후에 있어서의 조명이라 볼 수 있는 평균 색벡터의 변화를 보여준다. 즉, 알고리즘의 적용하지 않은 영상에서는 각 영상에서 보여주는 조명의 영향으로 평균 색벡터가 백색을 나타내지 않는 반면에, 알고리즘 적용 후의 결과 영상에서는 평균 색벡터가 백색을 나타냄을 볼 수 있다.

이와 같은 실험 결과에서 제안한 알고리즘이 조명의 영향을 효과적으로 제거하면서도 원영상 자체가 가진 특성들을 그대로 보존하여 향상된 결과를 가짐을 알 수 있다. 그러나 만약 거울이나 금속과 같은 전

반사(highlight)가 보여지는 칼라 영상에서는 전반사 부분이 변형되는 것을 볼 수 있는데, 이것을 극복하기 위한 방법에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

5. 결 론

본 논문에서는 칼라 항상성 이론을 고찰하고 선형 벡터 처리를 이용하여 칼라 영상을 향상 시키는 알고리즘을 제안하였다. 기존의 칼라 영상 향상 알고리즘은 RGB 좌표계로 표현되는 칼라를 IHS 좌표계로 변환하여 색상만을 보존하면서 채도나 명도를 개선시켰다. 그러나 이 방법에서는 명도나 채도의 단일 영상에 대한 처리로 인하여 유효범위를 감소시켰으며 또한, 좌표계 변환에 의해 칼라 영역의 불일치로 인하여 일어나는 왜곡을 동반하는 단점을 지녔다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 제안한 알고리즘은 칼라를 3차원 벡터로 인식하고 조명의 영향을 제거하기 위하여 벡터의 회전 처리 방법을 이용하였다. 그 결과 다른 좌표계로의 변환없이 조명의 영향을 효과적으로 제거하면서도 원영상의 특성을 그대로 보존하며 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

References

- [1] 박은주, *색채 조형의 기초*, 미진사, 1989.
- [2] E. H. Land and J. J. McCann, "Lightness and Retinex Theory," J. Opt. Soc. Am, vol.6, no.1, 1971.
- [3] E. H. Land, "Recent Advances in Retinex Theory," Vision Res., vol.26, no.1, pp.7-21, 1986.
- [4] L.T. Maloney, "Computational Approaches to Color Constancy," Ph. D. Thesis, Stanford University, 1984.
- [5] M. D'Zmura and P. Lennie, "Mechanisms of Color Constancy," J. Opt. Soc. Am, vol.3, no.10, 1986.
- [6] 김정엽, 심재창, 김순자, 하영호, "칼라영상의 향상을 위한 준선형 IHS 기반 좌표계," 대한전자공학회 논문지, 제29권 B편 9호, pp.706-714, 1992.
- [7] 배성호, 김정엽, 권갑현, 하영호, "칼라 항상성에 기초한 칼라 영상 향상," 대한전자공학회 논문지, 제30권 B편 5호, pp.59-66, 1993.
- [8] 윤형기, 김정엽, 이용주, 하영호, "불균일한 조명에서의 칼라 항상성을 이용한 영상 향상," 제6회 신호처리 합동 학술 대회 논문집, pp.287-290, 1993.

표 1. 원영상과 결과 영상의 평균 색벡터 비교

Table 1. Comparison of average color vector between original and result image

영상	$(R_{avg}, G_{avg}, B_{avg})$	$(R'_{avg}, G'_{avg}, B'_{avg})$
Bluesunlight 영상	(64.2, 78.5, 113.0)	(121.5, 119.8, 120.9)
Tungstenlight 영상	(123.7, 79.1, 11.9)	(130.1, 122.8, 119.0)

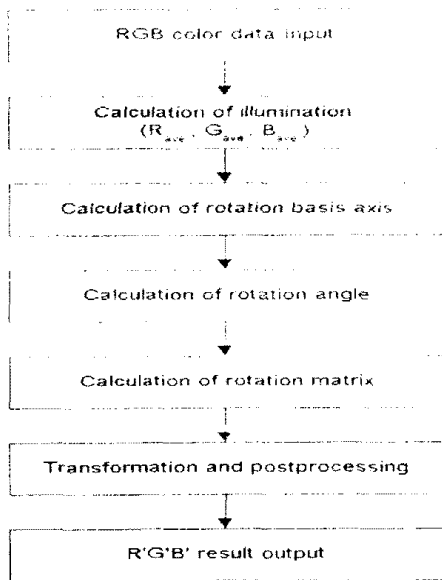


그림 2. 선형벡터처리 알고리즘의 블록도

Fig. 2. Blockdiagram of linear vector process algorithm for color image enhancement.



그림 3. Sunlight 원 영상
Fig. 3. Sunlight original image.



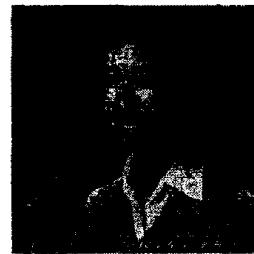
(a) Bluesunlight image (b) Result image

그림 4. Bluesunlight 영상과 결과 영상
Fig. 4. Bluesunlight and result image



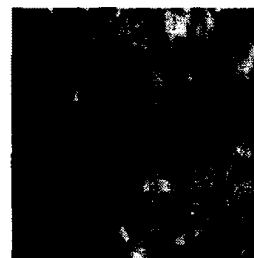
(a) Tungstenlight image (b) Result image

그림 5. Tungstenlight 영상과 결과 영상
Fig. 5. Tungstenlight and result image.



(a) Indoor face image (b) Result image

그림 6. 실내에서의 인물 영상과 결과 영상
Fig. 6. Indoor face and result image.



(a) Outdoor natural image (b) Result image

그림 7. 실외에서의 자연 영상과 결과 영상
Fig. 7. Outdoor natural and result image.