

색 순응 변환을 이용하여 화이트 밸런스를 보존하는 컬러 개선과 평가 방법

이상민, 최윤식
연세대학교

skyfolder@naver.com, yschoe@yonsei.ac.kr

White Balance preserving natural color enhancement and evaluation algorithm using chromatic adaptation transforms

Sangmin Lee, Yoonsik Choe
Yonsei University

요 약

화이트 밸런스를 유지해야 하는 이유는 입력 이미지의 컬러 밸런스와 동질의 화질 유지를 위하거나, 혹은 이미지를 개선할 때 화질 균일 성을 유지하기 위함이다. 그러나 기존 컬러 개선 방식들은 화이트 밸런스 보존에 관계없이 컬러 개선이 이루어지기 때문에 컬러 개선 전과 후의 화이트 밸런스가 다르게 나타난다. 이 논문에서는 색 순응 변환을 이용하여 화이트 밸런스를 보존하면서 자연스러운 컬러 이미지 개선 및 컬러 측정 알고리즘을 제안한다. 그 결과는 제안된 알고리즘은 Color Naturalness Index 와 Color Colorful Index 라고 불리는 객관적 방법뿐만 아니라 주관적인 방법 에서도 개선됨을 확인하였다. 알고리즘의 복잡도는 낮으므로 현실 어플리케이션에서도 유용하게 이용될 것이다

1. 서 론

일반적으로 시각적인 부분에서의 자연스러운 컬러 이미지를 개선하는 것이 중요한 목표였기 때문에 컬러 향상 기법들은 주로 Human Visual System (HVS) 을 기반으로 영상을 처리하였다. 이는 하지만 보다 객관적인 평가 방법이 필요로 하게 되는데 이를 위해 Naturalness 와 Colorfulness 를 계산하기 위해 심리학적, 실험적인 몇 가지 연구 결과인 color image quality metrics - Color Naturalness Index (CNI) 와 Color Colorfulness Index (CCI) 를 이용한 방법 [4]이 제안되었다. Naturalness 는 자연스러움의 인간 인식과 실제 화면 사이의 관련성의 정도이고 여기서는 color naturalness index, CNI 라고 서술한다. Colorfulness 는 컬러의 화사함의 정도이고 여기서는 color colorfulness index, CCI 라고 서술한다. 이를 이용한 여러 가지 연구들이 진행되었고, 그 중 natural color image enhancement and evaluation algorithm based on human visual system [3] 방법이 제안되었다. 하지만 [3]의 HCCIEE 방법은 CNI 와 CCI 를 개선시키는 하나 원래 영상이 가지고 있는 영상의 화이트 밸런스가 유지되지 않고 변경되어, 영상의 원래 화이트 밸런스와 관계 없이 컬러 정보가 변경되는 경우가 있다. 이는 영상을 기준과 다르게 보일 수 있으며, 현재의 산업에서는 영상 혹은 이미지 간의 화질 균일 성 유지를 필요로 하는 부분에 대해 보장하지 못한다. 화이트 밸런스 설정의 경우, 이미지의 화질을 조정하는 중요한 부분으로, 영상 처리 및 화질 설정을 할 때 반드시 고려되어야 하는 부분이다.

입력 영상의 화이트 밸런스가 결정되면, 백색 점의 삼자극치 XYZ 를 이용하여, 색 온도를 계산 할 수 있다. 즉 색 온도 유지는 화이트 밸런스 유지됨을 의미한다. 화이트

밸런스는 세 개의 삼자극치로 표현되는데 세 개의 삼자극치로 기준으로 동시에 비교, 평가가 어려우므로, 여기서는 직관적으로 비교, 평가가 가능한 색 온도로 화이트 밸런스의 변화 정도를 표현하기로 한다.

본 논문에서는 화이트 밸런스가 유지 혹은 개선 되면서 자연스러운 컬러 이미지 개선할 때 주관적 평가 방법인 CNI 와 CCI 가 유지될 수 있는 방법을 제공한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 기존 논문에서 사용한 컬러 이미지 측정 방법을 이용한 컬러 이미지 개선 방법과 평가 알고리즘을 설명하고 3 절에서는 제안된 색 순응 모델 적용하여 화이트 밸런스를 고려한 CNI/CCI 을 이용한 컬러 이미지 향상 기법에 대해 설명한다. 4 절에서는 실험을 통해 제안된 방식은 기존 방식에 비해 우수한 컬러 이미지 향상이 이루어짐을 확인할 수 있고 마지막으로, 5 장에서 결론을 맺는다.

2. 컬러 이미지 측정 방법을 이용한 컬러 개선 방법 및 평가 방법

회도를 개선하고 색감을 향상시키는 방법을 찾기 위해서 컬러 이미지 개선 및 평가 방법에 대한 유용한 연구들이 많이 있다. [3] [6]. [3] 에서 제안하고 있는 컬러 이미지 측정 및 개선 방법은 다음과 같다. Yendrikhovskij [4]는 사람이 자연스럽고 컬러가 풍부하다고 느낀 영상을 기준으로 자연스러운 이미지의 최적화된 컬러 재현에 관한 측정 방법을 제안하였다. [4]의 방법에서 사용하고 있는 컬러 이미지 측정 방법은 RGB 컬러 공간을 CIE Lab 컬러 공간으로 변환 후 다시 LHS 컬러 공간으로 변환한다. 각 픽셀의 색상(hue) 값에 조건을 주고 채도(saturation) 값을 확률 변수로 설정 후

가우시안 분포 함수를 사용하여 세 가지 영역, fresh tone(skin), grass, sky 영역에 대한 CNI 값을 추출한다. 이 세 가지 CNI 값에 존재하는 pixel 수를 확인 한 후 픽셀의 합으로 나누어 평균 값을 취한다. 또한 CCI 값은 hasler[5]가 CCI 에 대한 쉽고 간단한 방법을 소개하였다. [5]에서는 CIELab 공간에서 컬러 영역인 a, b 공간의 평균과 분산 값을 이용하여 CCI 를 추출한다. [3]에서 사용한 방법은 [5]에서 제안한 방법 중 가장 연산이 간단한 sRGB 컬러 공간에서의 평균과 분산 값을 이용한 CCI 추출법을 사용하였다. CNI 값을 얻게 되면, 이 값을 이용하여 R, G, B 각 채널에 대하여 아래(1)~(3)의 von Kries 선형적 평준화 색 순응 모델을 사용하였다. [3]

$$R_2 = \left[\left(\frac{L1}{R1} \right) * D + (1 - D) \right] * R_1$$

$$G_2 = \left[\left(\frac{L1}{G1} \right) * D + (1 - D) \right] * G_1$$

$$B_2 = \left[\left(\frac{L1}{B1} \right) * D + (1 - D) \right] * B_1 \quad (1) \sim (3)$$

색 순응 모델은 주변 광에 따른 반사율로 D 값을 결정하지만, [3]에서는 CNI 값을 D 로 설정하여 자연스러운 컬러 이미지 개선 방법을 제안하였다. 이는 R, G, B 각 채널에 L1 값을 기준으로 각각 적용됨으로 기존 이미지가 가지고 있는 화이트 밸런스를 유지하기 어렵다. 앞 절에서 언급한 것과 같이 이미지의 화이트 밸런스, 색 온도를 고려하지 않고 컬러 개선함으로써 원 영상의 화이트 밸런스를 왜곡할 가능성이 많다.

또 다른 기능인 화이트 밸런스 값을 추출하는 방법으로 여러 가지 알고리즘 소개되었다[6] [7], [6]에서는 기존 방법인 gray world assumption 보다 더 강화된 화이트 밸런스 검색 알고리즘을 제안한다. 입력 이미지를 12 부분으로 분할하여 YCbCr 색 공간에서 화이트 지역 후보 군 지역을 계산한 후 후보 군 지역의 중간 값을 화이트 밸런스 점이라고 인식한다. 계산된 YCbCr 값에서 RGB 값을 추출 후 xyY 컬러 공간으로 변환하면 원하고자 하는 입력 영상의 색 온도를 구할 수 있다.

3. 제안된 White balance 유지하는 자연스런 컬러 향상 기술

앞 절에서 언급한 것과 같이 자연스러운 컬러 이미지 개선 할 때 화이트 밸런스의 유지하지 않을 경우, 이미지의 색 온도가 낮아 질 경우 화면이 전체적으로 붉은 톤이 되고 반대로 색 온도가 높아 질 경우 화면이 파란 톤으로 변한다. 따라서 자연스러운 컬러 이미지 개선 방법을 적용할 때 색 온도 유지는 반드시 고려되어야 하는 부분이고, 이에 아래와 같은 순서도를 적용하여 입력 이미지의 화이트 밸런스를 유지 하면서 객관적인 방법을 사용한 컬러를 개선 할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

그림 1 은 제안된 알고리즘이 어떻게 동작하는지를 보여준다. 처음 이미지 혹은 영상이 입력되었을 때, 입력의 화이트 밸런스, 즉 색 온도를 계산한다. 입력된 이미지의 색 온도를 알게 되었을 경우, 그 색 온도를 유지 혹은 향상 시킬 수 있는 목표치 화이트 색 온도를 구한다. 이렇게 계산된 목표치 화이트 색 온도는 색 순응 변환 식에서 R_{WD} , G_{WD} , B_{WD} 로 설정된다. 아래 식(4)~(6)는 새롭게 제안된 목표치 화이트 색 온도와 입력의 화이트 색 온도를 이용하여 von Kries 모델을 기본으로 한 색 순응 변환 모델을 나타낸다.

$$R_2 = \left[\left(\frac{R_{WD}}{R_{WS}} \right) * D + (1 - D) \right] * R_1$$

$$G_2 = \left[\left(\frac{G_{WD}}{G_{WS}} \right) * D + (1 - D) \right] * G_1$$

$$B_2 = \left[\left(\frac{B_{WD}}{B_{WS}} \right) * D + (1 - D) \right] * B_1 \quad (4) \sim (6)$$

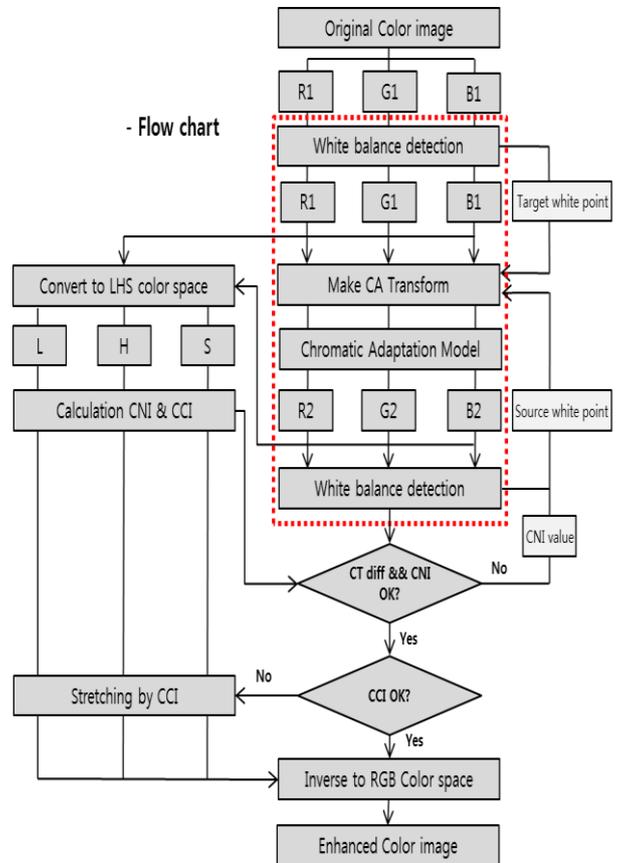


그림 1. 제안된 알고리즘의 전체 순서도

색 순응 모델을 이용하여 컬러 개선을 한 결과 영상의 화이트 밸런스를 계산하여 색 온도 정보를(4)~(6)의 식의 R_{WS} , G_{WS} , B_{WS} 에 입력한다. 목표한 색 온도 정보에 도달할 때까지 반복 실행을 하게 되면 색 순응 모델에 의해 목표한 색 온도에 도달 할 수 있게 된다. 그 결과 목표치 색 온도와 결과치 색 온도의 값이 설정한 색 온도 차이(CT_diff) 이하로 설정되었을 때 반복 실행은 멈춘다. 여기서 색 온도 차이인 CT_diff 는 100K 이하로 설정되었을 때 멈추도록 설정하였다. 또한 기존 연구[3] 방법인 객관적 컬러 방법을 여전히 사용함으로써 두 가지 요인 - 색 온도 차이와 CNI 값을 이용하여 컬러 개선을 객관적 방법에서도 만족할 수 있고 색 온도도 목표한 색 온도에 가깝게 될 수 있다.

CNI 계산하는 방법을 간략히 설명하면 다음과 같다. “fresh tone” 영역의 채도 값의 평균 값을 $S_{average_fresh}$, “grass” 영역의 채도 값의 평균 값을 $S_{average_grass}$, 그리고 “sky”영역의 채도 값의 평균 값을 $S_{average_sky}$ 라고 하고, 그 영역의 픽셀의 개수를 n_{fresh} , n_{grass} , n_{sky} 라고 정의한다. 세 영역의 채도 값은 확률 변수라고 가정하고 가우시안 확률 분포 함수를 사용하여 식 (7) ~ (9) 를 사용하여 각 영역의 CNI 값을 계산한다.

$$N_{fresh} = \exp(-0.5 * ((S_{average_fresh} - 0.763) / 0.524^2)) \quad (7)$$

$$N_{grass} = \exp(-0.5 * ((S_{average_grass} - 0.810) / 0.528^2)) \quad (8)$$

$$N_{sky} = \exp(-0.5 * ((S_{average_sky} - 0.432) / 0.221^2)) \quad (9)$$

각 영역의 값이 계산되었으면 전체적인 CNI 값은 아래(10)에 의해 각 영역의 픽셀 개수의 합으로 나누어 계산된다.

$$N_{image} = (n_{fresh} * N_{fresh} + n_{grass} * N_{grass} + n_{sky} * N_{sky}) / (n_{fresh} + n_{grass} + n_{sky}) \quad (10)$$

최종 계산된 CNI 값인 N_{image} 값은 0 일 경우 가장 자연스럽게 않은 경우이고 1 일 경우 가장 자연스러운 경우로 가정할 수 있다.

CCI 는 hasler[5]에 의해 다음과 같이 sRGB 컬러 공간에서 효율적으로 계산될 수 있다. [5]에 따르면 계산된 CCI 는 16~20 의 값이 인간의 눈에 가장 적합하다.

$$C_k = \sigma_{rgyb} + 0.3 * \mu_{rgyb} \quad (11)$$

$$\sigma_{rgyb} = \sqrt{\sigma_{rg}^2 + \sigma_{yb}^2} \quad (12)$$

$$\mu_{rgyb} = \sqrt{\mu_{rg}^2 + \mu_{yb}^2} \quad (13)$$

제안된 알고리즘에서는 입력 이미지의 백색 점에서 입력 기준 백색 점을 얻고 [6], 목표 색 온도를 설정하여 그 색 온도에서 벗어나지 않게 제어하는 것이다. 예를 들면, 입력 이미지의 화이트 밸런스를 직관적인 방법인 색 온도로 바꾼 후 측정 시 4530K 라고 측정 된다면 5000K 혹은 5500K 의 목표 백색 점으로 설정하여 자연스러운 컬러 이미지 개선 방법을 적용하는 것이다. 제안된 방법으로 알고리즘을 구성하게 되면 색 온도가 입력 이미지 보다는 낮아지지 않게 설정할 수 있다. (4)~(6)의 식에 의해 색 순응 모델을 적용할 때 아래와 같은 모델을 이용하여(14) 색 순응 모델을 만들어 입력 이미지에 적용 하였다. R'_w, G'_w, B'_w 는 입력 이미지의 백색 점의 $[X, Y, Z]^T$ 값을 색 순응 매트릭스인 $M_{cat}(16)$ 와 곱하여 계산된다. 마찬가지로 R_w, G_w, B_w 는 목표 백색 점의 $[X, Y, Z]^T$ 값을 색 순응 매트릭스인 $M_{cat}(16)$ 와 곱하여 계산된다. 여기서 구해진 X'', Y'', Z'' 값과 X', Y', Z' 의 ratio 를 최종적으로 색 순응 모델에 적용하여 입력 픽셀인 R, G, B 에 적용한다. 실험에서는 색 순응 매트릭스 M_{cat} 으로 CIECAM02 매트릭스(16)를 사용하였다.

$$\begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = [M_{CAT}]^{-1} * \begin{bmatrix} R'_w / R'_w & & \\ & G'_w / G'_w & \\ & & B'_w / B'_w \end{bmatrix} * [M_{CAT}] * \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} \quad (14)$$

von Kries model 을 기반으로 한 색 순응 변환 모델

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M_{sRGB} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, M_{sRGB} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.2127 & 0.0193 \\ 0.3576 & 0.7152 & 0.1192 \\ 0.1805 & 0.0722 & 0.9504 \end{bmatrix} \quad (15)$$

실험에서 사용한 sRGB to XYZ 매트릭스 (D65 기준)

$$M_{CAT02} = \begin{bmatrix} 0.7328 & 0.4296 & -0.1624 \\ -0.7036 & 1.6975 & 0.0061 \\ 0.0030 & 0.0136 & 0.9834 \end{bmatrix} \quad (16)$$

실험에서 사용한 CIECAM02 색 순응 매트릭스

4. 실험 결과

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해서 사용된 이미지의 경우, 흑백 영상이 아닌 20 가지 컬러 영상 기준으로 수행하였다. CNI 값이 반복적인 개선을 하게 되면 saturation 되기 때문에 자연스러운 컬러 이미지 개선 방법의 반복 횟수를 10 회로 설정 하였고, 화이트 밸런스 변화를 직관적으로 보기 위해 화이트 밸런스 값을 변환한 색 온도 그래프를 이용하였다. 그림 1 ㉔ 에서 보여주는 것과 같이, 자연스러운 컬러 개선 방법이 반복됨에 따라 기존 방법에서는 색 온도가 급격하게 변함을 보여준다. 즉 화이트 밸런스가 변경되는 것을 볼 수 있다.



그림 2. 화이트 밸런스를 보전하는 컬러 개선 방법의 동작에 따른 화질 변화. (a) 원 영상, (b) 기존 방식의 결과 영상, (c) 제안된 알고리즘의 결과 영상, (d) 컬러 개선 방법이 반복 될수록 변경되는 색 온도(세로축) 과 반복 횟수(가로축)의 상관 관계



그림 3. 화이트 밸런스를 보전하는 컬러 개선 방법의 동작에 따른 화질 변화. (a) 원 영상, (b) 기존 방식의 결과 영상, (c) 제안된 알고리즘의 결과 영상, (d) 컬러 개선 방법이 반복 될수록 변경되는 색 온도(세로축) 과 반복 횟수(가로축)의 상관 관계.

제시된 표 1 은 여러 가지 영상에 대한 원 영상의 색 온도와 개선 방법을 반복 적용 후의 최종 색 온도에 대한 비교이다. 실험 결과에서는 원 영상의 색 온도보다 낮아지거나, 크게 높아지지 않는 범위 내에서 동작하며, CNI / CCI 값은 기존 방법과 유사하거나 혹은 더 나은 결과를 보여준다.

영상	적용 방식	원영상의 색 온도	최종 이미지의 색 온도	CNI	CCI
picnic	HCCIEE	5211	7573	0.83	15.46
	proposed		5444	0.87	17.68
sky_4	HCCIEE	8677	6661	0.95	15.17
	proposed		9550	0.93	19.24
beach	HCCIEE	9871	6819	0.70	16.84
	Proposed		9806	0.76	20.51
fruit	HCCIEE	4558	6111	1.00	20.81
	Proposed		5001	0.99	20.39
grass	HCCIEE	8226	6958	1.00	20.78
	Proposed		9279	0.99	20.79
Fresh tone	HCCIEE	5464	6424	0.95	15.72
	Proposed		5502	0.96	15.24
island	HCCIEE	8268	5867	0.97	18.13
	Proposed		8721	1.00	19.69

표 1. 영상에 따른 색 온도와 CNI / CCI 값 비교

표 1 에서의 HCCIEE 알고리즘의 경우, [3]에서 제안한 Human Visual System Controlled Color Image Enhancement and Evaluation algorithm 의 약자이다.

5. 결 론

본 논문에서는 원 영상이 가지고 있는 화이트 밸런스 즉, 색 온도를 유지 혹은 개선하면서 자연스러운 컬러 이미지 개선 및 평가 방법 인 CNI/CCI 의 최적 값을 찾는 방법을 제안한다. 원 영상의 화이트 밸런스를 감지하여 목표 치 백색 점을 설정한 후 입력 영상의 화이트 밸런스를 소스 백색 점으로 만든다. 이 때 von Kries 모델을 기반으로 한 색 순응 모델을 새로이 만들어 목표치 백색 점과 소스 백색 점을 찾아내는데 이용한다. 목표치 백색 점을 분자에 소스 백색 점을 분모로 설정하면 화이트 밸런스, 즉 색 온도를 낮추거나 변경시키지 않는다. 실험 결과 결과 기존 방법과 컬러 이미지 측정 방법인 CNI/CCI 값은 유사한 결과를 얻을 수 있으며, 동시에 원 영상의 화이트 밸런스를 유지할 수 있으므로 자연스러운 컬러 이미지 개선에서는 높은 보정 성능을 보인다. 또한 알고리즘의 복잡도는 낮으므로 현실 어플리케이션에서도 유용하게 이용될 것이다

참 고 문 헌

[1] Robert W.G. Hunt, Changjun Li, M.Ronnier Luo, "Chromatic Adaptation Transforms", Color Research & Application Vol.30, No.1, pp.69-71, Feb.2005

[2] S.Bianco, R.Schettini, "Two New von Kries Based Chromatic Adaptation Transforms Found by Numerical Optimizaion", Color Research & Application, Vol.35, No.3, pp.184-192, June 2010

[3] Kai-Qi Huang, Qiao Wang, Zhen-Yang Wu, "Natural color image enhancement and evaluation algorithm based on human visual system", Computer Vision and Image Understanding, Vol.103, No. 1, July 2006, pp. 52~63

[4] S.N. Yendrikhovskij, F.J.J. Blommaert, H. de Ridder, "Perceptually optimal color reproduction", Part of IS&T/SPIE Conference on Human Vision and Electronic Imaging III, SPIE, vol.3299, Jan. 1998

[5] David Hasler, Sabine Susstrunk, "Measuring colorfulness in natural images", Human Vision and Electronic Imaging VIII, SPIE vol.5007, 2003

[6] Ching-Chih Weng, homer Chen, Chiou-Shann Fuh, "A Novel Automatic White Balance Method For Digital Still Cameras", Circuits and Systems, 2005. ISCAS 2005. IEEE International Symposium on, pp. 3801 - 3804 Vol.4, 23-26 May 2005

[7] Y.C. Cheng, W.H. Chen, and Y.Q. Chen, "Automatic white balance for digital still camera," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 41, pp. 460-466, 1995.