피부색 칼라 분포 특성을 이용한 조명 색도 검출

[1]김정엽

Estimation of Illuminant Chromaticity by Analysis of Human Skin Color Distribution

[1] JeongYeop Kim

요 약

본 논문에서는 영상을 촬영한 장면의 조명 색도를 추정하는 방법을 제안한다. 기존의 피부색을 이용한 조명 색도 추정 방법은 Storring, Bianco 등이 제안하였다. Storring은 피부색 분포 특성, 완전 복사체 궤적을 이용하였으나 완전 복사체 궤적과 CIE-xy 자료의 연계성이 저하되는 문제가 있다. Bianco 등은 표준조명에서의 피부색 분포와 입력 영상의 피부색 분포를 대조하여 조명 색도를 추정하였다. 이 방법은 다양한 조명에서의 피부색을 최대한 많이 측정하고 확보하기가 어렵다. 제안한 방법은 피부색도 정보와 조명색도 간의 관계를 분석하여 임의의 입력 영상에 대한 조명 색도를 추정할 수 있다. 추정 방법은 분석단계와 테스트 단계로 구분되며, 데이터 셋을 분석 군과 테스트 군으로 분류하여 사용하였다. 분석 군의 모든 입력영상으로부터 각각 피부색 영역을 구하여 피부 색도를 계산한다. 피부 색도의 평균값 집합과 기준 조명 색도 집합의 상관 관계를 분석하여 사상을 구한다. 계산된 사상을 분석 군의 모든 입력 영상에 적용하여 조명 색도를 추정하고 기준 조명색도와의 오차를 계산하고, 오차의 변화가 없을 때까지 상기 과정을 반복하여 안정적인 사상을 구한다. 구해진 사상을 분석 단계와 유사하게 테스트 군 영상에 적용하여 조명 색도를 추정한다. 피부영역과 조명 기준정보가 포함된 데이터 셋이 독립적으로 존재하지 않기 때문에 인텔 TAU 데이터셋의 영상 일부를 이용하여 실험 데이터 셋을 구성하였다. 유사한 이론 기반의 기존 방법인 Finlayson에 비하여 40% 이상, Zhang에 대해서는 11%, Kim에 대해서는 16% 정도의 성능개선을 보였다.

Abstract

This paper proposes a method of estimating the illumination chromaticity of a scene in which an image is taken. Storring and Bianco proposed a method of estimating illuminant chromaticity using skin color. Storring et al. used skin color distribution characteristics and black body locus, but there is a problem that the link between the locus and CIE-xy data is reduced. Bianco et al. estimated the illuminant chromaticity by comparing the skin color distribution in standard lighting with the skin color distribution in the input image. This method is difficult to measure and secure as much skin color as possible in various illumination. The proposed method can estimate the illuminant chromaticity for any input image by analyzing the relationship between the skin color information and the illuminant chromaticity. The estimation method is divided into an analysis stage and a test stage, and the data set was classified into an analysis group and a test group and used. Skin chromaticity is calculated by obtaining skin color areas from all input images of the analysis group, respectively. A mapping is obtained by analyzing the correlation between the average set of skin chromaticity and the reference illuminant chromaticity set. The calculated mapping is applied to all input images of the analysis group to estimate the illuminant chromaticity, calculate the error with the reference illuminant chromaticity, and repeat the above process until there is no change in the error to obtain a stable mapping. The obtained mapping is applied to the test group images similar to the analysis stage to estimate the illuminant chromaticity. Since there is no independent data set containing skin area and illuminant reference information, the experimental data set was made using some of the images of the Intel TAU data set. Compared to Finlayson, a similar theory-based existing method, it showed performance improvement of more than 40%, Zhang 11%, and Kim 16%.

Keywords: *Illuminant chromaticity, Reference illuminant, Skin color, Illuminant estimation, color constancy*

[1] *영산대학교 성심교양대학 부교수 (neocopy@ysu.ac.kr)*

Received: Aug. 19, 2023, Revised: Oct. 05, 2023, Accepted: Oct. 19, 2023

I. 서론

장면 조명의 색에 대한 정보를 얻는 것은 중요하다. 촬영된 영상은 물체 고유의 표면 색, 조명의 색, 촬영에 사용된 카메라의 색 특성 등에 의해 영향을 받는다. 같은 물체의 색상도 다른 조명 또는 촬영 카메라의 칼라 특성에 따라 다른 형태로 나타날 수 있다. 그러므로 물체의 정확한 표면 색상을 계산하기 위해서는 조명의 색도 정보가 중요하다. 일반적으로 촬영용 카메라의 색상 특성은 제조사의 제공으로 알려져 있거나 일정한 특성을 가진다. 그러나 물체 고유의 표면 색상과 장면 조명의 색상은 촬영환경에 따라 달라진다.

영상을 촬영하는 환경에서 직접적으로 백색 패치와 측정장치 등을 이용하여 장면의 조명성분을 측정하면 정확한 조명에 대한 정보를 획득할 수 있다. 그러나 대부분의 촬영에서는 매번 측정하는 것이 쉽지 않고, 과거에 측정 없이 촬영한 영상의 경우에는 추가적인 정보를 얻을 수 없다. 본 연구에서는 한 장의 임의 칼라 영상으로부터 촬영환경에서의 조명성분을 추정하고자 한다. 조명성분은 밝기(lightness)와 색도(chromaticity)로 구성되며, 일반적으로 영상에서 밝기 값은 전체적인 색상의 측면에서 큰 영향이 없다. 그러므로 조명 성분 중에서 색도의 추정이 중요하며, 카메라로 영상을 촬영한 후, 저장되는 과정에서 백색 균형(white balancing)을 적용했다면 이미 장면의 조명색도 성분에 대한 정보는 손실된 것이다.

대부분의 칼라 영상 처리에서 입력으로 사용되는 영상은 선형 영상(linear image)이라 하여 백색 균형과 영상이 저장될 때 적용되는 감마(gamma)가 적용되지 않은 것을 주로 사용한다. 본 연구에서는 장면에서 특징적인 부분과 조명 색도의 관계를 찾아보고자 한다. 특징적인 부분은 영상 내부의 특정한 색상, 특정한 물체, 경계영역 등을 고려할 수 있다.

대부분의 칼라 항상성(color constancy) 관련 연구 분야에서 사용되는 영상들의 집합(dataset)은, 사람이 포함되지 않은 물체, 풍경 등을 촬영한 것이 대부분이며, 촬영 이전에 해당 장면에 백색영역을 포함시킨 후 측정장치를 이용하여 장면의 조명정보를 기록한다. 이와 같이 획득한 조명정보를 기준 데이터(ground-truth data)로 하고, 입력된 영상으로부터 조명 색도를 추정하여 기준 데이터와 비교한 후, 오차를 보고한다. 추정오차가 작을수록 정확한 예측이 이루어진 것이다. 일상생활에서 자주 촬영되는 영상들은 대부분 사람이 포함된 경우가 많다.

조명 색도를 예측하여 해당 영상을 수정하거나 변환하려 한다면 기존에 개발된 조명색도 추정 방법을 적용하는 것이 보편적이나 대부분의 방법은 사람이 포함되지 않은 영상에서 성능을 평가한 것들이다. 본 연구에서는 입력영상에 사람이 포함된 경우를 전제하고, 영상 내부에서 특징적인 요소를 피부색으로 고려하였다. 사람이 포함된 영상에서는 피부색 정보를 안정적으로 얻을 수 있고, 특징적인 요소로서의 역할을 수행할 수 있다. 피부색을 이용한 영상촬영 장면의 조명색도 추정방법은 3 장에 기술한다.

II. 관련 연구 및 제안한 방법의 연구 범위

2.1 관련 연구

임의의 입력 영상에서 조명색도 정보를 구하는 방법은 많이 연구되어 왔다. 대표적인 방식은 분광 반사도를 이용하는 것과 화소(pixel)의 삼자극치(tri-stimulus) 값을 이용하는 두 종류이다. 화소의 삼자극치를 이용하는 대표적인 방법은 Land[1]의 레티넥스(retinex) 이론이다. 영상 내부에서 여러 경로를 거쳐 계산되는 색상의 평균값을 조명의 색도로 추정하였다. 모든 영상에 나타나지는 않지만 광휘점(highlight)을 이용하는 방법은 Klinker[2], Lee 등[3]이 제안하였다.

영상으로부터 조명의 특성을 많이 반사하는 전반사에 가까운 영역을 추출하여 분석하였고, 해당 영역의 색상 특성은 물체 색과 조명 색, 그리고 두 가지 색이 섞인 특성을 이용하였다. 이 방법은 광휘점이 없는 영상에는 적용할 수 없으나, 광휘점은 조명에 대한 직접적인 정보를 제공하므로 안정성이 있는 편이다. 광휘점의 특성을 충분히 활용하기 위해서는 다수의 물체 색과 관련된 광휘점이 영상에 포함되어야 한다.

분광 반사도는 물체 표면의 색을 직접 측정했을 때 얻을 수 있는 정보이며, 물체 색에 대한 빛의 파장 대역 별로 반사되는 강도(reflectance)를 그래프로 나타낸 것이다. 분광 반사 모델은 Maloney

등[4]이 제안하였고, 물체 표면의 특정 포인트를 기준으로 조명의 스펙트럼과 물체 표면의 반사도가 곱해져서 사람이 느끼는 물체의 색상이 결정됨을 보였다. 이 방법은 기본적으로 불량조건 문제(ill-posed problem)이다. 서로 다른 조명과 물체 표면 쌍(pair)이 결합되어 동일 물체 색을 표현할 수 있기 때문이다. 분석 방법은 광휘점의 분석과 유사한 개념을 사용하며, 조명 색과 물체 고유 색의 두 개의 축을 기준으로 관찰되는 물체 색이 분포한다고 가정한다. 주어진 물체 색의 색 공간에서의 분포 형태를 분석하여 조명과 물체 고유 색의 각각의 축에 대한 정보를 계산하여 조명 색도를 추정하였다.

Forsyth[5]는 기준으로 사용할 정규화 된 조명 집합을 미리 정의하고, 해당 조명 집합에서 조명별로 관찰될 수 있는 대표적인 색들에 대한 반사광의 정보를 이용하였다. 임의의 입력 영상에 대하여 영상 전체에 대한 반사광 분포와 기준조명 집합의 대표 색 분포를 대조하여 가장 유사성이 높은 조명을 결과로 계산하였다. Forsyth 의 이론을 변형하여 Finlayson 등[6]은 반사광 정보 대신에 삼자극치인 RGB 를 이용하여 유사한 계산과정을 제안하였다.

Zhang 등[7]은 Finlayson 의 기본모델에 가중치의 개념을 적용하였다. 영상으로부터 구한 색 분포 특성과 미리 계산된 기준조명 집합의 대표 색 분포를 대조하는 과정의 모든 색도 평면에 대하여 같은 가중치를 부여하는 대신 해당 조명의 색도 부근에 더욱 높은 가중치를 부여하여 비교의 정확도를 개선하고자 하였다. 가중치는 가우시안 분포 형태의 계수를 이용하였고, 분산 값으로 가중치의 강약을 조절하는 방식이다. 분산 값이 큰 경우는 Finlayson 의 방법과 같은 결과를 보인다.

그 외에는 신경 회로망(neural network) 또는 딥러닝(Deep Learning)을 이용한 방법을 Bianco 등[8]이 제안하였으며 많은 유사한 방법들이 제안되어 있다. 신경 회로망을 이용하여 미리 정의된 기준조명 색과 입력 영상으로부터 구한 색 분포가 대응하도록 학습하는 방법을 사용하였다.

Kim[9]은 Zhang 의 방법에서 최적의 분산 값을 결정하기 어려운 문제를 해결하기 위하여 가중치를 사용하지 않고, 유사도 판별을 위한 색 분포의 대조 과정에서 색도 평면에서의 겹치는 면적 계산 방법을 개선하였다.

본 연구와 유사한 얼굴이나 피부색을 이용한 조명의 색도 검출 방법도 제안된 바 있다. Storring 등[10]은 영상에 사람의 등장 빈도가 높다는 점과 물리적인 완전 복사체 궤적(planckian locus), 등-멜라닌 직선(iso-melanine line) 정보를 이용하여 피부색 정보로부터 조명 색도를 추정하였다. 또한, 유사한 관점에서 피부 영역 중에서 광휘점을 이용하는 방법[11]도 제안하였다.

Bianco 등[12]도 피부색을 이용한 조명색도 추정 방법을 제안하였고, 피부색의 대상으로 얼굴 영역을 사용하였다. 많은 영상이 사람을 포함하고 있고, 피부색의 분포 형태는 조명색도 추정에 도움이 된다는 점을 이용하였다.

2.2 제안한 방법의 연구 범위

본 연구에서는 Storring, Bianco 등이 제안했던 피부색을 이용한 조명색도 추정 방법을 개선하고자 한다. Storring 등의 방법은 피부 영역의 색 분포 특성과 완전 복사체 궤적을 이용하여 조명 색도를 추정하였는데, 일반적으로 영상을 촬영하는 장면에서의 조명정보를 완전 복사체 궤적으로 대체하기는 어렵다. Bianco 등은 표준조명에서의 피부색 분포와 입력 영상의 피부색 분포를 대조하여 조명 색도를 추정하였다. 본 연구에서는 피부색 영역을 추출하고, 해당 영역에 대한 색 분포 특성을 대표하는 임의의 벡터를 계산한다. 계산된 입력 벡터와 실제 장면에서의 조명색도 간의 사상 함수(mapping function)를 추출한다. 계산된 사상 함수를 이용하여 임의의 입력 영상에 대한 조명색도를 추정할 수 있으며, 정확한 사상 함수를 계산하기 위하여 반복적인 계산 과정을 도입한다.

3 장 1 절에서는 기존 방법의 내용, 문제점 등을 기술하고, 3 장 2 절에서는 제안하는 조명색도 검출방법, 4 장에서는 실험 결과 및 고찰, 5 장에서는 결론을 맺는다.

III. 제안하는 조명색도 검출 방법

3.1 기존의 연구방법 및 문제점

Storring 등의 방법은 피부 영역의 색 분포 특성과 완전 복사체 궤적을 이용하여 조명 색도를 추정하였는데, 일반적으로 영상을 촬영하는 장면에서의 조명정보를 완전 복사체 궤적으로 대체하기는 어렵다. Bianco 등은 표준조명에서의 피부색 분포와 입력 영상의 피부색 분포를 대조하여 조명 색도를 추정하였다. 기존 연구의 대표적인 문제점은 다음과 같다.

3.1.1 Storring 등의 방법

완전 복사체 궤적 활용은 태양광의 색온도를 기준으로 하여 구성된 기준 데이터이므로, 일반적인 조명들의 특성과는 차이가 발생한다. 완전한 복사체 궤적과의 편차를 해결하기 위하여 상관 색온도(correlated color temperature)의 개념을 적용하는 것이 일반적이지만 유사한 상관 색온도 값을 가진다고 해도 CIE xy-색도 값의 관점에서는 큰 차이를 수반하기도 한다. 그러므로 완전 복사체 궤적은 기준조명의 데이터로 활용하기 어려운 문제점이 있다.

3.1.2 Bianco 등의 방법

표준조명에 대한 피부색 집합을 미리 생성하여 기준정보로 사용하게 되는데, 피부색의 변화 범위가 상당히 큰 경향이 있다. 그리고 많은 기준정보의 확보가 필요하므로 최대한 많은 피부색 집합의 확보가 어려운 문제점이 있다. 또한 조명에 따라 다르게 표현되는 피부색을 3 차원 공간상에서 패턴 비교하는 것은 많은 계산량을 수반한다.

3.2 제안하는 조명색도의 검출 방법

3.2.1 조명색도 추정을 위한 분석 단계

입력 영상 집합을 분석과 테스트의 2 개 군으로 분류한다. 분석 군 영상들로부터 피부색 영역을 추출하고, 색 분포 특성을 대표하는 임의 벡터를 계산한다. 입력에 대한 임의 벡터와 실제 장면에서의 조명색도 간의 사상 함수와 사상을 적용한 경우, 전체 분석 군에 대한 조명 색도의 추정오차를 계산한다. 추정오차가 일정 값보다 큰 경우는 추정된 조명 색도를 적용하여 입력 영상에 대한 조명 색 변환을 하고, 피부색 영역 추출부터 상기 과정을 반복한다. 추정오차가 일정한 값보다 작아지면 반복을 종료하고, 최종적인 사상 함수를 저장한다. 성능검증을 위하여 최종 사상함수를 이용하여 테스트 군의 영상을 대상으로 상기 과정과 유사한 방법으로 조명 색도를 추정한다. 자세한 과정을 단계별로 나타내면 그림 1 과 같다.

그림 1 에서의 입력영상 P_i 를 기준으로 피부색 영역을 추출하기 위해서는 문턱치 (T_i) 가 필요하다. 본 연구의 반복적인 과정을 거치게 되면 문턱치가 변경되므로 최초의 실행에 사용되는 문턱치를 초기 문턱치라 정의한다.

문턱치를 계산하는 방법은 식(1)~(4)와 같다. i 번째 입력 영상의 RGB 프레임은 각각 R_i, G_i, B_i 로 정의하고 식 (1)에 의해 밝기 값을 제거한 정규화된 색도 r_i, g_i 로 변환한다. 여기서 x, y 는 영상의 행과 열의 공간 좌표 값이다.

일반적으로 칼라 항상성 처리를 위한 데이터 셋은 대부분 교정(calibrated)된 경우가 많으므로 피부색에 대한 문턱치를 적용하는 데 어려움이 없다. 본 연구에서 사용하고자 하는 인텔의 TAU 데이터 셋은 선형영상을 제공한다. 선형영상은 교정되지 않은 영상을 의미하며, 이와 같은 경우, 피부색 영역의 색도 값이 통상적인 기준을 따르지 않게 된다. 이 문제점을 해결하기 위해서는 초기 문턱치를 입력된 영상의 교정 특성에 따라 수정이 필요하며 본 연구에서는 초기 문턱치 T_{ti} 를 식(2)~(4)와 같이 계산하며, (T_{tir}, T_{tig})의 2 개 스칼라 값으로 구성한다. 초기 문턱치는 최초에 한 번만 계산하고 사용되며, 그림 1 의 반복루프에서 두 번째 이후부터는 문턱치를 T_i 로 사용한다.

$$r_i(x,y) = \frac{R_i(x,y)}{R_i(x,y) + G_i(x,y) + B_i(x,y)}$$

$$g_i(x,y) = \frac{G_i(x,y)}{R_i(x,y) + G_i(x,y) + B_i(x,y)} \quad (1)$$

식(2)에서 M 은 입력 영상의 높이(height), N 은 너비(width)를 의미하고, 식(3)에서의 (r_{D65}, g_{D65})는 표준 일광(daylight) 색온도 6500K 에서의 백색 색도 (r,g) 값을 나타내고, a_{11}~a_{22} 는 임의의 상수이며 단일한 해를 구할 수 있다. 이 상수를 식(4)에 적용하여 문턱치를 계산한다.

$$r_m = \frac{1}{MN}\sum_{x=1}^{M}\sum_{y=1}^{N} r_i\,(x,y)$$

$$g_m = \frac{1}{MN}\sum_{x=1}^{M}\sum_{y=1}^{N} g_i\,(x,y) \tag{2}$$

$$\begin{bmatrix} r_m \\ g_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{D65} \\ g_{D65} \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\begin{bmatrix} T_{tir} \\ T_{tig} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{ir} \\ T_{ig} \end{bmatrix} \tag{4}$$

식(4)에서 (T_{ir}, T_{ig})는 반복과정에서 이전 단계에서의 추정된 조명 색도이며, 최초의 반복과정에서는 전체 영상에 대한 색도의 평균값을 적용한다.

이와 같이 계산된 피부색 문턱치 T_{ti} 를 적용하여 다음 단계인 식 (5)의 피부색 후보 영역을 추출한다. 계산된 r_i, g_i 와 미리 준비된 문턱치를 이용하여 식 (5)와 같이 S_i 를 구한다.

$$S_i(x,y) = \begin{cases} 1 & r_i(x,y) > T_{ir} \wedge\ g_i(x,y) > T_{ig} \\ 0 & otherwise \end{cases} \tag{5}$$

피부색 후보 영역인 S_i 로부터 칼라 분포 특성을 계산하기 위하여 해당 영역의 평균벡터 A_i (A_{ir}, A_{ig})를 식 (6)과 같이 구한다.

$$A_{ir} = \frac{1}{MN}\sum_{x=1}^{M}\sum_{y=1}^{N} r_i\,(x,y) \wedge S_i(x,y)$$

$$A_{ig} = \frac{1}{MN}\sum_{x=1}^{M}\sum_{y=1}^{N} g_i\,(x,y) \wedge S_i(x,y) \tag{6}$$

여기서 M 은 입력 영상의 행(row), N 은 열(column)의 크기이고 ∧는 논리 AND 연산을 의미한다.

식(1)~(6)의 과정을 모든 분석 군의 영상에 대하여 적용하면 평균벡터의 집합 A 를 구할 수 있고, 각각의 입력영상에 대한 기준 조명색도(I_a)는 각 영상마다 색도 (r,g)의 평균값이고, 대응관계인 3x3 행렬 F_k 를 식 (7)과 같이 구할 수 있다. 식 (8)에 의해 구해진 F_k 를 사상 함수로 정의한다.

$$\begin{bmatrix} A_{1r} & A_{1g} \\ A_{2r} & A_{2g} \\ \cdots & \cdots \\ A_{Wr} & \cdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{a1r} & I_{a1g} \\ I_{a2r} & I_{a2g} \\ \cdots & \cdots \\ I_{aWr} & I_{aWg} \end{bmatrix} F_k \tag{7}$$

여기서 W 는 분석군 입력영상의 전체 샘플 수이다.

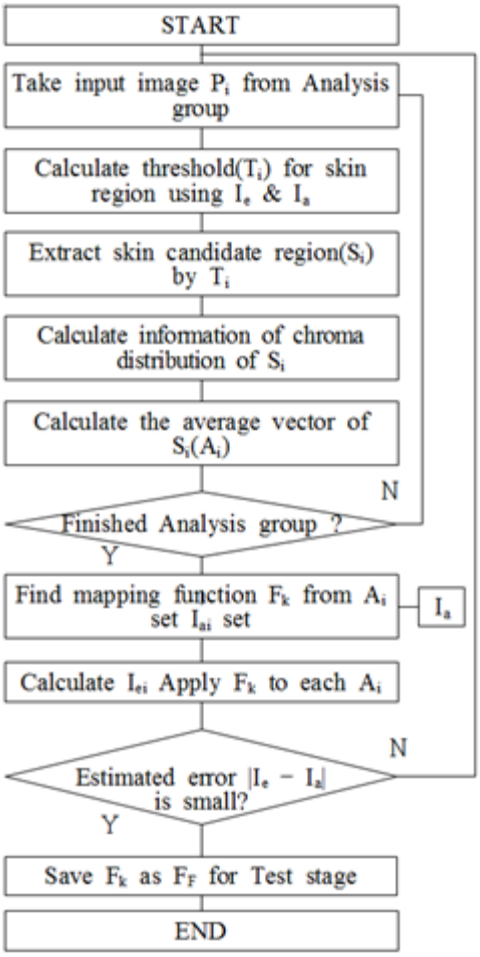

Figure 1. The flowchart of proposed analysis stage
그림 1. 제안한 분석 단계의 흐름도

$$F_k = \begin{bmatrix} I_{a1r} & I_{a1g} \\ I_{a2r} & I_{a2g} \\ \cdots & \cdots \\ I_{aWr} & I_{aWg} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A_{1r} & A_{1g} \\ A_{2r} & A_{2g} \\ \cdots & \cdots \\ A_{Wr} & A_{Wg} \end{bmatrix} \tag{8}$$

이상의 과정을 거쳐 구해진 사상 F_k를 이용하여 모든 분석군 입력 영상에 대하여 조명 색도를 식 (9)을 통하여 계산한다. 각각의 입력 영상에 대한 조명색도 추정오차를 합산한 전체 오차 E_t는 식 (10)과 같다.

$$\begin{bmatrix} I_{e1r} & I_{e1g} \\ I_{e2r} & I_{e2g} \\ \cdots & \cdots \\ I_{eWr} & I_{eWg} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{1r} & A_{1g} \\ A_{2r} & A_{2g} \\ \cdots & \cdots \\ A_{Wr} & A_{Wg} \end{bmatrix} F_k \tag{9}$$

$$E_t = \frac{1}{W} \sum_{k=1}^{W} |I_{ek} - I_{ak}| \tag{10}$$

이와 같이 구해진 E_t의 값이 충분히 작거나 그림 1 에서의 반복과정을 거쳐도 의미 있는 변화가 없으면 분석 단계를 종료하고 이 때의 문턱치를 테스트 단계에서 사용할 수 있도록 저장한다. 만약, 오차가 크거나 변화가 계속 발생하게 되면 다시 식(1) ~ (10)의 과정을 반복한다. 다만, 테스트 과정에서는 식 (4)에서 사용하는 문턱치 T_i 대신 식 (11),(12)와 같이 추정된 조명색도 I_{ei}(I_{eir}, I_{eig})를 기준으로 조명색도 변환한 T_{ti}를 사용해야 한다.

$$\begin{bmatrix} I_{eir} \\ I_{eig} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{air} \\ I_{aig} \end{bmatrix} \tag{11}$$

$$\begin{bmatrix} T_{tir} \\ T_{tig} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{ir} \\ T_{ig} \end{bmatrix} \tag{12}$$

3.2.2 조명색도 추정을 위한 테스트 단계

이상의 분석단계를 거쳐 구해진 정보들을 바탕으로 테스트 군의 영상들에 대하여 조명색도를 추정할 수 있으며, 자세한 과정은 그림 2 와 같다.

그림 2 에서 사용할 새로운 문턱치 T_{ti}는 식 (12)로부터 구한 것을 사용하며, 나머지 조명 색도를 추정하는 과정은 식 (1) ~ (6)을 적용하여 A_{ti}를 계산한다. 이때 식(4)에서 사용되는 문턱치는 상기 계산된 T_{ti}를 이용한다. 이후, 구해진 A_{ti}를 이용하여 식 (13)과 같이 조명색도 I_F를 추정한다.

$$\begin{bmatrix} I_{F1r} & I_{F1g} \\ I_{F2r} & I_{F2g} \\ \cdots & \cdots \\ I_{FWr} & I_{FWg} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{t1r} & A_{t1g} \\ A_{t2r} & A_{t2g} \\ \cdots & \cdots \\ A_{tWr} & A_{tWg} \end{bmatrix} F_F \tag{13}$$

이후, 식 (14)와 같이 전체 테스트 군의 영상에 대한 조명색도 추정오차 E_F를 계산하여 최종 성능으로 검증한다.

성능검증을 위한 추정오차는 식(10)의 방식으로 계산할 수 있으나, 각도 방식이 보편적이다. AE(Angular Error)는 기준조명의 색도좌표와 추정된 조명의 색도 좌표 간의 각도 오차[13]를 의미하며 식(14)와 같다. 이 값이 크면 추정 오차가 큰 것으로 볼 수 있다.

$$AE = \frac{x_r \cdot x_e}{\|x_r\| \, \|x_e\|} \tag{14}$$

여기서 x_r은 기준 색도, x_e는 추정된 조명 색도이고 분모는 각 색도 크기(norm)의 곱이다.

IV. 실험결과 및 고찰

본 연구를 위해서는 다양한 조명 환경에서 촬영된 영상들과 해당 영상의 조명관련 기준 데이터가 필요하다. 일부 데이터 셋[14][15][16]에는 영상을 촬영한 장면에 대한 조명의 색도가 기준정보로 제공되고 있다. 그러나 대부분의 데이터 셋은 사람이 포함된 경우가 거의 없는 풍경이나 물체 위주의 영상들로 구성되어 있다. 그러므로 연구 목적에 맞는 데이터 셋을 구하기 위하여 인텔(Intel TAU)의 데이터 셋[17] 영상들 중에서 피부 영역이 포함된 영상들을 추출하여 입력 데이터 셋으로 구성하였다. 인텔 데이터 셋은 7000 여장의 영상으로 구성된 조명색도 관련 최대 규모이며 추출된 영상의 수는 418 장이다.

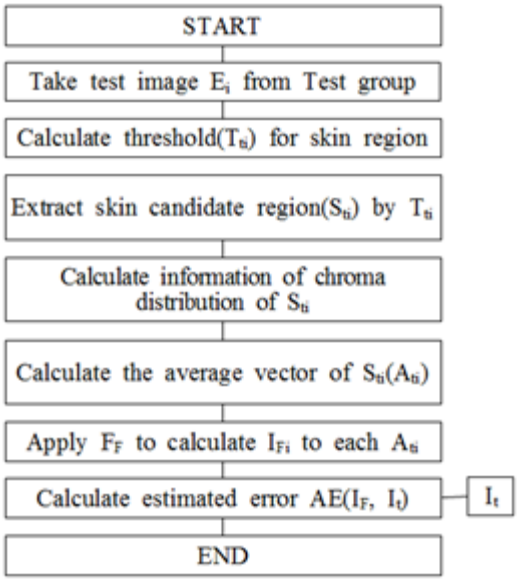

Figure 2. The flowchart of proposed test stage
그림 2. 제안한 테스트 단계의 흐름도

실험을 위해서 추출된 영상 집합을 분석과 테스트의 2 가지 영상의 집합 군으로 나누었다. 피부색과 조명 색도의 관련성을 파악하기 위한 분석 군과 성능검증을 위한 테스트 군으로 나누었고, 분석 군은 205 장, 테스트 군은 213 장이며 내용상으로 특별한 기준을 적용하지는 않고 임의로 선택하였다. 실험에 사용한 영상의 샘플 중 분석 군은 그림 3, 테스트 군은 그림 4 와 같다.

Figure 3. Sample RAW images from Analysis group
그림 3. 분석 그룹으로부터의 샘플 RAW 영상

Figure 4. Sample RAW images from Test group
그림 4. 테스트 그룹으로부터의 샘플 RAW 영상

실험에 필요한 그림 1 의 문턱치를 다음과 같이 결정하였다. Bahmani 등[18]은 개인 토플로지 각도(indivisual topology angle: ITA)를 이용하여 피부색을 추출하였다. Weyrich 등[19]은 이마, 볼, 목 등의 세 부위에 대한 피부색의 (r,g,b) 값을 사용하였다. Chauhan 등[20]은 백인과 동양인에

대하여 CIELuv 좌표를 사용하여 Yuv 유형의 자료를 보고하였다. Xu[21], Al-Tairi 등[22]은 피부색에 대해 다양한 기준치들을 제시하였는데, 제한 조건은 R>95, G>40, B>40 을 모두 만족하며, 1 개 화소의 RGB 값 중에서 최대값과 최소값의 차이가 15 이상이어야 하는 등이다. Martinkauppi[23]는 r-g 평면상에서 정의되는 피부색 궤적을 제안하였고, Xiao 등[24]은 CIELab 를 기준으로 다양한 인종에 대한 자료를 제공하였다.

이상의 여러 방법들의 기준을 검토하여 본 연구에서는 피부색의 판별기준을 Martinkauppi 의 피부색 궤적을 이용하여 그림 5 와 같이 피부색 색도에 해당하는 사각형 영역으로 선택하였다. D65 표준조명을 기준으로 사각형 영역 왼쪽 아래 기준점의 (r, g) 좌표는 (0.1450, 0.1863)이고, 오른쪽 위 좌표는 (0.6543, 0.4454) 이다.

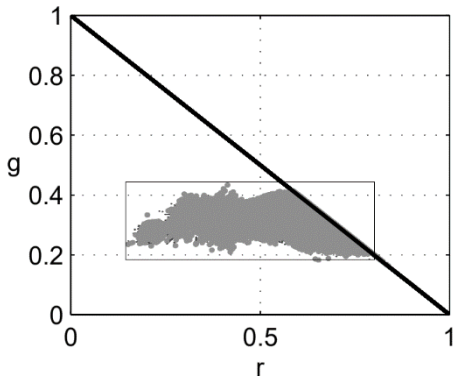

Figure 5. The bound for skin chromaticity
그림 5. 피부 색도의 경계 영역

성능검증을 위해서는 Storring, Bianco 등의 방법과 비교하는 것이 타당하나 비교적 오래된 방법이어서 비교 대상으로 적절하지 않다. 순수하게 피부색을 이용한 조명색도 추정은 최근에 찾아보기 어렵기 때문에 일반적인 조명색도 추정 방법들과 성능을 비교하고자 한다. 개념적으로 유사도가 있는 방법들은 Finlayson[6]과 Zhang[7], Kim[9] 등이 있다. 해당 방법들은 가능한 모든 표면 색들의 집합과 기준조명 집합을 이용하여 조명색도를 추정하는 방법이고, 제안한 방법은 모든 표면색 대신 피부색을 선택한 것으로 볼 수 있다.

제안한 방법의 성능을 검증하기 위하여 기존 방법과 비교하였고 결과는 표 1~표 5 에 나타내었다.

표 1 에는 Finlayson 의 방법을, 표 2 는 Zhang 의 방법, 표 3 은 Kim 의 방법에 의한 결과를 나타내었다. 표 4 에는 제안한 방법의 조명색도 추정오차를 보였다. ref_r 은 기준조명의 색도좌표 중 적색(red) 성분이고, ref_g 는 녹색(green) 성분이며, est_r 과 est_g 는 각각 추정된 조명의 색도좌표이다. AE 는 기준조명의 색도좌표와 추정된 조명의 색도 좌표간의 각도 오차를 의미한다. 표 5 에서 %Error 는 Finlayson 의 오차를 100 으로 가정했을 때 다른 방법들과의 상대적인 차이를 기록한 것이다. 예를 들어 Zhang 의 방법(σ =0.1)은 Finlayson 방법에 비하여 16.3% 오차가 개선되었음을 의미한다.

제안한 방법은 Finlayson 방법에 비하여 40.28% 추정오차가 개선됨을 보였다. Zhang 의 방법(σ =1.0)에 대해서는 11.34% 개선되었다. 제안한 방법은 Moritz 등과 같이 완전 복사체 궤적을 이용하지 않고도 조명 색도를 추정할 수 있음을 보였다.

표 5 의 std(σ)는 각 방법의 테스트 대상인 213 장의 결과에 대하여 오차값의 표준편차를 나타낸 것이다. Finlayson 의 방법을 제외하고는 안정적인 추정 결과를 보였으며, 제안한 방법이 가장 우수하였다.

Table 1. Calculated error for the estimation of scene illuminant chromaticity : Finlayson
표 1. 장면 조명 색도 추정에 대한 오차 계산 : Finlayson

im no.	ref_r	ref_g	est_r	est_g	AE
#1	0.2057	0.4922	0.2808	0.4922	6.0186
#2	0.2090	0.4932	0.2683	0.4932	4.5072
#3	0.2107	0.4926	0.2683	0.4932	4.3148
#4	0.1987	0.4913	0.2808	0.4922	6.6794
#5	0.2151	0.4933	0.4517	0.4345	22.9907
...	...	...	...	...	...
#209	0.2382	0.4484	0.2808	0.4922	0.7214
#210	0.2472	0.4520	0.2194	0.4916	4.7183
#211	0.2261	0.4437	0.2942	0.5211	3.9013
#212	0.3660	0.4492	0.2319	0.4634	11.2464
#213	0.3230	0.4556	0.2194	0.4916	11.3789

Table 2. Calculated error for the estimation of scene illuminant chromaticity : Zhang, σ=0.1
표 2. 장면 조명 색도 추정에 대한 오차 계산 : Zhang, σ=0.1

im no.	ref_r	ref_g	est_r	est_g	AE
#1	0.2057	0.4922	0.1869	0.4919	1.6301
#2	0.2090	0.4932	0.1869	0.4919	1.9145
#3	0.2107	0.4926	0.1719	0.4639	0.6235
#4	0.1987	0.4913	0.1719	0.4639	0.5141
#5	0.2151	0.4933	0.2683	0.4932	3.9134
...	...	...	...	...	...
#209	0.2382	0.4484	0.1869	0.4919	6.9273
#210	0.2472	0.4520	0.1719	0.4639	6.1400
#211	0.2261	0.4437	0.2683	0.4932	0.4703
#212	0.3660	0.4492	0.1863	0.4919	18.0163
#213	0.3230	0.4556	0.1719	0.4639	12.8006

Table 3. Calculated error for the estimation of scene illuminant chromaticity : Kim
표 3. 장면 조명 색도 추정에 대한 오차 계산 : Kim

im no.	ref_r	ref_g	est_r	est_g	AE
#1	0.2057	0.4922	0.2121	0.4956	0.7375
#2	0.2090	0.4932	0.2121	0.4956	0.4531
#3	0.2107	0.4926	0.4246	0.4745	19.7812
#4	0.1987	0.4913	0.4246	0.4745	20.9188
#5	0.2151	0.4933	0.2121	0.4956	0.1408
...	...	...	...	...	...
#209	0.2382	0.4484	0.1719	0.4639	5.4439
#210	0.2472	0.4520	0.1719	0.4639	6.1400
#211	0.2261	0.4437	0.1719	0.4639	4.4680
#212	0.3660	0.4492	0.1719	0.4639	16.6381
#213	0.3230	0.4556	0.1719	0.4639	12.8006

Table 4. Calculated error for the estimation of scene illuminant chromaticity : proposed
표 4. 장면 조명 색도 추정에 대한 오차 계산 : 제안 방법

im no.	ref_r	ref_g	est_r	est_g	AE
#1	0.2057	0.4922	0.1220	0.5172	9.4062
#2	0.2090	0.4932	0.1685	0.5645	6.3416
#3	0.2107	0.4926	0.1691	0.5537	6.1757
#4	0.1987	0.4913	0.1802	0.5877	4.9773
#5	0.2151	0.4933	0.2202	0.5206	0.6337
...	...	...	...	...	...
#209	0.2382	0.4484	0.2377	0.5082	2.9142
#210	0.2472	0.4520	0.2451	0.4770	1.4768
#211	0.2261	0.4437	0.2361	0.5124	2.2667
#212	0.3660	0.4492	0.3217	0.4725	4.9194
#213	0.3230	0.4556	0.3016	0.4714	2.7224

Table 5. Comparison between conventional and proposed methods
표 5. 기존 방법과 제안한 방법의 성능 비교

method	avg. AE	%Error	std(σ)
Finlayson	7.0305	100.00	6.1311
Zhang, σ=1.0	4.9960	71.06	3.3865
Zhang, σ=0.1	5.8842	83.70	4.5825
Kim	5.3313	75.83	4.6454
Proposed	4.1984	59.72	3.0261

V. 결론

본 논문에서는 영상을 촬영한 장면의 조명 색도를 추정하는 방법을 제안하였다. 기존의 피부색을 이용한 조명 색도 추정 방법은 Moritz, Bianco 등이 제안하였으며, 피부색 분포 특성과 완전 복사체 궤적을 이용하거나 표준조명에서의 피부색 분포와 입력 영상의 피부색 분포를 대조하여 조명 색도를 추정하였다. 이 방법들은 상관 색온도의 특성상 CIE-xy 분포 특성과 연계성이 저하되거나 다양한 조명하에서의 피부색을 최대한 많이 측정하고 확보함에 어려움이 있다. 제안한 방법은 피부색도 정보와 조명색도 간의 사상(mapping)을 분석하여 임의의 입력 영상에 대한 조명 색도를 추정한다. 제안한 방법은 Finlayson 의 방법에 비하여 40% 이상, Zhang 의 방법에 대해서는 11%, Kim 의 방법에 대해서는 16% 정도의 성능개선을 보였다.

본 연구를 통하여 피부색과 조명 색도의 비례관계를 추정할 수 있었으나, 더 많은 양의 자료를 통하여 검증을 확장하는 것이 타당하다. 그러나 현재로서는 많은 양의 영상과 기준조명 자료를 가진 데이터 셋을 구하기 어려운 실정이다. 향후 연구에서는 데이터 셋을 확대하여 검증을 확장할 수 있다. 또한, 피부색과 조명 색도와의 관계 추정에서 더욱 다양한 방법을 시도할 수 있으며, 2 차원 색도 정보 외에 3 차원 색 분포를 직접 활용하는 것도 가능할 것이다.

VI. 감사의 글

This work was supported by Youngsan University Research Fund of 2023

VII. References

[1] E. H. Land, “Color Vision and the Natural Image,” Proc. Nat'l Academy of Science USA, 1983, Vol.45, pp.115-129, 1959; Vol.45, pp.636-644, 1959; Vol.80, pp.5163-5169.

[2] G. J. Klinker, S. A. Shafer, and T. Kanade, “The Measurement of Highlights in Color Images,” Int'l J. Computer Vision, Vol.2, pp.7-32, 1988.

[3] H. C. Lee, “Method for computing the scene-illuminant chromaticity from specular highlights,” J. Opt Soc. Am., A, Vol.3, No.10, pp. 1694-1699, 1986.

[4] L. T. Maloney and B. A. Wandell, “A Computational Model for Color Constancy,” J. Optical Soc. Am., A, Vol.3, pp.29-33, 1986.

[5] D. A. Forsyth, “A Novel Algorithm for Color Constancy,” Int'l J. Computer Vision, Vol.5, No.1, pp.5-36, 1990.

[6] G. Finlayson, S. Hordley and P. Hubel, "Color by correlation: a simple, unifying framework for color constancy," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 23, No. 11, pp.1209-1221, 2001.

[7] X. Zhang, S. Yue, R. Gong, Q. Li, “Illumination estimation based on a weighted color distribution,” Optik, Vol. 185, pp.965-971, 2019.

[8] S. Bianco, C. Cusano, R. Schettini, “Color constancy using CNNs,” Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2015.

[9] J. Y. Kim, “Estimation of Illuminant Chromaticity by Equivalent Distance Reference Illumination Map and Color Correlation,” KIPS Transactions on Software and Data Engineering, Vol. 12, No. 6, pp. 267-274, 2023.

[10] https://doi.org/10.3745/KTSDE.2023.12.6.267

[11] M. Storring, H. J. Andersen and E. Granum, "Estimation of the illuminant colour from human skin colour," Proceedings Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, Grenoble, France, 2000, pp.64-69.

[12] M. Storring, E. Granum, and H. J. Andersen, "Estimation of the Illuminant Color using Highlights from Human Skin," International Conference on Color in Graphics and Image Processing(CGIP), 2000.

[13] S. Bianco and R. Schettin, “Face-Based Illuminant Estimation,” ECCV 2012: Computer Vision – Workshops and Demonstrations, 2012, pp.623–626.

[14] J. Kim, N. Kim, "Adversarial Learning-Based Image Correction Methodology for Deep Learning Analysis of Heterogeneous Images," KIPS Trans. Software and Data Engineering, Vol.10, No.11, pp.457-464, 2021.

[15] P. V. Gehler, C. Rother, A. Blake, T. Sharp and T. Minka," Bayesian Color Constancy Revisited," Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2008.

[16] E. Ershov, A. Savchik, I. Semenkov, N. Banic, A. Belokopytov, D. Senshina, K. Koscevic, M. Subasic, S. Loncaric,"The Cube++ Illumination Estimation Dataset", IEEE access, 8, pp.227511-227527, 2020.

[17] G. D. Finlayson, G. Hemrit, A. Gijsenij and P. Gehler, "A curious problem with using the colour checker dataset for illuminant estimation", Proc. Color Imaging Conference, 2017, Vol. 25, pp. 64-69.

[18] F. Laakom, J. Raitoharju, J. Nikkanen, A. Iosifidis and M. Gabbouj, "INTEL-TAU: A Color Constancy Dataset," in IEEE Access, Vol. 9, pp. 39560-39567, 2021.

[19] K. Bahmani, R. Plesh, C. Sahu, M. Banavar and S. Schuckers, "SREDS: A dichromatic separation based measure of skin color," 2021 IEEE International Workshop on Biometrics and Forensics (IWBF), Rome, Italy, 2021, pp. 1-6.

[20] T. Weyrich, W. Matusik, H. Pfister, J. Lee, A. Ngan, H. W. Jensen, M. Gross, "A Measurement-Based Skin Reflectance Model for Face Rendering and Editing", Tech. Rep. TR2005-047, Mitsubishi Electric Research Laboratories, Cambridge, MA, July, 2005.

[21] T. Chauhan, K. Xiao, S. Wuerger,"Chromatic and luminance sensitivity for skin and skinlike textures", Journal of Vision, Vol.19, No.1, pp.13, 2019.

[22] H. Xu, A. Sarkar, A. L. Abbott, "Color Invariant Skin Segmentation," in 2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), New Orleans, LA, USA, 2022, pp. 2905-2914.

[23] Z. H. Al-Tairi, R. W. Rahmat, M. I. Saripan, and P. S. Sulaiman, “Skin Segmentation Using YUV and RGB Color Spaces,” Journal of Information Processing Systems, Vol. 10, no. 2, pp. 283–299, 2014.
[24] B. Martinkauppi, "Face color under varying illumination – analysis and applications," Ph.D. dissertation, University of Oulu, 2002.
[25] K. Xiao, JM Yates, F. Zardawi, S. Sueeprasan, N. Liao, L. Gill, C. Li, S. Wuerger, "Characterising the variations in ethnic skin colours: a new calibrated data base for human skin," Skin Research and Technology, Vol.23, No.1, pp.21-29, 2017.

저자소개

김정엽(*JeongYeop Kim*)

1994 년 6 월 ~ 2001 년 2 월 삼성종합기술원 전문연구원
2001 년 2 월 경북대학교 대학원 전자공학과 박사
2001 년 3 월~현재 영산대학교 성심교양대학 부교수

관심분야 : 칼라영상처리, 컴퓨터비전, 색채과학