

논문 2004-41SP-5-26

# CCD 카메라 응답으로부터 유효 화소 선택에 기반한 광원 추정

## (Illumination estimation based on valid pixel selection from CCD camera response)

권 오 설\*, 조 양 호\*, 김 윤 태\*, 송 근 원\*\*, 하 영 호\*

(Oh-Seol Kwon, Yang-Ho Cho, Yun-Tae Kim, Kun-Woen Song, and Yeong-Ho Ha)

### 요 약

본 논문은 디지털 카메라로 획득된 실영상에서 카메라의 응답분포의 특성을 이용하여, 광원의 색도값을 추정하는 방법을 제안한다. 광휘도 영역을 이용하는 방법은 물체의 표면에 의한 색과 광원에 의한 색이 일정하게 변하는 특징을 이용하여 광원의 색도값을 추정한다. 일반적인 디지털 카메라 영상의 경우, 광휘도 영역의 화소들은 실영상에서 야기되는 광원의 기하학적 불균일성, 카메라에 의한 양자화 오차 및 CCD 센서의 불균일한 특성들을 포함하는 값이다. 그러므로 전처리 과정이 없는 카메라의 응답을 이용하여 광원을 추정한 결과, 정확한 광원의 색도값 추정이 어려웠다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 카메라의 응답 특성을 조사하고, 광휘도 영역에서 Mahalanobis distance를 이용하여 화소들을 선택함으로써, 광원 추정의 정확성을 높이고자 하였다. 카메라 응답에서 Mahalanobis distance의 사용함으로써 광휘도 영역에서 분포된 화소들 중에서 유효한 화소들을 선택하는 것이 가능하다. 선택된 화소들을 주성분 분석 과정을 이용하여 r-g 좌표계에서 직선을 만들었으며, 그 직선들의 교차점으로부터 광원의 색도값을 추정하였다. 제안한 방법을 이용하여 다양한 실영상에서 실험한 결과 기존의 방법에 비해 광원 추정에 대한 오차가 감소함을 확인하였다.

### Abstract

This paper proposes a method for estimating the illuminant chromaticity using the distributions of the camera responses obtained by a CCD camera in a real-world scene. Illuminant estimation using a highlight method is based on the geometric relation between a body and its surface reflection. In general, the pixels in a highlight region are affected by an illuminant geometric difference, camera quantization errors, and the non-uniformity of the CCD sensor. As such, this leads to inaccurate results if an illuminant is estimated using the pixels of a CCD camera without any preprocessing. Accordingly, to solve this problem, the proposed method analyzes the distribution of the CCD camera responses and selects pixels using the Mahalanobis distance in highlight regions. The use of the Mahalanobis distance based on the camera responses enables the adaptive selection of valid pixels among the pixels distributed in the highlight regions. Lines are then determined based on the selected pixels with r-g chromaticity coordinates using a principal component analysis(PCA). Thereafter, the illuminant chromaticity is estimated based on the intersection points of the lines. Experimental results using the proposed method demonstrated a reduced estimation error compared with the conventional method.

**Keywords :** 광원 추정, 칼라 항상성, 색 현시 모델

## I. 서 론

칼라 항상성은 광원 시야의 방향, 표면의 방향, 및 주위 배경색 등과 같은 외부의 파라미터에 독립적인, 물체 본연의 반사 특성을 찾아내는 인간 시각 특성의 한 부분이다. 인간은 임의의 광원 하에서 물체의 색을 통합적인 판단에 의해 추정할 수 있다. 그러

\* 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부  
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

\*\* 정회원, 위덕대학교 컴퓨터멀티미디어공학부  
(Division of Computer and Multimedia Engineering, Uiduk University)

※ 본 연구는 과학기술부 NRL 사업(M10412000102-04J0000-03910) 지원에 의해서 수행되었습니다.  
접수일자:2003년12월17일, 수정완료일:2004년9월14일

나 카메라와 같은 입력 장치는 단지 입력 값을 기록하기 때문에 광원의 특징을 구별할 수 없을 뿐만 아니라, 광원에 따른 변화를 나타낼 수 없다. 그러므로 디지털 이미지 처리에서 광원의 색을 배제할 수 있는, 인간의 시각특성을 반영하는 광원 추정 기법에 대한 연구가 필요하다.<sup>[1-10]</sup> 기존의 광원 추정 방법은 분광 반사율을 이용하는 방법과 삼자극치를 이용하는 방법으로 크게 분류된다.

분광 반사율을 이용하는 대표적인 방법은 Maloney-Wandell<sup>[1]</sup>의 방법이다. 물체 표면에서 반사되는 빛의 분광 반사율은 물체 색 분광 반사율과 조명 분광 반사율의 곱으로 표현되며, 이를 분석하여 조명의 분광 반사율을 추정하는 방법이다.

일반적인 선형과 양선형 모델(General Linear and Bilinear Models)을 이용한 D'Zmura와 Iverson<sup>[2]</sup>은 원래의 Maloney-Wandell 방법을 확장하여, 다수의 조명하에 다수의 물체 표면이 존재하는 경우에 두 반사율의 곱으로 표현된 수식을 연장하고, 수식의 구조를 분석하였다. Tominaga<sup>[3]</sup>는 주성분 분석 방법을 이용하여 광원 분광 반사율을 추정하는 방법을 제안하였다. Forsyth<sup>[4]</sup>는 Maloney-Wandell 알고리즘의 확장된 개념으로 광원 추정의 문제를 해결하였는데, 광원의 선형 모델에 사용된 Manoley-Wandell의 수광체 수로 더 많은 인자를 복원할 수 있다는 것을 보여 주었다.

최근에는 광원의 분광분포를 추정하는 방법에서 계산상의 복잡성을 줄이기 위해 미리 광원의 분광분포에 대한 정보를 획득한 후 분류하는 방법이 제안되었다. Wandell<sup>[5]</sup>과 Tominaga<sup>[6]</sup>는 흑체의 개념을 이용하여 광원의 분광 분포를 추정하였다. 이 방법은 영상 정보의 색역을 비교하는 방법을 이용하여 광원을 분류하는 것으로, 분류 방법에 따라 일정한 오차가 존재함으로써 보다 정확한 광원 추정 방법이 필요하다.

삼자극치를 이용하는 방법은 Land<sup>[7]</sup>가 제안한 Retinex 이론이 있으며, 이 방법에 대표적인 것으로 회색계 가정이 있다. 이것은 입력 영상의 각 칼라 채널별 평균값을 조명의 색도로 정의한다. Land의 방법은 영상내의 모든 경로에 대한 변화분을 고려하면 조명색을 추정할 수 있으며, 최종적으로는 전체 영상평균의 형태로 표현된다. 또한 영상에서의 광휘도(highlight) 특성을 이용하는 방법도 있다. 광휘도를 이용하는 방법은 Shafer<sup>[8]</sup>의 이색성 반사 모델(dichromatic reflection model)에 의한 해석법으로, 물체의 표면으로부터 반사되는 빛은 표면 반사(surface reflection)와 몸체반사(body reflection)의 합으

로 표현 가능하고, 표면 반사의 분광구성(spectral composition)은 조명의 분광분포 특성과 동일하다고 가정한다. 동일한 표면의 광휘도 상의 색 값들의 분포는 3차원 색 공간에서 하나의 평면상에 존재하며, 몸체반사 벡터와 표면 반사 벡터의 선형 조합으로 나타낼 수 있다. Lee<sup>[9]</sup>가 제안한 방법은 이색성 반사 모델을 이용하여, 색도의 변화가 있는 영역을 분석함으로써 광원의 색도를 추정하는 방법을 제안하였다. 즉, 영상에서 광원에 영향을 많이 받는 부분인 광휘도 영역의 화소들이 색도 좌표계에서 특정한 분포를 형성한다. 두 개 이상의 광휘도 영역은 색도좌표계에서 하나의 교점으로 나타나고 대표성이 있는 교점을 광원의 색도로 정의한다.

## II. 광휘도 영역을 이용한 광원 추정

광휘도 영역을 이용한 광원 추정 방법은 영상에서 광원의 정보를 많이 포함하는 광휘도의 색도 분포를 이용하여 광원을 추정하는 방법이다. 이 방법은 카메라의 광학적 특성에 대한 조건 없이도 카메라의 입력 값을 통해서 광원을 추정할 수 있고 다른 방법에 비해서 복잡하지 않은 장점 때문에 많이 사용되는 방법이다. 카메라에 입력되는 색은 다음과 같이 정의된다.<sup>[11]</sup>

$$C = \int_w E(\lambda)S(\lambda)R(\lambda)d\lambda \quad (1)$$

여기에서  $C$  는 카메라의 응답이고,  $E$  는 광원의 분광분포이다.  $S$  는 카메라의 분광 민감도이며,  $R$  은 물체의 표면 반사율을 나타낸다. 식 (1)을 이색성 반사모델로 표현하면 표면반사 성분과 몸체 반사 성분으로 나눌 수 있고, 이는 다음과 같이 표현된다.

$$C = \alpha(\theta)C_S + \beta(\theta)C_B \quad (2)$$

여기서  $\theta$  는 광원의 방향과 표면의 법선에 의해서 결정되며,  $\alpha(\theta)$ ,  $\beta(\theta)$  는  $\theta$ 에 의한 기하학적인 가중치 인수이다. 또한,  $C_S$  와  $C_B$  는 표면반사 성분과 몸체 반사 성분이다. 따라서 식 (1)은 이색성 반사모델에 의해 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$C = \alpha(\theta) \int_w E(\lambda)R(\lambda)d\lambda + \beta(\theta) \int_w E(\lambda)S(\lambda)R(\lambda)d\lambda \quad (3)$$

식 (3)을 RGB 카메라 응답으로 나타내면,

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \alpha(\theta) \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}_E + \beta(\theta) \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}_B \quad (4)$$

이다. 식 (4)는 다음 식으로 전개하여 색도좌표계를 정의할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} r \\ g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{R}{R+G+B} \\ \frac{G}{R+G+B} \end{pmatrix} \quad (5)$$

식 (5)에서, 이색성 반사모델에 의해서 하나의 광원과 하나의 표면에 대한 성분은 기하학적인 관계에 의해서 색도좌표계에서 직선으로 표시된다.

Lee는 이색성 반사 모델을 이용하여 광원의 영향을 많이 받은 광휘도 영역의 색 변화에 대해 조사함으로써 광원을 색도값을 추정하는 방법을 제안하였다. 단일 광원하의 영상에서, 영상의 광휘도 영역들은 임의의 표면 성분일지라도 광원을 향해서 방향성을 이루게 되는데, 이 직선들의 교점이 바로 광원의 색도 좌표이다. 그러나 Lee의 방법은 합성된 영상을 사용함으로써 잡음<sup>[12]</sup>이 있는 실영상에 대한 적용의 어려움이 있었다.

최근 Lehmann<sup>[13]</sup>은 기존의 Lee 방법을 개선하여 실영상에서 적용할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. Lehmann이 제안한 칼라 라인 탐색(color line search: CLS) 방법은 다음과 같은 세 단계로 이루어진다. 첫째로 자동화 방법으로 광휘도 영역을 선택하고, 선택된 화소들을 색도 좌표계로 변환한다. 다음으로 색도표에 대한 허프 변환을 이용하여 이색성 반사에 따른 칼라 라인을 결정한다. 마지막으로 각 직선들의 교점을 통한 광원 추정 결과에 대한 견실성을 검토한다. 그러나 CLS 방법은 중복 촬영된 영상을 사용함으로써 실영상에서의 잡음 문제를 해결하려고 하였다. 따라서 본 논문에서는 CCD 카메라의 응답 특성을 고려하여 광휘도 영역에서 군집의 분포를 계산하였고, 이를 바탕으로 각 광휘도 영역에 대해서 유효 화소를 선택하는 방법을 제안하였다.

### III. 유효 화소 선택에 기반한 광원 추정

카메라에서 출력된 RGB값은 디스플레이에서의 비선형성을 고려하여 미리 처리된 RGB값이다. 즉 원래의 자극치가 아니라 디스플레이 장치에 호환되도록 변형된 값이다. 따라서 카메라의 출력값을 감마 보정을 통해서 원래의 광원과 물체의 색에 의한 자극을 복원해야 한다<sup>[14]</sup>.

감마 보정을 위한 수식은 다음과 같다.

$$i' = \left( \frac{i}{2^n - 1} \right)^\gamma \times (2^n - 1), \quad i = R, G, B,$$

$$i' = R', G', B'. \quad (6)$$

이때  $n$ 은 채널당 비트이고 카메라의 감마 특성은 실험적으로 구한 값을 사용한다. 감마값을 얻기 위해 Gretag Macbeth ColorChecker에 포함된 13개의 무채색의 패치에 대해서 RGB와 XYZ의 관계를 규명하였다. 이를 통해 카메라 출력값에 대한 휘도 성분의 비를 찾아내었고 이때의 감마값은 2.89로 나타났다. 위 과정을 통해서 카메라의 비선형적인 응답 특성에 대한 영향을 감소시킴으로써 보다 정확한 광원 추정이 가능하다. 정확하게 정량화된 카메라의 응답일지라도 CCD 필터 특성 및 카메라의 잡음과 전기신호의 불균일성 및 노출시간 등 다양한 요소들이 복합적으로 작용하여 카메라의 응답에 영향을 미친다.<sup>[11]</sup> 그림 1은 D65 광원하에서 녹색의 균일한 패치에 대해서 CCD 카메라의 응답을 색도 좌표계로 나타내어 보았다. 이상적으로는 동일한 색도인 하나의 패치는 하나의 점으로 표현되어야 한다. 그러나 그림 1(b)에서 보

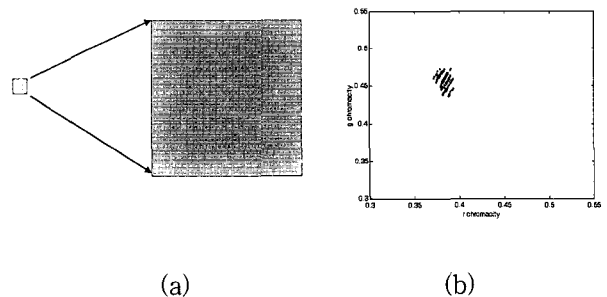


그림 1. 동일 패치에 대한 CCD 카메라의 응답 특성 (a) 균일한 Green 패치 (b) r-g 색도좌표계에서 카메라 응답 분포

Fig. 1. CCD camera response of a uniform patch; (a) a uniform green patch and (b) camera response distribution in r-g chromaticity coordinates.

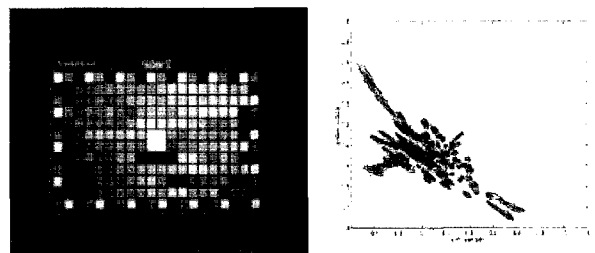


그림 2. r-g 색도 좌표계에 나타난 CCD 카메라의 응답 특성 분포

Fig. 2. Distribution of camera response in r-g chromaticity coordinates.

듯이 색도 좌표계에서 군집을 형성함을 관찰할 수 있다. 이는 카메라의 응답 특성이 잡음과 광원의 기하학적인 변화와 CCD 센서의 불균일성에 의해서 영향을 받았기 때문이다.

그림 2는 전체 색상 영역에서 응답 특성을 확인하기 위해서 암실에서 Gretag Macbeth Color Checker를 사용하여 카메라 응답을 나타낸 것이다. 이때 사용한 광원은 D65이며 CCD 카메라는 Sony DSC-D700을 사용하였다. 그림 2에서 나타나듯이 240개의 Gretag Macbeth Color Checker가 동일한 카메라 응답을 나타낸다면 r-g 좌표계에서 각 표면에 대해 한점으로 나타나야 한다. 그러나 실제로는 분포를 이루며 군집을 형성하였다. 따라서 본 논문에서는 카메라의 응답 분포에 대한 통계적인 데이터를 분석하여 마할라노비스 거리로 계산한 뒤, 이를 광휘도 영역에서 화소를 선택할 때 적용하고자 하였다. 이때, 마할라노비스 거리의 평균은 0.9129이었으며 이를 광휘도 영역에서 유효 화소 선택시 기준으로 적용하였다. 그림 3은 제안한 알고리즘의 흐름도이다. 제안한 방법은 입력 영상에서 RGB 입력값에 대한 밝기값을 기준으로 광휘도 영역을 선택하고, 각 광휘도 영역에서 밝기값을 기준으로 세 영역별로 나누어 대표값을 선택한 뒤, 미리 통계적 자료에서 찾아낸 카메라의 응답분포에 대한 마할라노비스 거리를 기준으로 새로운 모집단을 선택한다. 이때 기준치를 설정하는 방법은 Gretag Macbeth Color Checker 패치별로 카메라 응답의 평균값과 색상의 군집 사이의 표준편차를 구한 다음, 색상영역에 표준편차의 거리에 화소에 대한 마할라노비스 거리를 구하고 이를 기준으로 정의하였다. 마지막으로 전체 색상영역에 대한 카메라 분포의 특징을 표준화하기 위해서 각 색상에 대한 마할라노비스 거리를 평균하여 유효 화소를 선택하는 기준으로 설정하였다. 따라서 이 기준치를 광휘도 영역에서 대표값에 대한 경계치로 사용하여 효율적인 화소들을 선택할 수 있다.

광휘도 영역의 화소들은 일반적으로 타원형의 군집분포를 이루고 있다. 하나의 광휘도 영역에 대해서 군집에 대한 유효 화소를 선택하기 위해 대표값을 선택하여야 한다. 본 논문에서는 군집의 대표값을 선택하기 위해 Wandell<sup>[14]</sup>의 방법을 이용하였다. Wandell은 색도 좌표계에서 화소들을 밝기값을 기준으로 0~30%, 0~70%, 70~100%의 세 부분으로 나누었다. 따라서 이 대표값에 대해서 마할라노비스 거리를 기준으로 유효 화소를 선택하였다. 마할라노비스 거리는 군집과 군집 또는 군집과 특정한 위치에 대한 거리를 구할 때 사용되는 척도이

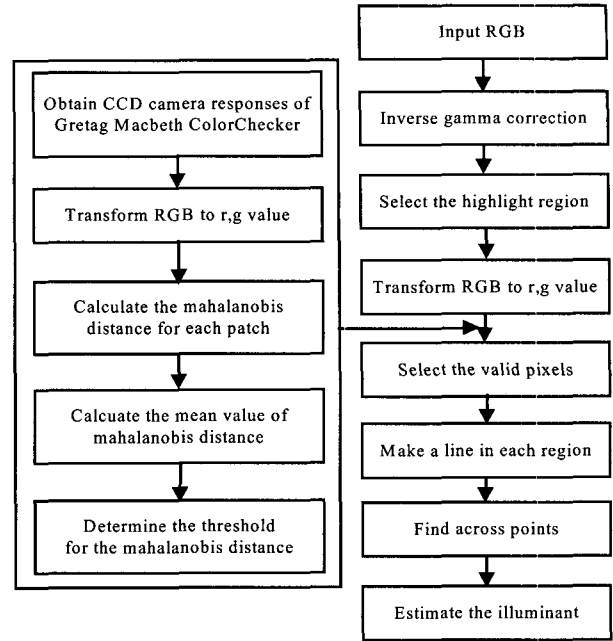


그림 3. 제안한 알고리즘의 흐름도  
Fig. 3. Flowchart of the proposed algorithm.

다.<sup>[15]</sup>

$$d = \sqrt{(S - \bar{S})^T \Sigma^{-1} (S - \bar{S})} \tag{7}$$

여기서  $d$ 는 임의의 샘플의 위치와 군집과의 마할라노비스 거리이고,  $S$ 는 임의의 샘플의 위치,  $\bar{S}$ 는 대상 군집의 평균 벡터이며  $\Sigma$ 는 대상 군집의 공분산 매트릭스로 정의된다. 식 (7)을 이용하여 구한 거리를 광휘도 영역에서 나타나는 군집의 형태와 동일한 분포를 가지는 영역의 화소들을 선택하는데 이용하게 된다. 카메라 응답 분포에 대한 마할라노비스 거리를 통계적인 자료를 통해서 획득한 뒤, 광휘도 영역에서 군집의 분포에 대한 대표값의 마할라노비스 거리를 이용하여 유효한 화소들을 선택한다. 선택된 화소에 대해서 주성분 분석은 색도 좌표계의 화소들에 대해 직선을 추출할 때 벡터 표현의 통계적 특성을 이용하는 방법이다. 즉, 임의의 벡터 모집단을 가정하면,

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \tag{8}$$

이 모집단의 평균 벡터는 다음과 같이 정의된다.

$$m_x = E\{x\} \tag{9}$$

또한 벡터 모집단의 공분산 행렬은 다음과 같이 정의된다.

$$C_x = E\{(x - m_x)(x - m_x)^T\} \quad (10)$$

여기에서  $T$ 는 전치(Transpose)를 나타낸다.

색도 좌표계의 화소들에 대한 2차원 벡터의 대한 주성분을 분석하기 위해서는  $C_x$ 의 고유치로 이루어진 대각행렬에서 고유치가 높은 것을 선택한다. 즉, 각 광휘도 영역의 화소들에 대해서 공분산을 계산하고, 공분산에 대한 대각행렬 중에서 고유치가 높은 하나의 벡터를 선택함으로써 각 광휘도 영역에서 하나의 직선을 추출할 수 있다.

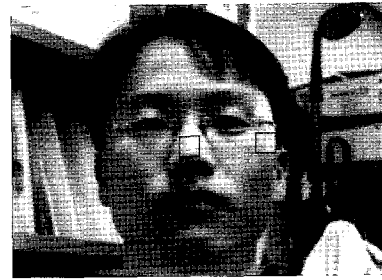
#### IV. 실험 및 고찰

제안한 방법의 실험을 위해 Sony DSC-D700 CCD 카메라를 사용하였다. 영상의 크기는 640×480이며 카메라의 셔터 스피드는 1/45초로 설정하였으며 f-number는 2.4로 조절하였다. 광원으로는 Gretag Macbeth Judge II Booth의 4가지 광원(A, Day, TL84, CWF)을 사용하였으며, 실험 영상으로는 과일 영상과 얼굴 영상 및 야외의 군엽 등 총 20장에 대한 결과를 데이터로 나타내었다.

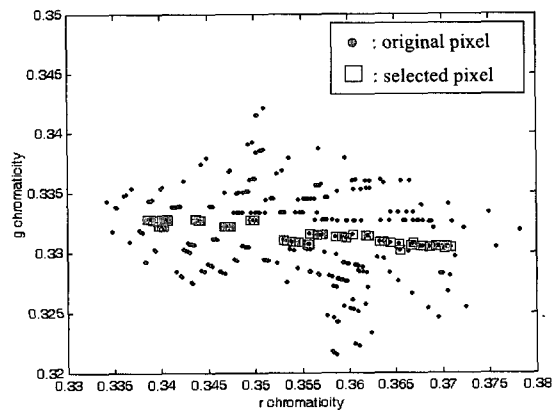
본 논문의 결과를 비교하기 위하여 먼저 광휘도 영역에서 화소들의 선택 결과를 비교하였고 색도 좌표계에서 직선이 이루어지는 결과를 비교하였다. 또한, 정량화된 결과를 비교하기 위해서 다른 광원하에서 획득된 동일한 영상에 대한 광원 추정 오차를 비교하고 마지막으로 표준 광원에 대한 영상 복원 결과를 나타내었다. 실험결과, 제안한 방법이 기존의 CLS 방법에 비해서 광원 추정 오차가 줄어들었으며, 영상 복원 결과 표준 광원하의 영상과 더 유사함을 확인하였다.

그림 4는 광휘도 영역에 대한 화소 선택의 결과를 나타내고 있다. 그림 4(a) 실험 영상의 두 광휘도 영역을 색도좌표계로 변환하면 그림 4(b)와 4(c)에서 원형(●)으로 표시된다. 그러나 제안한 방법을 이용하여 광휘도 영역에서 유효 화소를 선택하면 사각형(□)으로 선택된다. 이것은 카메라에 특성 및 비 동질 표면에 의한 특징으로 인해 광휘도 영역의 화소가 분포를 이루고 있음을 알 수 있다. 따라서 제안한 방법으로 유효 화소를 선택한 결과를 살펴보면 전체 분포를 가장 잘 표현하는 하나의 직선 형태를 나타내는 것을 알 수 있다.

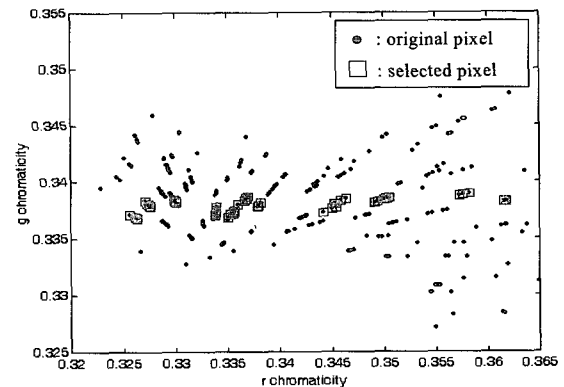
광원 추정의 결과를 정량적으로 비교하기 위해서 그림 5와 같이 동일한 영상을 네 가지(Day, TL84, CWF, A) 광원 하에서 획득하였다. 이는 기존의 CLS 방법과 제안한 방법에 대해서 광원 추정의 오차를 비교해 보고, 표준



(a)



(b)



(c)

그림 4. 광휘도 영역에서 화소 분포 비교 (a) 실험 영상 (b) 색도 좌표계에서 코 영역의 화소분포 (c) 색도 좌표계에서 볼 영역의 화소 분포

Fig. 4. Comparison of pixels distribution in highlight regions: (a) test image, (b) pixels distribution of the nose region in chromaticity space, and (c) pixels of the cheek region in chromaticity region.

광원으로 영상을 복원한 결과를 비교하기 위함이다. 동일한 영상에 다른 광원에 대한 실험을 하는 것은 광원 추정에 결과, 영상별로 다른 광원을 사용하지 않음으로 해서 생기는 오차 부분을 해소할 수 있다. 복원한 영상 또한 비교가 쉽기 때문이다. 그러나 D65에서 추정된 광원

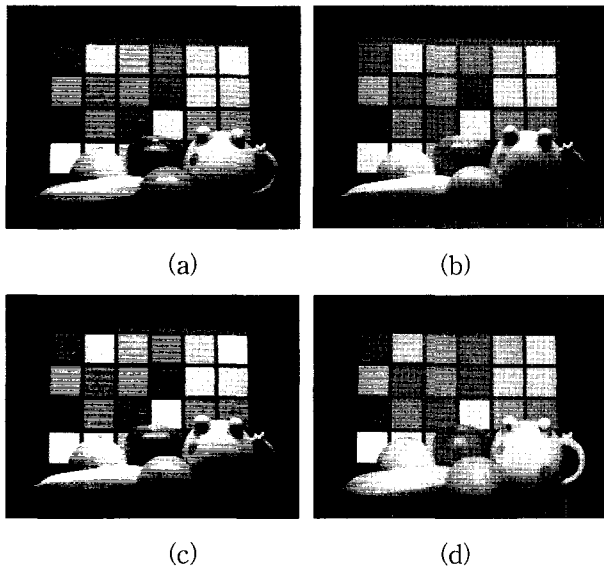


그림 5. 다른 광원하의 동일 영상 (a) DAY (b) TL84 (c) CWF (d) A 광원  
 Fig. 5. The same images under four illuminations; (a) Day, (b) TL84, (c) CWF, and (d) A illumination.

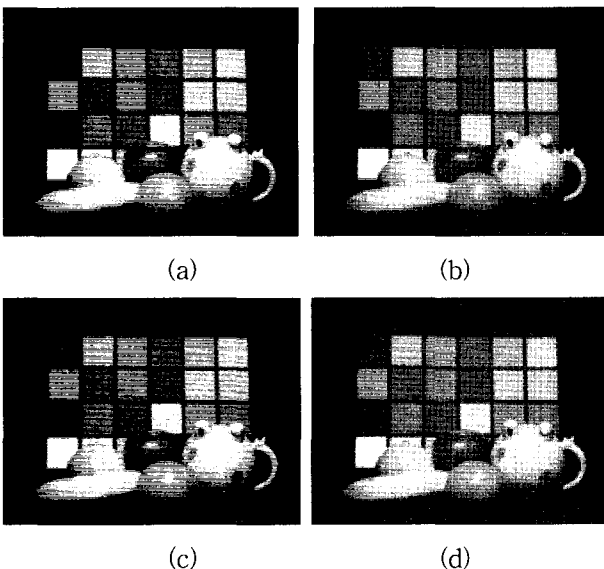


그림 6. A 광원에 대한 영상 복원 결과 (a) A 광원하의 영상 (b) 측정된 광원으로 복원된 영상 (c) CLS 방법으로 추정된 광원을 이용하여 복원한 영상 (d) 제안한 방법으로 추정된 광원을 이용하여 복원한 영상  
 Fig. 6. The results of image reproduction; (a) test image under A illumination, (b) reproduced image by a measured illumination, (c) reproduced image after estimating illumination by CLS method, and (d) reproduced image after estimating illumination by proposed method.

으로 복원한 영상은 원영상과 비교하지 않을 것이다. 이는 추정된 광원과 표준 광원이 이론상 같기 때문에 원 영상과의 구별이 불가능하기 때문이고, 또한 광원 추정결

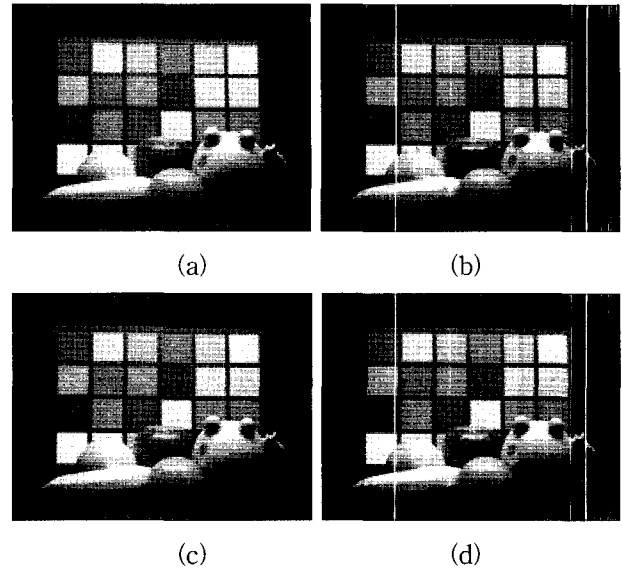


그림 7. CWF 광원에 대한 영상 복원 결과 (a) CWF 광원하의 영상 (b) 측정된 광원으로 복원된 영상 (c) CLS 방법으로 추정된 광원을 이용하여 복원한 영상 (d) 제안한 방법으로 추정된 광원을 이용하여 복원한 영상  
 Fig. 7. The results of image reproduction; (a) test image under CWF illumination, (b) reproduced image by a measured illumination, (c) reproduced image after estimating illumination by CLS method, and (d) reproduced image after estimating illumination by proposed method.

표 1. 광원에 따른 추정 오차의 결과 비교  
 Table 1. Comparison of color difference according to the illuminants.

광원 \ 방법	회색계 가정	CLS 방법	제안한 방법
DAY	0.0249	0.0241	0.0227
A	0.0914	0.0424	0.0342
TL84	0.0611	0.0730	0.0523
CWF	0.0434	0.0121	0.0092

과가 왜곡의 현상으로 오해의 소지가 있기 때문이다. 추정 오차의 정량적인 평가를 위하여 실험한 결과는 표 1에 나타내었다. 네 가지 모든 광원 하에서 제안한 방법은 기존의 CLS 방법에 비해 광원의 오차가 줄어들음을 확인할 수 있다. 이때 사용한 추정 오차의 계산식은 다음과 같다.

$$\Delta E_{rg} = \sqrt{\Delta r^2 + \Delta g^2} \quad (11)$$

광휘도 영역을 이용한 방법으로 기존의 CLS 방법과 제안한 방법에 대해서 광원 추정 결과를 이용하여 표준

광원하의 영상으로 복원하여 보았다. 그림 6~7은 동일 영상에 대해 CLS 방법과 제안한 방법에 대하여 광원을 추정 후 복원한 영상이다. A 광원하의 결과인 그림 6(c)와 6(d)에서 흰색 패치 부분을 자세히 살펴보면, CLS 방법은 붉은색이 많이 포함된 반면, 제안한 방법으로 복원한 결과는 붉은색 부분이 감소되어 그림 6(b)의 표준 영상과 유사함을 알 수 있다. CWF 광원하의 결과인 그림 7(c)와 7(d)는 기존의 방법과 제안한 방법이 시각적으로 구별이 힘들 정도로 유사하다. 이는 CWF 광원 자체가 표준광원과 유사한 색도를 나타내고 있기 때문에 오차가 상대적으로 작기 때문이다. 그러나 이에 대한 정량적인 평가는 표 1에서 나타내었듯이 광원 추정 오차가 줄어들 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 실영상에서 CCD 카메라 응답 특성의 분포를 고려하여 보다 정확한 광원 추정 방법을 제안하였다. 기존의 CLS 방법은 카메라의 잡음을 줄이기 위해 중복 촬영된 영상을 사용하기 때문에 중복 촬영의 문제점이 있는 동시에 잡음에 대한 효율적이 해결책이라 할 수 없다. 따라서 제안한 방법에서는 전체 색역에 대한 CCD 카메라의 응답특성의 분포를 조사하고 이를 군집의 분포 특성을 나타낼 수 있는 마할라노비스 거리를 계산함으로써 유효한 화소를 선택하였다. 일반적으로 영상에서 광휘도 영역의 화소들은 색도 좌표계에서 타원형의 군집분포를 이루고 있다. 따라서 카메라 응답으로부터 계산된 군집과 화소에 대한 마할라노비스 거리는 광휘도 영역에서 유효 화소 선택에 대한 척도가 될 수 있다. 마지막으로 선택된 화소에 대해 주성분 분석 방법을 적용함으로써 색도 좌표계에서 직선을 만들고, 직선들의 대표적인 교점으로 광원을 추정한다. 제안한 방법이 기존의 방법에 비해서 광원 추정의 결과 오차가 작았으며, 표준 광원하의 영상으로 복원하였을 때 화질에서도 우수한 결과 영상을 얻을 수 있다. 특히 단일 영상 한 장으로 알고리즘이 수행이 가능함으로써 중복 촬영에 대한 문제점을 해결할 수 있다. 그러나 카메라의 특성화가 미리 선행되어야 하고, 광휘도 영역을 이용하는 방법의 기본적인 가정인 영상에 다양한 표면이 존재해야 하는 것과 광휘도 영역이 있어야 한다는 가정을 극복할 수 없는 단점이 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] L. T Maloney and B. A Wandell, "Color constancy: A method for recovering surface spectral reflectance," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 3, no. 1, pp. 29-33, 1986.
- [2] M. D' Zmura, "Color constancy: Surface color from changing illumination," *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 9, no. 3, pp. 490-493, March 1992.
- [3] S.Tominaga and B. A. Wandell, "Standard surface reflection model and illuminant estimation," *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 6, no. 4, pp. 576-584, April 1989.
- [4] D. A. Forsyth, "A novel algorithm for color constancy," *International Journal of Computer Vision*, vol. 5, no. 1, pp. 5-36, Aug. 1990.
- [5] S. Tominaga, S. Ebisui, and B. A. Wandell, "Scene illuminant classification - Brighter is better," *Journal of Optical of America A*, vol. 18, no. 1, pp. 55-64, Jan. 2001.
- [6] S. Tominaga, "Natural image database and its use for scene illuminant estimation," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 11, no. 5, pp. 434-444, Oct. 2002.
- [7] E. H. Land, "The retinex theory of color perception," *Scientific American*, 237, pp.108-129, 1977.
- [8] S. A. Shafer, "Using color to separate reflection components," *Color Research and Application*, vol. 10, no. 4, pp. 210-219, Winter, 1985.
- [9] H. C. Lee, "Method for computing the scene illuminant chromaticity from specular highlights," *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 3, no. 10, pp. 1694-1699, Oct. 1986.
- [10] 김희수, 김윤태, 이철희, 하영호, "최대 무채색 영역을 이용한 광원의 분광전력분포 추정," 대한전자공학회 논문지, 제38권, SP편 4호, pp. 68-76, 2001년 7월.
- [11] G. D. Finlayson and G. Schaefer, "Solving for colour constancy using a constrained dichromatic reflection model," *International Journal of Computer Vision*, vol. 42, no. 3, pp. 127-144, Oct. 2001.
- [12] R. L. Baer, "CCD requirement for digital photography," *IS&T's 2002 PICS Conference*, Portland, U.S.A., pp. 26-30, March 2000.
- [13] T. M. Lehmann and C. Palm, "Color line search for illuminant estimation in real-world scenes," *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 18, no. 11, pp. 2679-2691, Nov. 2001.
- [14] H. Z. Hel-Or and B. A. Wandell, "Objectbased illumination classification," *Pattern Recognition*,

vol. 35, issue 8, pp. 1723-1732, Aug. 2002.  
 [15] P. J. Deer, P. W. Eklund, and B. D. Norman,  
 "A mahalanobis distance fuzzy classifier," *Austra*

*-lian New Zealand conference on Intelligent  
 information systems*, Adelaide, Australia, pp.  
 18-20, Nov. 1996.

---

저 자 소 개

---

권 오 설(정회원)  
 제 40 권 2 호 참조

송 근 원(정회원)  
 제 38 권 5 호 참조

조 양 호(정회원)  
 제 39 권 5 호 참조

하 영 호(정회원)  
 제 38 권 3 호 참조

김 윤 태(정회원)  
 제 40 권 1 호 참조