

카메라의 조명궤적과 광휘점을 이용한 조명색 추정

(Estimating illuminant color using the light locus for camera and highlight on the image)

朴斗植*, 金昌容*, 徐亮錫*

(Du Sik Park, Chang Yeong Kim, and Yang Seock Seo)

요약

본 논문에서는 카메라의 조명궤적과 화상내의 광휘점 (highlight) 영역의 화소들이 형성하는 색도좌표 군집에 대한 근사된 직선과의 교점을 카메라 촬영 장면에서의 조명색으로 결정하는, 카메라 촬영 장면의 조명색을 화상으로부터 직접 추정하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 카메라의 조명에 대한 반응 특성을 사전 정보로 제공함으로써 기존의 화상내의 광휘점 정보만을 이용하던 방법에 비해 더욱 정확한 조명색 추정을 가능하게 한다.

Abstract

In this paper, an algorithm for estimating the scene-illuminant color directly from an image is proposed. To determine the scene-illuminant color in the image, the intersection point between the light locus of camera (CCD) responses and an approximated lines for the cluster of pixels in a highlight area on chromaticity coordinates is used. By using the predetermined characteristics of the used camera for some illuminants, this algorithm allows us to obtain more accurate estimation of the scene-illuminant color from a captured image than that the previous methods provide.

1. 서론

색 항상성(color constancy)은 조명의 변화에도 물체의 고유색을 보려고 하는 인간의 시각적 특성(human visual characteristic)중의 하나이다. 이 특성은 주위 조명색의 변화에 따라 사람의 시각계가 조명색을 인지하고 그 조명색의 변화를 적절하게 배제하여 물체의 고유색을 일정하게 인식하는 능력을 말한다. 그러나, 카메라를 이용한 시각 장치(machine vision)에서는 카메라의 감도 특성이 고정되어 있기 때문에 동일한 색을 가진 물체에 대해서도 조명의 변화에 따라 서로 다른 색

의 화상을 제공하게 된다. 이런 시각 장치에 인간의 시각계와 유사하게 조명색을 추정하고 고려하는 기능을 제공함으로써, 이러한 장치에서도 조명 조건과 독립적인 물체의 고유색을 얻고 처리하는 방법을 제공하는 것이 조명색 추정기술을 연구하는 중요한 이유중의 하나이다.

영상에서 광휘점은 광원색이 물체의 표면에서 직접 반사되어 물체의 표면색과는 달리 광원색이 관찰되는 영역을 의미한다. 본 논문에서의 조명색 추정 방법은 화상에 나타나는 광휘점의 정보를 이용하며, 광휘점에 조명색 정보가 있다는 가정^[1]에서 출발한다. 실제 광휘점에는 조명색 정보가 항상 존재하나 문제는 이것을 어떻게 알아 내는가에 있다고 할수 있다. 광휘점은 조명색과 몸체색 (body reflection) 성분이 함께 존재하는 화상내의 특별한 영역으로 이 영역의 색 값들을 분석하면 조명색을 추정하는 것이 가능하다. 그 색 값들을

* 正會員, 三星綜合技術院 信號 處理 LAB.

(Signal Processing Lab., Samsung Advanced Institute of Technology)

接受日字:1999年2月5日, 수정완료일:1999年9月6日

분석하기 위해서는 적절한 반사모델 (reflection model) 을 개발하거나 이용하는 것이 필수적이다.

물체의 표면으로부터 반사되는 빛은 표면반사(surface reflection)와 몸체반사(body reflection)의 합으로 표현 가능하고, 표면반사의 분광구성(spectral composition)은 조명의 분광 분포의 구성과 동일하다고 가정하는 Shafer^[2]의 이색성 반사 모델(dichromatic reflection model)에 따르면, 동일한 표면의 광휘점 상의 색 값들의 분포는 3차원 색 공간에서 하나의 평면 상에 존재 하며 두개의 벡터 즉 몸체반사와 표면반사의 선형 조합으로 나타낼 수 있다. Klinker^[3]등은 화상의 화소에서 몸체반사 성분과 표면반사 성분을 분리하는 방법을 개발했다. 이 방법은 광휘점에 의해 형성되는 칼라 분포로부터 두개의 벡터를 추정하는 방법으로 조명색 추정이나, 영역구분등 화상의 물리적 해석을 위해 다양하게 응용되고 있다. 그러나, 3차원 색 공간에서 그 두개의 벡터를 결정하는 방법이 상당히 복잡하다.

CIE 1931 (x,y) 색도도(chromaticity diagram)^[4]의 각 좌표는 CIE 1931 측색 표준 관찰자(standard colorimetric observer)에 의해 관찰되는 유일한 색과 일치한다. 색도좌표(chromaticity coordinates)상에 두 빛 (x₁,y₁과 x₂,y₂)이 다양한 비율로 가법 혼합되면 그 혼합된 빛의 색도좌표는 그 두 점을 연결하는 직선의 경로 상에 놓이게 된다. 2차원에 투영된 색도좌표에서 그 분포는 조명색과 몸체반사에 의해 결정되는 몸체색을 연결하는 직선 상에 위치하게 된다. 이것은 표면반사 성분이 단순히 몸체반사 성분의 색 포화도(saturation)를 감소시킨다는 것을 의미하며, 측색적으로는 동일한 표면의 색들은 순도는 다르지만 조명색에 대해 동일한 주파장, 즉 동일한 색상을 가진다는 것을 의미한다. 이러한 점들의 경로는 광휘점을 갖는 여러 개의 물체가 존재하는 화상에서 조명색을 중심으로 방사상으로 놓이는 경향이 있는 직선군을 형성한다. 따라서 화상에서 광휘점이 있는 두 개의 서로 다른 분광반사 특성을 가진 표면이 존재하면, 두개의 직선은 하나의 점을 결정하고 이것으로부터 조명색 정보를 알 수 있다. 이 경우, 광휘점 주변에서 발생하는 색 경계를 찾고, 색 경계 화소를 중심으로 주변화소를 취하여 색도도상에서 직선근사하고, 근사된 직선들의 기울기와 절편을 축으로 하는 새로운 변수공간을 설정하여 하프 변환(Hough transformation)과 유사한 방법으로 직선들을 변수공간으로 변환하여 하나의 직선을 결정하고, 해당 직선의 기울기와 절편을

조명색으로 하는 조명색 결정 방법이 Lee^[5]에 의해 제안 되기도 하였다. 그러나 이러한 방법을 이용하여 조명색을 추정하기 위해서는, 이론적으로 최소한 두개 이상의 광휘점을 갖는 서로 다른 분광분포 특성을 갖는 물체가 존재해야 하며 실제 이미지에서 어느 정도의 정확도를 확보하기 위해서는 그 보다 많은 서로 다른 색의 물체로부터 발생하는 광휘점 정보가 필요하다. 일반적인 디지털 사진이나, 화상에서는 하나의 일정한 색을 가진 물체(사람 또는 관심 물체)에 하나의 광휘점이 존재하는 경우도 빈번히 발생하며 이러한 경우는 조명색 추정이 사실상 불가능하다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 이론적으로 하나의 광휘점만 존재하면 색도도상에서 조명색 추정이 가능한 방법을 제안하고 그 방법의 성능을 실험적으로 검증한다. 하나의 광휘점은 색도도 상에서 하나의 직선을 형성하기 때문에 이 조건에서 조명색 추정은 풀 수 없는 문제가 된다. 이 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 다양한 조명색에 대한 카메라의 반응 색 값들에 대한 모델을 이용하는 방법을 제안한다.

제안된 방법은 다양한 조명에 대한 카메라의 출력색 색도좌표를 연결하는 경로를 구하여 이것을 조명색적으로 하고, 하나의 광휘점에 상응하는 직선을 근사하면 이 직선과 조명색적은 조명색에서 상호 교차한다는 원리에 기초한다. 본 논문에서 제안하고 있는 방법은 화상을 색도도상에서 해석함으로써 처리의 간단화를 구현했고, 카메라의 조명색적 모델을 사용하여 단일 광휘점으로부터 조명색을 추정하는 것을 가능하게 하여 광원색 추정방법에 있어서 보다 일반적인 해를 얻을수 있는 방법을 제안 함으로써 광원색 추정의 적용분야가 더욱 확장 될 수 있을 것으로 기대 된다. 또한 여러개의 광휘점이 존재하는 이미지에 적용될 경우에도 조명색 추정 정확도가 높아 진다는 결론을 얻었다.

II. 광휘점과 조명색적 모델

1. 광휘점 영역 화소의 색도 분석

단일광원이 조사되는 조명환경 하에서 이색성 물체의 특정한 점에서 반사되는 빛의 방사(radiance) $L(\lambda)$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다^[2].

$$L(\lambda) = m_s c_s(\lambda) + m_b c_b(\lambda) \quad (1)$$

여기에서 m_s 와 m_b 는 기하적인 요소로 scalar로 표현되고, $c_s(\lambda)$ 는 조명색 성분을 나타내는 표면반사이고, $c_b(\lambda)$ 는 물체고유의 색 성분을 나타내는 물체반사이다. 입력 빛에 선형적인 반응 특성을 나타내는 color CCD 카메라의 입력 방사 $L(\lambda)$ 에 대한 출력 색 값(color value) C 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$C = [RGB]^T = m_s C_s + m_b C_b \\ = m_s [R_s G_s B_s]^T + m_b [R_b G_b B_b]^T \quad (2)$$

여기에서 C_s 는 표면반사에 의한 색 값이고, C_b 는 물체반사에 의한 색 값이다. 또한 카메라의 분광감도를 r 라 할 때 $[R_s G_s B_s]$, $[R_b G_b B_b]$ 와 각각의 색도좌표 (r_s, g_s) , (r_b, g_b) 는 다음과 같이 정의된다.

$$R_s = \int C_s(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda, G_s = \int C_s(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda, B_s \\ = \int C_s(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

$$R_b = \int C_b(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda, G_b = \int C_b(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda, B_b \\ = \int C_b(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

$$r_s = R_s / (R_s + G_s + B_s) = R_s / K_s, \\ g_s = G_s / (R_s + G_s + B_s) = G_s / K_s \quad (5)$$

$$r_b = R_b / (R_b + G_b + B_b) = R_b / K_b, \\ g_b = G_b / (R_b + G_b + B_b) = G_b / K_b \quad (6)$$

식 (2)의 출력색 값 C 의 색도좌표 (r, g) 를 C_s 의 색도좌표 (r_s, g_s) 과 C_b 의 색도좌표 (r_b, g_b) 로 나타내면 다음과 같다.

$$r = R_s [m_s K_s / (m_s K_s + m_b + K_b)] \\ + r_b [m_b K_b / (m_s K_s + m_b + K_b)] \quad (7)$$

$$g = g_s [m_s K_s / (m_s K_s + m_b + K_b)] \\ + g_b [m_b K_b / (m_s K_s + m_b + K_b)] \quad (8)$$

동일한 색이 칠해진 하나의 이색성 물체의 임의의 한점에서의 카메라의 출력 색 값의 색도좌표 M 는 조명색 M_s 와 물체색 M_b 를 연결하는 하나의 직선의 선분 상에 놓이며, 다음과 같이 표현된다^[6].

$$M = [rg]^T = n_s M_s + n_b M_b = n_s [r_s g_s]^T + n_b [r_b g_b]^T \quad (9)$$

여기에서 $n_s = \beta / (a + \beta)$, $n_b = a / (a + \beta)$ 이며, a 와 β

는 m_s , m_b 와는 다음과 같은 관계를 가진다.

$$a = m_b K_b, \quad \beta = m_s K_s \quad (10)$$

여기에서 β 는 물체색 M_b 로부터 M 까지의 거리이며, m_s 의 크기에 비례한다. 화상에서 무시할 수 없을 정도의 표면반사를 포함하는, 즉 상당한 크기의 m_s 값을 가진 화소들로 구성된 영역을 광휘점 영역이라 하며, 임의의 화소가 광휘점 영역에 포함되어 그 점에서의 m_s 가 양의 값을 가지게 되면, m_s 의 증가에 비례해서 β 도 증가한다. 이것은 광휘점 영역 화소의 색이 물체 색으로부터 조명색 방향으로 색 천이를 나타내는 현상을 설명한다. 동일한 색이 칠해진 하나의 물체상에 나타나는 광휘점 영역의 모든 화소에 대한 카메라 출력 색 값의 색도좌표는 물체색으로부터 조명색 방향으로 향하는 직선을 형성하나 조명색 m_s 와 직접 연결되어 있지는 않다. 그러나 이러한 직선의 연장선은 조명색을 통과하게 되고, 카메라의 조명계적이 그 조명색을 포함하도록 구해져 있다면 조명계적과 그 직선은 교점을 가지게 되고 그 교점은 화상의 촬영 장면에서의 조명색으로 추정 가능하다.

2. 카메라 조명계적 모델

CIE 1931 (x, y) 색도도상에서 정의되는 일광 계적 (daylight locus)^[4]은 일광에 대한 여러 지역, 여러 사람의 시 지각 특성에 대한 많은 실험결과에 의해 결정된 수학적 표현이다. 본 연구에서는 일광계적과 동일한 개념을 카메라에 적용한 카메라의 조명계적을 도입한다. 조명은 단일 파장대의 분광전력분포를 가지는 단색광에서부터 가시광선 전 대역에 걸쳐 특정한 크기의 분광전력분포를 가지는 백색광에 이르기까지 다양하다. 일광계적과 동일한 개념을 도입하면, 카메라의 조명계적은 이러한 다양한 조명에 대한 조명의 분광전력분포와 카메라 센서의 분광감도 특성의 곱에 의해 결정되는 카메라의 출력 색 값들의 색도좌표를 연결하는 선으로 정의 될 수 있다. 본 연구에서는 좀 더 좁고, 명백한 의미의 카메라 조명계적을 정의한다. 조명의 종류를 가시광선 전 대역에 걸쳐 분광전력분포를 가지는 백색광류로 제한하고, 이러한 조명을 백색 색표에 비추고 그것으로부터 반사되는 빛의 카메라 출력 색 값들의 색도좌표를 연결하는 선을 카메라의 조명계적으로 한다. 많은 종류의 조명을 사용할 수 있는 실험환경에서

는 직접 조명을 사용한 카메라 조명케체의 도출이 가능하겠으나, 대부분의 실험환경에서 사용 가능한 조명의 수는 제한적이고, 이 경우 소수의 조명을 사용한 조명케체 추정방법이 요구된다. 이하에서 소수의 조명 종류를 사용하여 카메라의 조명케체를 추정하는 방법을 간단히 기술한다.

사용 가능한 몇 종류의 조명에 대해 그 조명의 분광 전력분포와 카메라 센서의 분광감도의 곱으로 표현되는 조명의 삼자극치와 그 조명하에서 촬영된 백색 화상으로부터 얻어지는 화상 출력 색 값 간의 선형 변환 관계를 가정하여 그 변환계수를 구하고, 이 변환계수를 다양한 조명에 적용하여 상응하는 카메라 출력 색 값의 색도좌표를 구하고 이 좌표들을 연결하는 경로를 카메라의 조명케체로 한다. 변환계수 k_r, k_g, k_b 는 식 (11)와 식 (12)에 의해 결정된다.

$$R_c = k_{nr} \times R_m = k_{nr} \int E(\lambda) S_w(\lambda) r(\lambda) d\lambda$$

$$G_c = k_{ng} \times G_m = k_{ng} \int E(\lambda) S_w(\lambda) g(\lambda) d\lambda$$

$$B_c = k_{nb} \times B_m = k_{nb} \int E(\lambda) S_w(\lambda) b(\lambda) d\lambda \quad (11)$$

$$k_r = k_{nr}/k_{ng}, k_g = k_{ng}/k_{ng}, k_b = k_{nb}/k_{ng} \quad (12)$$

여기에서 $E(\lambda)$ 는 조명의 분광전력분포, $S_w(\lambda)$ 는 백색 색표의 분광반사도, $r(\lambda), g(\lambda), b(\lambda)$ 는 카메라 센서의 분광감도, 이들의 적분값인 R_m, G_m, B_m 는 조명의 삼자극치라 한다. 또, K_{nr}, K_{ng}, K_{nb} 는 조명의 삼자극치와 그 조명하에서 촬영된 백색 화상으로부터 얻어지는 화상 출력 색의 비례상수이며 식 (11)-(12)에서는 값으로 나누어 조정된 값으로 사용한다. 이 과정에서는 색표의 몸체반사 성분만 고려되었고 광휘점 성분은 없는 경우에 해당한다. R_c, G_c, B_c 는 백색 색표에 대한 선형화된 카메라의 출력 색 값으로 이 값으로부터 구한 r-g 색도좌표를 이하에서 측정된 조명색이라 한다.

Macbeth Light Booth에서 제공되는 인공 일광등 (7500K), 할로겐등(2300K), 표준백열등 A(2856K)의 세 조명을 사용하여 조명별로 변환계수를 구하고, 이 변환계수들의 평균을 조명변환계수라 하며 언급한 세 조명에 의해 결정되는 조명변환계수를 표 1에 나타냈다. 조명변환계수는 조명의 삼자극치로부터 카메라의 해당 조명에 대한 측정된 조명색을 결정하는 변수로, 이 값이 유효한 값으로 구해진다면 실험에 사용되지 않은

많은 다른 조명에 대한 카메라의 측정된 조명색을 예측할 수 있을 것이다. 이 조명변환계수의 실용성 검토를 위해 실험에 사용된 세 조명에 적용하여 예측된 조명색을 구했다. 표 2에서 측정된 조명색과 예측된 조명색을 비교하였다. 오차율은 측정된 조명색을 기준으로 예측된 조명색의 차에 대한 백분율로 나타냈다. 최대 예측오차율이 일광등의 g축으로 2.15% 정도를 나타내고 있으며, 구한 조명변환계수로는 이 정도의 정확도 범위 내에서 분광전력분포를 알고 있는 임의의 조명에 대한 측정된 조명색의 예측이 가능함을 알 수 있다.

표 1. 조명변환계수

Table 1. The illuminant transformation coefficients.

	할로겐등	일광등(D75)	백열등	조명변환계수
k_r	0.822	0.804	0.831	0.819
k_g	1	1	1	1
k_b	1.796	1.694	1.777	1.755

표 2. 조명변환계수를 적용하여 예측된 조명색과 측정된 조명색의 비교

Table 2. Comparisons of the measured illuminant color and the approximated illuminant color obtained by applying the illuminant transformation coefficients.

	측정된 조명색(r,g)		예측된 조명색(r,g)		오차율(%)	
할로겐등	0.3658	0.3303	0.3675	0.3330	0.477	0.8404
일광등	0.1990	0.2831	0.1982	0.2770	0.4083	2.1511
백열등	0.3709	0.3254	0.3750	0.3284	0.5188	0.9165

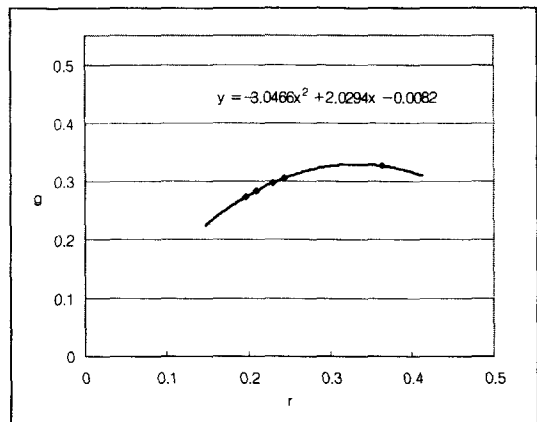


그림 1. 카메라의 조명케체
Fig. 1. Light locus for camera.

구한 조명변환계수를 4종의 일광(D75, D65, D55, D50)과 백열등에 적용하여 색도좌표를 구하고 그 색도좌표로부터 조명의 계적을 근사하여 얻는다. 결과의 조명계적은 최소 자승법에 의한 2차 다항식¹⁷⁾으로 근사되었는데, 그 결과는 $R^2 = 1 - (SSE/SST) = 1 - (\sum(y_i - \hat{y}_i)^2 / (\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2/n)) = 1$ 인 식 (13)과 같고, 그림 1의 계적으로 표현된다.

$$g = -3.0466r^2 + 2.0294r - 0.0082 \quad (13)$$

III. 실험 및 고찰

실험에서는 구해진 카메라의 조명계적과 화상내의 일정한 색을 가진 특정한 물체에서 발생한 광휘점 영역 화소의 색도좌표의 직선근사에 의해 결정되는 직선(이하에서 이러한 직선을 광휘점 선이라 한다)과의 교점이 실제 촬영에 사용된 조명의 색과 어느 정도 일치하는지를 비교하고 제안된 방법의 실효성을 분석해본다. 세 조명하에서 촬영된 화상(그림 2, 4, 6 참조)에서 일정한 색으로 칠해진 서로 다른 색의 세 물체에서 발생한 광휘점 영역의 데이터로부터 직선을 근사(그림 3, 5, 7 참조)하고, 이 직선과 미리 구해 놓은 카메라 조명계적과의 교점을 구하여 추정된 조명색으로 한다. 표 3, 4, 5에서는 세 개의 서로 다른 조명(할로겐, 일광등, 백열등)하에서 촬영된 실제 화상으로부터 추정된 조명색을 측정된 조명색과 비교하여 보여준다. 또한 Lee가 제시한 방법과 유사한 개념을 갖고 있는 각 직선간 교점 평균(각 광휘점 선간의 교점의 평균)도 함께 나타냈다. 본 실험의 결과를 보면, 각 직선간 교점의 평균은 화상에서 조명색을 결정하는 또 다른 고전적인 방법중의 하나이며, 화상처리 분야에서 널리 받아들여지고 있는 화상의 평균 색도를 조명색으로 하는 방법^{18, 9)}에 비해 좀 더 정확한 조명색 추정 방법으로 판단되며, 제안된 방법의 결과도 이 방법과 비교한다.

표 3. 할로겐등하에서 촬영된 한 화상내의 세 플라스틱 물체로부터 추정된 조명색

Table 3. Estimated illuminant color from three plastic objects in an image taken under halogen illuminant.

조명	추정된 조명색(화상전체 평균 색도 : 0.389, 0.313)				측정된 조명색
	오렌지색	노란색	파란색	직선간 교점 평균	
할로겐등	(0.317, 0.329) (0.465, 0.276)	(0.358, 0.328) (0.296, 0.325)	(0.367, 0.336) (0.140, 0.217)	(0.348, 0.324)	(0.368, 0.333)

표 4. 일광등하에서 촬영된 한 화상내의 세 플라스틱 물체로부터 추정된 조명색

Table 4. Estimated illuminant color from three plastic objects in an image taken under daylight D75 illuminant.

조명	추정된 조명색(화상전체 평균 색도 : 0.389, 0.313)				측정된 조명색
	오렌지색	노란색	파란색	직선간 교점 평균	
일광등(D75)	(0.194, 0.271) (0.518, 0.225)	(0.099, 0.163) (0.311, 0.328)	(0.096, 0.159)	(0.161, 0.225)	(0.198, 0.277)

표 5. 백열등하에서 촬영된 한 화상내의 세 플라스틱 물체로부터 추정된 조명색

Table 5. Estimated illuminant color from three plastic objects in an image taken under incandescent A illuminant.

조명	추정된 조명색(화상전체 평균 색도 : 0.389, 0.313)				측정된 조명색
	오렌지색	노란색	파란색	직선간 교점 평균	
백열등	교정없음	(0.206, 0.281) (0.408, 0.313)	(0.397, 0.317) (0.137, 0.213)	(0.394, 0.315)	(0.375, 0.328)

2차 방정식으로 근사된 조명계적의 특성상 일반적인 경우 각 광휘점 선과의 교점은 두 개가 존재하게 된다. 특수한 경우 교점이 하나만 존재할 수도 있고 아예 없을 수도 있고 무수히 많이 존재하는 경우도 있을 수 있다. 표 5의 오렌지색 계란형 플라스틱의 경우가 이러한 특수한 경우의 하나로 그림 7 (a)에서 보는 바와 같이 교점이 존재하지 않는 경우이다. 표 3, 4, 5의 대부분의 추정된 조명색은 두 개의 교점이 발생한 경우에 해당하며, 그 중 하나의 교점을 추정된 조명색으로 결정 가능하다. 추정된 조명색을 단 하나로 결정하는 방법으로 두 교점 중에서 이상적인 백색 색도좌표 ($r=0.333, g=0.333$)와 가까운 점으로 결정하는 방법이 제안 가능하다. 물론, 이 방법은 단 하나의 광휘점 선과 조명계적과의 교점만으로 조명색을 추정하는 경우에 적절한 방법이며, 여러 개의 다른 광휘점 선이 존재하는 경우의 추정된 조명색의 결정에는 각 광휘점 선과 조명계적과의 교점과 각 광휘점 선간의 교점 등이 함께 사용되어야 할 것이다.

추정된 조명색과 측정된 조명색간의 오차정도는 각 조명과 물체에서 서로 다른 결과를 보여주고 있는데, 할로겐등의 경우 노란색 플라스틱과 파란색 플라스틱에서 직선간 교점 평균보다 더 정확한 추정을, 일광등의 경우 오렌지색 플라스틱에서 직선간 교점 평균보다 더 정확한 추정을, 백열등의 경우 파란색 플라스틱에서 직선간 교점 평균과 유사한 정도의 추정오차를 나타내고 있다. 이러한 실험결과는 제안된 방법이 화상내의

단일 광휘점과 조명계적을 이용하여, 동일한 조명하에서 촬영된 다수의 광휘점이 존재하는 화상에서의 직선간 교점 평균에 의해 추정된 조명색과 비슷하거나 좀더 정확한 정도의 조명색 추정이 가능함을 보이고 있다. 이것으로부터 본 연구에 제안된 카메라의 조명계적과 광휘점을 이용한 조명색 추정 방법은 화상으로부터 직접 조명을 추정하는 하나의 방법으로 사용할 만 한 충분한 가치가 있음을 알 수 있다. 특히 화상 내에 광휘점이 하나만 존재하는 경우, 기존의 Klinker^[3] 등에 의해 제안된 방법보다 더욱 확정적인 방법으로 조명색을 추정가능하다. 뿐만 아니라, 다수의 광휘점이 존재하는 경우에는 직선간 교점 평균과 함께 혼합 결정방식에 의한 조명색 추정이 가능하겠다.

실험을 통하여 본 논문에서 제안하고 있는 방법이 하나의 광휘점만이 존재하는 화상으로부터 직접 조명색을 추정하는 조명색 추정 방법으로서의 가능성을 실험적으로 증명해 보였고 또한 이것이 기존의 방식인 2개 이상의 광휘점이 존재하는 영상에 대해서도 광원색 추정 성능 면에서 우수한 특성을 보여주고 있음을 보였다.

실험결과에서 보는 바와 같이, 제안된 조명색 추정 방법으로 특정한 물체에 발생한 광휘점 정보로부터는 부적절한 추정 결과를 얻게 되는 경우도 있었다. 이러한 결과는 조명계적의 추정 결과의 정확도가 영향을 주는 것으로 생각되며, 백열등하의 촬영된 화상에서 오렌지색 플라스틱에 발생한 광휘점에 대한 경우처럼 특수한 오류가 발생하는 것이 그러한 예 (그림 7 참조)이다. 그러나, 이러한 문제는 실제 실험환경에서 다양한 조명을 갖추고 그에 상응하는 조명계적을 직접 구하면 해결될 수 있는 문제로 생각되나 본 논문의 초점은 하나의 광휘점이 존재하는 영상에서도 광원색 추정의 가능성을 보여주는 것이므로, 상품화를 위한 신뢰성 확보 및 검증은 본논문의 연구 범위를 벗어난다.

이와같이 실용적인 방법이 되기 위해서, 앞으로 연구되고 고려되어야 할 사항들이 남아있다. 첫째 자율보행 로봇등과 같이 실시간으로 자동화된 조명색 검출을 요하는 응용분야에서 사용되기 위해서 광휘점 영역의 실시간 자동검출을 위한 병렬 처리 방법 및 하드웨어의 구현 방법이 연구 되어야 하고, 둘째 다수의 광휘점이 존재하는 경우 직선의 교점 평균등과 함께 혼합 방식에 의한 보다 정확한 조명색 결정 방법의 연구와, 셋째 실용화 연구를 위한 실제 다양한 조명 환경에서 카

메라의 조명계적 모델을 보다 정확 하게 추출하고 하나의 광휘점으로부터 좀더 신뢰성 있는 광원 색도를 추출할수 있는 방법 등이 향후의 연구 과제이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 화상으로부터 직접 조명색을 추정하는 방법으로 카메라의 조명계적 모델과 화상내의 광휘점 영역 화소들의 색도좌표의 근사된 직선과의 교점으로 조명색을 결정하는 새로운 방법을 제안했다. 본 방법은 화상으로부터 직접 조명색을 구하는 경우, 조명색 추정시점에 카메라의 조명에 대한 특성을 사전 정보로 제공하여 좀 더 정확한 조명색 추정이 가능케 했으며, 화상내의 광휘점 영역이 하나라도 존재하면 조명색 추정이 가능토록 하는데 그 의의가 있다. 본 방법을 이용하면 화상 내에 뚜렷한 광휘점 영역이 하나만 존재하는 경우이라도 조명색의 추정이 가능하다.

실험을 통하여 본 논문에서 제안하고 있는 방법이 하나의 광휘점만 존재하는 화상에서도 직접 조명색을 추정하는 방법으로서의 실험을 통해 가능성을 검증하였다. 또한 2개 이상의 광휘점이 존재하는 영상에 대해서도 기존의 방식 보다 광원색 추정 성능면에서 우수한 특성을 보여주고 있음을 보였다. 다수의 광휘점이 존재하는 경우에는 기존 광휘점 정보만을 이용하는 방법에서의 불 확실성을 배제할 수 있는 하나의 기준으로 조명계적 모델을 이용함으로써 더욱 정확한 조명색 추정이 가능함을 보였다.

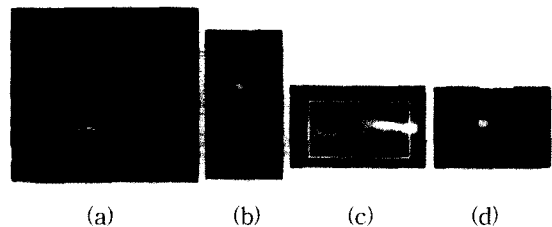
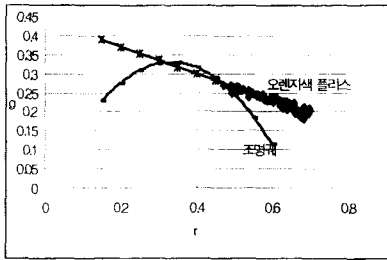
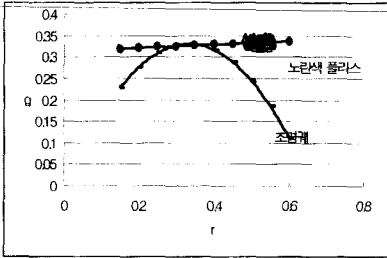


그림 2. 할로겐등하에서 촬영된 전체 화상의 축소화사 (a), 화상 내에서 선택된 오렌지색(b), 노란색 (c), 파란색(d) 플라스틱 물체와 그 물체 내에서 선택된 광휘점 영역(흰 사각형 내부)

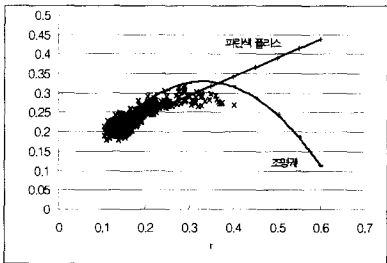
Fig. 2. Resampled image of original image taken under halogen illuminant(a), orange colored plastic(b), yellow colored platstic(c), and blue colored plastic(d) objects marked white rectangle surrounding highlight in the image.



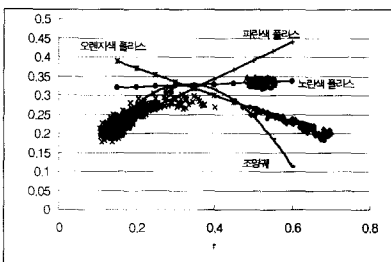
(a)



(b)



(c)



(d)

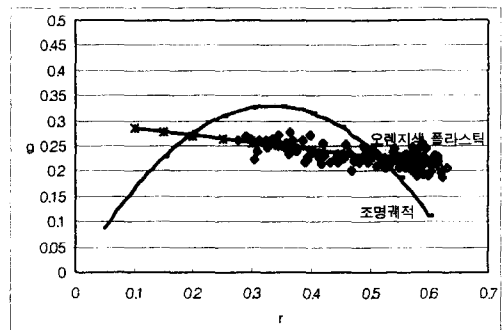
그림 3. 조명계적과 할로겐등에 대한 오렌지색 플라스틱의 광휘점 선과의 교점(a), 노란색 플라스틱의 광휘점 선과의 교점(b), 파란색 플라스틱의 광휘점 선과의 교점(c), 조명계적과 세 플라스틱의 광휘점 선과의 교점(d)

Fig. 3. Intersection of light locus and the highlight line of the orange colored plastic(a), and the highlight line of the yellow colored plastic(b), and the highlight line of the blue colored plastic(c), Intersection of light locus and the highlight line of three plastic(d) for halogen ill.

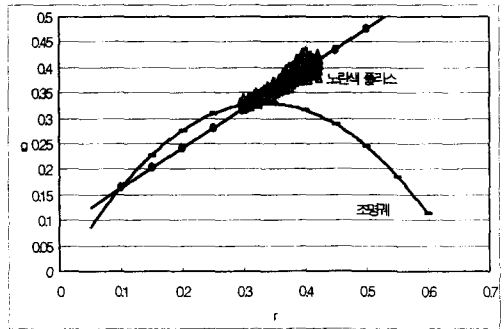


그림 4. 일광등(D75)하에서 촬영된 전체 화상의 축소 화상(a), 화상 내에서 선택된 오렌지색(b), 노란색(c), 파란색(d) 플라스틱 물체와 그 물체 내에서 선택된 광휘점 영역(흰 사각형 내부)

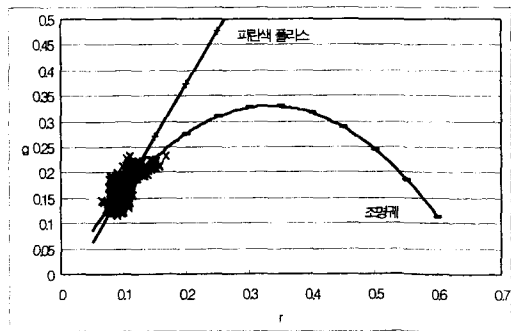
Fig. 4. Resembled image of original image taken under daylight(D75) illuminant(a), orange colored plastic(b), yellow colored plastic(c), and blue colored plastic(d) objects marked white rectangle surrounding highlight in the image.



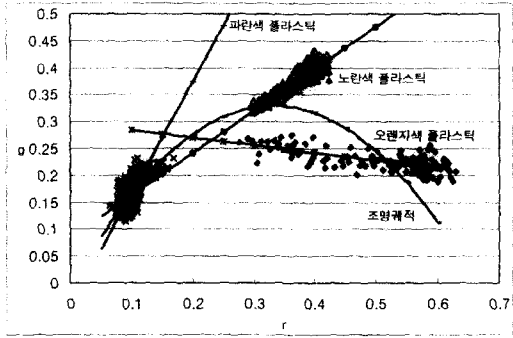
(a)



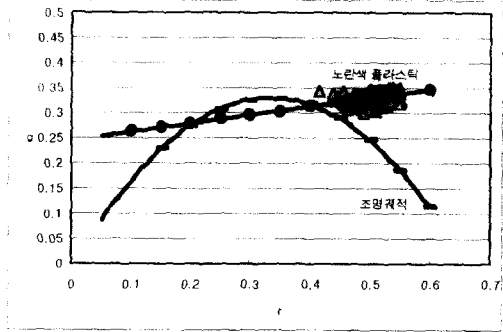
(b)



(c)



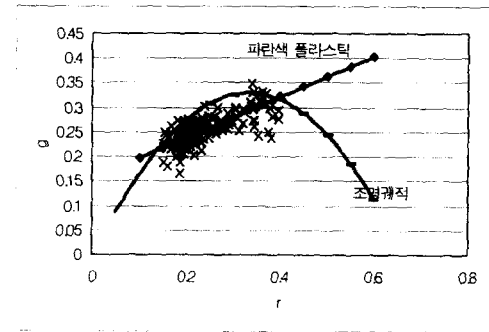
(d)



(b)

그림 5. 조명궤적과 일광등에 대한 오렌지색 플라스틱의 광휘점 선과의 교점(a), 노란색 플라스틱의 광휘점 선과의 교점(b), 파란색 플라스틱의 광휘점 선과의 교점(c), 조명궤적과 세 플라스틱의 광휘점 선과의 교점(d)

Fig. 5. Intersection of light locus and the highlight line of the orange colored plastic(a), and the highlight line of the yellow colored plastic(b), and the highlight line of the blue colored plastic(c), Intersection of light locus and the highlight line of three plastic(d) for daylight ill.

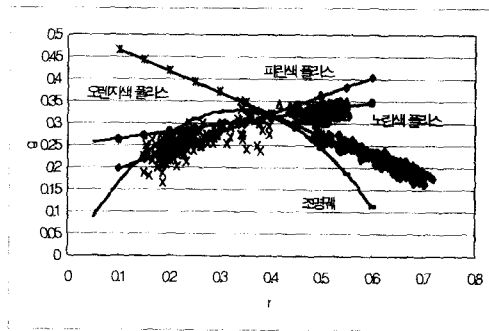


(c)

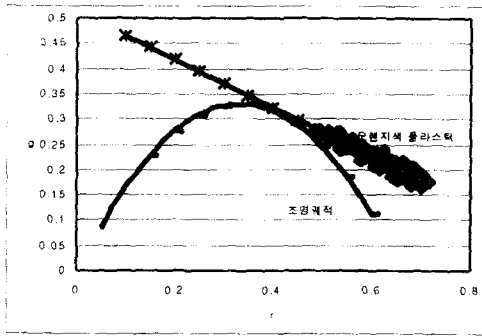


그림 6. 백열등하에서 촬영된 전체 화상의 축소화상 (a), 화상 내에서 선택된 오렌지색(b), 노란색(c), 파란색(d) 플라스틱 물체와 그 물체 내에서 선택된 광휘점 영역(흰 사각형 내부)

Fig. 6. Resampled image of original image taken under Incandescent A illuminant(a), orange colored plastic(b), yellow colored plastic(c), and blue colored plastic(d) objects marked white rectangle surrounding highlight in the image.



(d)



(a)

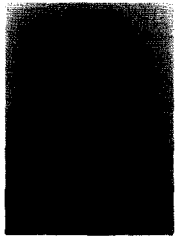
그림 7. 조명궤적과 백열등에 대한 오렌지색 플라스틱의 광휘점 선과의 교점(a), 노란색 플라스틱의 광휘점 선과의 교점(b), 파란색 플라스틱의 광휘점 선과의 교점(c), 조명궤적과 세 플라스틱의 광휘점 선과의 교점(d)

Fig. 7. Intersection of light locus and the highlight line of the orange colored plastic(a), and the highlight line of the yellow colored plastic(b), and the highlight line of the blue colored plastic(c), Intersection of light locus and the highlight line of three plastic(d) for Incandescent A ill..

참고 문헌

- [1] Glenn E. Healey, Steven A. Shafer, and Lawrence B. Wolff, *Physics-Based Vision: Principles and Practice*, COLOR, Jones and Bartlett Publishers, pp. 43-51, 1992.
- [2] Steven A. Shafer, "Using Color to Separate Reflection Components", *Color Research and Application*, vol. 10 no. 4, pp. 210-218, 1985.
- [3] Gudrun J. Klinker, Steven A. Shafer, and Takeo Kanade, "The Measurement of Highlights in Color Images", *International Journal of Computer Vision*, vol. 2, no. 1, pp. 7-32, 1989.
- [4] G. Wyszecki and W.S. Stiles, *Color Science*, 2nd ed., Wiley, New York, pp. 121-147, 1982.
- [5] 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.
- [6] C. Y. Kim, "Chromaticity Constancy for three dimensional objects", Samsung Advanced Institute of Technology, Technical Report, IPS/SPL TR-CYK97, SAIT, 1997.
- [7] Ronald E. Walpole and Raymond H. Myers, *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, Fourth Edition, Macmillan Publishing, New York, pp. 401-426, 1985.
- [8] 裴成鎬,金正燁,權甲鉉,河永浩, "칼라 항상성에 기초한 칼라영상 향상", *電子工學會論文誌*, 第30卷, 第5號, pp. 103-108, 1993年 3月
- [9] D. D'Zmura and P. Lennie, "Mechanisms of color constancy", *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. A, vol. 3, no.10, pp. 1662-1672, 1986.

저자 소개



朴斗植(正會員)

1991년 영남대학교 전자공학과(학사). 1998년~현재 포항공과대학교 정보통신학과(석사과정). 1991년~현재 삼성종합기술원 신호처리 Lab. 전문연구원. 주 관심 분야 칼라 이미징(칼라 보정/매칭), 컴퓨터비전(삼차원 복원), 영상이해

원 복원), 영상이해



徐亮錫(正會員)

1973년 서울대 전자과 졸업. 1990년 펜실베니아 주립대 박사. 현재 삼성종합기술원 상무. 연구 관심분야 칼라처리, 영상/오디오 신호 압축, 칼라 비전, 영상이해



金昌容(正會員)

1987~현재 삼성종합기술원 신호처리 랩 근무. 연구 관심분야 칼라기 색보정/색처리, color constancy, 물체 인식, 객체 추출, 칼라 영상처리, human visual perception, 칼라 계측. 1984 항공대 졸업, 1987 KAIST 석사, 1998년 KAIST 박사

석사, 1998년 KAIST 박사