

# 다중 광원에서의 디지털 카메라 특성화 방법

윤창락\*, 조맹섭\*

\*한국전자통신연구원 컴퓨터소프트웨어기술연구소  
영상처리연구부 칼라이미징연구팀  
e-mail : {cryoon, choms}@etri.re.kr

## Digital Camera Characterization Method under Multiple Illuminants

Chang-Rak Yoon\*, Maeng-Sub Cho\*

\*Color Imaging Research Team, Image Processing Research Dept.,  
Computer Software Technology Research Lab., ETRI

### 요 약

디지털 카메라(Digital Camera)와 같은 휴대형 영상 입력 장치(Portable Image Input Device)는 스캐너(Scanner)와 달리 3 차원의 피사체(Object)를 디지털 영상으로 생성할 수 있고 다양한 조명 환경(Illuminant)에서 사용할 수 있다는 이유로 많은 응용 분야에서 활발하게 사용되고 있다. 그러나, 정확한 색 재현(Color Reproduction)을 위한 기존의 디지털 카메라 특성화 방법(Digital Camera Characterization Method)은 생성된 영상의 조명 정보를 고려하지 않은 상태에서 색 변환 행렬을 생성하므로 다양한 조명 환경 변화에 대해 적응적으로 대처하지 못하는 단점이 있다. 본 논문에서는 디지털 카메라가 생성하는 영상의 rgb 색도를 이용하여 색도 평면에 색도 다각형(Chromaticity Polygon)을 구성하고 각 색도 다각형들간의 포함 관계에 따라 조명 정보를 평가함으로써 조명색(Illuminant Color)의 변화에 따른 인간 시각 시스템(Human Visual System)의 색 불변성(Color Constancy)을 재현할 수 있는 디지털 카메라 특성화 방법을 제안한다.

### 1. 서론

컴퓨터와 이미지 프로세싱 기술의 급속한 발전으로 디지털 영상은 많은 응용 분야에서 사용되고 있으며, 디지털 카메라는 스캐너, 필름 레코더 등의 다른 영상 입력 장치와는 달리 3 차원 피사체를 디지털 영상화하는 데 사용된다[1]. 그러나, 디지털 카메라에 의해 획득된 디지털 영상의 RGB 색 신호는 각 디지털 카메라의 RGB 센서의 특성에 따라 서로 다른 값들을 생성하며 색 운영 시스템(Color Management System)의 프로파일 연결 색 공간(Profile Connection Color Space)인 CIE XYZ 색 공간과는 비선형적인 관계를 가지므로 RGB 색 신호를 CIE XYZ 색 공간으로 변환하는 방법이 필요하다[2-3]. 그러나, 기존의 디지털 카메라 특성화 방법은 가변적인 영상의 조명 정보에 적응적으로 대처하지 못한다는 단점이 있었다. 따라서, 본 논문에서는 인간 시각 시스템(Human Visual System)의 색 불변성(Color Constancy)을 지원하기 위해 디지털

카메라가 생성하는 영상의 rgb 색도를 이용하여 색도 평면에 색도 다각형(Chromaticity Polygon)을 구성하고 각 색도 다각형들간의 포함 관계에 따라 조명 정보를 평가하고 평가된 조명 정보를 이용하여 디지털 카메라 색 변환 행렬을 구성하는 다중 광원에서의 디지털 카메라 특성화 방법을 제안한다.

### 2. rgb 색도를 이용한 조명 정보 평가 방법

색 실현 모델(Color Appearance Model)은 영상에 대한 정확한 조명 정보가 제공될 때 신뢰성있는 색을 재현할 수 있다. 영상 입력 장치는 조명의 색 특성에 따라 같은 피사체에 대해 다른 색 정보를 가지는 영상을 생성한다. 이는 다양한 조명색의 변화에 대해 색 불변성을 가지는 인간 시각 시스템과는 다른 특성이 다. 예를 들어, 인간 시각 시스템은 흰색에 대해 여러 다양한 조명색을 가지는 환경에서도 같은 흰색으로 인식하지만, 디지털 카메라와 같은 영상 입력 장치는

서로 다른 색 정보를 가지는 영상을 생성한다. 따라서, 색 불변성이 부족한 영상 입력 장치를 이용하여 획득한 영상은 색 실현 모델을 이용하여 영상을 변환하는데 많은 문제점을 가진다.

색 과학(Color Science) 분야에서 영상의 백색점(White Point)을 추출하여 조명 정보를 평가하려는 많은 연구가 시도되었다. Land[4]는 영상의 모든 픽셀들의 평균 색(Average Color)을 계산하여 회색(Gray)의 평균색 값을 획득하고 획득된 평균색을 백색점의 색도로 계산하는 방법을 제안했다. 또한, Land[5]는 영상의 적색(Red), 녹색(Green), 청색(Blue)의 각 채널별로 최대값을 이용하여 백색점을 계산하는 방법도 제안했다. Maloney[6]는 백색점 평가 방법을 방정식 해법(Equation Solving)을 통해 정형화했다. 반대로, Funt[7]는 영상의 물리적 특성을 조사하여 백색점을 평가하였다. 그러나, 이러한 방법들은 영상의 평균색이 항상 회색으로 나타나지 않으며, 영상의 물리적 특성의 다양성, 관계 행렬의 비연속적인 구간 설정 등의 이유로 항상 좋은 평가 결과를 보이지는 않는다. 본 논문에서는 연속적인 색도 평면에서 영상의 색도 분포를 이용하여 조명 정보를 평가함으로써 이러한 문제점들을 해결하고자 한다.

영상 입력 장치로부터 획득된 RGB 영상의 모든 픽셀은 각 채널별로 0에서 N까지의 임의의 정수값을 가진다. 본 논문에서는 RGB 영상을 rgb 색도 영상으로 변환하기 위하여 RGB 영상의 모든 픽셀에 대해 식 1을 사용한다.

$$r(x,y) = R(x,y) / (R(x,y)+G(x,y)+B(x,y)) \quad \text{식 1}$$

$$g(x,y) = G(x,y) / (R(x,y)+G(x,y)+B(x,y))$$

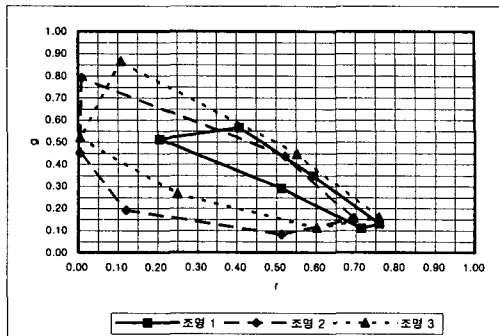
$$b(x,y) = B(x,y) / (R(x,y)+G(x,y)+B(x,y))$$

식 1에서  $R(x,y)$ ,  $G(x,y)$ ,  $B(x,y)$ 는 RGB 영상의  $(x,y)$  위치에서의 각 채널별 정수값이고,  $r(x,y)$ ,  $g(x,y)$ ,  $b(x,y)$ 는 rgb 색도 영상의  $(x,y)$  위치에서의 각 색도별 실수값이다. 식 1을 이용하여 생성된 rgb 색도 영상의 모든 픽셀값은 0에서 1사이의 실수값을 가진다. rgb 색도 값을 이용하여 r-g 색도 평면, g-b 색도 평면, b-r 색도 평면을 구성할 수 있다. rgb 색도 영상의 픽셀의 색도 값을 색도 평면에 표시하면 두 색도 좌표의 색도 값의 합이 1이 넘지 않는 범위내에 분포하게 된다.

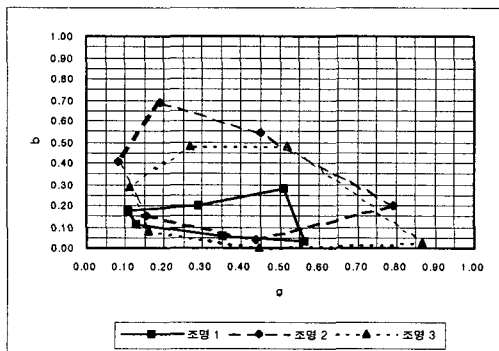
일반적으로 조명 정보의 색도는 백색점을 기준으로 평가할 수 있다. 그러나, 영상 입력 장치를 이용하여 획득된 영상은 피사체가 가지는 색의 다양성때문에 백색점을 추출하는 것이 어렵다. 이러한 경우, 영상의 모든 픽셀에 대해 색도를 계산하고 각 색도간의 상관관계를 이용하여 영상에 대한 조명 정보를 평가할 수 있다.

본 논문에서는 미리 정의된 3개의 조명 환경에서 임의의 영상 입력 장치를 이용하여 채도가 높은 기준색 샘플들의 RGB 영상을 획득하고, 획득된 3개의 기준색 RGB 영상의 모든 픽셀들에 대해 식 1을 이용하여 3개의 기준색 rgb 색도 영상을 생성하였다. 변환된 3개의 기준색 색도 영상의 모든 픽셀을 r-g 색

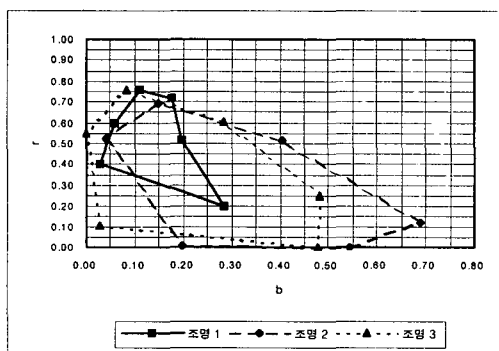
도 평면, g-b 색도 평면, b-r 색도 평면에 표시할 때, 각 색도 평면에 대해 3개의 기준색 rgb 색도 영상은 그림 1과 같은 기준색 색도 다각형을 갖는다.



(a) r-g 색도 평면에서의 기준색 색도 다각형



(b) g-b 색도 평면에서의 기준색 색도 다각형

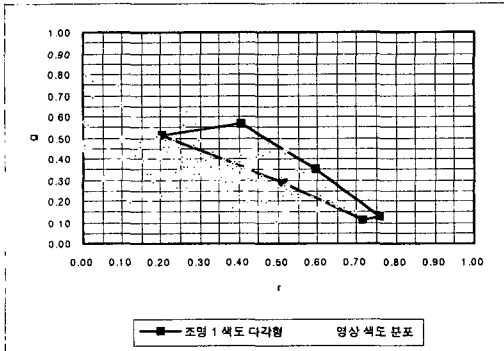


(c) b-r 색도 평면에서의 기준색 색도 다각형

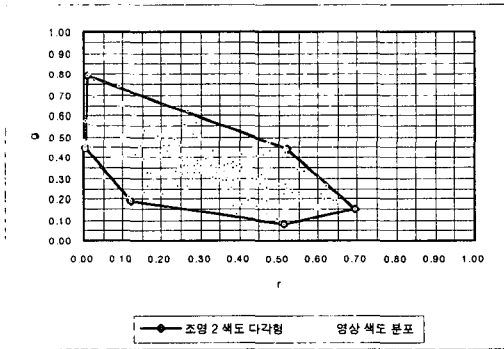
그림 1. 색도 평면에서의 기준색 색도 다각형

그림 1에서 서로 다른 조명 환경에서 획득된 기준색 샘플들의 색도 다각형은 색도 평면에서 서로 다른 영역에 분포한다. 기준색 샘플들은 색 샘플들 중 채도가 높은 색으로 구성되므로, 동일한 영상 입력 장치에서 획득되는 영상들의 색도값은 기준색 색도 다각형내에 분포하게 된다. 따라서, 영상 입력 장치로부터

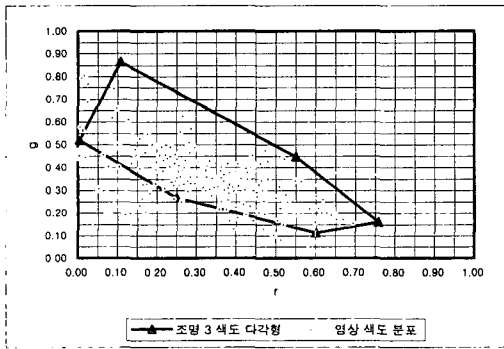
획득된 입의의 영상을 색도 영상으로 변환하고 색도 영상의 모든 픽셀의 색도값을 색도 평면에 분포시켜 미리 정의된 기준색 색도 다각형 내에 포함되는 정도를 계산하여 영상의 조명 정보를 평가할 수 있다. 그림 2는 조명 2 환경에서 획득된 입의의 영상을 색도 영상으로 변환하고 색도 영상의 모든 픽셀들의 색도값을 r-g 색도 평면에 분포시켜 각 조명에서의 기준색 색도 다각형과의 분포 포함 관계를 도식화하였다.



(a) 영상 색도 분포와 조명 1 기준색 색도 다각형



(b) 영상 색도 분포와 조명 2 기준색 색도 다각형



(c) 영상 색도 분포와 조명 3 기준색 색도 다각형

그림 2. r-g 색도 평면에서의 영상 색도 분포와 각 조명의 기준색 색도 다각형 비교  
그림 2에서 보듯이 조명 2 환경에서 획득된 영상

의 색도 분포는 조명 1 과 조명 3 의 기준색 색도 다각형에는 완전히 포함되지 않고 조명 2 의 기준색 색도 다각형 내에 포함됨을 알 수 있다. 따라서, 실험 영상의 조명 정보는 조명 2 이고, 백색점 보정, 색 재현 모델 등의 입력 정보로 사용될 수 있다.

### 3. 조명 정보를 이용한 디지털 카메라 특성화 방법

컴퓨터와 이미지 프로세싱 기술의 급속한 발전으로 디지털 영상은 많은 응용 분야에서 사용되고 있으며, 디지털 카메라는 스캐너, 필름 레코더 등의 다른 영상 입력 장치와는 달리 3 차원 피사체를 디지털 영상화 하는 데 사용된다. 그러나, 디지털 카메라에 의해 획득된 영상은 디지털 카메라의 서로 다른 하드웨어 특성에 따라 장치 의존적(Device Dependent) 특성을 보인다. 또한, 디지털 카메라가 생성하는 RGB 색 신호는 프로파일 연결 색 공간인 CIE XYZ 색 공간과는 비선형적인 관계를 가지므로 RGB 색 신호를 CIE XYZ 색 공간으로 변환하는 방법이 필요하다. 따라서, 높은 색 신뢰도(Color Fidelity)를 필요로 하는 응용 분야에서는 디지털 카메라의 RGB 색 신호를 CIE XYZ 색 공간으로 변환하는 작업이 필요하며, 이는 일반적으로 LUT(Look-Up Table)를 이용한 방법, 분광 반사값(Reflectance Distribution)을 이용한 방법, 다중 회귀 분석(Multiple Regression Analysis)을 이용한 방법 등으로 이루어진다. LUT를 이용한 방법은 높은 색 신뢰도를 보장하지만 많은 수의 기준 색 샘플을 필요로 하므로 일반적으로 영상 입력 장치의 색 변환 방법으로 사용되지 않는다. 또한, 분광 반사값을 이용한 방법은 메타머리즘(Metamerism)을 최소화 할 수 있지만, 높은 색 신뢰도를 확보하기 힘든 단점이 있다. 본 논문에서는 위의 세 가지 방법 중 다중 회귀 분석을 이용하여 디지털 카메라의 색 변환 행렬(Color Transfer Matrix)을 구하여 그 색 변환 행렬을 이용한 색 신뢰도를 평가하였다. 또한, rgb 색도를 이용한 조명 평가 방법을 이용하여 조명에 적응적인 색 변환 방법을 제안하였다.

일반적인 디지털 카메라의 사용 환경은 스캐너, 필름 레코더 등의 다른 영상 입력 장치와는 다르게 조명, 노출 시간, 필터, 렌즈 등의 사용 유무 및 그 특성으로 인해 가변적이다. 따라서, 가변적인 조명, 노출 시간, 필터, 렌즈 등을 실험 기간 동안 고정시킬 필요가 있으며, 렌즈와 조명의 비균일성(Non-uniformity)을 구간별 보정법을 이용하여 보정할 필요가 있다. 이러한 디지털 카메라의 실험 환경은 RGB 색 신호를 획득하는 동안 지속적으로 고정되어야 한다. 본 논문에서는 디지털 카메라의 색 변환 행렬을 구하는 데 식 2의 수식을 사용하였다.

$$a = (VV^T)^{-1}VX \quad \text{식 2}$$

식 2에서 행렬  $a$ 는 구하고자 하는 색 변환 행렬이고, 벡터  $X$ 는 기준 색 샘플의 CIE XYZ 값이며, 벡터  $V$ 는 기준 색 샘플의 RGB 이다. 식 2에서 벡터  $V$ 는  $[R \ G \ B \ RG \ GB \ BR \ R^2 \ G^2 \ B^2 \ 1]^T$  의 2차

다항식 벡터를 사용하였다.

기존의 디지털 카메라 특성화 방법은 생성된 영상의 조명 정보를 고려하지 않은 상태에서 영상 변환을 수행하므로 다양한 조명 환경 변화에 대해 적응적으로 대처하지 못하는 단점이 있다. 본 논문에서는 디지털 카메라가 생성하는 영상의 rgb 색도를 이용하여 색도 평면에 색도 다각형(Chromaticity Polygon)을 구성하고 각 색도 다각형들간의 포함 관계에 따라 조명 정보를 평가함으로써 조명색(Illuminant Color)의 변화에 따른 인간 시각 시스템(Human Visual System)의 색 불변성(Color Constancy)을 재현할 수 있는 디지털 카메라 특성화 방법을 제안한다. 그림 3은 본 논문에서 제안한 rgb 색도를 이용한 조명 평가 방법을 이용하여 영상의 조명을 평가하고 평가된 조명 정보를 이용하여 적응적으로 디지털 카메라의 색 변환 행렬을 구성하는 방법을 나타낸다.

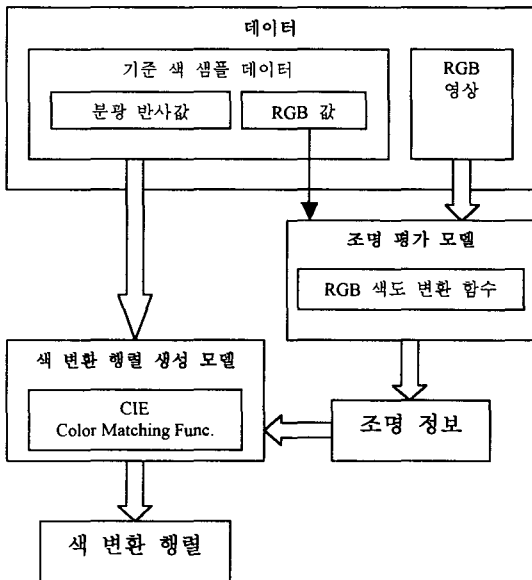


그림 3. 다중 조명에서의 디지털 카메라 특성화 방법

그림 3에서 디지털 카메라가 생성하는 영상의 조명 정보는 기준 색 샘플의 RGB 값과 영상의 픽셀값을 이용하여 조명 평가 모델에서 색도 평면에서의 색 다각형간의 포함 관계에 따라 평가할 수 있다. 평가된 영상의 조명 정보는 색 변환 행렬 생성 모델에 조명 정보로써 사용되며 색 변환 행렬 생성 모델은 기준 색 샘플의 분광반사값을 CIE 색 정합 함수(Color Matching Function)를 이용하여 평가된 조명에서의 CIE XYZ 값으로 변환하고 다중 회귀 분석법을 이용하여 색 변환 행렬을 생성한다. 본 논문에서 제안한 다중 조명에서의 디지털 카메라 특성화 방법으로 생성된

색 변환 행렬은 표 1의 성능을 보인다.

표 1. 각 조명의 색 변환 행렬 성능 (단위: CMC<sub>1:l</sub>)

	평균 색 재생 오차	최대 색 재생 오차	중간 색 재생 오차	95% 색 재생 오차
조명 1	4.0	24.9	3.3	8.6
조명 2	3.4	18.7	3.1	6.0
조명 3	3.4	18.2	3.0	7.1

표 1에서 각 조명의 색 변환 행렬은 비슷한 색 오차를 가지며 이는 정확한 조명 정보를 이용하여 색 변환을 수행하였음을 의미한다. 또한, 3.4에서 4.0 사이의 평균 색 재생 오차는 색 변환 행렬 모델의 다항식을 조정함으로써 더 낮은 색 재생 오차로 성능을 향상시킬 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 디지털 카메라로부터 획득된 영상을 rgb 색도 영상으로 변환하고, 각 조명에 대한 기준 색도 다각형을 이용하여 rgb 색도 영상의 색도 좌표에서의 분포도와 기준 색도 다각형과의 포함 관계를 조사하여 영상의 조명 정보를 평가하고 평가된 영상의 조명 정보를 이용하여 다중 광원에서의 적응적인 색 변환 행렬을 획득하는 디지털 카메라 특성화 방법을 제안하였다.

본 논문에서 제안한 조명 정보 평가 방법은 다른 조명 정보 평가 방법에 비해 더 나은 성능을 보이며, 평가 절차가 단순하고 확장이 용이한 장점을 가진다. 또한, 다중 조명에서의 디지털 카메라 특성화 방법은 조명의 변화에 대해 적응적으로 색 변환 행렬을 생성하여 신뢰성있는 색 재현을 보장한다.

#### 참고문헌

- [1] Cho, M. S., Biological Object Representation for Identification, Ph. D. Thesis, Loughborough Univ., of Tech., 1992.
- [2] Tony Johnson, "Methods for characterizing colour scanners and digital cameras," Displays, Vol. 16, No. 4, 1996.
- [3] Henry R. Kang, "Color Scanner Calibration," J. of Imaging Science and Technology, Vol. 36, No. 2, 1992.
- [4] E. H. Land, "Recent Advances in Retinex Theory," Vision Research, Vol. 26, pp. 7-21, 1986
- [5] E. H. Land, "The Retinex Theory of Color Vision," Scientific American, pp. 108-129, 1977
- [6] L. T. Maloney and B. A. Wandell, "Color Constancy: A Method for Recovering Surface Spectral Reflectance," J. of Opt., pp. 29-33, 1986
- [7] B. V. Funt, M. S. Drew and J. Holm, "Color Constancy from Mutual Reflection," IJCV, Vol. 6, pp. 5-24, 1991