

다중회귀분석법을 이용한 스튜디오형 디지털 카메라 칼라 보정

윤창락, 조맹섭

한국전자통신연구원, 컴퓨터/소프트웨어기술연구소
가상현실연구개발센터, 칼라이미징연구팀

Studio Digital Camera Characterization by Using Multiple Regression Analysis Method

Chang-Rak Yoon and Maeng-Sub Cho
Color Imaging Team, VR R&D Center,
CST Lab., ETRI

요 약

디지털 카메라에 의해 획득된 RGB 칼라 신호는 디지털 카메라의 하드웨어적인 특성에 따라 서로 다른 값을 가지는 장비 의존적(Device Dependent) 특성을 가지며, 칼라 운영 시스템(CMS: Color Management System)이 프로파일 연결 칼라 공간(PCS: Profile Connection Space)으로 사용하는 CIE XYZ 칼라 공간에 대해 비선형적인 특성을 가진다. 본 논문에서는 디지털 카메라의 RGB 칼라 신호를 장비 독립적(Device Independent)인 CIE XYZ 칼라 공간으로 변환하는 변환 행렬을 구하는 방법을 제안한다. 변환 행렬은 비선형 다항식을 이용하여 $3 \times m$ 의 변환 행렬을 구하고, 실험에 사용되는 칼라 샘플의 수에 따른 일반화(Generalization) 성능을 평가한다.

1 서 론

컴퓨터와 이미지 프로세싱 기술의 급속한 발전으로 디지털 이미지는 많은 응용 분야에서 사용되고 있으며, 디지털 카메라는 스캐너, 필름 레코더 등의 다른 입력 장비와는 달리 3차원 피사체를 디지털 이미지화 하는데 사용된다[1]. 그러나, 디지털 카메라에 의해 획득된 디지털 이미지의 RGB 칼라 신호는 각 디지털 카메라의 RGB 센서의 특성에 따라 서로 다른 값들을 생성한다. 이를 디지털 카메라의 장비 의존적 특성이라 한다. 또한, 디지털 카메라가 생성하는 RGB 칼라 신호는 칼라 운영 시스템의 프로파일 연결 칼라 공간인 CIE XYZ 칼라 공간과는 비선형적인 관계를 가지므로 RGB 칼라 신호를 CIE XYZ 칼라 공간으로 변환하는 방법이 필요하다[2-3]. 따라서, 높은 칼라 신뢰도(Color Fidelity)를 필요로 하는 응용 분야에서는 디지털 카메라의 RGB 칼라 신호를 CIE XYZ 칼라

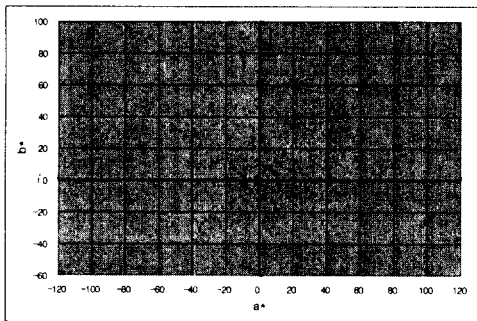
공간으로 변환하는 작업이 필요하며, 이는 일반적으로 LUT(Look-Up Table)를 이용한 방법, 분광반사값(Reflectance Distribution)을 이용한 방법, 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)을 이용한 방법 등으로 이루어진다. LUT를 이용한 방법은 높은 칼라 신뢰도를 보장하지만 많은 수의 칼라 샘플을 필요로 하므로 일반적으로 입력 장비의 칼라 변환 방법으로 사용되지 않는다. 분광반사값을 이용한 방법은 메타메리즘(Metamerism)을 최소화 할 수 있지만, 높은 칼라 신뢰도를 확보하기 힘든 단점이 있다[2-4].

본 논문에서는 위의 세 가지 방법 중 다중회귀분석을 이용하여 스튜디오형 디지털 카메라의 칼라 변환 행렬을 구하여 그 칼라 변환 행렬을 이용한 칼라 신뢰도를 평가하고, 칼라 샘플들의 수에 따른 일반화 및 칼라 변환에 영향을 미치는 요소들에 대해 평가하고 분석한다.

2 디지털 카메라 특성화

일반적인 디지털 카메라의 사용 환경은 칼라 스캐너, 필름 레코더 등의 다른 입력 장비와는 다르게 조명, 노출 시간, 필터, 렌즈 등의 사용 유무 및 그 특성으로 인해 가변적이다. 그러나, 본 논문에서는 그 대상을 스튜디오형 디지털 카메라로 한정시키고 가변적인 조명, 노출 시간, 필터, 렌즈 등을 실험 기간 동안 고정시킨다. 또한, 렌즈와 조명의 비균일성(Non-uniformity)을 구간별 보정법을 이용하여 보정하였다. 이러한 스튜디오형 디지털 카메라의 실험 환경은 RGB 칼라 신호를 획득하는 동안 지속적으로 고정되어야 한다.

본 논문에서는 특성화 대상으로 스튜디오형 디지털 카메라를 이용하였고, 측색 장비로는 X-Rite 938 Spectrodensitometer를 사용하였다. 또한, 실험에 사용한 칼라 샘플로는 ANSI IT8.7/2를 사용하였다. ANSI IT8.7/2는 288개의 칼라 샘플로 이루어져 있으며, CIE L*a*b* 칼라 공간에서 균일한 분포를 가진다. [그림 1]은 실험에 사용한 ANSI IT8.7/2의 칼라 분포도이다.



[그림 1] ANSI IT8.7/2 의 칼라 분포도

본 논문에서는 디지털 카메라의 칼라 변환 행렬을 구하는 데 [식 1]의 수식을 사용하였다.

$$a = (VV^T)^{-1}VX \tag{식 1}$$

[식 1]에서 행렬 a 는 구하고자 하는 변환 행렬이고, 벡터 X 는 측색기를 이용하여 측색한 ANSI IT8.7/2의 CIE XYZ 칼라값이며, 벡터 V 는 디지털 카메라로부터 획득한 ANSI IT8.7/2의 RGB 칼라값이다. [식 1]에서 벡터 V 는 [식 2]와 같이 4가지 방법으로 구성하였다.

$$\begin{aligned} V_1 &= [R \ G \ B]^T & \text{[식 2]} \\ V_2 &= [R \ G \ B \ 1]^T \\ V_3 &= [R \ G \ B \ RG \ GB \ BR \ R^2 \ G^2 \ B^2]^T \\ V_4 &= [R \ G \ B \ RG \ GB \ BR \ R^2 \ G^2 \ B^2 \ 1]^T \end{aligned}$$

[식 2]에서 V_1 은 일반적인 선형 다항식이고, V_2 는 V_1 에 흑색(Black)항을 삽입한 식이다. V_3 는 2차 다항식이며, V_4 는 V_3 에 흑색항을 삽입한 식이다. V_1 과 V_2 는 선형 관계를 표현하며 변환 행렬은 다중회귀분석을 이용하여 획득한다.

3 실험 및 결과 분석

본 논문에서는 [식 2]의 RGB 벡터를 이용하여 생성한 4개의 변환 행렬의 성능을 평가하기 위한 실험 A와, 적정한 모델링 데이터의 수를 획득하여 모델의 일반화를 평가하기 위한 실험 B를 수행하였다.

실험 A는 ANSI IT8.7/2의 288개 칼라 샘플을 사용하여 변환 행렬을 생성하고, 변환 행렬의 성능을 분석하기 위해 ANSI IT8.7/2의 288개 칼라 샘플을 사용하였다. 실험 B는 ANSI IT8.7/2의 288개 칼라 샘플 중 칼라 공간의 모양 및 범위를 고려한 24개, 33개, 42개, 60개, 96개의 칼라 샘플을 이용하여 실험 A에서 가장 높은 칼라 신뢰도를 가지는 변환 행렬을 생성하는 데 사용하고, 나머지 192개의 칼라 샘플을 생성된 변환 행렬의 일반화를 평가하기 위해 사용하였다. [표 1]은 실험 A의 결과이며 [표 2]는 실험 B의 결과이다.

[표 1] 실험 A의 칼라 재생 오차

벡터 V (RGB composition)	Average	Max.	Median
V_1	2.62	11.11	2.25
V_2	2.91	19.24	2.10
V_3	1.72	12.96	1.24
V_4	1.77	10.11	1.21

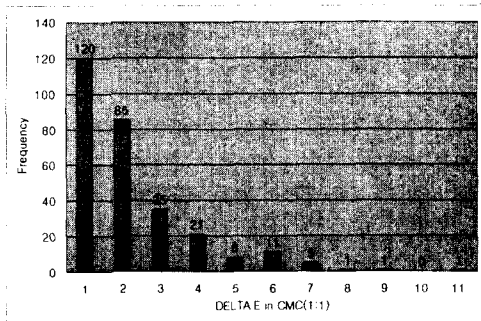
[표 2] 실험 B의 칼라 재생 오차

# of samples	Average	Maximum	Median
24	2.67	12.15	1.95
33	2.45	10.99	1.76
42	2.16	9.75	1.56
60	1.82	8.79	1.38
96	1.73	9.88	1.32

[표 1]에서 실험 A는 V_4 를 사용한 변환 행렬이 평균 칼라 재생 오차 DELTA E 1.77의

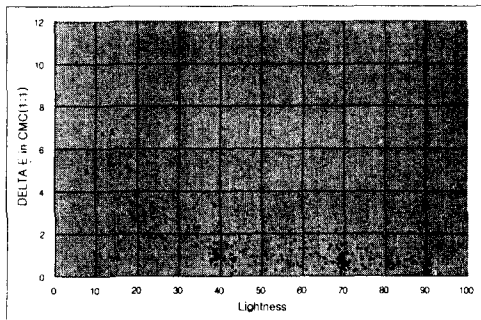
높은 칼라 신뢰도를 가진다. V_3 를 이용한 변환 행렬은 평균 칼라 재생 오차는 DELTA E 1.72의 높은 칼라 신뢰도를 가지나 최대 칼라 재생 오차와 중간 칼라 재생 오차가 V_4 를 이용한 변환 행렬보다 좋지 않으므로 실험 B에서는 V_4 를 이용한 변환 행렬을 사용한다. [표 2]에서 실험 B는 60개에서 100개 사이의 칼라 샘플을 사용하여 생성한 변환 행렬이 높은 일반화 결과를 보인다.

[그림 2]는 실험 A에서 사용된 288개의 칼라 샘플의 칼라 재생 오차 분포도이다.



[그림 2] 실험 A의 칼라 재생 오차 분포도

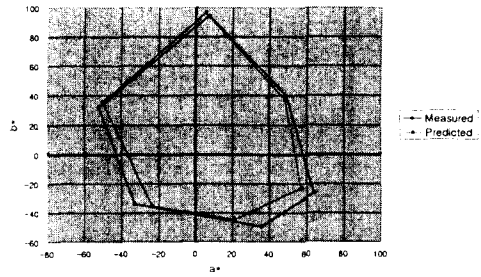
[그림 3]은 실험 A에서 사용된 288개의 칼라 샘플의 칼라 재생 오차를 밝기(Lightness)에 비례하여 도식한 분포도이다.



[그림 3] 실험 A의 밝기 대 칼라 재생 오차 분포도

[그림 3]에서 V_4 를 사용한 변환 행렬이 밝기가 낮은 칼라 샘플들에 대하여 높은 칼라 재생 오차를 가지는 것을 알 수 있다. 이 문제는 후처리 과정에서 개선될 수 있다.

[그림 4]는 실험 A에 사용한 ANSI IT8.7/2의 6가지 대표색 (Primary Colors) 을 이용하여 V_4 를 사용한 변환 행렬의 색상 (Hue) 변환의 정확도를 평가하기 위해 도식한 분포도이다.



[그림 4] 실험 A의 6가지 대표색의 a*-b* 분포도

[그림 4]에서 V_4 를 사용한 변환 행렬이 청색(Blue) 계열에서 보라색(Magenta) 영역으로 예측하는 경우가 발생함을 알 수 있다.

4 결 론

본 논문에서는 스튜디오형 디지털 카메라가 생성하는 RGB 칼라 신호를 칼라 운영 시스템이 사용하는 프로파일 연결 칼라 공간인 CIE XYZ 칼라 공간으로 변환하는 변환 행렬을 다중회귀분석을 이용하여 획득하고, 획득된 변환 행렬의 성능을 비교 분석하였다. 실험 결과 디지털 카메라의 RGB 칼라 신호를 CIE XYZ 칼라 공간으로 변환하는 변환 행렬은 평균 칼라 재생 오차 DELTA E 1.7의 성능을 가지며, 60개에서 100개의 칼라 샘플을 사용하여 만족할 만한 일반화 성능을 획득하였다. 본 논문에서는 고정된 사용 환경에서 스튜디오형 디지털 카메라를 이용하여 실험하였으나, 가변적인 사용 환경에서도 높은 칼라 신뢰도를 보장하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

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] R. W. G. Hunt, The Reproduction of Colour, 5th Ed., Fountain Press, 1995.