

Reconstruction of surface spectral reflectance using RGB digital color signals

방상택, 곽한봉, 서봉우, *이철희, 안석출
부경대학교 화상정보공학부, *경원대학교 컴퓨터공학과

S. T. Bang, H. B. Kawak, B. W. Seo, *C. H. Lee, S. C. Ahn
Division Imaging & Information, Pukyong National Univ., KOREA
*Dept. of Computer Engineering, Kyungwoon Univ., KOREA

Abstract

The Estimation method for spectral reflectance of the object using five-band and nine-band have been developed. The five-band acquisition are required of five or three times same work for color image acquisition process.

To solve the above problems, we proposed a new method that can be reconstructed spectral reflectance of object. The proposed method was to classify same hues corresponding a color stimulus, by using hue angle and chroma vector of a color stimulus. The reconstruction of spectral reflectance was examined by computer simulation, and evaluated by MSE(Mean Square Error) and color difference between the original and reconstructed spectral reflectance.

I. 서론

인간의 시각은 피사체를 비추는 조명광원이 바뀌어도 색순응의 특성 때문에 광원의 영향을 제거한 색상을 지각할 수 있다[1]. 그러나, CCD 카메라와 같은 영상획득시스템은 물체의 고유색과 조명광원이 합성된 칼라신호가 획득된다.

박물관의 소장품이나 미술품 등을 기록하기 위해서는 물체 고유의 색을 기록해 둘 필요가 있다. 이를 실현하기 위해 다대역 영상획득시스템에 관한 연구들이 보고되었으며[2]~[6], 최근 국내에서는 3대역 영상획득시스템으로 물체의 분광반사율을 복원하는 새로운 방법이 보고되었다[7]. 이 방법은 복원할 색자극에 대한 동일색상의 모집단을 생성시키고, 생성된 모집단으로부터 고유벡터와 평균분광반사율 그리고, 필요한 변환계수를 구하는 방법이므로 물체의 분광반사율의 복원은 매우 좋으나, 각 화소에 대한 동일색상의 모집단

생성이 필요하여 처리시간의 문제가 제기되었다. 본 연구에서는 기존의 디지털 카메라에서 얻어지는 3대역 영상정보를 이용하여 다대역 영상정보 획득의 문제점과 처리시간의 문제점을 해결하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 분광반사율 모집단으로부터 동일색상의 분광반사 모집단을 생성해 두고, 고유벡터, 평균분광 반사율 그리고, 기타 변환계수로 구성된 데이터베이스를 이용하여 처리하는 방법으로 기존의 문제점을 해결하였다. 제안한 방법의 성능평가를 위하여 5대역 영상정보를 이용한 방법과 제안된 3대역 영상정보를 이용한 방법과 비교, 분석하였으며, 동일색상 모집단의 누적기여율과 원고와 복원된 분광반사율간의 평균자승오차(MSE)로 평가하였다.

II. 본론

2.1 물체의 분광반사율 복원

물체의 분광반사율은 가시광선영역에서 5nm 또는 10nm 간격으로 표본화한 경우, 31차원 또는 61차원으로 표현되므로, 영상의 모든 화소를 분광반사율로 저장하고 처리하는 것은 불가능하다. 주성분 분석으로 분광반사의 복원은 분광반사율 정보의 손실 없이 표현하는 한 방법이고, 분광반사율 복원에서 0.5% 정도의 정보의 손실을 감안하면 피부색과 같은 특수색에 대해서는 제3 주성분, 자연색에 대해서는 제5 주성분까지의 누적기여율로써 물체의 분광반사율을 복원할 수 있어, 피부색과 같은 특수색은 3대역 영상정보로부터, 자연색과 같은 일반적인 색은 5대역 영상정보로부터 분광반사 복원을 위한 시스템이 개발되어 있다.

3 대역 영상 정보를 이용하는 방법에 있어 임의의 색에 대한 복원한 물체의 분광 반사율을 O_{est} 라 하면 식(6)과 같이 표현된다.

$$O_{est} = \bar{O} + (u_1 \ u_2 \ u_3) \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{pmatrix} \quad (6)$$

여기서, \bar{O} 는 표본의 평균 분광 반사 벡터를 나타낸다. 영상 정보에서 물체의 분광 반사를 구하기 위해 CIE XYZ로 변환하여 식 (6)을 정리하면, 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 \\ Z_1 & Z_2 & Z_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{pmatrix} \quad (7)$$

여기서, $X_i, Y_i, Z_i (i=1,2,3)$ 는 분광반사의 고유 벡터에 대응하는 자극치이고, 전개계수 $\alpha_i (i=1,2,3)$ 는 식(8)을 전개 계수에 대해 이항하여 구한다. 모집단의 고유벡터, 평균벡터와 전개계수를 알면, 식(7)에서 물체의 분광 반사를 복원할 수 있다.

5대역 영상정보를 이용하는 방법에 있어 카메라의 응답신호 V_i 는 식(8)과 같이 주변광원과 영상 획득시스템의 특성으로 표현할 수 있다.

$$V_i = \int_1^n E(\lambda)O(\lambda)f_i(\lambda)S(\lambda)d\lambda \quad (8)$$

여기서, $f_i(\lambda)$ 는 광학필터의 분광투과율이고, $S(\lambda)$ 는 카메라의 분광감도이다. 물체의 분광반사 복원에 있어서 카메라의 센서응답의 수는 물체의 분광분포에 비해 차원이 낮으므로 추정행렬 G 가 필요하다. 추정행렬 G 는 물체의 분광반사 O 와 복원한 물체의 분광반사 O_{est} 사이의 MSE를 최소화하는 행렬로 정의되고 식(10)과 같이 표현할 수 있다.

$$O_{est} = GV \quad (9)$$

$$G = R_{00} F^t (FR_{00} F^t + R_{nn})^{-1} \quad (10)$$

여기서, R_{00}, R_{0v}, R_{vv} 은 모집단의 분광반사와 응답신호의 상관행렬이고, R_{nn} 은 카메라의 노이즈성분의 상관행렬이다. 모집단의 분광반사와 시스템의 특성을 알면 식(9), (10)에서 물체의 분광 반사를 복원할 수 있다.

2.2 동일색상의 분류

자연색에 대한 동일색상은 인간의 시각기관의 기본 4색을 기반으로 하여 24색의 색상환으로 표시된 PCCS(Practical color coordinate system)를 기반으로 동일색상을 구분한다. 임의의 색상에

대한 동일색상은 Fig.1과 같이 24색을 기본 색으로 구성된 PCCS에서 임의의 색상 P에 대한 이웃한 색상을 각각 O, Q라 하고, 원점에서 반경 r 의 범위는 무채색이라 한다.

h_P 를 색상 P의 색상각, h_O 를 색상 O의 색상각, 그리고 h_Q 를 색상 Q의 색상각이라 하고, r 을 무채색의 채도벡터라 한다. 따라서, 임의의 색상 P에 대해서 반경 r 의 범위를 제외하고, 색상각 h_P 와 색상각 h_O 사이의 색상을 동일색상의 범위로 정의된다. 대상으로 하는 물체의 색상각과 채도벡터는 물체의 3자극치 X, Y, Z 에 의해 CIE $L^*a^*b^*$ 색공간으로 변환하여 구할 수 있으며, 식(11), (12)와 같이 표현할 수 있다

$$h_{ab} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (11)$$

$$C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (12)$$

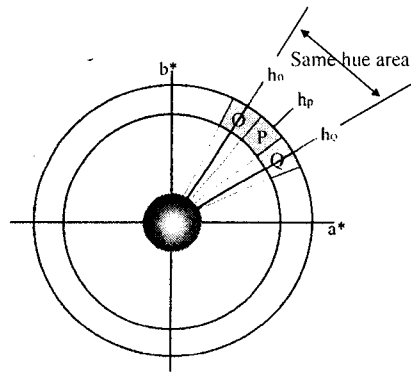


Fig.1 Classification of the same hue for the $a^* - b^*$ coordinate

III. 실험결과 및 고찰

3.1. 실험방법

다대역 영상정보를 이용한 물체의 분광반사를 복원하기 위해 기존의 방식에서의 처리시간의 문제점을 해결하면서 3대역 영상정보를 이용한 물체의 분광반사의 복원과정을 설명한다.

(1) 면셀색표 1485개를 Spectro Photometer로 측정하여 물체의 분광반사 모집단을 구성하여 분광 반사에 대한 $L^*a^*b^*$ 값, 채도벡터 그리고, 색상각을 계산하여 데이터베이스를 작성한다.

(2) 물체의 분광반사 모집단으로부터 25개의 동일색상을 분류해 두고, 각각의 동일 색상에 대한 채도벡터, 색상 그리고, 주성분 분석에 의한 고유

벡터와 평균벡터를 구해 둔다.

(3) 복원하려는 시험색으로부터 식(9)에 의해 전개계수를 구한다.

(4) 식(7)에 의해 시험색에 대응한 분광반사를 복원하고, 복원한 분광반사와 시험색의 분광반사의 평균자승오차와 평균색차로 복원의 정도를 평가한다.

3.2. 실험결과

(1) 물체 분광반사 모집단과 시험자극

물체의 분광반사율을 복원하기 위해 모집단으로 먼셀 색표(1485개)를 사용하였고, Fig.2에 먼셀 색표의 색자극 $L^*a^*b^*$ 데이터로부터 a^*-b^* 색도도에 나타내었다. 그리고, 실험에 사용할 시험색은 Fuji IT8.7 Color target(264개)을 사용하였으며, Fig.3은 시험색의 색자극 $L^*a^*b^*$ 데이터로부터 a^*-b^* 색도도에 나타낸 것이다.

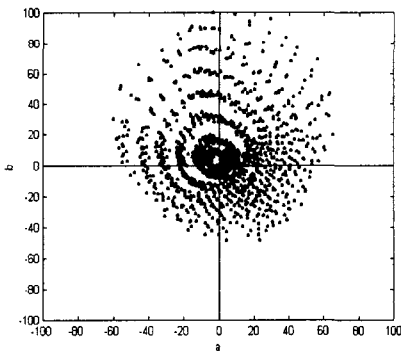


Fig.2 The a^*-b^* coordinate of Munsell color chips

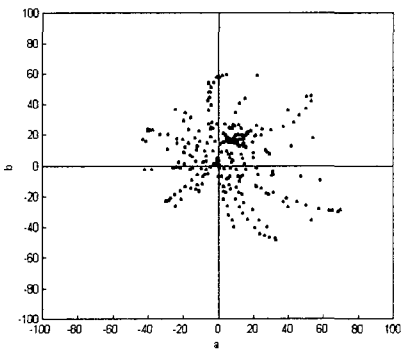


Fig.3 The a^*-b^* coordinate of IT8.7 color target

Fig.2와 Fig.3에서 알 수 있듯이 모집단으로 사용한 먼셀색표와 시험색으로 사용한 IT8.7의 색 자극은 전체를 대표할 수 있는 분포를 하고 있다

(2) 동일색상 모집단의 분류

PCCS를 기반으로 25종류의 동일색상으로 모집단을 분류하였다. 분류한 모집단을 이용하여 시험색 자극 264개에 대해 누적기여율을 구하고, 5대역 영상정보를 이용한 방법과 누적기여율을 비교하였다. 25종류의 동일색상 모집단의 누적기여율을 구한 결과, 제3 주성분까지 모두 99.7%이상으로 나타났으며, Fig.4에 동일색상의 모집단들 중 23번째 모집단의 분광반사를 나타내었다.

Table 1은 먼셀색표를 단일의 모집단으로 사용하는 5대역 영상획득시스템에 대한 누적기여율을 나타내었다. 제5 주성분까지 99.7%이상으로 나타났으며, 제안한 방법과 5대역 영상획득시스템의 누적기여율이 근사하므로, PCCS를 기반으로 한 25종류의 동일색상의 모집단이 잘 분류되어 있음을 알 수 있다.

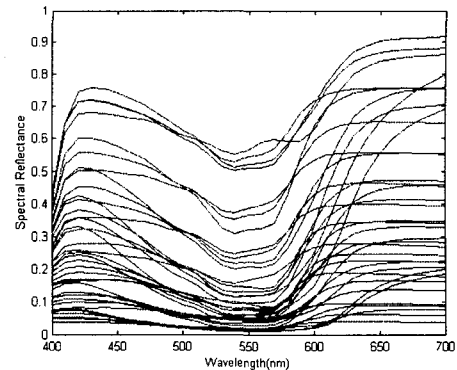


Fig.4 Spectral reflectance of classified population

Table 1. The cumulative proportional ratio according to the number of basic function of using 5 band system

	Basic functions				
	1st.	2nd.	3rd.	4th.	5th.
Cumulative contribution ratio	76.11	92.96	98.70	99.35	99.72

(3) 복원 정도 평가

25종류의 동일색상의 모집단에 대해 제3 주성분까지의 기저함수를 이용한 시험색에 대한 분광반사와 복원한 분광반사에 있어서, MSE는 평균 0.0017로 나타났으며, 색차는 평균 0.057×10^{-12}

로 나타났다. 5대역 영상획득시스템의 모집단에 대해 제5 주성분까지의 기저함수를 이용한 시험색에 대한 분광반사와 복원한 분광반사에 있어서, MSE는 평균 0.0006으로 나타났으며, 색차는 평균 4.0651로 나타났다. 그리고, Fig.5와 6은 각각 시험색에 대해 25종류의 동일색상 모집단과 5대역 영상획득시스템에서의 원고의 분광반사와 복원한 분광반사를 나타낸 것이다.

IV. 결론

다대역 영상정보를 이용한 물체의 분광반사 복원에 있어서, 기존의 방식에서는 다수의 촬영 횟수에 의해 영상정보를 얻거나 대응하는 색자극에 대한 동일색상의 집합을 생성하여야 하는 문제점을 해결하기 위해서 동일색상으로 분류하여 물체의 분광반사 복원을 실행한 결과, 25종류의 동일색상의 모집단에 대하여 3번째까지의 누적기여율이 99.7%이상으로 나타났다. 이러한 누적기여율을 이용하여 평균자승오차(MSE)로 비교한 결과는 0.0017로 나타났으며, 평균 색차는 0.057×10^{-12} 로 나타났다.

따라서, 임의의 색자극에 대해 제안한 동일 색상의 모집단을 데이터베이스화하는 방법에 있어서 3대역 영상신호를 이용한 물체의 분광반사를 복원에 있어서 유용한 방법으로 이용할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1]. Mark D. Fairchild, Color Appearance Models, Addison-Wesley Press, pp. 23-28, 1998.
- [2]. H.Haneichi, T.Hasegawa., N.Tsumura and Y. Miyake, "Design of Color filters for Recording Artwork", IS&T 50th Annual Conference. pp. 369-372, 1997.
- [3]. E.H.Lee, S.C.Ahn, J.H.Kim, "Accurate color reproduction using principal component analysis and a neural network based on reflectance spectra." The 10th annual conference of the Korean Society for Imaging Science, pp. 13-19, Dec, 1998.
- [4] S.C.Ahn, H.E.Choi, Y.miyake, "Color Image Reproduction Based on Spectral Reflectance Information." The 3rd Information Conference on Knowledge-Based Intelligent Information Engineering Systems, pp.117-120, 1999.

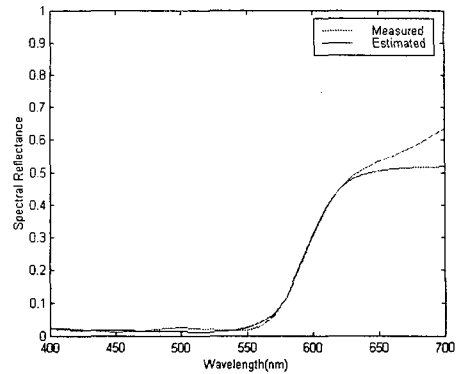


Fig.5 Comparison with original and reconstructed spectral reflectance using classification same hue of IT 8.7 color target.

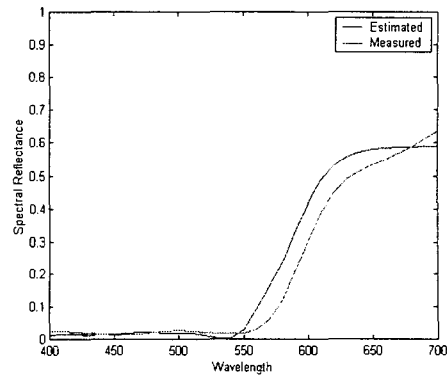


Fig.6 Comparison with original and reconstructed spectral reflectance using 5 band system of IT 8.7 color target.

- [5] F.H.Imai and R.S.Berns, "High-resolution Multispectral Image Archives: A Hybrid Approach, Proc. of 6th Color Imaging Conference: Color Science, Systems, and Applications, pp.224-227, 1998
- [6] E.H.Lee, S.C.Ahn, J.H.Kim, "Color Reproduction Based on Spectral Reflectance", SPIE, San Jose, 2000
- [7] M.O.Yoo, S.J.Cho, S.C.Ahn, "Generating of the same color population using hue angle and chroma vector", J.KP, Soc, Vol.18, No.2, pp.20-37, 2000.