

物體의 分光反射率 推定을 위한 最適필터의 選定

이승희, 김종필, 이을환*, 노상철**, 안석출

부경대학교 인쇄정보공학과

*부산대학교 전자공학과

**부경대학교 산업디자인학과

Optimization of color filters selection to estimate surface spectral reflectance of Munsell colors

S. H. Lee, J. P. Kim, E. H. Lee*, S. C. Roh**, S. C. Ahn

Department of Graphic Arts Information, Pukyong National University

*Department of Electronics Engineering, Pusan National University

**Department of Industrial Design, Pukyong National University

Abstract

The object color does not look same under the different light source. It depends on the surface spectral reflectance and the spectral distribution of light source. Therefore we should find the surface spectral reflectance of object color and the spectral distribution of light source for color reproduction.

Using Winer estimation, we can reconstruct the spectral reflectance from low dimensional images obtained with a few filters. The kind and the number of filters have the effect on the estimation of the spectral reflectance. Therefore it is important that optimal filters are selected to minimize the error of the result.

In this paper, we describe methods to select optimal filters with minimum error between measured and estimated surface spectral reflectance and to estimate surface spectral reflectance of Munsell color chart from six band images by using Wiener estimation.

1. 서론

일반적으로 전자박물관이나 전자 도서관등에서의 영상은 하드카피에서와 같이 특정한 조명 하에서 조건동색이 되는지를 보는 것은 아니고, 여러 가지 다른 조건의 조명 하에서 촬영된 영상을 평상의 실내조명이나 형광등과 같은 조명 하에서 보아도 촬영된 때와 같은 색

계 조명의 분광분포에 따라 다르게 나타나게 되기 때문에 촬영될 때의 조명이나 영상을 볼 때의 조명에 따라 같은 물체라도 많은 색의 차이를 보이게 된다. 그러므로 조명에 따른 물체의 색을 재현하기 위해서는 물체의 고유 특성인 분광반사율과 조명의 분광분포를 알아야 한다¹⁾.

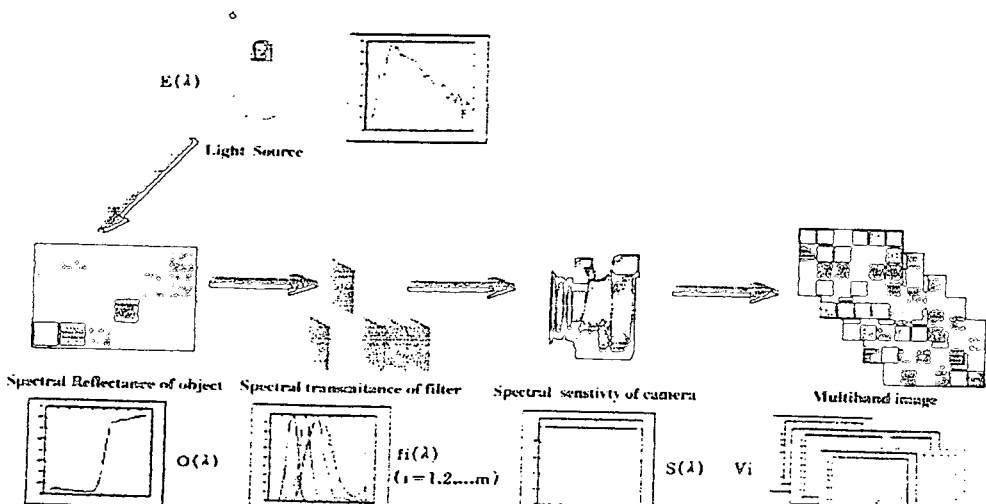
물체의 색을 재현할 때에 380~780 nm에서의 물체 고유의 분광반사율을 이용한다면 관찰 환경에 독립된 색재현이 가능하지만, 각 화소에 대해 대단히 많은 정보량을 가지게 되어 불가능하다. 그러므로 전 가시과장영역을 포함하는 몇 개의 필터를 사용하여 저차원의 정보로 압축하여 저장하고 저차원의 영상 데이터로부터 위너 추정에 의한 분광반사율을 구하는 방법이 보고된 바 있다²⁾. 분광반사율의 추정하는 방법은 어떠한 종류의 필터를 사용하는가와 몇 개의 필터를 사용하는가에 따라 추정의 결과에 많은 차이가 있다. 그러므로 결과물의 오차를 최소화하기 위해서는 최적의 필터를 선정하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 저차원의 영상 데이터를 얻기 위해서 현재 시판되어지고 있는 기존의 필터들을 사용하여 멀티밴드 이미지를 얻는 방법을 제시하고, 자연색을 대표하는 Munsell 컬러 차트의 분광반사율과 Wiener 추정에 의해 추정된 분광반사율과의 오차가 최소가 되는 최적 필터의 선정방법의 유용성과 타당성을 실험을 통해 확인하고자 하였다.

2. 멀티 밴드 이미지 입력 시스템

디지털 이미지의 각 화소에 있어서 멀티밴드 이미지 입력 시스템으로 저차원의 데이터가 구해지며, 각 화소에 대응하는 분광반사율을 추정하는 방법으로 통하여 물체의 분광반사율을 추정하는 것이 가능하다.

다수의 광학필터를 이용함으로써 저차원의 데이터가 얻어지는 멀티 밴드 이미지 $S(\lambda)$ 입력 시스템은 광원의 분광방사분포 $E(\lambda)$, 물체의 분광반사율 $O(\lambda)$, 카메라의 감도, 그리고 다수의 광학필터의 분광투과율 $f_i(\lambda)$ ($i=1, 2, \dots, m$)의 적분에 의해서 m 개의 저차원 센서 응답이 얻어진다³⁾. 여기서 카메라의 감도 $S(\lambda)$ 는 카메라 렌즈의 분광투과율과 카메라의 CCD의 분광감도등의 총합적인 적분을 나타낸다.



각 필터에 대한 센서의 응답은

$$V_i = \int E(\lambda) O(\lambda) f_i(\lambda) S(\lambda) d\lambda \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (1)$$

에 의해서 얻어진다.

여기서, 41차원의 분광반사율 벡터를 입력으로, m차원의 센서응답 벡터를 출력으로 두면, 멀티 밴드 이미지 입력 시스템으로써 다차원의 데이터로부터 저차원의 데이터를 구하는 것이 가능하다.

3. 위너 추정에 의한 분광반사율 추정

물체의 분광반사율벡터는 41차원이기 때문에, 멀티밴드촬영에 의해서 얻어진 m차원의 센서응답 벡터로부터 분광반사율을 정확하게 구하는 것은 가능하지 않다. 그래서 저차원의 데이터로부터 고차원의 분광반사율을 추정하기 위해서 Wiener추정을 이용하여 물체의 분광반사율을 추정한다.¹⁾

멀티밴드이미지 입력 시스템에 의해서 입출력의 관계는

$$V^{(x,y)} = F O^{(x,y)} \quad (2)$$

으로 나타내어진다. 여기서 $F = f_i^T E S$ 이다.

센서응답으로부터 (x,y) 위치의 분광반사율을 구하는 경우에는

$$\overline{O^{(x,y)}} = G V^{(x,y)} \quad (3)$$

으로 나타낼 수 있다. 그러나 입·출력벡터의 차원이 같다면 F의 역행렬에 의해서 구해지는 것이 가능하지만, 분광반사율의 차원이 센서응답의 차원보다 큰 경우는 그 역행렬에 의해서 구하는 것이 가능하지 않다. 그래서 $O^{(x,y)}$ 의 추정치 $\overline{O^{(x,y)}}$ 에 의해서 추정행렬을 구한다.

위너 추정에서는 입력벡터 및 시스템의 전달함수를 사전에 알고 있다고 가정하고 실제의 입력벡터와의 평균자승오차가 최소로 되도록 추정치를 구한다. 따라서, 위너 추정을 이용하여 센서응답벡터로부터 분광반사율벡터를 산출하기 위한 추정행렬 G는

$$G = R_{\infty} F^T (F R_{\infty} F^T)^{-1} \quad (4)$$

로 주어지고, 여기서 R_{∞} 는 $O^{(x,y)}$ 에 대한 상관행렬이다.

4. 실험 방법 및 결과

(1) Munsell color의 누적 기여율

Munsell 표색계에서 320개의 샘플 데이터를 추출하여 샘플데이터의 분산 공분산 행렬을 구하여 Munsell color의 누적 기여율을 구하였으며, 그 결과 6번째 항까지의 누적 기여율은 99.8%로 나타났다. 이 기여율에 의해 6개의 필터에 의한 멀티밴드 이미지 입력 시스템을 결정한다.

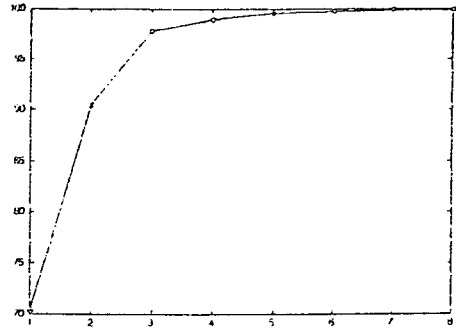
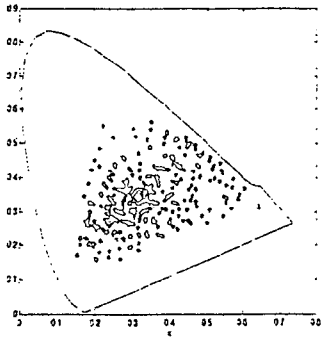


Fig.2. The xy coordinate of sample data Fig.3. Cumulative contribution ratio of principal components

(2) 멀티밴드 이미지 입력 시스템을 위한 최적의 필터 선정

현재 시판되어지고 있는 필터(FUJI社)들 중에서 12개의 필터를 선정하여 위너 추정에 의해 추정되어지는 Munsell color의 분광반사율과 측색되어진 분광반사율과의 색차가 최소가 되도록 최적의 필터 6매를 선정했다

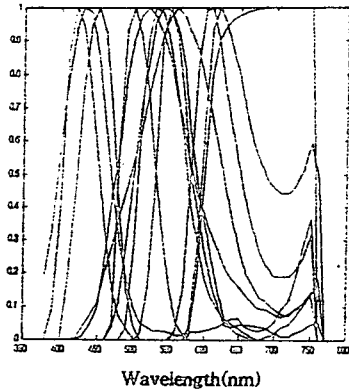


Fig.4. Color filters

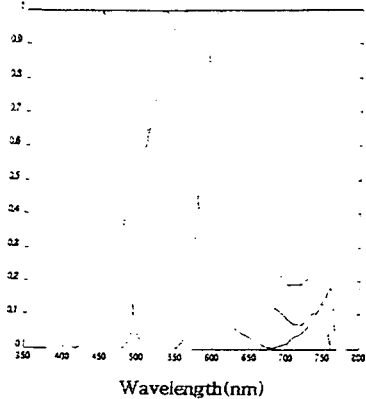
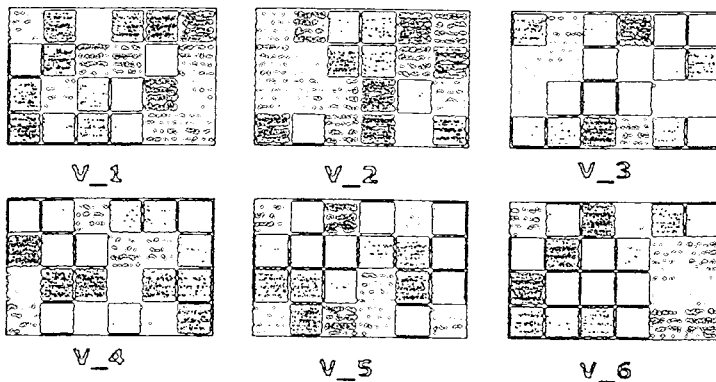


Fig.5. Six optimal filter obtained by Winer estimation



(3) Munsell color의 분광반사율 추정

최적의 필터가 결정되어진 멀티밴드 이미지 입력 시스템에서 센서 응답인 6차원의 데이터가 구해지고, 위너 추정에 의해 추정행렬 G이 구해진다. 이 구해진 추정행렬 G로 인해 분광반사율은 얻어지며 최적 필터에 의해 구해진 분광반사율과의 색차는 0.146이다.

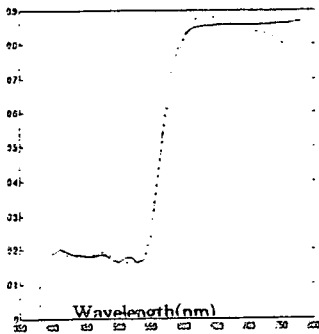


Fig.7. Estimated reflectance spectrum of Munsell Color.

(solid:original, dotted:estimation)

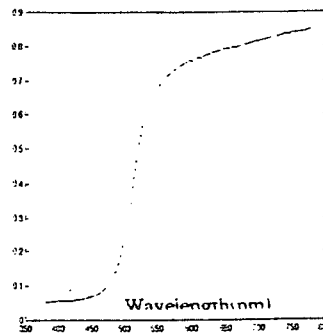
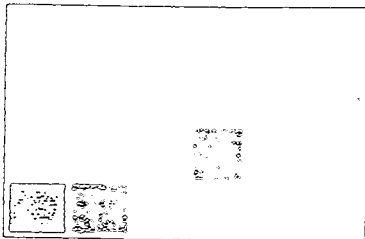


Fig.8. Estimated reflectance spectrum of Macbeth ColorChecker.

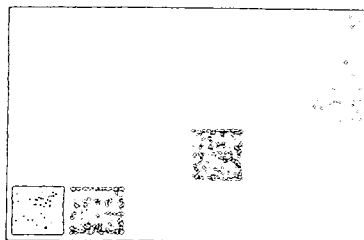
(solid:original, dotted:estimation)

위너 추정에 의한 추정행렬G를 이용하여 Macbeth ColorChecker의 24색에 대해 추정 정도를 확인한 결과 색차는 0.25이며, 그중 하나의 이미지에 대한 추정정도를 Fig.8.에 나타내었다.

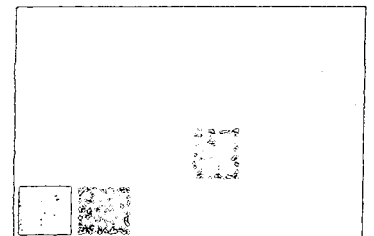
Macbeth ColorChecker 이미지에서 추정한 분광반사율을 이용하여 여러 가지 조명 광원 하에서 이미지 색재현을 실험하였다.



(a) Illuminant A



(b) Illuminant D50



(c) Illuminant D65

Fig.9. Reproduced Macbeth ColorChecker under different light source.

참 고 문 헌

1. H. Haneishi, T. Hasegawa, N. Tsumura and Y. Miyake, "Design of Color Filters for Recording Artworks", IS&T 50th Annual Conference, pp.369-372 (1997)
2. J. K. Eem, H. D. Shin and S. O. Park, "Reconstruction of Surface Spectral Reflectances Using Characteristic Vectors of Munsell Colors", IS&T 1994 Color Imaging Conference Proceedings, pp.127
3. T. Shiobara, S. Zhou, H. Haneisf, N. Tsumura and Y. Miyake, "Improved Color Reproduction of Electronic Endoscopes", J. Imaging Sci. Technol., 40(6)494-501(1996)
4. J. Cohen. "Dependency of the spectral reflectance curves of the Munsell colors chips", Psychon. Sci., 1, pp369-370. 1964.