

RGB 색신호에 의한 피부색의 분광반사율 추정

김채경, 방상택, 김종필, *이을환, 안석출
부경대학교 인쇄정보공학과, *부산대학교 전자공학과
(1998년 11월 21일 접수, 1998년 12월 20일 최종수정본 접수)

The method to predict spectral reflectance of skin color by RGB color signals

*C. G. Kim, S. T. PANG, J. P. KIM, *E. H. Lee, S. C. AHN*
Department of Graphic Arts Information, Pukyong National University,
*Department of Electronics Engineering, Pusan National University
(Received 21 November 1998, in final form 20 December 1998)

Abstract

Spectral reflectance of the object should be measured to predict the color of object under various illuminants. The spectral reflectance can be represented in a multi-dimension space. Generally the information of inputed image by digital camera and color scanner is represented with 3-dimension color signals such as RGB. In other to predict the color of inputed image under any illuminant, we should be estimated spectral reflectance of the object.

In this paper, we described the method to predict spectral reflectance by eigenvector using the skin color of printed image, confirmed availability and propriety through experiment. we estimated spectral reflectance of skin color taken by RGB color signals and than reproduced skin color according to various illuminants on CRT.

1. 서 론

디지털 카메라나 컬러 스캐너로 입력된 이미지의 정보(R, G, B 디지털 신호)는 입력시에 사용된 조명광원에 의해 결정된다. 관찰 환경의 조명이 촬영 환경의 조명과 다르면, 사람의 시각특성 때문에 원 이미지의 색과 다르게 지각된다. 따라서 관찰 환경에 무관한 색재현을 위해서는 물체 고유의 분광 반사율을 이용한 이미지 처리가 요구된다. 그러나 물체 고유의 분광 반사율은 가시광선 영역에서 5nm 또는 10nm 간격으로 31차원 또는 61차원으로 나타내며, 이 다차원인 분광 반사율을 이용한 이미지 처리는 현실적이지 못하다.

분광 반사율을 정보의 손실이 없는 저차원으로 표현하는 방법으로 Karhunen-Loeve 변환(KLT)과 주성분 분석에 의한 방법이 있으며, 자연색에 대해서는 8개의 주성분이 필요하고 피부색과 같은 특정 색에 대해서는 3개의 주성분으로 충분하다는 보고가 있다.^{1)~5)}

본 논문에서는 오프셋 인쇄된 피부색과 컬러 사진의 피부색의 분광 반사를 모집단으로 하여 고유 벡터 해석에 의한 분광 반사의 추정 방법을 기술하고, 실험을 통해서 유용성과 타당성을 확인하였으며, RGB 신호로 입력된 인종별 여자 얼굴 이미지의 분광 반사율 추정과 광원에 따른 피부색을 CRT에 재현하였다.

2. 고유 벡터에 의한 분광 반사의 표현

임의의 피부색에 대한 분광반사율 $O(\lambda)$ 는 식(1)과 같이 표본점의 평균 분광 반사와 고유 벡터의 선형 결합으로 표현할 수 있다.

$$O(\lambda) = \overline{O}(\lambda) + \sum_{i=1}^p \alpha_i u_i \quad (1)$$

여기서 u_i 는 피부색 표본점에 대한 분산 공분산 매트릭스의 고유벡터, α_i 는 전개 계수, $\overline{O}(\lambda)$ 는 모집단의 평균 분광 반사, 그리고 p 는 분광 반사의 차원을 나타낸다. 표본점의 분광 반사 데이터로부터 고유벡터와 고유값을 구하고, 고유값의 누적 기여율을 구하여 사용할 고유벡터의 수를 결정한다.

피부색과 같은 특정 색에 대해서는 분산 공분산 매트릭스로 구한 고유벡터와 고유값에서 고유값이 제일 큰 값부터 제 3번째까지의 누적 기여율이 99.5% 이상임이 보고된 바 있다²⁾. 따라서 p 를 3으로 두면 식(1)은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$O(\lambda) = \bar{O}(\lambda) + (u_1 \quad u_2 \quad u_3) \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

피부색의 분광 반사를 $O(\lambda)$ 라 할 때, 피부색을 나타내는 3자극치 X, Y, Z 는 식(3)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} X &= K \sum_{\lambda=400}^{700} E(\lambda) \bar{x}(\lambda) O(\lambda) \\ Y &= K \sum_{\lambda=400}^{700} E(\lambda) \bar{y}(\lambda) O(\lambda) \\ Z &= K \sum_{\lambda=400}^{700} E(\lambda) \bar{z}(\lambda) O(\lambda) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $E(\lambda)$ 는 광원의 분광 분포를 나타내고, $\bar{x}(\lambda) \bar{y}(\lambda) \bar{z}(\lambda)$ 는 등색 함수이며 K 는 식(4)에 의해서 구해지는 계수로서 완전 확산면의 Y 값이 100이 되도록 한 값이다.

$$K = \frac{1}{\int_{\lambda=400}^{700} E(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda} \quad (4)$$

식(2)를 식(3)에 대입하여 매트릭스로 정리하면 식(5)와 같다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 \\ Z_1 & Z_2 & Z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ 는 각각 피부색의 표본에 대한 평균 분광 반사에 대한 3자극치로 표본 평균 3자극치라 하고, $X_i, Y_i, Z_i (i=1, 2, 3)$ 는 표본 평균 3자극치, 고유벡터 u_i , 계수 K , 그리고 광원의 분광 분포의 곱으로 나타내어진다.

식(5)에서 $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ 와 X_i, Y_i, Z_i 는 모집단의 표본값으로 구해지며, 3자극치 X, Y, Z 는 3 채널 장치로 입력된 R,G,B의 색신호 값으로부터 구할 수 있다. 따라서 미지수 α_i 는 임의의 색신호에 대한 3자극치 X, Y, Z 로부터 구할 수 있으며, 식(6)과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix} = M \left\{ \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{bmatrix} \right\} \quad (6)$$

식(6)에서 M 을 변환 계수라 하고, 식(7)과 같이 나타낸다.

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 \\ Z_1 & Z_2 & Z_3 \end{bmatrix}^{-1} \quad (7)$$

3. 실험 방법

R,G,B 3색 신호로부터 피부색의 분광 반사를 추정하기 위하여 모집단의 표본을 오프셋 인쇄기로 인쇄된 피부색과 컬러 사진의 피부색을 선택하였다. 표본 벡터의 분산 공분산 행렬로부터 구한 고유벡터를 이용하여 임의의 피부색의 분광 반사를 추정하고, 추정된 피부색 이미지를 관찰 광원에 대응하는 피부색을 Fig.1과 같은 방법에 의해 CRT에 재현한다.

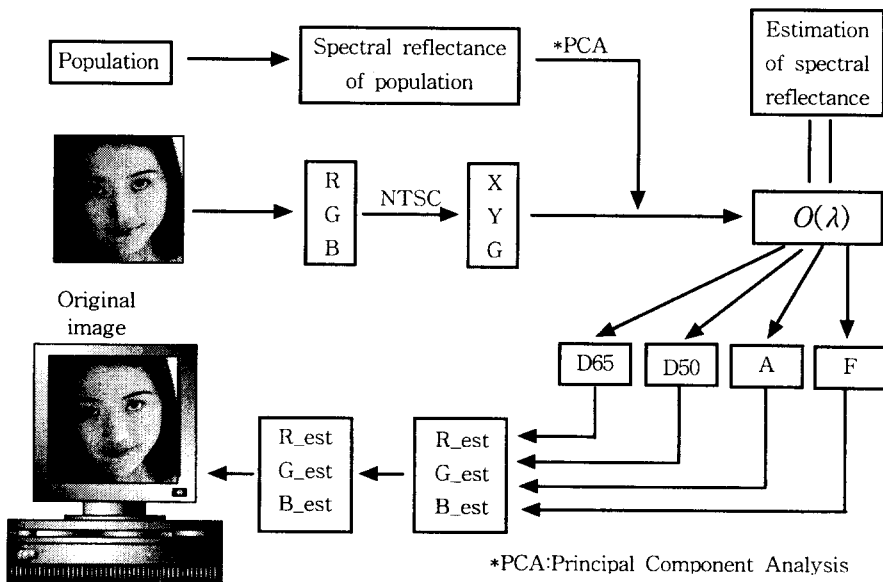


Fig. 1. Schematic diagram of spectral reflectance by principal component analysis.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1. 재현된 피부색의 분포

피부색의 분광 분포를 추정하기 위해서는 실제의 입력 장치를 사용하여 실제의 피부색을 촬영한 데이터를 표본 데이터로 하여야 한다. 그러나 컬러 사진, 컬러 TV, 그리고 컬러 인쇄에 있어서 피부색의 재현은 실물의 색과 일치하는 색재현이 아니고 선호하는 색으로 재현하고 있다. 따라서 컬러 사진과 인쇄물의 피부색으로부터 표본화하였다.

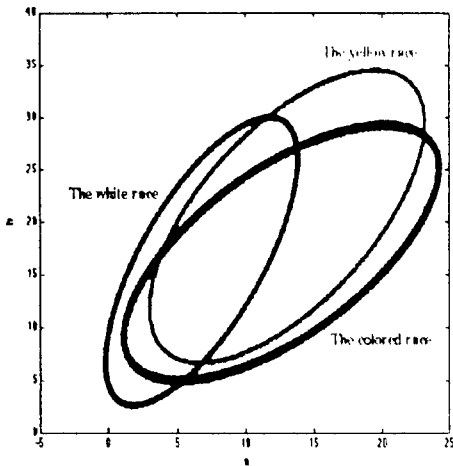


Fig. 2. Preferred skin color distribution of race.

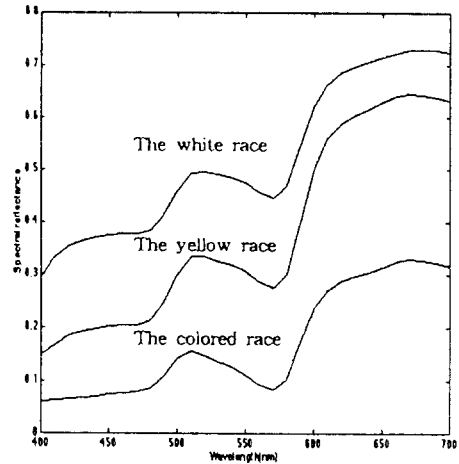


Fig. 3. The average spectral reflectance of skin color.

Fig.2는 백인, 흑인 그리고 한국인의 컬러 사진과 인쇄물의 피부색으로부터 측정된 피부색 분포를 나타낸 것이다. 무색 인종인 백인과 흑인의 인쇄된 피부색은 무채색인 피부지만 유채색을 많이 띄고 있으며, 유색 인종의 인쇄된 피부색은 실제보다 채도가 낮은 경향으로 나타나고 있다. 그리고 Fig.3은 각각 백인, 흑인 그리고 한국인에 대한 평균 분광 반사율을 나타내고 있으며, 표본은 한국인 250개(컬러 사진 100개, 컬러 인쇄물 150개), 백인 150개(컬러 인쇄물) 그리고 흑인 150개(컬러 인쇄물)이고, 하나의 컬러 이미지에서 5개소씩 측정하였다. 그림에서와 같이 각각 530nm부근에서 1차 피크를 나타내며, 570nm부근에서 최저값을 나타내고, 매우 낮은 형태를 나타내고 있음을 알 수 있다.

4.2. 평균 분광 반사와 고유 벡터

피부색의 분광 반사를 추정하기 위해 사용한 표본은 백인, 흑인 그리고 한국인의 피부색 550개의 평균 분광 반사를 Fig.4에 나타내었으며, 550개의 표본 벡터에서 구해진 고유 벡터는 Fig.5에 나타내었고, 고유 값의 누적 기여율을 Table 1에 나타내었다.

Table 1에서 알 수 있는 바와 같이 3번째까지의 고유벡터를 누적한 경우 누적 기여율은 99.7%이며, 5번째까지의 누적 기여율은 100%로 나타났다. 피부색의 분광 분포 추정에 있어서 3-채널 입력 장치로 입력한 R,G,B 색 신호로부터 피부색의 분광 반사 추정의 정도는 99.7%까지 가능함을 나타내고 있다.

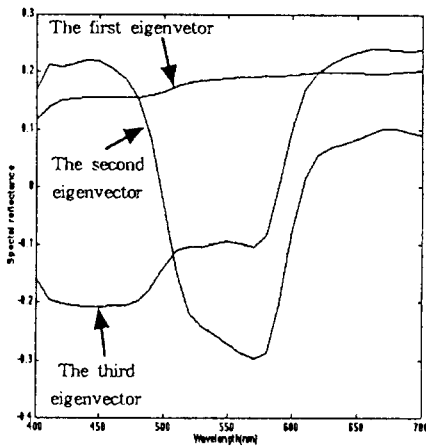


Fig. 4. The first, second and third eigenvector of spectral reflectance by population.

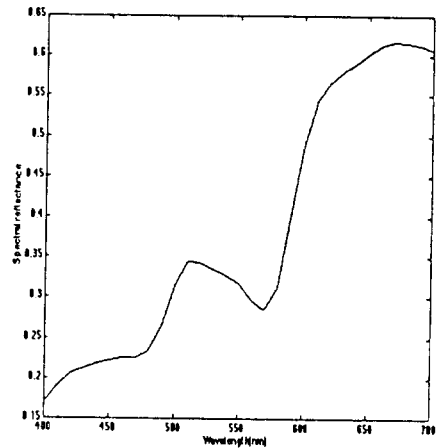


Fig. 5. The average spectral reflectance of total race.

Table 1. The amount information for principal components.

Principal components	u ₁	u ₂	u ₃	u ₄	u ₅
The amount information	87.46	98.21	99.71	99.93	100.00

4.3. 피부색의 분광 반사 추정

임의의 화소에 대한 3자극치 X, Y, Z 를 알고, 표본 평균의 분광 반사와 고유벡터를 알면 식(1)에서 (6)으로부터 전개계수 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 을 계산할 수 있다. 표본 벡터의 평균 분광 반사와 고유 벡터로부터 구한 변환 매트릭스 M 은 식(8)과 같다.

$$M = \begin{bmatrix} 14.7789 & -8.7169 & -9.7464 \\ 12.4871 & -16.6902 & -14.7473 \\ 3.7736 & -23.3972 & 20.9381 \end{bmatrix} \quad (8)$$

표본 벡터에 포함되지 않은 100개의 피부색 3자극치와 분광 반사를 대상으로 식(6)과 식(8)로부터 계산한 전개계수 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 을 구하여 식(2)에 의해 추정된 분광 반사율과 실측한 분광 반사율의 평균 자승 오차를 Fig.6에 나타내었고, 이들중 평균 자승 오차가 최소인 샘플과 최대인 샘플의 실측한 분광 반사와 추정한 분광 반사를 Fig.7에 나타내었다. 100개의 샘플중 최소 평균 자승 오차는 9.5654×10^{-7} 이고, 최대 평균 자승 오차는 1.4038×10^{-4} 이며, 이들을 평균한 자승 오차는 2.9883×10^{-5} 로 나타났다.

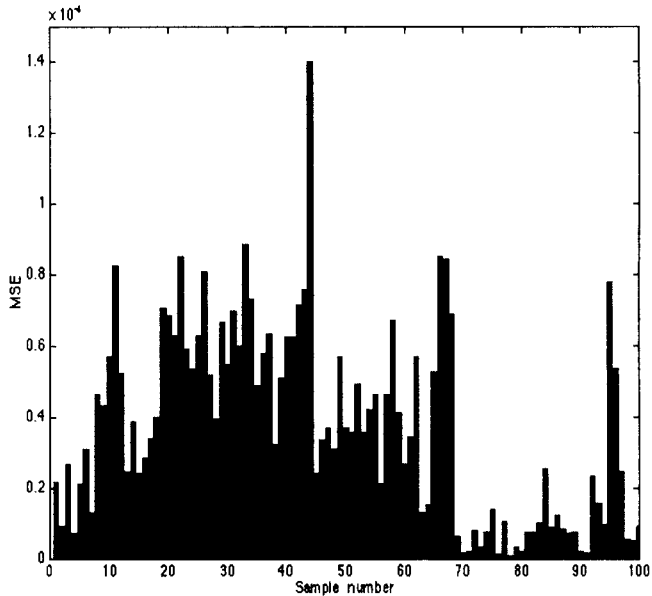


Fig. 6. The mean square error between predicted and measured spectral reflectance.

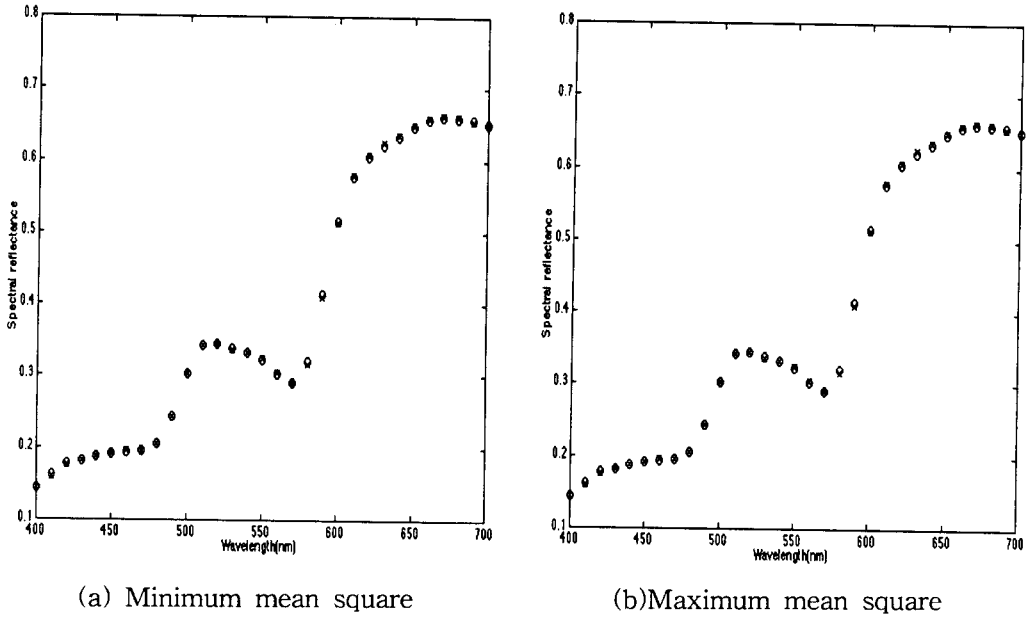


Fig. 7. Comparison of mean square error between predicted and measured spectral reflectance of skin color.

4.4. 조명에 따른 피부색 재현

3-채널 입력장치로 입력된 한국인의 여자 이미지와 흑인 여자의 표준 이미지를 사용하여 각 화소에 대한 분광 반사를 추정하고, 추정된 분광 반사를 조명 광원에 대응한 피부색을 CRT에 재현하였다. 이때 원고는 D65의 광원에서 입력된 이미지로 가정하고, RGB 신호로부터 삼자극치의 변화는 NTSC 방식을 채택하였다. Fig.8은 한국인의 이미지를 광원에 대응한 재현이고, Fig.9는 흑인의 이미지를 광원에 대응한 재현을 나타낸 것이다. 피부색 부위는 각각의 광원에 따른 충실한 재현이 실현되었으나 머리 부위나 옷 그리고 여백부에서는 불필요한 색상이 나타나고 있다.



(a) D65 light source



(b) D50 light source

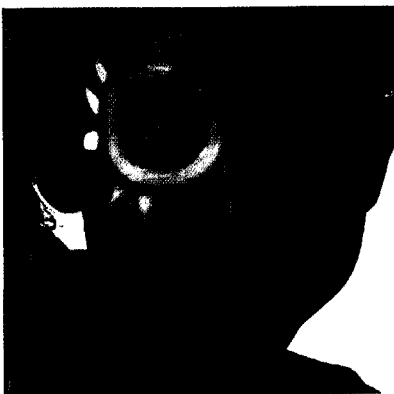


(c) A light source



(d) F light source

Fig 8. Comparison between original image and reproduced image(the colored race).



(a) D50 light source



(b) A light source

Fig 9. Comparison between original image and reproduced image(the colored race).

5. 결 론

3-채널 입력장치에 의해 얻어진 피부색의 분광 반사를 추정하기 위해서 측정한 550개의 샘플의 분광 반사를 표본 벡터를 만들었다. 표본 벡터의 분산 공분산 행렬로부터 고유 벡터를 구하여, 각 화소의 분광 반사를 추정하고, 조명 광원에 따른 피부색을 CRT에 재현 하였다.

550개의 피부색 샘플에서 동양인 250개의 피부색 샘플, 백인 150개의 피부색 샘플 그리고 흑인 150개의 피부색 샘플에 대한 평균 분광 반사는 형상이 거의 일치하고, 각 파장에 대한 분광 반사의 비율이 다르게 나타남을 알 수 있었으며, 동양인이나 백인 그리고 흑인의 피부색 분포는 백색점 부근에 타원으로 분포함을 알 수 있었다.

우수중소기업과 유망벤처기업들에 대한 자금 또는 경영 지원에까지 업무영역을 확대하였기 때문에 그리고 제3 고유 벡터까지의 누적 기여율은 99.7%를 나타내었고, 표본 벡터에 참여하지 않은 100개의 피부색 샘플에 대해서 추정한 분광 반사가 실측한 분광 반사의 평균 자승 오차의 평균값이 2.9883×10^{-5} 로 나타났다.

각 화소의 분광 반사를 추정하고, 조명 광원에 따른 피부색을 CRT에 재현한 결과 피부색 부위는 광원의 특성에 대응한 피부색이 재현됨을 알 수 있었으며, 분광 반사의 형태가 다른 머리부위나 여백부의 재현은 불필요한 색으로 나타났다.

이상의 결과로 피부색과 같은 분광 반사의 표본 집단의 경우는 표본 벡터의 고유 벡터와 평균 분광 반사를 이용한 분광 반사의 추정이 가능하고, 3-채널 입력 장치로 입력된 R,G,B 색 신호로부터 분광 반사의 추정이 가능함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. J. K. Eem, H. D. Shin, S. O. Park, "Reconstruction of Surface Spectral Reflectances using Characteristic Vectors of Munsell Colors", The 1st Color Imaging Workshop, pp.22~29, Apr. 1995.
2. F. H. Imai, N. Tsumura, H. Haneishi, Y. Miyake, "Color reproduction of human skin under various illuminants based on chromatic adaptation models", The Annual conference of The Korea Printing Society, pp.14~18, Oct. 1996.
3. C. G. Kim, S. T. Pang, H. Y. Park, S. M. Ryu, M. O. Yoo, S. C. Ahn, "A method to predict spectral reflectance of skin color taken by 3-channel input device", The Annual conference of The Korea Printing Society, pp.31~35, Nov. 1998.
4. J. P. Kim, S. C. Ahn, "Colorimetric color reproduction according to illuminant for RGB digital signal on CRT", The Annual conference of Korean Society of Color Studies, pp.99~103, Dec. 1998.
5. 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.
6. J. P. Kim, S. T. Pang, E. H. Lee, S. C. Ahn, "A method to predict spectral reflectance of the natural of color using RGB digital signals.