

Dichromatic 반사 모델에서의 조명성분 추정 실험

박명은* · 김성영** · 김종민*** · 김민환*

1. 서 론

최근에 화상 기술의 발전과 인터넷의 급속한 보급으로 칼라영상이 대중화되면서 색상 정보를 이용한 칼라영상 인식 및 검색 등의 응용이 활발히 진행되고 있다. 칼라영상에서 색상은 물체에 대한 다양한 정보를 제공해 줄 수 있지만 영상 획득 시 조명 광원의 특성에 따라 크게 변화될 수 있다. 어떤 조명 하에서 물체를 관찰하는 경우 인간의 시각은 색순응(chromatic adaptation)[1]을 통해 조명의 영향이 배제된 물체 고유의 색상을 지각할 수 있으므로 동일한 물체는 조명에 무관하게 동일한 색상으로 인식하게 되며, 이것을 칼라항상성(Color Constancy)이라고 한다. 그러나 색순응 기능이 없는 CCD 카메라와 같은 입력 장치로 획득한 칼라영상에서는 동일한 물체임에도 불구하고 조명이 변하면 다른 물체로 인식할 수 있다. 물체색상은 조명과 물체의 고유한 반사 특성에 의해 결정되므로, 영상에서 조명과 무관하게 물체를 인식하기 위해서는 고유한 물체 반사 특성 추출을 통한 색상 복원이 필요하며, 이것은 영상에서 정확한 조명성분 추출을 통해 이루어질 수 있다.

기존 칼라항상성에 관한 연구에서 조명 추정을 통한 물체색상 복원 방법들이 제안되어 왔다. 먼저, 그레이 월드 알고리즘(gray world algorithm)을 기반으로 전체 영상에서의 평균 색상은 그레이(gray)라고 가정하여 영상의 평균 화소값이 조명 색상이 된다는 연구(space average color method)[2,3]와, 영상에서 가장 밝은 영역의 색상이 조명이라고 가정(brightest surface method)한 연구가 있었다[4]. 그리고 조명 색역(illuminant gamut)을 이용하는 방법으로 영상의 화소값들이 이루는 색역(color gamut)과 일반적인 조명의 색역과의 상관성(correlation)을 통해 조명성분을 추정하는 방법[5]이 있었으며, 이와 유사한 개념으로 neural network[6]을 이용한 연구도 있었다.

한편, 물체에서의 반사특성을 물체 내부에서의 반사(body reflection) 성분과 표면반사(surface reflection) 성분으로 모델링한 Dichromatic 반사 모델[7,8]에서는 표면반사 성분을 조명 성분으로 정의하고 있다.

본 논문에서는 기존의 Dichromatic 반사 모델에서 표면 반사 성분의 방향을 조명 벡터로 취급하여 조명 성분을 추출하는 방법의 문제점을 보이고, 보다 정확한 새로운 조명 추출 방법을 실험을 통한 검증 자료와 함께 제시한다. 아울러, 제시한 조명 추출 방법의 타당성을 그래픽 분야에서 주로 사용되고 있는 반사모델을 기반으로 한 새로운

*부산대학교 컴퓨터공학과

**창원전문대학 멀티미디어과

***고신대학 전산수학과

반사모델을 통해 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 Dichromatic 반사 모델에서의 조명색상 추정 문제점을 보이고, 3장에서는 보다 정확한 조명벡터의 획득 방법을 새롭게 제시하며, 4장에서는 이러한 방법을 뒷받침하기 위한 새로운 조명반사 모델의 필요성을 제시한다. 5장에서는 실험을 통해 새로운 조명벡터 획득 방법에 대한 타당성을 보이고, 6장에서는 결론 및 향후의 연구방향을 제시한다.

2. Dichromatic 반사 모델

물체에 조명을 비추면 물체의 표면에서 바로 반사되는 표면반사(surface reflection)와 물체 내부로 흡수되어 내부반사를 거쳐 물체 밖으로 반사되는 물체내부반사(body reflection)가 발생하는데, 그림 1은 이와 같은 현상을 나타낸 것이다[8]. 따라서, 영상의 각 화소에서의 색상은 표면반사에 의한 표면반사 칼라와 물체 반사에 의한 물체내부반사 칼라로 구성된다.

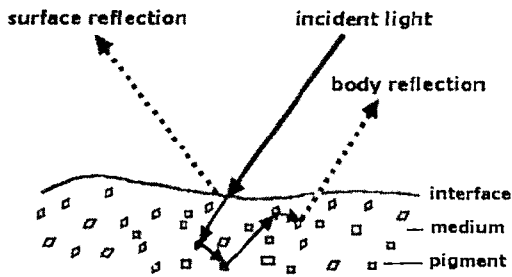


그림 1. 물체의 반사 특성

이러한 반사특성을 반영하는 Dichromatic 반사 모델은 하이라이트나 음영에 의한 물체색상의 변화를 모델링 할 수 있다. 하이라이트가 포함되어 있는 물체의 화소 칼라값은 그림 2에서와 같이

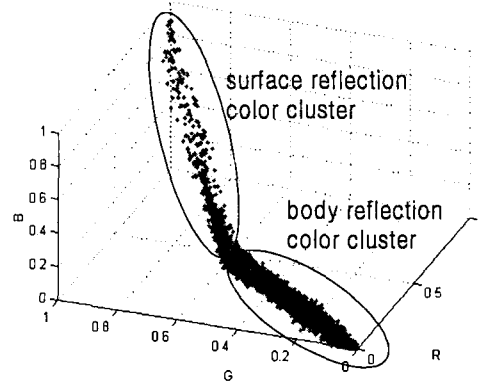


그림 2. 하이라이트를 포함한 물체의 색상 분포

3차원 RGB공간에서 표면반사 칼라와 물체내부반사 칼라에 의해 각각 클러스터를 형성하게 되며, 각 클러스터의 주성분 분석을 통해 조명의 색상을 반영하는 표면반사 벡터(C_s)와 물체 색상을 나타내는 물체내부반사 벡터(C_b)를 구할 수 있다. 따라서, 그림 3에서와 같이 두 벡터에 의해 형성되는 평면상에 모든 화소값이 분포하게 되고, 식 (1)과 같이 표면반사 벡터와 물체내부반사 벡터의 선형조합으로 물체 화소값을 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} q_r \\ q_g \\ q_b \end{bmatrix} = m_b \begin{bmatrix} C_{bR} \\ C_{bG} \\ C_{bB} \end{bmatrix} + m_s \begin{bmatrix} C_{sR} \\ C_{sG} \\ C_{sB} \end{bmatrix} \quad (1)$$

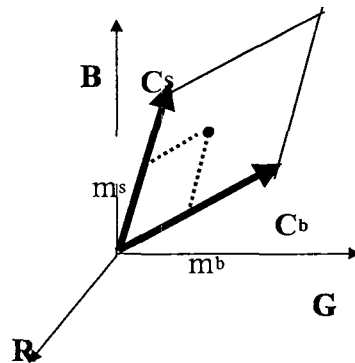


그림 3. C_s , C_b 에 의한 평면상에서 화소값의 해석

따라서 이 모델을 이용하면 하이라이트 영역을 제거할 수 있을 뿐만 아니라 칼라영역분할에도 활용할 수 있다[9].

그런데, 기존의 Dichromatic 반사 모델에서는 물체에서의 표면반사 성분이 조명의 색상을 반영한다고 가정하여, 표면반사 벡터를 조명벡터로 해석하였다[8]. 그러나, 표면반사 벡터의 방향은 물체색상의 영향을 받아 실제의 조명벡터와 동일한 방향을 나타내지 못한다는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 오히려, 하이라이트 영역에 대한 클러스터의 최대값이 보다 정확하게 조명 성분의 방향을 나타냄을 알 수 있었다.

예를 들어, 그림 4는 초록색 형광등이 비춰진 물체의 RGB 3차원 공간상 클러스터를 나타낸 것으로서, 하이라이트 영역에 의해 구해진 표면반사 벡터(C_s)와 측정에 의해 구해진 조명벡터가 일치하지 않음을 확인할 수 있으며, 두 벡터 사이의 각도 차이도 매우 크게 나타나는 것을 표 1을 통해 알 수 있다.

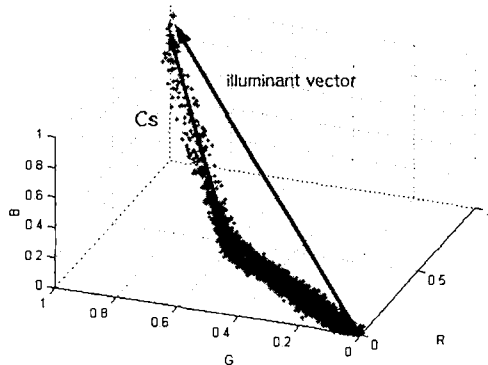


그림 4. 표면반사 벡터와 실제 조명 벡터

표 1. 표면반사벡터와 조명벡터사이의 각도 차이

	R	G	B	각도차(°)
C_s	0.5688	0.4003	0.7185	13.7812
조명벡터	0.5852	0.5829	0.5637	

3. 조명성분 추정 방법

하이라이트 클러스터의 최대값을 구하기 위한 방법으로서, RGB 3차원 공간에서 하이라이트 영역의 각 화소값과 원점사이의 거리를 구하여 거리가 먼 화소값들의 평균을 취할 수 있다. 그러나, 이와 같은 방법은 상위 클러스터 부근의 퍼짐이나 잡음의 영향을 받아 조명색상의 부정확한 추정이 발생할 수 있으므로, 이러한 에러를 배제하면서 보다 안정적으로 조명색상을 추정할 수 있는 방법이 필요하다. 이에 본 연구에서는, 하이라이트 클러스터의 주성분 방향 선상에 화소값을 투영(projection)한 후, 원점으로부터의 거리가 큰 투영 좌표값들을 평균하여 조명색상 추정의 정확성을 높였다. 표 2는 붉은 색 물체에 백열등 조명을 비추었을 때에 발생하는 하이라이트 영역의 클러스터에서 조명성분 추정에 사용하는 화소값의 수를 변화시켜 가면서 구한 조명벡터와 실제 조명벡터와의 차이를 비교한 것이다.

표 2. 주성분을 이용한 조명색상 추정 결과

	R	G	B	각도(°)
20(%)	0.6974	0.5648	0.4411	2.8862
10(%)	0.6822	0.5758	0.4506	1.7017
5(%)	0.6734	0.5820	0.4559	1.0515
2(%)	0.6642	0.5883	0.4613	0.4904
1(%)	0.6603	0.5909	0.4636	0.4246
C_s	0.3313	0.7349	0.5917	22.0330
조명	0.6607	0.5951	0.4575	

여기에서, 실제 조명벡터는 순백색 반사체로부터 구한 것이며, 마지막 열의 각도는 추정 조명벡터와 실제 조명벡터 간의 사이각이다. 표면반사 벡터는 실제 조명벡터와 매우 큰 사이각으로 나타나므로 조명색상의 방향을 나타내

지 못함을 확인할 수 있다. 한편, 클러스터에서의 상위 투영 화소값에 대한 포함정도가 작아 질수록 평균 투영 좌표값과 조명벡터와의 각도가 작아지는 사실로부터, 하이라이트 영역의 클러스터는 조명색상에 근접해가는 방향으로 형성됨을 알 수 있다.

4. 새로운 반사 모델의 필요성

지금까지, Dichromatic 반사 모델에서의 표면반사 벡터가 조명벡터를 나타내는 것이 아니며, 표면반사 클러스터의 최대값을 조명벡터로 정의하는 것이 타당함을 확인하였다. 이와 같이 조명벡터가 정의되면, 기존 Dichromatic 반사 모델에 대한 해석을 달리 하거나 재구성하여야 한다.

먼저, 기존 Dichromatic 반사 모델에서의 하이라이트 영역에 대한 해석을 알아보면, 그림 5의 클러스터 ①에서의 하이라이트 칼라는 식 (1)에 의하여 물체내부반사 벡터(C_b)의 계수 (m_b)는 거의 동일하며, 표면반사 벡터(C_s)의 계수(m_s)의 크기가 변하여 구성되는 것으로 해석한다. 이와 같은 해석은 표면반사 성분이 조명 성분과 거의 동일하다는 가정에 근거를 두고

있다. 이러한 가정은 여러 가지 실험에 의해 합당하다는 것이 밝혀져 있다.

그런데, Dichromatic 반사 모델에서의 표면반사 벡터(C_s)가 조명벡터의 방향과 다르다면, 이 반사 모델은 더 이상 성립하지 않는다. 예를 들어, 그림 5에서 고정된 크기의 물체내부반사 칼라에 크기가 다른 조명 성분이 추가되어 형성되는 클러스터는 ②와 같은 방향으로 분포되어야 한다. 그러나, 실제 하이라이트 영역의 화소값은 그림 4에서와 같이 클러스터 ①의 방향으로 생성된다. 이와 같은 현상을 설명하기 위해서는 기존 Dichromatic 반사 모델에서 사용하고 있는 “고정된 크기의 물체내부반사 칼라”라는 가정을 다르게 해석해야 한다. 즉, 하이라이트 영역에서의 물체내부반사 칼라의 크기는 변화한다고 재해석하여야 한다.

그림 6은 조명벡터와 물체내부반사 벡터를 이용하여 하이라이트 영역의 칼라 화소값은 해석하는 방법을 보여주고 있다. 즉, 하이라이트 클러스터 영역 화소값에 대한 물체내부반사 계수(m_b)는 가변하며, 조명벡터 계수(m_l)와 더불어 하이라이트 클러스터를 형성한다. 여기에서, Dichromatic 반사 모델에서의 표면반사 벡

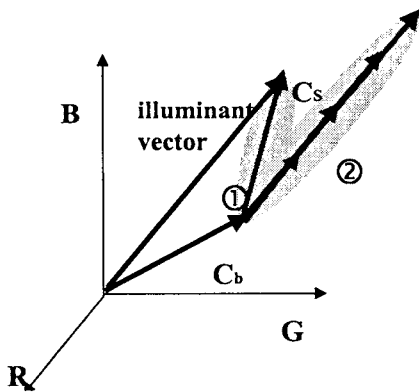


그림 5. 하이라이트 영역에 대한 해석

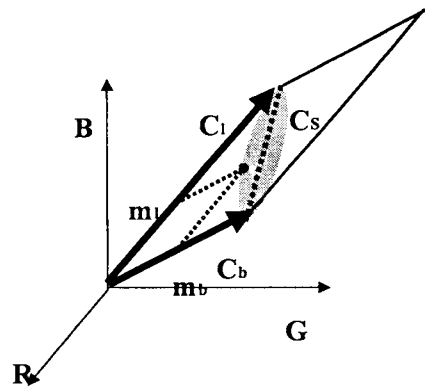


그림 6. 조명벡터와 물체내부반사 벡터에 의한 하이라이트 영역의 해석

터(C_s)는 식 (2)와 같이 표현할 수 있으므로, 물체내부반사 클러스터나 하이라이트 클러스터의 칼라 화소값은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다. 여기에서, 하이라이트 클러스터의 칼라 화소값의 m_b' 은 1이므로, $m_b + m_l = 1$ 이 성립한다. 물체내부반사만 있는 칼라 화소값은 m_s 가 0이므로, $m_b = m_b'$ 이다.

$$C_s = C_l - C_b \quad (2)$$

$$\begin{aligned} C &= m_b' C_b + m_s C_s \\ &= m_b' C_b + m_s (C_l - C_b) \\ &= (m_b' - m_s) C_b + m_s C_l \\ &= m_b C_b + m_l C_l \end{aligned} \quad (3)$$

이와 같은 해석은, 사람이 지각하는 시각 특성, 즉 센서의 특성을 반영한 그래픽 모델[10]에서도 식 (3)과 유사하게 식 (4)와 (5)의 형태로 사용하고 있다.

$$\rho = k_d \rho_d + k_s \rho_s \quad (4)$$

$$k_d + k_s = 1 \quad (5)$$

여기에서, ρ 는 물체에서의 전체 반사 계수를 나타내며, ρ_d , ρ_s 는 각각 물체내부반사 계수와 표면반사 계수를 나타낸다.

그러나, 이와 같은 해석 방법은 표면반사와 물체내부반사에 대한 물리적인 해석에 위배된다. 즉, 하이라이트 부분에서 표면반사가 강해질수록 물체내부반사가 줄어든다는 현상을 설명해 줄 수 있는 물리적인 근거가 없다. 일반적으로, 표면반사는 물체의 어느 곳에서나 발생할 수 있는 것이며, 하이라이트는 센서(카메라 또는 눈)의 방향에 의존하여 발생하는 것이다. 그런데, 하이라이트 부분에서만 물체내부반사 양이 줄어든다는 것은 보는 방향에 의해 물리적인 양이 변한다는 것으로서, 수동적인 객체(카메라 또는 눈)에 의해 물리적인 양이 변화된다는 것이 된다. 이러한 것을 물리

적으로는 설명이 불가능하다. 다만, 센서의 반응 특성에 의해 이러한 현상을 설명하는 시도는 가능하다.

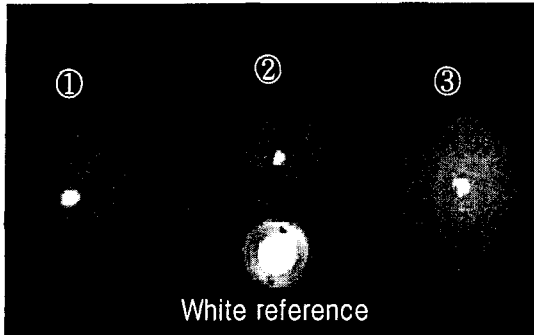
5. 실험 및 토의

본 실험에서의 칼라영상은 Samsung SAD-410ND 칼라 CCD 카메라로 획득하였다. 기존 Dichromatic 반사 모델[8]에서는 흑백 카메라와 여러 가지 칼라 필터를 이용하여 칼라영상을 획득하였으며, Color balancing을 통해 gamma correction 등에 의한 획득 칼라의 비선형성을 보완하였다. 그러나, 본 실험에서 사용한 칼라 CCD 카메라에서는 이러한 비선형 현상이 나타나지 않아 별도의 보상을 하지 않았다. 다만, 입사된 빛의 세기가 카메라 센서의 동적 범위(dynamic range)를 초과할 경우에 발생하는 칼라 클리핑(clipping) 현상을 제거하기 위해, 영상에서의 화소 칼라값 r,g,b가 모두 1을 넘지 않는 것에 대해서만 분석하는데 사용하였다.

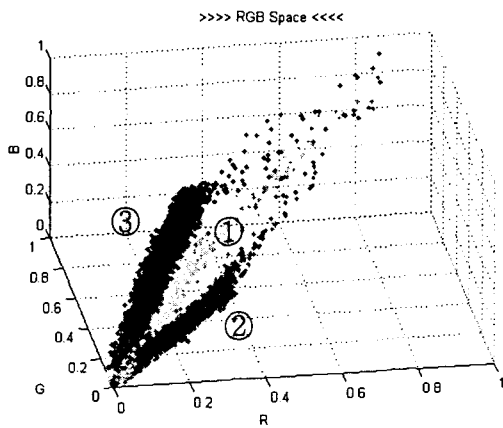
촬영은 Dichromatic 반사 모델에 대한 실험에서와 같이 암실 환경에서 이루어졌다. 그리고 추정된 조명에 대한 검증을 위하여 촬영 시 표준 백색(reference white)을 이용하여 실험에 사용된 실제 조명의 벡터를 구하였다.

Dichromatic 반사 모델에서 조명의 표면반사 벡터가 조명벡터와 일치하지 않는다는 것은 여러 가지 실험을 통해 확인할 수 있었다. 그림 7(a)는 초록(①), 빨강(②), 하늘(③) 색상의 공에 초록색 조명을 비추어 촬영한 것이다.

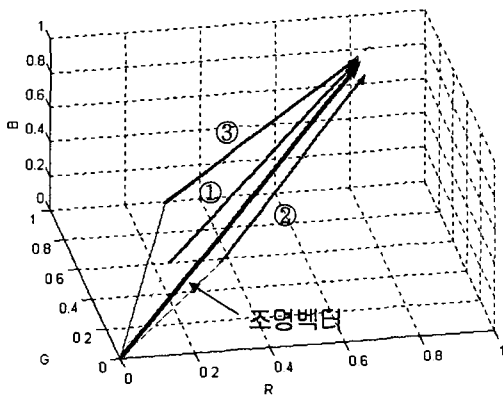
그림 7(b),(c)에서는 각 물체의 하이라이트 클러스터가 조명 방향으로 근접해 감을 알 수 있으며, 조명벡터와 각 물체의 표면반사 벡터와의 각도 차가 크므로 기존 Dichromatic 반사 모델에서 주장한 것처럼 조명벡터와 서로 평행



(a) 세 물체에 초록색 조명이 비춰진 영상



(b) 세 물체에서의 클러스터 분포

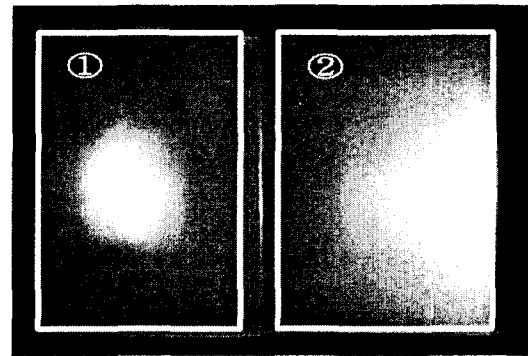


(c) 세 물체의 표면반사벡터와 조명벡터

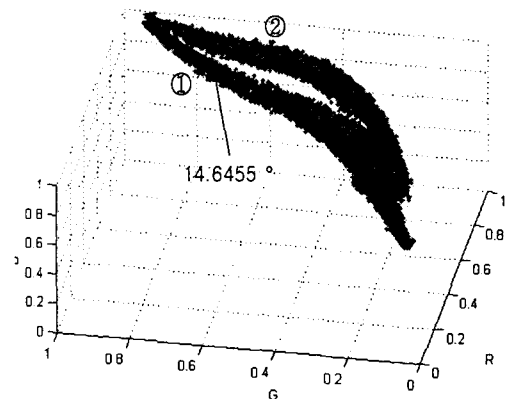
그림 7. 한 조명이 여러 물체에 비춰진 경우

하지 않음도 알 수 있다.

이와 같은 현상은 하나의 물체에 두 개 이상의 하이라이트 영역이 있는 경우의 영상에서도 실험을 통해 확인할 수 있었다. 그림 8(a)은 핑크색 물체에 흰색 조명을 비추었을 때 두 개의 하이라이트 영역이 나타나는 영상이며, 그림 8(b)는 ①, ②영역을 RGB 3차원 공간에 나타낸 것이다. 여기에서, 두 개의 하이라이트 클러스터는, 비록 물체내부반사 정도는 다르지만, 표면반사 벡터는 조명 방향으로 생성됨을 보이고 있다. 이 두 표면반사 벡터의 사이각은 14.6° 로서 평행하다고 할 수 없다.



(a) 한 물체에 두 개의 하이라이트가 생긴 영상



(b) 두 개의 하이라이트 클러스터와 표면반사 벡터

그림 8. 한 물체에 두 개의 하이라이트가 있는 경우

6. 결론 및 향후 연구

Dichromatic 반사 모델에서의 표면반사 벡터가 조명 성분을 나타내는 것이 아니며, 하이라이트 클러스터의 최대값이 실제로 조명 성분을 나타낸다는 것을 실험을 통해 제시하였다. 또한, 조명 벡터와 물체내부반사 벡터를 이용하여 하이라이트 영역의 칼라를 그래픽 모델에서와 유사하게 해석하는 방법도 제시하고, 이것의 한계를 분석하였다.

향후, 본 논문에서 제시한 하이라이트 영역 칼라에 대한 재해석 방법의 타당성을 밝히기 위해, 표면반사가 조명성분을 반영하는지에 대한 규명과 영상에서 물체의 표면반사와 물체내부반사와의 상관성을 물리적으로 해석하는 연구를 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] E. J. Giorgianni and T. E. Madden, "Digital color management," Addison-Wesley, 1997
- [2] Brian A. Wandell. Foundation of Vision. Sinauer Associates, Inc. 1995.
- [3] M.D'Zmura and P. Lennie, "Mechanism of color constancy," J. Opt. Soc. Am. A., Vol. 3, pp. 1662-1672, 1986
- [4] E. H. Land, and J. J. McCann, "Lightness and retinex theory," J. Opt. Soc. Am., Vol. 61, pp. 1-11, 1971
- [5] G. Finlayson, P. Hubel and S. Hordley. Colorby correlation. Proceedings of the Fifth IS&T/SID Color Imaging Conference, 1996.
- [6] B. Funt, V. Cardei and K. Barnard. Learning color constancy. Proceedings of the Fifth IS&T/SID Color Imaging Conference, 1996
- [7] G. J. Klinker and S. A. Shafer, and T. Kanade, "The Measurement of Highlights in Color Images," International Journal of Computer Vision(IJCV), Vol. 2, pp. 7-32, 1988
- [8] C. L. Novak and S. A. Shafer, "Method for

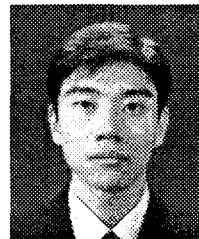
estimating scene parameters from color histograms," J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 11, pp. 3020-3036, 1994

- [9] C.K. Ong and T. Matsuyama, "Robust Color Segmentation Using the Dichromatic Reflectance Model," ICPR, pp. 780-784, 1998.
- [10] Foley, VanDam, Feiner, Hughes, "Computer Graphics principles and practice 2nd edition", Addison-wesley 12110, 1990



박 명 은

- 1999년 부산대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2001년 부산대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사
- 현재 LG 전자 기술원 Innovation Center 디지털 비전그룹 연구원
- 관심분야 : 칼라영상처리, 컴퓨터 비전, 생체인식



김 성 영

- 1994년 부산대학교 컴퓨터공학과 학사
- 1996년 부산대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사
- 1998년 부산대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정 수료
- 현재 창원전문대학 멀티미디어과 전임강사
- 관심분야 : 칼라영상분할, 내용기반검색



김 종 민

- 1992년 부산대학교 컴퓨터공학과 학사
- 1994년 부산대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사
- 2000년 부산대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사
- 1996년 3월~현재 고신대학교 컴퓨터과학부 조교수
- 관심분야 : 칼라영상처리, 멀티미디어 시스템, 컴퓨터그래픽



김 민 환

- 1980년 서울대학교 전기공학과 학사
- 1983년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사
- 1988년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사
- 1991년~1992년 Univ. of Washington 객원연구원
- 1986년~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 교수
- 관심분야 : 화상처리 및 이해, 칼라공학, 컴퓨터그래픽