

밝기 변화를 고려한 색상과 채도의 확률 모델에 기반한 조명변화에 강인한 컬러분할

論 文

54D-10-4

Color Segmentation robust to Illumination Variations based on Statistical Methods of Hue and Saturation including Brightness

金 治 昊[†] · 劉 凡 材^{*} · 金 鶴 培^{**}
(Chi-Ho Kim · Bum-Jae You · Hagbae Kim)

Abstract - Color segmentation takes great attentions since a color is an effective and robust visual cue for characterizing one object from other objects. Color segmentation is, however, suffered from color variation induced from irregular illumination changes. This paper proposes a reliable color modeling approach in HSI (Hue-Saturation-Intensity) color space considering intensity information by adopting B-spline curve fitting to make a mathematical model for statistical characteristics of a color with respect to brightness. It is based on the fact that color distribution of a single-colored object is not invariant with respect to brightness variations even in HS (Hue-Saturation) plane. The proposed approach is applied for the segmentation of human skin areas successfully under various illumination conditions.

Key Words : Color Segmentation, Color Model, Illumination Variations, B-spline Curve Fitting, Evaluation Index (EI)

1. 서 론

컬러는 다른 물체로부터 하나의 물체를 특징짓기 위한 효과적이고 강인한 단서로서 컬러분할 (color segmentation)은 물체인식, 영상추적, 인간과 컴퓨터간의 상호작용 (Human-Computer Interaction, HCI), 인간과 로봇과의 상호작용 (Human-Robot Interaction, HRI), 시각기반 로봇, 영상감시 등에 있어서 매우 중요한 기술이다 [1], [2], [3]. 특히, 컬러는 대상의 크기와 배경에 독립적이므로 영상처리에 효과적이다. 그러나 컬러분할의 강인함은 컬러영상에서 빛에 대한 정보를 분리해내고 대상에 대한 실제에 가까운 색채 분포의 모델이 사용될 때 획득된다. 하지만 조명이나 카메라 방향의 불규칙한 변화가 발생하거나, 다른 카메라를 사용했을 경우 컬러분할의 신뢰성을 유지하는 것은 매우 어렵다 [3].

그에 따라 컬러분할에 대한 다양한 알고리즘들이 제안되었다. Dai와 Nakano [4]는 YIQ 컬러 좌표계에서 오렌지색에서 청록색으로 변하는 I 성분을 이용하여 피부색 영역을 강조하였다. 하지만 그들은 이 과정에서 발광 성분인 Y 즉, 빛의 영향을 고려하지 않았다. Du와 Crisman [5]은 빨강-초록-파랑 (RGB, Red-Green-Blue) 컬러 좌표계상에서 이미 명백히 알고 있는 컬러를 여러 영상들로부터 선택하여 하나의 집합

을 만들고 최근접 계산법을 사용하여 각 컬러의 문턱치 상자에 의한 다중 컬러 영역의 추적에 적용했다. Fieguth와 Terzopoulos [6]는 R, G, B 컬러 요소로 구성된 컬러벡터를 이용하여 다중물체에 대한 컬러기반 추적 방법을 제안하였다. 그러나 이들 [5], [6]은 RGB 정보가 조명 변화에 영향을 받는다는 사실을 고려하지 않았다. Yang과 Waibel [7], [8]은 정규화된 RG (Red-Green) 평면에서 컬러 도수분포표를 사용했는데 피부색 분포를 모델링함에 있어 단일 가우시안 모델을 사용했다. 그러나 Fu 등 [9]은 가우시안 다중 모델이 단일 가우시안 모델보다 우수하다는 가정하에 가우시안 다중 모델을 사용하여 얼굴을 추출했다. 하지만 Caetano 등 [10]은 단일 가우시안 모델과 가우시안 다중 모델에 대한 많은 비교실험을 통해 가우시안 다중 모델이 RG 색채 공간에서 반드시 최상의 선택은 아님을 밝혀냈다. 또한 조명변화에 대한 강인함을 얻기 위해 빛의 세기에 대한 정보를 제거할 수 있는 컬러 좌표계를 이용한 알고리즘이 제안되었다. Sobottka와 Pitas [11], [12]는 얼굴분할을 위해 최적합 타원과 색상-채도-명도 (Hue-Saturation-Intensity, HSI) 컬러 좌표계에서의 컬러 정보를 이용하였고, Feyrer와 Zell [13]은 신뢰도 높은 얼굴 추적을 위해 같은 컬러 좌표계에서 컬러와 동작 정보를 조합하여 사용하였다. 또한 Tomaz 등 [14]은 같은 방법으로 TSL 컬러 공간에서 컬러 분할 알고리즘을 만들었다. HSI 컬러 좌표계 외에 YCbCr [15], YUV [16], CIE XYZ [17], CIE Lab [18] 등의 컬러 좌표계 역시 컬러분할을 위해 선택되었다. 이러한 컬러 좌표계 변환은 피부색과 피부색이 아닌 색을 잘 구분함, 서로 다른 피부색 사이의 유사성 증대, 다양한 조명 조건에 대한 강인함에 이바지한다고 알려져 왔다. 하지만 Shin 등 [19]은 대부분의 컬러 좌표계 변환은 위에 기술한 장점들을 가지고 있지 않다고 확인했다. 특히, Jayaram 등 [20]은 조명에 대한 인자를 포함하면서 HSI 컬러 좌표계

† 교신저자, 正會員 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정 / 한국과학기술연구원 지능로봇연구센터 학생연구원
E-mail : chkim@yonsei.ac.kr

* 正會員 : 한국과학기술연구원 지능로봇연구센터 센터장 · 공학박사

** 正會員 : 연세대학교 전기전자공학과 부교수 · 공학박사
接受日字 : 2005年 6月 30日
最終完了 : 2005年 9月 12日

로의 변환이 이루어졌을 때 가장 좋은 피부색 추출 결과를 얻을 수 있음을 주장했다. 그밖에 적응적으로 컬러를 분할한 연구가 행해졌다. Bergasa 등 [21]은 피부색의 가우시안 모델에 기반한 적응적이고 통제받지 않는 컬러 분할 방법을 제안하였다. Cho 등 [22]은 컬러분할을 위한 문턱치를 적응적으로 조절하는 피부색 적응 필터를 제안했다. Soriano 등 [23]은 '피부 자취 (skin locus)'를 이용하여 변화하는 조명조건 아래서 피부색 컬러모델을 동적으로 업데이트시키기 위해 선택된 화소들을 훈련시켰다. 즉, 이들 [21], [22], [23]은 피부색 컬러 분할을 함에 있어 컬러모델을 동적으로 적용시키는 시도를 했다. 따라서 다양한 조명조건에 대해 적용할 수 있게 되었다. 하지만 비디오 영상에서 매 프레임마다 적절한 컬러모델을 찾아야 하므로 많은 시간이 요구된다. 위에서 설명한 많은 방법들이 있지만 성능비교를 위한 Martinkauppi 등 [24]의 연구를 주목할 필요가 있다. 그들은 컬러분할의 네 가지 타입을 선택한 후 변화하는 조명조건 하에서 그것들의 성능을 비교했다. 선택된 방법은 다음과 같다: 1) Cho 등 [22]에 의한 피부색 적응 필터, 2) Jone과 Rehg [25]에 의한 정규화된 RG 평면에서의 확률 기반 접근법, 3) Hsu 등 [15]의 컬러 교정에 의한 피부색 모델링, 4) 피부 자취 [23], [26] 이용 방법. 그들은 피부 자취를 이용한 방법으로 가장 좋은 결과를 얻었다. 다른 세 가지 방법들은 특정 조명 조건에서는 좋은 결과를 얻었으나 변화하는 조명 조건에서는 그렇지 못했다. 피부 자취를 이용한 방법 역시 모든 조명 조건 아래서 훈련 데이터를 수집하였기에 특정 프레임에서는 다른 세 가지 방법보다 결과가 좋지 못했다.

요약하면, 대부분의 방법들은 임의의 컬러 좌표계에서 문턱치들로 구성된 하나의 덩어리를 정의하여 특정 컬러를 모델링하거나, 컬러모델 적응 알고리즘을 사용하거나, 색상-채도-명도나 TSL 등의 컬러 좌표계에서 빛의 세기 정보를 제거시키는 방법으로 조명변화에 강인한 컬러분할을 하고자 했다.

본 논문에서는, 비록 빛의 성분이 제거된 색상-채도(Hue-Saturation, HS) 평면일지라도 단일 컬러를 가지는 물체의 컬러 분포가 조명변화에 영향을 받는다는 사실에 근거하여 [20]의 결과로부터 선택된 HSI 컬러 좌표계에서 빛의 세기 정보를 고려한 컬러 모델링 방법을 제안한다. 이 컬러모델은 빛의 세기에 대한 색상과 채도의 통계적 특성으로부터 만들어진다. 각각의 빛의 세기 단계에서 독립적인 컬러 모델을 만들고 각 단계의 경계값에 대해 B-spline 보간을 했으므로 모든 조명조건에서 훈련 데이터를 수집한 피부 자취를 이용한 방법 [23], [26]의 단점을 극복할 수 있다. 또한 컬러 모델링 과정이 오프라인에서 수행되므로 컬러분할 속도가 빨라 비디오 영상에서의 실시간 추적에 적합하다. 다양한 조명 조건에서 얻어진 영상들에 대한 실험 결과로부터 제안된 컬러분할 알고리즘이 조명의 불규칙하고 갑작스러운 변화에 대해 강인함을 알 수 있었다.

2장에서 컬러 모델링 방법의 배경이 소개되고, 3장에서 제안된 방법에 대해 구체적으로 기술한다. 4장에서 제안된 피부색에 대한 컬러분할 알고리즘의 실험결과를 제시한다. 특히, 위에서 분류한 컬러분할 방법들의 각 분류에서 대표적인 것들 즉, 정규화된 RG 평면에서 단일 가우시안 피부색 모델을 만든 Yang의 방법 [7], 조명변화에 대한 강인함을 얻기 위해 빛의 세기에 대한 정보를 제거할 수 있는 HSI 컬러 좌표계를 이용한 Sobottka의 방법 [11], 그리고 피부색 적응 필터를 사용한 Cho의 방법 [22]을 제안된 방법과 동일한 환경,

동일한 입력 영상, 동일한 훈련 데이터를 통해 비교실험 하였다. 끝으로 5장에서 결론을 내린다.

2. 컬러분할 알고리즘의 제안 배경

컬러 항상성은 신뢰성 있는 컬러분할에 매우 중요한 것으로 고정된 조명조건 하에서 유지된다 [22]. 즉, 조명조건이 급작스럽게 변하고 물체의 밝기가 불규칙한 양상을 보일 경우 컬러 항상성을 유지하는 것은 쉽지 않다. 이 현상은 사람이 복도를 걸어갈 때 관찰되어질 수 있다. 사람을 비추는 빛의 양과 방향은 얼굴의 밝기 분포에 결정적인 영향을 미친다. 따라서 사람의 얼굴과 같은 단색 물체는 밝기가 변할 때 컬러 분포가 변하므로 밝기 정보를 무시한 컬러모델을 사용해서는 올바른 컬러분할을 할 수 없다. HS 평면상의 서로 다른 빛의 세기 아래서, 사람 얼굴의 컬러 분포 예는 (그림 1)과 같다. 각 그림은 빛의 세기가 서로 다른 컬러 분포를 나타낸다. 여기서 빛의 세기는 (a)에서 (d)로 갈수록 증가하고 수평축은 색상을 수직축은 채도를 나타낸다. (그림 1)로부터 HSI 컬러 좌표계에서 빛의 성분이 제거된 HS 평면일지라도 밝기가 변할 때 컬러 분포가 변함을 확인할 수 있다. 이로부터 밝기 정보를 무시한 컬러모델로는 올바른 컬러분할을 수행할 수 없음을 알 수 있다. 즉, 빛의 세기 정보를 무시한 컬러모델을 컬러를 사용한 시각기반 작업에 사용할 경우 대상 물체를 잃어버리거나 종종 부분적으로만 추적할 수 있게 된다.

물론 비디오 카메라의 AGC (Automatic Gain Control) 모드가 사용될 경우 비디오 신호의 활성 범위는 영상의 전체 밝기를 알맞게 하기위해 자동적으로 조절될 수 있다. 그러나 이 작업은 반응시간이 0.5초보다 클 정도로 시간을 많이 필요로 한다. 또한 평균 밝기가 유지되더라도 불규칙한 밝기 변화는 보정되지 않는다. 따라서 밝기 변화에 강인한 컬러모델은 필수적이다.

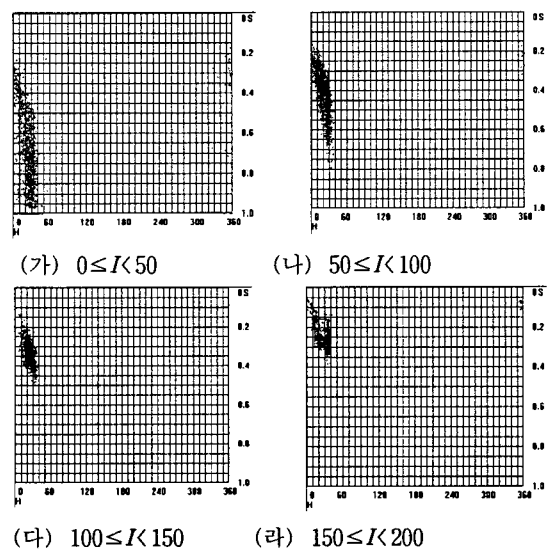


그림 1 다른 빛의 세기에 대한 색상-채도 평면에서의 피부색 분포

Fig. 1 Color distribution of a human face in HS plane for several intensity intervals

3. 컬러분할 알고리즘

동일한 컬러를 갖는 물체에 대해 서로 다른 빛의 세기에서 컬러 분포는 (그림 1)에서와 같이 서로 다른 무게중심, 서로 다른 모양, 그리고 서로 다른 표준편차를 가진다. 즉, 컬러의 통계적 특징은 빛의 세기에 영향을 받는다. 따라서 제안된 컬러모델은 빛의 세기에 대한 컬러의 통계적 특징으로서 빛의 세기에 대한 색상과 채도의 평균과 표준편차로 표현된다. 여기서,

x : 빛의 세기, $0 \leq x \leq 255$

$H_m(x)$: x 에서 색상의 평균

$H_\sigma(x)$: x 에서 색상의 표준편차

$S_m(x)$: x 에서 채도의 평균

$S_\sigma(x)$: x 에서 채도의 표준편차

라 하자. 컬러에 대한 통계적 특성을 분석하기 위해 우선 다양한 조명조건 하에서 촬영된 많은 영상들을 획득한 후, 단색 물체에 대한 컬러 모델링을 다음과 같은 과정을 거쳐 수행한다.

- 과정 1) 빛의 세기의 전 영역을 유한 개 (N)의 구간으로 나눈다.
- 과정 2) 모델링 대상이 되는 컬러에 해당하는 영역을 영상에서 수작업으로 선택한다. 선택된 영역에 해당하는 화소들을 '과정 1)'에서의 빛의 세기 구간에 따라 분배한다.
- 과정 3) 빛의 세기 구간에 대한 색상과 채도의 평균과 표준편차 그래프를 각각 (그림 2)의 (가)와 같이 그린다. (그림 2)의 (가)는 N = 5일 때의 예를 나타낸 것이다.
- 과정 4) 2차 B-spline 곡선을 이용하여 각각의 막대 그래프를 (그림 2)의 (나)와 같이 연속곡선으로 근사화하고 이것을 $H_m(x), H_\sigma(x), S_m(x), S_\sigma(x)$ 으로 표현한다.

막대 그래프를 연속곡선으로 근사화 하기위해 다음과 같은 조건들을 사용한다. 첫째, 두 막대 사이의 곡선은 다음의 2차 방정식으로 표현된다.

$$f_i(x) = a_i \cdot x^2 + b_i \cdot x + c_i$$

그리고, 전체 빛의 세기 구간에 대해 근사화 된 곡선은 다음 집합으로 표현된다.

$$f(x) = \{f_i(x) \mid i = 1, 2, \dots, N - 1\}$$

둘째, 2차 곡선은 막대기의 천정을 통과한다. 즉 다음과 같은 경계조건을 만족한다.

$$f_i(x_i) = a_i \cdot x_i^2 + b_i \cdot x_i + c_i, \quad i = 1, 2, \dots, N - 1$$

$$f_i(x_{i+1}) = a_i \cdot x_{i+1}^2 + b_i \cdot x_{i+1} + c_i, \quad i = 1, 2, \dots, N - 1$$

셋째, 각각의 2차 곡선은 각 경계점에서 연속이다. 즉 이웃하는 곡선에서 경계점의 미분값이 서로 같다. 그래서,

$$2 \cdot a_i \cdot x_{i+1} + b_i = 2 \cdot a_{i+1} \cdot x_{i+1} + b_{i+1},$$

$$i = 1, 2, \dots, N - 1.$$

넷째, 첫번째 경계점에서의 2차 미분값은 0이다. 즉,

$$a_1 = 0.$$

이 조건은 빛의 세기가 첫번째 막대 그래프의 중심보다 더 작은 구간에서 근사 곡선이 연속이 되게 하기 위한 것이다.

위의 연속곡선으로의 근사화 과정을 요약하면, N = 5에서 근사곡선에 대한 계수 벡터는 다음 행렬 방정식으로 표현된다.

$$(b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3, a_4, b_4, c_4)^T = \begin{bmatrix} x_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_2^2 & x_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_3^2 & x_3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_4^2 & x_4 & 1 \\ x_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_3^2 & x_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_4^2 & x_4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_5^2 & x_5 & 1 \\ 1 & 0 & -2x_2 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2x_3 & 1 & 0 & -2x_3 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2x_4 & 1 & 0 & -2x_4 & -1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} f(x_1) \\ f(x_2) \\ f(x_3) \\ f(x_4) \\ f(x_2) \\ f(x_3) \\ f(x_4) \\ f(x_5) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(그림 2-가)에 대한 연속곡선으로의 근사화 결과는 (그림 2-나)와 같다. 이와 같은 방법으로 빛의 세기에 대한 색상과 채도의 평균과 표준편차에 해당하는 과정 4)의 방정식 4개가 결정되는데, 이 4개의 방정식이 임의의 컬러에 대한 컬러모델이 된다. 따라서 색상과 채도에 대한 다음 두 조건을 만족하는 화소가 분할하고자 하는 컬러로 판별된다.

$$H_m(x) - T_h \cdot H_\sigma(x) \leq H(p(x)) \leq H_m(x) + T_h \cdot H_\sigma(x)$$

$$S_m(x) - T_h \cdot S_\sigma(x) \leq S(p(x)) \leq S_m(x) + T_h \cdot S_\sigma(x)$$

여기서,

$$H(p(x)): p(x) \text{의 색상}$$

$S(p(x))$: $p(x)$ 의 채도
 $p(x)$: 빛의 세기 x 인 화소
 T_h : 문턱치

이다. 제안된 컬러모델이 가우시안 분포를 형성한다는 가정이 성립하므로 T_h 를 조절함으로써 그 통계적 특징을 추정할 수 있다.

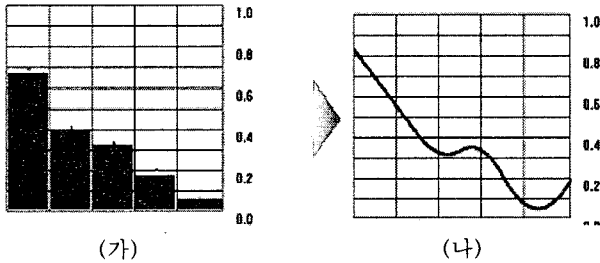


그림 2 연속곡선으로의 근사화
 Fig. 2 An example of curve fitting

4. 실험결과

Sony XC-999 NTSC 카메라와 Matrox CORONA 영상 획득기를 탑재한 800MHz PC기반 시각 시스템으로 제안된 알고리즘을 실험하였다. 다양한 조명조건 하에서 촬영된 많은 영상들로부터 추출한 피부색 화소들을 이용해 피부색 컬러모델을 만든다. 여기서 피부색 모델을 만들기 위해 사용된 피부색 화소들을 선택하는 방법은 다음과 같다: (1) 다양한 조명 조건을 자연스럽게 만들기 위해 여러 대의 형광등이 설치된 실험실에서 형광등 스위치를 차례로 하나씩 꺼가며 조도를 낮춘 후 각각의 조명 조건에서 한 장씩의 컬러 영상을 얻는다. (2) 이렇게 촬영된 18장의 640×480 크기 컬러 영상으로부터 총 12,584개의 피부색 화소를 수동으로 수집한다. (3) 그 화소들은 이마, 볼, 코, 목 등과 같은 피부색 영역으로부터 획득한다. (4) 이렇게 획득한 피부색 화소 중 강력한 조명이 비추어진 것과 그늘진 것은 제거한다. 이 실험에서 이러한 방법으로 만들어진 컬러모델은 (그림 3)과 같다. (그림 3)의 곡선은 (가)에서 (라)로 각각 색상의 평균, 채도의 평균, 색상의 표준편차, 채도의 표준편차를 나타낸다. 그리고 수평축은 모두 빛의 세기이다. (그림 4)는 제안된 컬러모델을 사용한 피부색에 대한 컬러분할의 결과다. 여기서 (가)는 입력 영상이고, (나)는 (가)에 대한 컬러분할의 결과다.

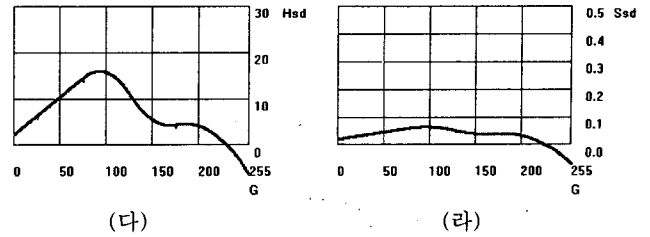
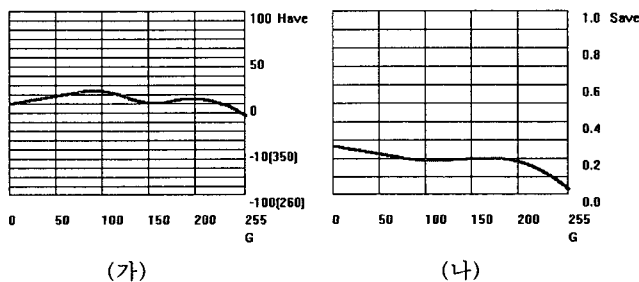


그림 3 피부 영역 컬러모델
 Fig. 3 The curve fitting made in this experimentation

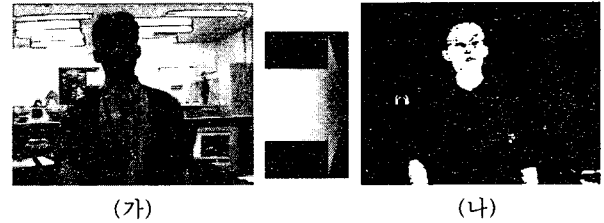


그림 4 피부색에 대한 컬러분할의 결과
 Fig. 4 The result of skin color segmentation by using our color model

또한 실험적으로 최적의 T_h 값을 결정한다. (그림 5)는 서로 다른 T_h 값들에 대한 (그림 4-가)의 피부색에 대한 컬러분할의 결과다.

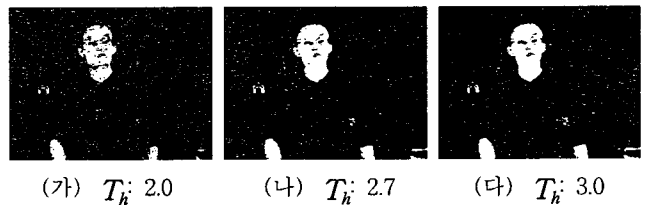
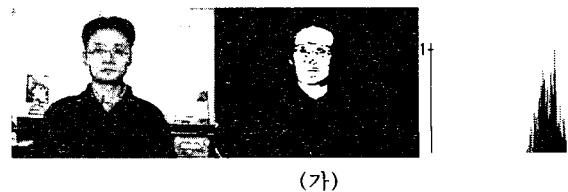


그림 5 T_h 의 변화에 대한 피부색 컬러분할의 결과
 Fig. 5 The result of skin color segmentation for the variation of T_h

(그림 5)의 결과로부터, 컬러분할 결과에 대한 노이즈와 견고성을 고려하여 최적의 문턱치를 2.7로 정했다. 제안된 컬러모델이 가우시안 분포임을 가정했을 때, 이 2.7이라는 값은 가우시안 곡선의 적분이 전체 영역의 약 99%에 해당함을 의미한다. 이렇게 구성된 컬러모델에 의한 다양한 조명조건 아래서의 피부색에 대한 컬러분할 결과는 (그림 6)과 같다. 입력 영상들의 평균 빛의 세기는 (그림 6-가)에서 (그림 6-바)로 가며 줄어든다. 또한 왼쪽 열은 입력 영상, 가운데 열은 컬러분할 결과, 오른쪽 열은 각 영상에서 피부 영역에 대한 빛의 세기의 정규화된 히스토그램이다. 이 정규화된 히스토그램으로부터 (그림 6)의 (가)에서 (바)로 갈수록 빛의 세기가 줄어들고 있음을 알 수 있다. (그림 6)의 실험결과로부터 제안된 컬러분할 알고리즘이 조명변화에 강인함을 알 수 있다.



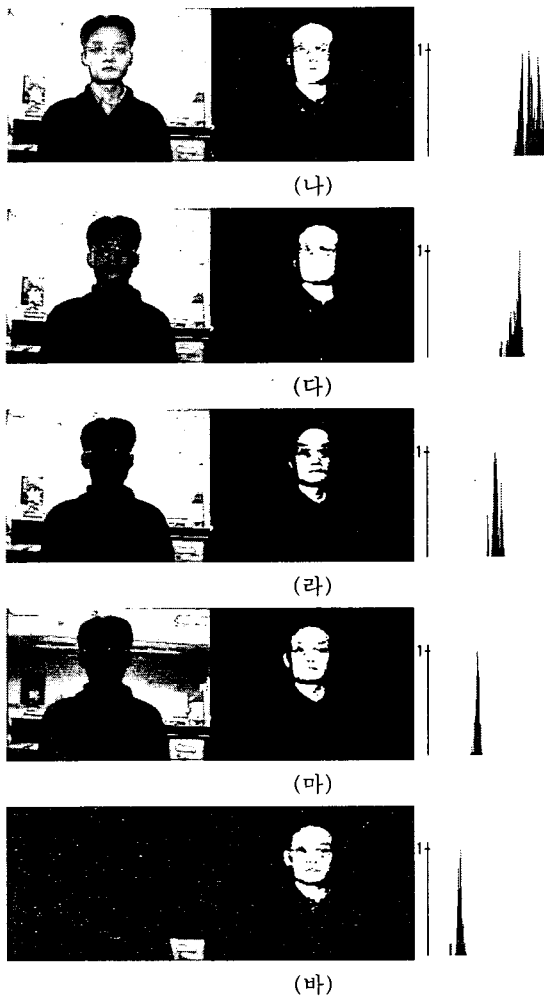


그림 6 다양한 조명조건에서의 컬러분할
 Fig. 6 Experimental results of skin color segmentation under various illumination conditions

다음으로, 다른 논문에서 제안된 세 가지의 방법들 [7], [11], [22]에 대하여 실험하고 그 결과를 제안된 방법의 결과와 비교한다. Cho의 방법 [16]에서, 우선 각각의 컬러 요소들(색상-채도-명도)의 문턱치 초기값을 다양한 조명조건 하에서 촬영된 몇몇 영상들을 관찰함으로써 선택한다. 채도와 명도에 대한 문턱치는 채도-명도 평면에서의 도수분포표를 반복적으로 갱신함으로써 획득한다. 여기서 채도와 명도의 문턱치로 이루어진 사각형 안에서 최대 도수의 10%보다 더 큰 셀(채도-명도 평면에서 하나의 단위 좌표)에 대한 도수분포표의 무게중심을 사용한다. 그 후, 펄셋론 학습 방법에 의해 분할평면을 계산하여 배경을 분리해 낸다. Sobottka의 방법[11]에서는 우선 표본 피부색 화소의 색상과 채도 각각에 관한 가우시안 모델을 만들어 색상-채도(HS) 평면에서 그 모델에 해당하는 문턱치 사각형을 만든다. 이 문턱치 색상-채도 사각형을 사용함으로써 피부색에 대한 컬러분할을 수행한다. Yang의 방법 [7]에선 우선 표본 피부색 화소들로 정규화 과정을 수행한다. 이로써 색채 좌표계에서 컬러 좌표(r, g)들을 획득할 수 있고 이로부터 컬러 좌표 r, g 각각에 대한 가우시안 모델을 만들 수 있다. 여기서 r과 g는 빨강-초록-파랑(RGB, Red-Green-Blue) 좌표계에서 빨강과 초록의 정

규화된 값을 나타낸다. Sobottka와 Yang의 방법을 실험함에 있어서, 제안된 알고리즘에 대한 컬러 모델링 때 사용한 것과 같은 영상을 이용하여 가우시안 모델을 만들었다. 이것은 컬러 모델을 만드는데 사용하는 데이터 역시 제안된 방법과 동일하게 함으로써 비교실험의 공정성을 기하기 위함이다. Cho의 방법은 적응 알고리즘이 있을 뿐, 컬러 모델 자체가 없으므로 고려 대상에서 제외된다. (그림 6)에서 사용된 입력 영상들에 대한 알고리즘 별 실험 결과는 (그림 7)과 같다. (그림 7)의 첫 번째 열은 제안된 방법에 의한 결과이고, 두 번째 열은 Cho의 방법, 세 번째 열은 Sobottka의 방법, 네 번째 열은 Yang의 방법에 의한 결과이다. 이렇게 같은 조건에서 모델링한 방법들을 같은 입력 영상에 대해서 실험한 결과로부터 제안된 알고리즘이 타 방법과 비교하여 조명 변화에 강한 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

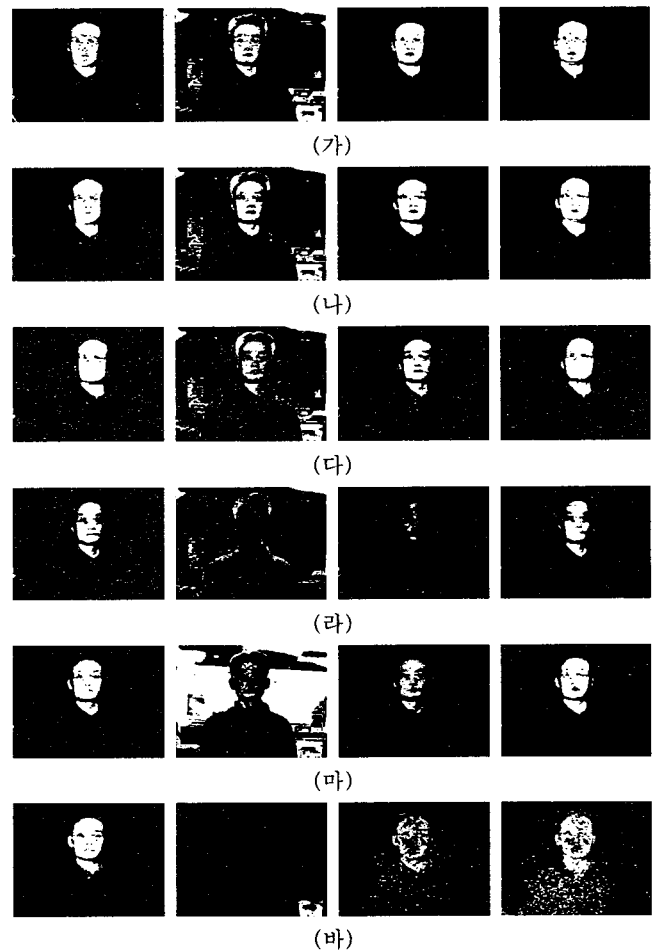


그림 7 비교실험 결과 1
 Fig. 7 The experimental results 1 for comparing

(그림 7)의 결과를 정량적으로 평가하기 위해, [10]에서 단일 가우시안 모델과 복합 가우시안 모델의 성능 비교를 위해 사용된 TPR (True Positive Rate)과 FPR (False Positive Rate)을 사용하였다. TPR은 피부 영역에 해당하는 화소들을 피부로서 올바르게 분할한 비율을, FPR은 피부 영역에 해당하지 않는 화소들을 피부로서 잘못 분할한 비율을 나타낸다. 본 논문에서는 TPR과 FPR을 이용하여 컬러분할의 성능을

정량적으로 측정할 수 있는 평가 지표(Evaluation Index, EI)를 다음과 같이 계산하였다.

$$EI = \frac{1}{2} \times [TPR + (1. - FPR)]$$

위 식에서 EI는 피부 영역을 피부로서, 피부 영역이 아닌 부분을 배경으로서 각각 올바르게 분할한 비율을 의미한다. (그림 7)에 대한 EI는 (표 1)에 주어졌다.

표 1 (그림 7)에 대한 EI

Table 1 The experimental results 1 for comparing

Approach	Proposed	Cho's	Sobottka's	Yang's
(가)				
TPR	0.990123	0.967677	0.999551	0.990797
FPR	0.004078	0.098023	0.029516	0.001981
EI	0.993023	0.934827	0.985018	0.994408
(나)				
TPR	0.983797	0.911589	0.991899	0.997534
FPR	0.002501	0.091360	0.027293	0.001218
EI	0.990648	0.910115	0.982303	0.998158
(다)				
TPR	0.989335	0.716635	0.921937	0.982077
FPR	0.001045	0.088935	0.026464	0.000485
EI	0.994145	0.813850	0.947737	0.947737
(라)				
TPR	0.831465	0.003321	0.162308	0.789954
FPR	0.000491	0.048909	0.026304	0.000165
EI	0.915487	0.477206	0.568002	0.894895
(마)				
TPR	0.951577	0.251186	0.701088	0.979068
FPR	0.000086	0.516559	0.000119	0.000753
EI	0.975746	0.367314	0.850485	0.989158
(바)				
TPR	0.992215	0.000000	0.552758	0.829220
FPR	0.001986	0.018795	0.085170	0.146582
EI	0.995115	0.490603	0.733794	0.841319
EI에 대한 통계적 평가				
평균	0.977361	0.665653	0.844557	0.944279
편차	0.004850	0.309340	0.138136	0.020482

(그림 8)은 (표 1)의 결과를 그래프로 나타낸 것이다. (표 1)과 (그림 8)로부터, 제안된 방법이 EI 값에 있어서 가장 높은 평균과 가장 낮은 편차를 가짐을 알 수 있다. 이는 제안된 방법이 피부 영역과 피부가 아닌 영역을 각각 가장 올바르게 분할했고 그 결과는 조명 변화에 가장 강인했음을 의미한다.

다음으로, 영상처리에 일반적으로 사용되는 영상들 [27]을 사용하여 비교실험을 수행하였다. (그림 9)는 참고영상 [27]의 대표적인 영상에 대한 결과이다. 왼쪽-위 영상은 원 영상, 오른쪽-위 영상은 제안된 알고리즘에 의한 결과다. 아래 영상들은 왼쪽부터 각각 Cho, Sobottka, 그리고 Yang의 방법에 의한 결과이다.

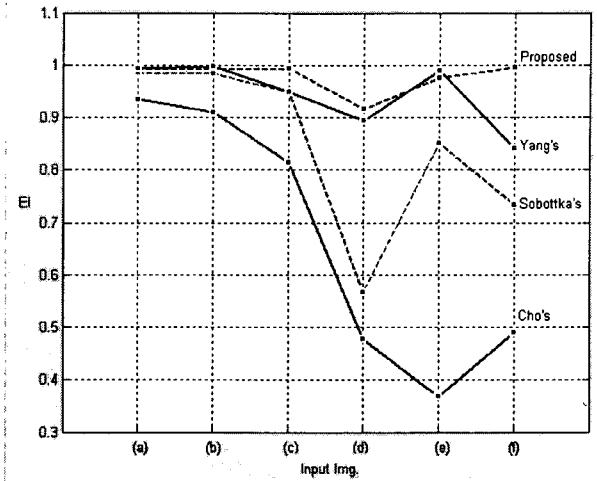
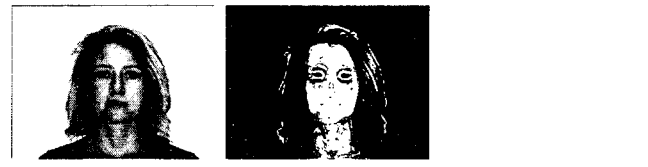


그림 8 (그림 7)에 대한 EI 그래프

Fig. 8 The EIs for the results of Fig. 7 by graph



(가)



(나)



(다)

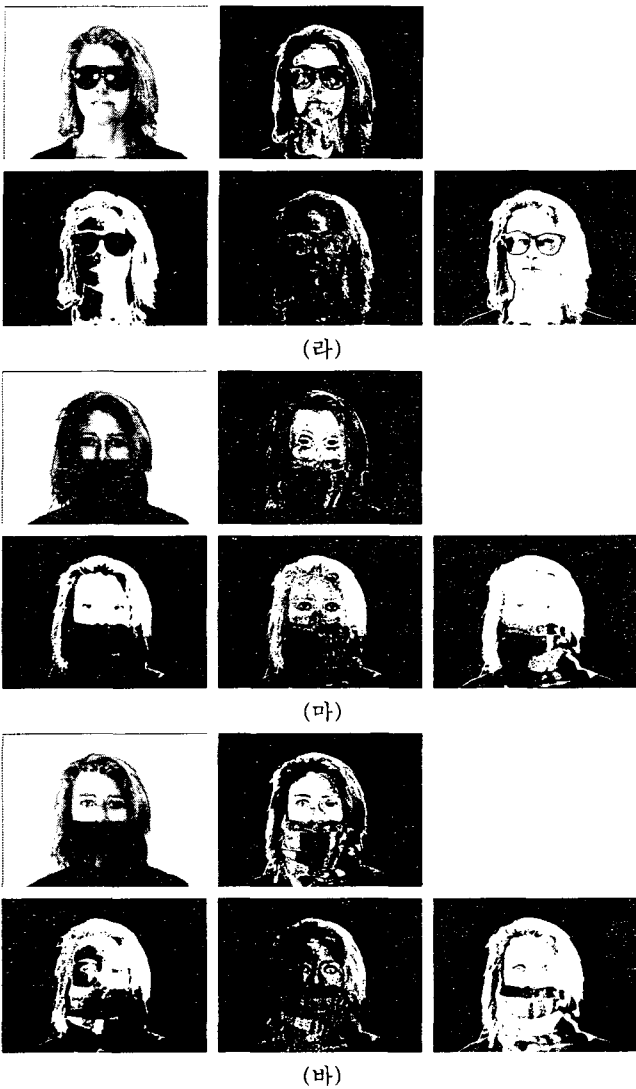


그림 9 비교실험 2
Fig. 9 The experimental results 2 for comparing

참고 영상 [27]의 모든 영상에 대한 결과는 EI 값으로 (그림 10)에 그래프로 나타내었다.

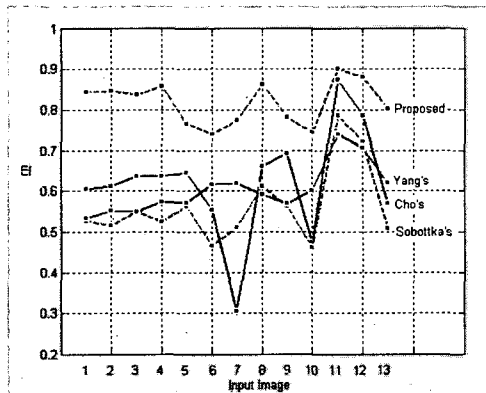
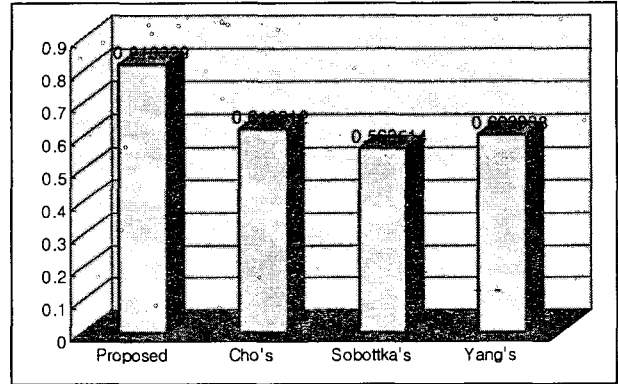
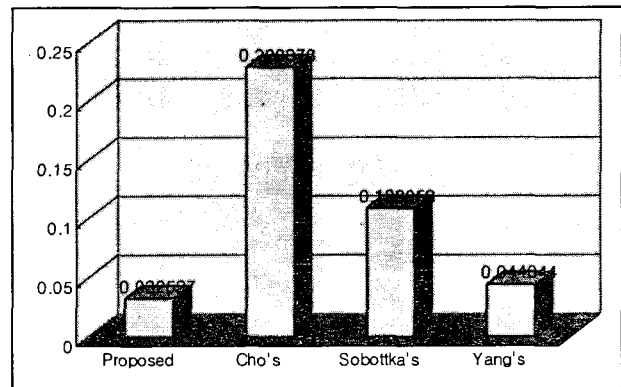


그림 10 참고 영상 [27]의 모든 영상에 대한 결과
Fig. 10 The EIs for the results of the all images in [27] by graph

또한 (그림 11)은 (그림 10)에서의 각 방법에 대한 EI 값의 평균과 편차이다. 참고 영상 [27]에 대한 결과 역시 제안된 방법이 가장 높은 평균과 가장 낮은 편차를 가짐을 알 수 있다.



(가) 평균



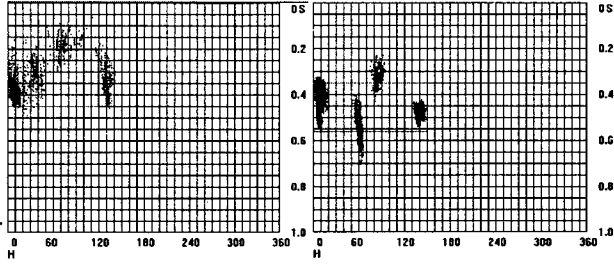
(나) 편차

그림 11 참고 영상 [27]에 대한 결과의 EI 값 평균과 편차
Fig. 11 The mean and the deviation of EIs in the four approaches for the all images in [27]

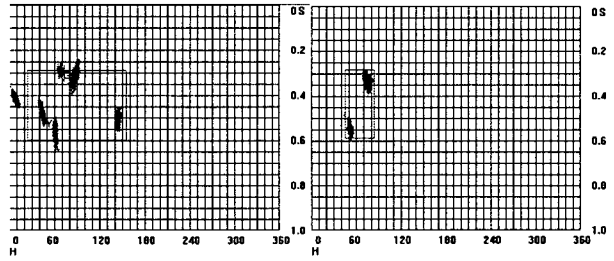
(그림 9), (그림 10), (그림 11)의 결과로부터, 참고 영상 [27]과 같이 영상처리에 상용되는 영상에 대해서도, 제안된 알고리즘이 조명 변화에 대해 다른 알고리즘과 비교하여 우수한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다.

마지막으로, 피부색이 아닌 다른 컬러에 대한 제안된 컬러 분할 알고리즘의 성능 평가를 수행했다. 평가를 위해 사용된 컬러는 빨강, 초록, 파랑, 노랑이며 각각의 색에 대한 분할 결과를 여러 조명 조건에 대해 실험하였다. (그림 12)는 각 컬러 모델에 대한 클러스터링 결과를 나타낸다. 이것으로부터 다음 세 가지 사실을 알 수 있다: (1) 각 컬러의 분포가 조명 조건에 따라 확연히 틀리다. (2) 각 조도 단계에서 각 컬러의 분포가 서로 분명히 구별된다. (3) 각 컬러는 각 조도 단계에서 색상-채도 평면의 좁은 영역에 분포된다. 이것은 제안된 알고리즘의 분할능력 (separability)이 높음을 보여준다. 이와 같은 클러스터링 결과로 만들어진 각 컬러 모델에 의한 컬러 분할 결과는 (그림 13)과 같다. (그림 13)의 왼쪽-위 영상은 원 영상, 오른쪽-위 영상은 빨강 (R)색에 대한 분할 결과다. 아래 영상들은 왼쪽부터 각각 초록 (G), 파랑 (B), 노랑 (Y) 색에 대한 분할 결과다. (표 2)는 (그림 13)의 결과에 대한

EI의 평균과 표준편차를 각 컬러별로 계산한 것이다. (그림 13)과 (표 2)에 의해 제안된 컬러분할 알고리즘은 피부색 뿐만 아니라 일반적인 색에 대해서도 분할 성능이 우수함을 알 수 있다.



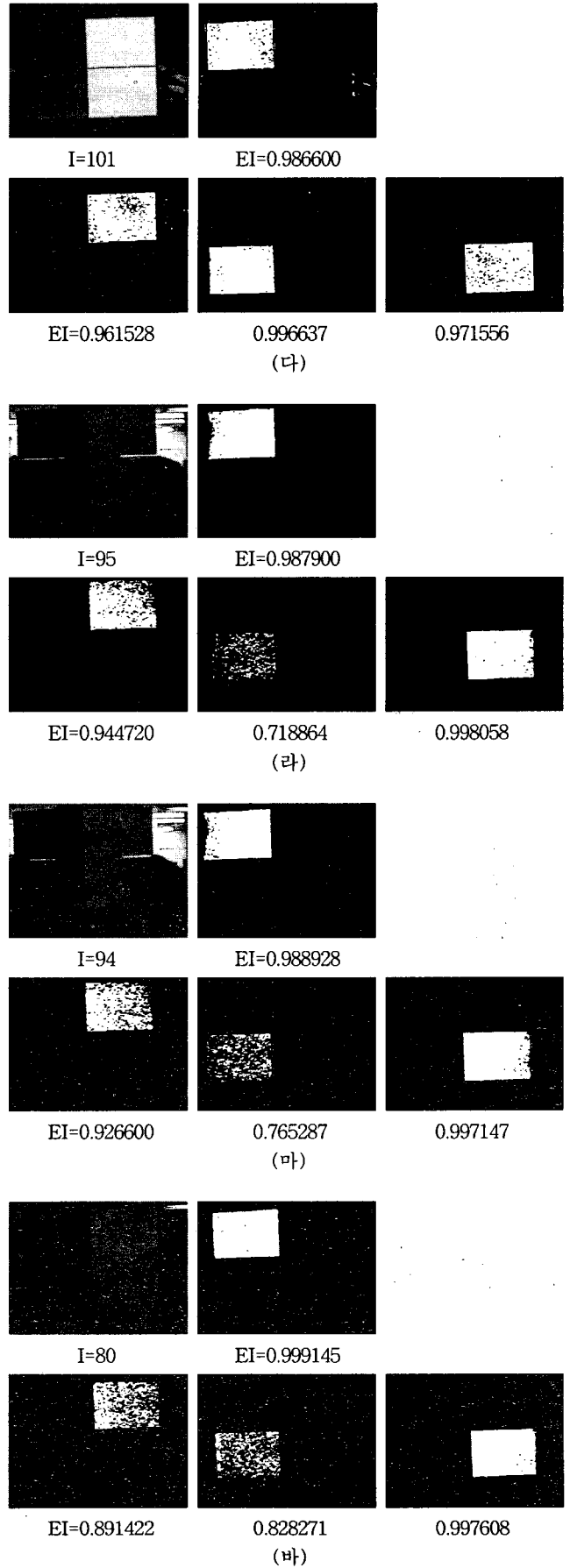
(가) $0 \leq I < 50$ (나) $50 \leq I < 100$



(다) $100 \leq I < 150$ (라) $150 \leq I < 200$

그림 12 빨강 (R), 초록 (G), 파랑 (B), 노랑 (Y)에 대한 컬러 분포 결과

Fig. 12 Color distribution for four primary color - red (R), green (G), blue (B), and yellow (Y) - in HS plane with respect to intensity intervals



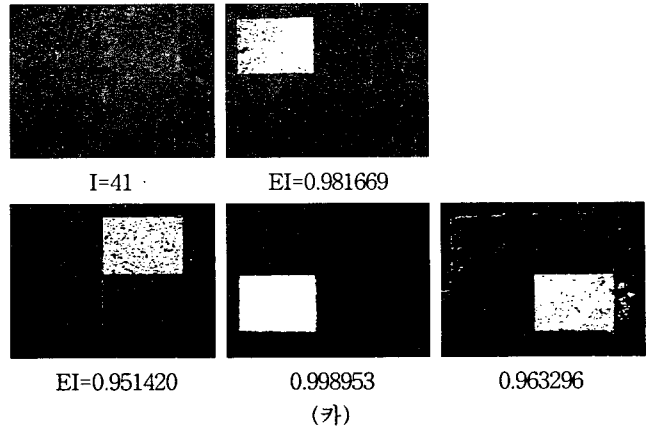
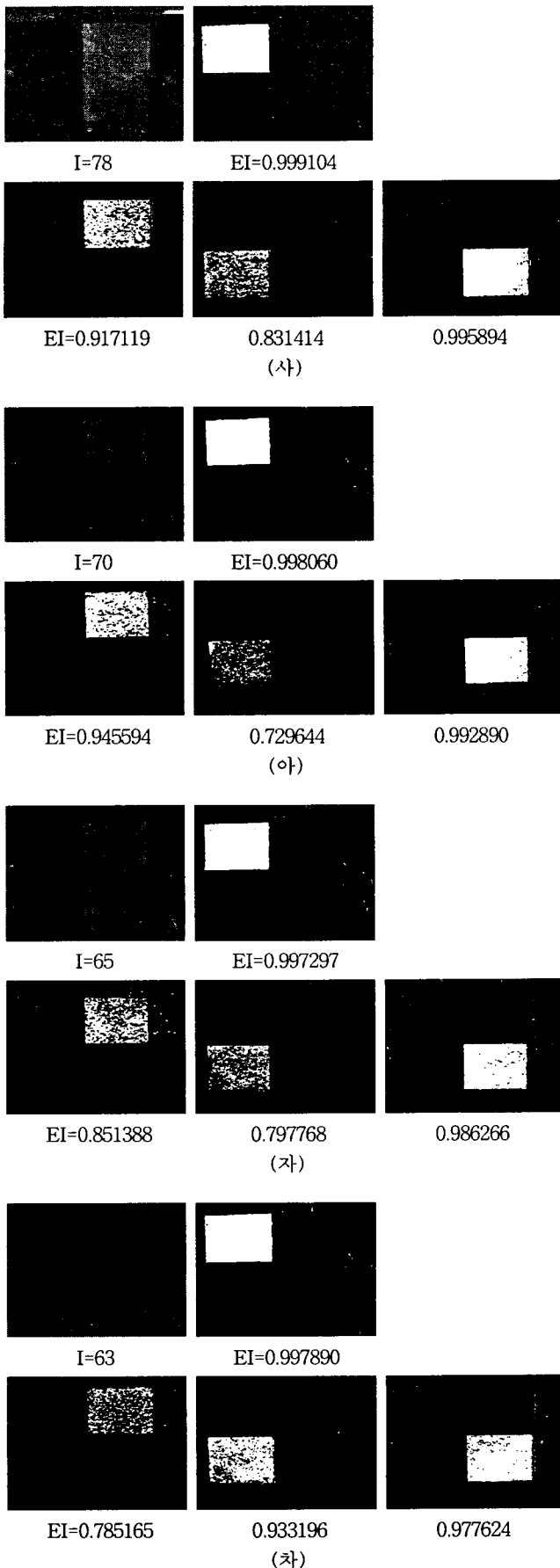


그림 13 빨강, 초록, 파랑, 노랑에 대한 컬러분할 결과
 Fig. 13 The experimental results for primary color segmentation

표 2 빨강, 초록, 파랑, 노랑에 대한 EI의 평균과 편차
 Table 2 The mean and the deviation of EIs for four primary colors

	빨강	초록	파랑	노랑
평균	0.990466	0.900672	0.871800	0.981236
편차	0.000661	0.043501	0.129778	0.004528

5. 결 론

본 논문에서는 B-spline 곡선을 이용하여 HSI 컬러 좌표계에서 빛의 세기에 대한 정보를 포함한 신뢰할 수 있는 컬러 모델링 방법을 제안했다. 이것은 비록 HS 평면임에도 불구하고 단색 물체의 컬러 분포가 조명조건에 따라 변한다는 사실에 기인한다. 다양한 조명조건 아래서 제안된 컬러분할 알고리즘을 실험했다. 그 결과 제안된 알고리즘이 조명조건에 강인함을 알 수 있었다. 또한 최근 연구되어 온 컬러 모델링 방법을 세 가지 접근법으로 나누고 각 분류에서의 대표적인 방법들과 제안된 알고리즘을 비교실험 하였다. 그 결과 제안된 알고리즘이 다른 방법들에 비해 빛의 변화에 대한 강인성에서 우수함을 알 수 있었다.

제안된 방법은 오프라인에서 컬러모델을 만들기 때문에 조명 변화가 많은 환경에서의 실시간 시각기반 작업에 적합하다.

참 고 문 헌

- [1] Cheng,H.D., Jiang,X.H., Sun,Y., and Wang,J., "Color Image Segmentation: Advances and Prospects", Pattern Recognition, vol. 34., pp. 2259-2281, 2001.
- [2] Cai,J. and Goshtasby,A., "Detecting Human Faces in Color Images", Image and Vision Computing, vol. 18, pp. 63-75, 1999.
- [3] Greenspan,H., Goldberger,J., and Eshet,I., "Mixture Model for Face-color Modeling and Segmentation", Pattern Recognition Letters, vol. 22, pp. 1525-1536,

- 2001.
- [4] Dai, Y. and Nakano, Y., "Face-texture Model Based on SGLD and its Applications in Face Detection in a Color Scene", *Pattern Recognition*, vol. 29, no. 6, pp. 1007-1017, 1996.
- [5] Du, Y. and Crisman, J., "A Color Projection for Fast Generic Target Tracking", *Proc. of IEEE/RSJ Int'l Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 360-365, 1995.
- [6] Fieguth, P. and Terzopoulos, D., "Color-based Tracking of Heads and Other Mobile Objects at Video Frame Rates", *Proc. of IEEE Int'l Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 21-27, 1997.
- [7] Yang, J. and Waibel, A., "A Real-time Face Tracker", *Proc. of IEEE Workshop on Application of Computer Vision*, pp. 142-147, 1996.
- [8] Yang, J., Lu, W., and Waibel, A., "Skin-color Modeling and Adaptation", *Proc. of Asian Conf. on Computer Vision*, vol. 2, pp. 687-694, 1998.
- [9] Fu, Z., Yang, J., Hu, W., and Tan, T., "Mixture Clustering using Multidimensional Histograms for Skin Detection", *Proc. of the 17th Int'l Conf. on Pattern Recognition*, vol. 4, pp. 549-552, Aug. 23-26, 2004.
- [10] Caetano, T.S., Olabarriaga, S.D., and Barone, D.A.C., "Do Mixture Models in Chromaticity Space Improve Skin Detection?", *Pattern Recognition*, vol. 36, pp. 3019-3021, 2003.
- [11] Sobottka, K. and Pitas, I., "Extraction of Facial Regions and Features using Color and Shape Information", *Proc. of IEEE Int'l Conf. on Pattern Recognition*, pp. 421-425, 1996.
- [12] Sobottka, K. and Pitas, I., "Segmentation and Tracking of Faces in Color Images", *Proc. of the 2nd Int'l Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 236-241, 1996.
- [13] Feyrer, S. and Zell, A., "Detection, Tracking, and Pursuit of Humans with an Autonomous Mobile Robot", *Proc. of IEEE/RSJ Int'l Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 864-869, 1999.
- [14] Tomaz, F., Candeias, T., and Shahbaskia, H., "Fast and Accurate Skin Segmentation in Color Images", *Proc. of 1st Canadian Conf. on Computer and Robot Vision*, 2004.
- [15] Hsu, R.L., Abdel-Mottaleb, M., and Jain, A.K., "Face Detection in Color Images", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 5, pp. 696-706, 2002.
- [16] Abdel-Mottaleb, M. and Elgammal, A., "Face Detection in Complex Environments from Color Images", *Proc. of IEEE Int'l Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp. 622-626, Kobe, Japan, 1999.
- [17] Chen, Q., Wu, H., and Yachida, M., "Face Detection by Fuzzy Pattern Matching", *Proc. of 5th Int'l Conf. on Computer Vision*, pp. 591-596, Cambridge, Massachusetts, USA, 1995.
- [18] Kawato, S. and Ohya, J., "Real-time Detection of Nodding and Head-shaking by Directly Detecting and Tracking the between Eyes", *Proc. of 4th IEEE Int'l Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 40-45, Grenoble, 2000.
- [19] Shin, M.C., Chang, K.I., and Tsap, L.V., "Does Colorspace Transformation Make Any Difference on Skin Detection?", *Proc. of 6th IEEE Workshop on Application of Computer Vision*, pp. 275-279, 2002.
- [20] Jayaram, S., Schmugge, S., Shin, M.C., and Tsap, L.V., "Effect of Colorspace Transformation, the Illuminance Component, and Color Modeling on Skin Detection", *Proc. of IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2004.
- [21] Bergasa, L.M., Mazo, M., Gardel, A., Sotelo, M.A., and Boquete, L., "Unsupervised and Adaptive Gaussian Skin-color Model," *Image and Vision Computing*, vol. 18, pp. 987-1003, 2000.
- [22] Cho, K., Jang, J., and Hong, K., "Adaptive Skin-color Filter", *Pattern Recognition*, vol. 34, pp. 1067-1073, 2001.
- [23] Soriano, M., Martinkauppi, B., Huovinen, S., and Laaksonen, M., "Adaptive Skin color Modeling using the Skin Locus for Selecting Training Pixels", *Pattern Recognition*, vol. 36, pp. 681-690, 2003.
- [24] Martinkauppi, B., Soriano, M., and Pietikainen, M., "Detection of Skin Color under Changing Illumination: a Comparative Study", *Proc. of 12th Int'l Conf. on Image Analysis and Processing*, Sep. 17-19, pp. 652-657, 2003.
- [25] Jones, M.J. and Rehg, J.M., "Statistical Color Models with Application to Skin Detection", *Int'l Journal of Computer Vision*, vol. 46, no. 1, pp. 81-96, 2002.
- [26] Storrington, M., Andersen, H.J., and Granum, E., "Physics-based Modeling of Human Skin Colour under Mixed Illuminants", *Journal of Robotics and Autonomous Systems*, vol. 35, pp. 131-142, 2001.
- [27] Martinez, A.M. and Benavente, R., *The AR Face Database*. CVC Technical Report #24, June 1998.

저 자 소 개



김치호(金治昊)

1999년 연세대학교 전기공학과 (공학사)
2001년 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
2001년~현재 연세대학교 전기전자공학과 박사과정 / 한국과학기술연구원 지능로봇연구센터 학생연구원
관심분야: 컬러분할, 다중물체영상추적, 유비쿼터스 시각 시스템
e-mail : chkim@yonsei.ac.kr



김학배(金鶴培)

1988년 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1990년 Univ. of Michigan at Ann Arbor 전기 시스템공학과 (공학석사)
1994년 Univ. of Michigan at Ann Arbor 전기 시스템공학과 (공학박사)
1994년~1996년 (미)국립항공우주연구소 (NASA) (미)국립연구재단 NRC 연구원
1996년~2000년 연세대학교 전기전자공학과 조교수
2000년~현재 연세대학교 전기전자공학과 부교수
관심분야: 실시간 시스템, 고장포용 시스템, 인터넷 웹서버
e-mail : hbkim@yonsei.ac.kr



유범재(劉凡材)

1985년 서울대학교 제어계측공학과 (공학사)
1987년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1991년~1994년 (주) 터보테크 기술연구소 로보틱스팀 팀장
1997년 미국 예일대학교 전산학과 방문교수
1994년~현재 한국과학기술연구원 책임연구원
2004년~현재 한국과학기술연구원 지능로봇연구센터 센터장
관심분야: 시각 기반 로보틱스, 지능 로봇, 디지털신호처리 / 마이크로프로세서 응용
e-mail : ybj@kist.re.kr