2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2003.7.21-23

Smooth Color Model을 이용한, 불규칙한 조명 변화에 강인한 Color Clustering

김치호*,**, 유범재*, 김학배**, 오상록*
* 한국과학기술연구원(KIST) 지능제어연구센터 / ** 연세대학교 전기전자공학과

A Robust Color Clustering using a Smooth Color Model under Irregular Brightness Variations

Chi-Ho Kim*,**, Bum-Jae You*, Hagbae Kim**, and Sang-Rok Oh*
* Intelligent System Control Research Center, KIST / ** Dept. of Electrical and Electronic Eng.,

Abstract - Color는 다른 물체로부터 하나의 물체를 특징짓기 위한 효과적이고 강인한 실마리이므로 color clustering이 많은 주목을 받고 있다. 그러나 불규칙한 조명변화에 의한 color 변이 때문에 color segmentation은 매우 어렵다. 이 논문은 B-spline 곡선을 이용한, HSI color space에서의 intensity 정보를 포함한 신뢰할 수 있는 color modeling 방법을 제안한다. 이것은 비록 HS 평균임에도 불구하고 단색 물체의 color 분포가 조명이 변함에따라 변한다는 사실에 기반한다. 이 접근법을 사용하면 피부색을 가진 영역의 color clustering이 불규칙한 조명변화에 적응될 수 있다.

1. 서 론

Color segmentation은 많은 vision-based task에 있어서 본질적이고 critical한 문제다 [1], [2].

몇몇 제안된 color segmentation을 위한 color clustering 방법들이 있다. Swain과 Ballard [3]는 color 기반 물체인식에서 실시간 matching을 위해 color histogram을 사용했다. Color histogram은 color space에서 밀도 평가를 위한 간단하고도 parameter가 필요없는 도구다. 그러나 정확한 color model을 위해선 밀도 평가를 위한 좋은 parametric model이 필요하다. Du와 Crisman [4]은 RGB color space에서 분류별 color 집합을 선택하고 nearest neighbor를 계산하여 각 color에 대한 membership volume을 만들었다. 그들은 synthetic image에서 다중 color 영역을 tracking하기 위해 이 방법을 적용했다. 그러나 RGB 정보가 조명변화에 영향을 받는다는 사실을 고려하지 않았다. Yang과 Waibel [5]은 normalized RG 평면에서 color histogram을 사용하여 얼굴을 추출하였다. 또한 HSI color space를 이용한 color-based segmentation algorithm이 intensity 값을 없애줌으로써 조명변화에 대한 강인함을 얻기 위해 제안되었다 [6], [7]. Sobottka와 Pitas [6]는 얼굴 segmentation을 위해 best-fit ellipse와 함께 color 정보를 사용했다. Feyrer와 Zell [7]은 신뢰도 높은 얼굴 tracking을 위해 HSI color space에서 color 정보와 motion detection을 조합시켰다. [8]에서는, 다중 target 물체의 빠른 color-based tracking이 평균 color vector와 target vector를 사용하는 것에 의해 제안되었다. Cho, Jang, 그리고 Hong [9]은 threshold 값을 적응적으로 조절하는 것에 의해 피부색 영역을 추출하는 adaptive skin color filter라는 것을 제안했다.

요약하자면, 대부분의 방법들은 color space에서 bound된 volume을 이용하여 color를 modeling하거나 color model adaptation algorithm을 사용하거나 HSI color space에서 intensity 정보를 감소시키는 방법으로 조명변화에 강인한 color clustering을 하고자 했다.

이 논문에서 우리는 비록 HS 평면일지라도 단일 color를 가지는 물체의 color 분포가 조명이 변함에따라 변한다는 사실에 근거하여 HSI color space에서 intensity 정보를 고려한 color modeling 방법을 제안하고자 한다.

2. 본 론

2.1 배경지식

Color consistency는 신뢰성 있는 color clustering에 매우 중요하다. 단색 물체의 consistency는 고정된 조명조건 하에서 bound된 volume으로 유지된다 [9]. 그리고 hue는 백색조명 아래서 물체의 표면방향, 조명방향, intensity, 그리고 highlight에 의해 크게 영향받지 않는다 [10]. 그러나 물체가 움직이면 조명조건이 급작스럽게 변하고 물체의 밝기가 불규칙한 양상을 보이므로 color consistency를 유지하는 것이 쉽지 않다. 그 현상은 사람이 복도를 걸어갈 때 관찰되어질 수 있다. 사람을 비추는 빛의 방향은 얼굴의 밝기 분포에 결정적인 역할을 한다. 또한 문이나 창문이 열려있을 경우 사람 얼굴에 있어서의 밝기 분포는 전기불이나 태양광 모두에 의해 영향받을 수 있다. 따라서 사람의 얼굴과 같은 단색 물체는 HS 평면일지라도 밝기가 변할 때 color 분포가 변하므로 밝기 정보를 무시한 color model을 사용해서는 올바른 segmentation을 할 수 없다. HS 평면상의 서로 다른 intensity 아래서, 사람 얼굴의 color 분포 예는 그림 1과 같다. 그림 1의 각각은 평균 intensity가 서로 다른 color 분포를 나타낸다. 여기서 각 HS 평면에서의 평균 intensity는 (a)에서 (d)로 갈수록 증가한다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 intensity 정보를 무시한 color model을 color-based visual task에 사용할 경우 target 물체를 잃어버리거나 종종 부분적으로만 track할 수 있다.

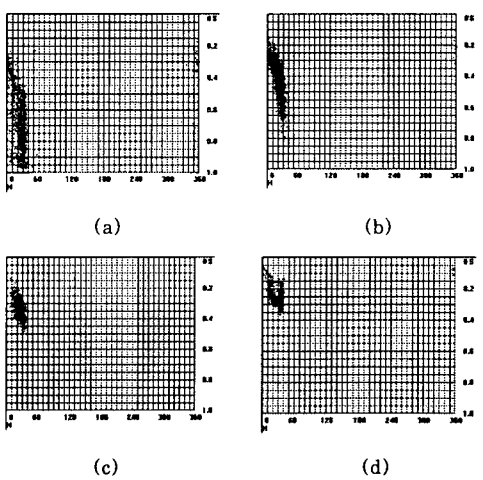


그림 1. 서로 다른 intensity 구간에 대한 HS 평면에서의 피부색 분포

2.2 Color Modeling

Color modeling에 대한 우리의 아이디어는, color는 자신의 통계적 특징이 intensity level에 영향을 받는다는 사실에 기반한다. 따라서 우리가 제안한 color model은 intensity에 대한 color의 통계적 특징 그 자체다. 그 통계적 특징은 intensity에 대한 hue와 saturation의 평균과 표준편차에 해당한다. 우리는 우선 다양한 조명조건하에서 촬영된 많은 영상들을 획득한 후, 단색 물체에 대한 color modeling process를 다음과 같은 step을 거쳐 수행하였다.

Step 1) Intensity의 전 영역을 유한 개 (N)의 구간으로 나눈다.
Step 2) 같은 구간에 포함되는 pixel들끼리 모은다. 영상에서 target에 해당하는 영역은 수작업으로 선택한다.
Step 3) Intensity 구간에 대한 hue와 saturation의 과 표준편차 그래프 4개를 그린다.
Step 4) 2차 B-spline 곡선을 이용하여 각각의 막대 그래프를 연속곡선으로 근사화한다. 그리고 4개의 함수, $H_m(x)$, $H_\sigma(x)$, $S_m(x)$, $S_\sigma(x)$를 찾는다.

막대 그래프를 연속곡선으로 근사화 하기위해 다음과 같은 조건들을 사용한다: (1) 두 막대 사이의 곡선은 2차 방정식으로 표현된다. (2) 2차 곡선은 막대기의 천정을 통과한다. (3) 각각의 2차 곡선은 각 경계점에서 연속이다. (4) 첫 번째 경계점에서의 2차 미분값은 0이다. Curve fitting을 위한 방정식을 요약하자면, N=5에서 근사 곡선에 대한 coefficient vector는 다음 행렬 방정식으로 표현되어 진다.

$$[\,b_1\ c_1\ a_2\ b_2\ c_2\ a_3\ b_3\ c_3\ a_4\ b_4\ c_4\,]^T =$$

$$\begin{bmatrix} x_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_2^2 & x_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_3^2 & x_3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_4^2 & x_4 & 1 \\ x_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_3^2 & x_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_4^2 & x_4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_5^2 & x_5 & 1 \\ 1 & 0 & -2x_2 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2x_3 & 1 & 0 & -2x_3 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2x_4 & 1 & 0 & -2x_4 & -1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} f(x_1) \\ f(x_2) \\ f(x_3) \\ f(x_4) \\ f(x_2) \\ f(x_3) \\ f(x_4) \\ f(x_5) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

그림 2.-(a)에 대한 curve fitting 결과는 그림 2.-(b)와 같다.

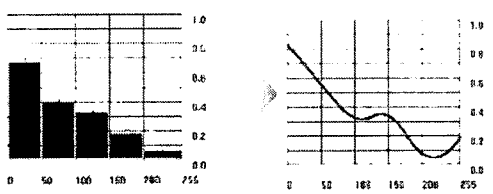


그림 2. curve fitting의 예

마지막으로 curve fitting procedure를 이용하여 intensity에 대한 hue와 saturation의 평균과 표준편차에 해당하는 *Step 4)*의 방정식 4개를 획득한다. 실제로 이 4개의 방정식이 어떤 color에 대한 color model이다.

따라서 hue와 saturation에 대한 다음 두 조건을 만족하는 pixel이 어떤 color로 분류된다.

$$H_m(x) - T_h \cdot H_\sigma(x) \le H(p(x)) \le H_m(x) + T_h \cdot H_\sigma(x)$$
$$S_m(x) - T_h \cdot S_\sigma(x) \le S(p(x)) \le S_m(x) + T_h \cdot S_\sigma(x)$$

여기서,

$H(p(x))$: $p(x)$의 *hue*,
$S(p(x))$: $p(x)$의 *saturation*,
$p(x)$: *Intensity* x에서의 *pixel*,
T_h: *Threshold*.

2.3 실험결과

우리는 많은 영상으로부터 추출된 피부색을 가진 pixel들을 이용하여 skin color model을 만들었다. 이 영상은 다양한 조명조건 하에서 촬영되었다. 이 실험에서 사용된 model은 그림 3와 같다.

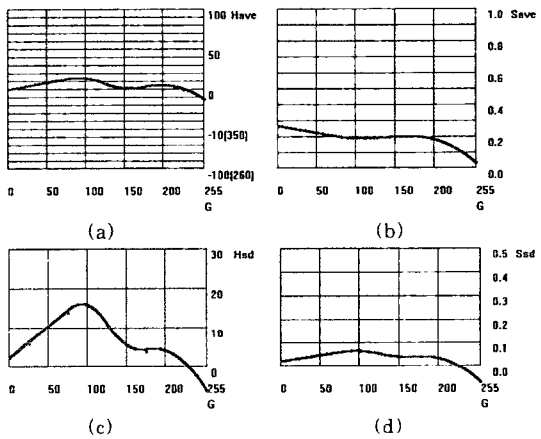


그림 3. 이 실험에서 만들어진 curve fitting

그림 3의 곡선은 (a)에서 (d)로 각각 hue의 평균, saturation의 평균, hue의 표준편차, saturation의 표준편차를 나타낸다. 그리고 수평축은 모두 intensity 값이다. 또한 실험을 통해 최적의 T_h 값을 결정한다. 우리는 clustering에 대한 noise와 견고성을 고려하여 최적의 threshold 값을 2.7로 결정했다. 우리의 model이 Gaussian 분포임을 가정했을 때, 이 2.7이라는 값은 Gaussian 곡선의 적분이 전체 영역의 약 98%에 해당함을 의미한다. 이렇게 구성된 model에 의한 다양한 조명조건 아래서의 skin color clustering 결과가 그림 4이다. 입력 영상의 평균 intensity는 (a)에서 (f)로 가며 줄어든다. 또한 그림 4의 왼쪽 열은 입력 영상, 가운데 열은 skin color clustering 결과, 오른쪽 열은 정규화된 조명에 대한 histogram이다.

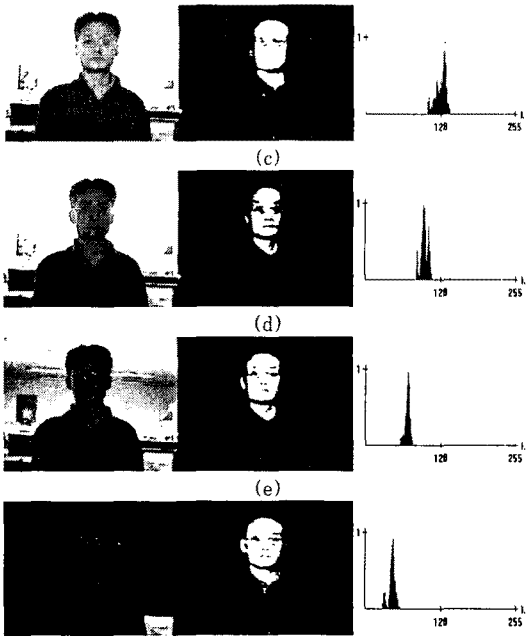
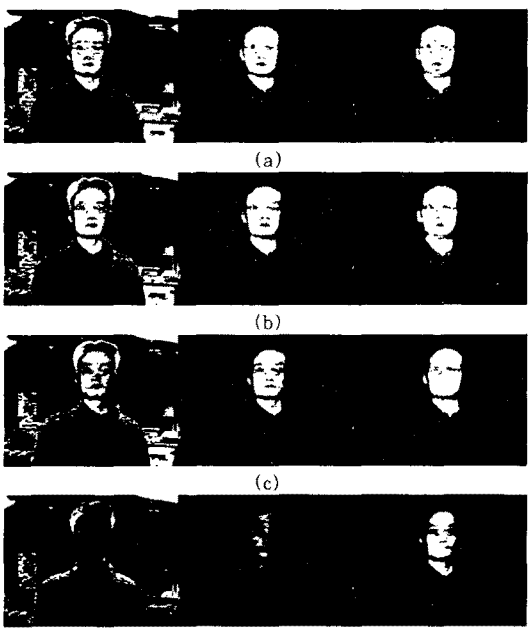


그림 4. 다양한 조명조건 아래서 우리의 color model을 사용한 skin color clustering 결과

2.4 다른 방법들과의 비교

우리는 세 개의 다른 방법들 [5], [6], [9]에 대해서 실험했고 그 결과를 우리의 color model에 대한 것과 비교했다. 그림 4의 입력영상을 이용한 결과가 그림 5와 같다. 그림 5에서 첫 번째 열은 Cho, Jang, 그리고 Hong [9]의 방법에 의한 결과이고, 두 번째 열은 Sobottka와 Pitas [6]의 방법에 의한 결과이며, 세 번째 열은 Yang과 Waibel [5]의 방법에 의한 결과이다.



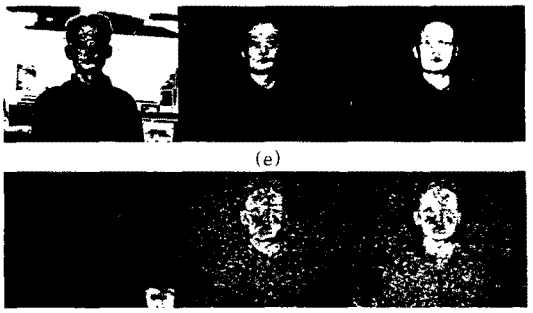


그림 5. 다른 세가지 방법에 대한 실험 결과

그림 5로부터 우리의 algorithm이 다양한 조명조건 하에서 다른 방법들에 비해 훨씬 더 우수함을 알 수 있다.

3. 결 론

우리는 B-spline 곡선을 이용한, HSI color space에서의 intensity 정보를 포함한 신뢰할 수 있는 color modeling 방법을 제안한다. 이것은 비록 HS 평면임에도 불구하고 단색 물체의 color 분포가 조명이 변함에 따라 변한다는 사실에 기반한다. 우리는 다양한 조명조건 아래서 우리가 제안한 skin color model과 다른 세가지 방법에 의한 skin color model을 실험했다. 이로써 우리의 skin color model이 color clustering이라는 관점에서 다른 세가지 방법에 의한 것보다 훨씬 우수함을 알 수 있었다. 특히 우리가 제안한 skin color model이 다른 세가지 방법에 의한 것보다 밝기 변화에 더욱 강인했다.

우리는 앞으로 red, green, blue, yellow 등과 같은 다양한 색에 대한 clustering을 연구할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] H.D.Cheng, X.H.Jiang, Y.Sun, and J.Wang, "Color Image Segmentation: Advances and Prospects", Pattern Recognition, vol.34, pp.2259-2281, 2001
[2] J.Cai and A.Goshtasby, "Detecting Human Faces in Color Images", Image and Vision Computing, vol.18, pp.63-75, 1999
[3] M.J.Swain and D.H.Ballard, "Colour Indexing", International Journal of Computer Vision, vol.7(1), pp.11-32, 1991
[4] Y.Du and J.Crisman, "A Color Projection for Fast Generic Target Tracking", Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.360-365, 1995
[5] J.Yang and A.Waibel, "A Real-time Face Tracker", Proc. of IEEE Workshop on Application of Computer Vision, pp.142-147, 1996
[6] K.Sobottka and I.Pitas, "Extraction of Facial Regions and Features using Color and Shape Information", Proc. of IEEE ICPR, pp.421-425, 1996
[7] S.Feyrer and A.Zell, "Detection, Tracking, and Pursuit of Humans with an Autonomous Mobile Robots", Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.864-869, 1999
[8] P.Fieguth and D.Terzopoulos, "Color-based Tracking of Heads and Other Mobile Objects at Video Frame Rates", Proc. of IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.21-27, 1997
[9] K.Cho, J.Jang, and K.Hong, "Adaptive Skin-color Filter", Pattern Recognition, vol.34, pp.1067-1073, 2001
[10] T.Gevers and A.Smeulders, "Color-based Object Recognition", Pattern Recognition, vol.32, pp.453-464, 1999