

컬러채널 실시간 복합 얼굴영역 검출 시스템 연구

송선희, 석경휴, 정유선, 박동석, 배철수*, 나상동
조선대학교 컴퓨터공학과, *관동대학교 정보 통신공학과

A Study on Real-Time Detection System of Facial Region using Color Channel

Sun-Hee Song, Kyung-Hyu Suk, You-Sun Jeoung,
Dong-Suk Pak, Chul-Soo Bae*, Sang-Dong Ra
Dept of Computer Engineering, Chosun University
*Dept of Electronic Com. Kwandong University
e-mail:sdna@mail.chosun.ac.kr

요 약

본 논문에서는 컬러정보를 이용하여 외부 조명의 영향에 대응하면서 얼굴 후보영역을 추출하고, 추출된 후보 영역으로부터 다채널 스킨컬러 모델로 특정 정보를 추출하는 검출 기법을 제시한다.

외부 조명에 민감한 스킨컬러 특성을 고려해 색상정보와 광도를 분리할 수 있는 YC_bC_r 색상모델을 이용하며, Green, Blue 채널의 정보를 Gaussian 확률밀도 모델로부터 C_b, C_g 의 좁은 범위에서 분포되어 있는 스킨컬러 영역 밀도를 모델링한다. 또한 얼굴영역에 Region Restricting과 임계값 반복 알고리즘을 사용하여 눈 영역 검출 과정을 보이고, 실시간 복합 얼굴 검출 시스템 조명방식에 의해 결과를 나타낸다.

키워드

Skin Color, Detection of Facial Region, Face Images, Deformable Model

1. 서 론

얼굴 영역 및 특징 추출[1]은 입력된 영상으로부터 얼굴 부위를 정확히 추출하고 눈, 코, 입과 같은 얼굴의 특징을 획득한다.

컬러 정보로 얼굴특징을 추출하는 방법은 외부 조명의 영향을 배제하기 위하여 RGB(Red, Green, Blue) 영상을 명암도와 색도 부분으로 나뉜 색상 공간으로 변환하는 방법을 이용하며, TSL, NCC, HSV, YIQ 등이 있다. 또, 색상 공간으로 변환하는 방법은 RGB로부터의 선형 변환 방법과 비선형 변환 방법이 있다.

컬러모델 사용에 있어 Yang과 Huang은 원 영상의 해상도를 줄이면서 나타나는 눈, 코, 입 부분의 명암 특징을 이용하여 얼굴 영역을 추출하는 방법을 제안하였으며, 모자이크 영상을 이용한 템플릿 매칭 방법[2]으로 얼굴을 추출하였다. Yang은 색상 영상에서 정확한 얼굴 영역을 추출하기 위해 선 정규화 된 RGB 영상[3]을 사용하였다. 정규화

과정을 거친 색상 값 0에서 1사이의 값에 모두 분포하게 되고, 얼굴 영역과 관련된 색은 대부분 R과 G값에 분포하므로 두 가지 색상 정보를 이용한다.

본 논문에서는 외부 조명의 영향에 효과적으로 대응하면서 얼굴 대상 영역을 추출하고, 추출된 영역으로부터 동적 윤곽선 모델을 이용하여 특성 정보를 추출하는 검출 기법을 제시한다. 얼굴영역 및 특징의 검출은 광도를 분리할 수 있는 YC_bC_r 색상모델을 이용하고 실시간 복합 얼굴 검출 시스템으로 외부 조명변화에 민감하지 않으면서 효과적으로 얼굴의 특징영역 검출을 보인다.

II. 컬러표현과 임계치 설정

스킨컬러 모델[4]은 밝기 변화에 매우 민감하므로 밝기 변화를 제거하기 위해 RGB 컬러로부터 색상 정보와 밝기 정보를 분리하여 스킨컬러에 해당

하는 색상 정보만을 가지고 모델링한다. 기존에 사용되었던 모델들은 밝기 정보를 제거한 단일 채널이거나 밝기 정보가 남아 있는 적응성 모델 또는 임계값을 동적으로 갱신해 주는 모델 등이 대부분이다.

본 논문에서는 색상 정보와 밝기 정보를 분리하여, 특성에 따른 RGB 성분 다채널 스킨컬러 모델을 설계하고 특성에 따라 임의의 컬러 $I_C(x, y)$ 는 식 (1)로 변환한다.

$$I_C(x, y) = [I_R(x, y), I_G(x, y), I_B(x, y)] \dots \quad (1)$$

RGB컬러는 색채정보와 빛 정보가 분리되지 않아 조명변화에 민감하므로 변화를 줄이는 정규화 과정을 거쳐 픽셀 당 조명 편차를 없앤다. YIQ 모델과 RGB모델은 선형적 관계로 Y는 광도를 I는 orange와 cyan, Q는 green, magenta 색상정보로 구성된다. YIQ 모델은 색채요소와 명암요소가 분리되는 컬러 좌표계로 I성분은 $-152(R=0, G=255, B=255)$ 에서 $152(R=255, G=0, B=0)$ 이며, 컬러변환은 식(2)와 같다.

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.2989 & 0.5866 & 0.1144 \\ 0.2113 & -0.2741 & -0.3218 \\ 0.2113 & -0.5227 & 0.3113 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \dots \quad (2)$$

따라서 I는 값이 커질수록 RGB 좌표계에서 R 성분을 많이 포함하고, G와 B 성분은 조금 포함하며, 반대로 작아질수록 R 성분을 적게 포함하고, G와 B 성분은 많이 포함한다. I 성분의 조절을 통해 스킨컬러를 위한 적색 성분 분포 임계치 설정을 한다.

청색 성분 채널을 분리하기 위해 $Y C_r, C_b$ 컬러 정보로부터 식(3)으로 컬러 변환을 하고, 채널 권고안CCIR 601 코딩시스템의 계수를 적용해 식(4)에 따라 변환 계수 값을 구한다.

$$\begin{pmatrix} Y \\ C_r \\ C_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.2989 & 0.5866 & 0.1144 \\ 0.5000 & -0.4184 & -0.0816 \\ -0.1688 & -0.3312 & 0.5000 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \dots \quad (3)$$

$$Y = Coef. R * R + Coef. G * G + Coef. B * B$$

$$C_r = (R - Y) / (2 - 2 * Coef. R)$$

$$C_b = (B - Y) / (2 - 2 * Coef. B)$$

..... (4)

그림 2.1은 원 영상으로부터 여러 컬러 모델의

적색 성분을 나타내는 채널들의 결과이다. 또 스킨컬러의 적색 성분은 다른 부분과 구분되므로 그림 2.1(b) 컬러 순도로 색채요소와 명암요소를 분리해 그림 2.1(c)(d)의 영상으로 나타내진다.



(a) 원 영상 (b) H 성분 (c) Cr 성분
그림 2.1 적색 컬러 성분 영상



(a) 원영상 (b) I성분 영상 (c) I성분 임계치 결과

그림 2.2 적색 컬러 성분을 이용한 스킨컬러 영역 구분

영상 내에 스킨컬러와 비슷한 색이 있을 경우 적색 성분의 임계치 범위만으로 구분하기 어렵다. 또한 스킨컬러의 적색 영역이 적색 성분의 임계치 밖에 존재할 경우 검출 정확도가 적색 성분의 값에 좌우된다. 따라서 그림 2.2(c)와 같이 I성분의 임계치로 적색 영역을 구하고, 청색 및 녹색 성분이 차지하는 영역이 좁은 곳에 집중해 있다는 특성을 이용하여 청색, 녹색 영역의 범위를 선택해 줌으로써 얼굴 후보영역을 검출하였다.

III. 얼굴영역 검출

본 논문의 얼굴 영역 검출은 분할된 영역 내에 존재하는 스킨 컬러의 분포를 구하기 위해 영상을 일정한 크기의 고정 영역으로 분할해 Region-Grow 기법에 기반한 영상 분할 기법을 적용하여 스킨컬러의 분포를 구한다.

3.1 다채널 성분 분포 영역

얼굴 영역과 눈동자 검출을 위해 제안한 컬러 모델의 Red 컬러 채널 성분은 HSI 컬러 좌표계에서 밝기 성분을 효과적으로 제거할 수 있는 Hue 채널 성분의 적색 영역 임계값으로 얼굴 후보영역을 산출하였다. Blue 컬러 채널 성분은 -128에서 128까지의 값을 갖으며, $Y C_r, C_b$ 컬러 좌표계의 Blue 성분을 나타내는 C_b 성분은 식(4)에 의해 변

환된다. C_b 성분은 얼굴 컬러 분포에 있어서 다른 부분보다 좁은 범위를 나타내어 얼굴 영역 검출 시 다른 부분과 쉽게 구분할 수 있다. Green 컬러 채널 성분은 식(5)에 의해 C_g 값이 되며, 얼굴색과 비슷한 황색 계열의 색들은 C_g 성분의 조절을 통해 가능하다.

$$C_b = -0.1688R - 0.3312G + 0.5000B$$

$$C_g = -0.3615R + 0.5000G - 0.1385B \dots\dots (5)$$

3.2 Gaussian 스킨컬러 샘플링

C_b 와 C_g 채널에서 스킨컬러는 일정 영역에 좁게 분포되어 있다. 동일한 조명 환경 하에서 컬러 정보에 기반 한 스킨컬러의 분포는 일정하다고 할 수 있기 때문에 사용되는 Green 채널 성분으로 얼굴색과 비슷한 황색 계열의 색 분리를 하였다. 그림 3.1은 얼굴 스킨컬러에서 빛의 정보가 제거된 스킨컬러의 색채 정보는 전체 컬러 채널의 일정 영역에서 좁은 분포를 이룬다.

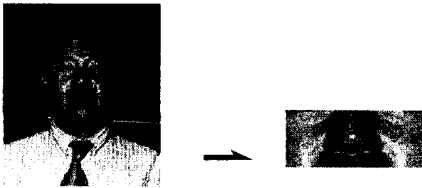


그림 3.1 얼굴 스킨컬러 Sample 영상

스킨컬러 모델을 C_b 와 C_g 로 이루어지는 가우시안 모델로 다음과 같이 가정한다. 임의의 픽셀 p_i 에 대한 C_b 와 C_g 의 컬러 벡터 값의 평균을 각각 X 와 μ_x 라고 정의했을 때, 벡터 값으로부터 얻어지는 공분산 행렬 C_x 는 식 (6)과 같이 계산된다.

$$X = \begin{pmatrix} X_{cb} \\ X_{cg} \end{pmatrix}, \mu_x = \begin{pmatrix} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X_{cbk} \\ \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X_{cgk} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mu_{cb} \\ \mu_{cg} \end{pmatrix} \dots\dots (6)$$

$$C_x = E \begin{pmatrix} (X_{cb} - \mu_{cb})^2 & (X_{cb} - \mu_{cb})(X_{cg} - \mu_{cg}) \\ (X_{cg} - \mu_{cg})(X_{cb} - \mu_{cb}) & (X_{cg} - \mu_{cg})^2 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \sigma_{cbcb} & \sigma_{cbcg} \\ \sigma_{cgcb} & \sigma_{cgcg} \end{pmatrix}$$

이 때 평균 벡터가 μ_x 이고, 공분산 행렬이 C_x 일 때, 임의의 픽셀 p_i 에 대한 확률밀도는 식(7)과 같다.

$$Pdf(p_i = x | \mu_x, C_x)$$

$$= \frac{\exp - \frac{1}{2} (p_i - \mu_x)^T C_x^{-1} (p_i - \mu_x)}{(2\pi)^{\frac{k}{2}} \cdot |C_x|^{-\frac{1}{2}}} \dots\dots (7)$$

(k=number of color channel)

임의의 픽셀의 집합으로 표현되는 영역 R에 대해 영상 I에서 다음과 같이 정의되었을 때, 식(8)과 같다.

$$R_k(a, b) = (x, y) | x, y \in I, R_k \subset I \dots\dots (8)$$

($0 \leq x \leq \text{column}, 0 \leq y \leq \text{row}$)

영역 R에 대한 확률 밀도는 영역 내에 속해있는 픽셀들의 확률 밀도 평균으로 계산된다. 또한 전체 확률 밀도의 최대값은 평균에서 식(9)의 확률 밀도 값이 된다.

$$Pdf(R)$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Pdf(p_i), \text{Max}(Pdf(R)) = Pdf(\mu) \dots\dots (9)$$

스킨컬러 밀도모델 생성 알고리즘은 다음과 같다. [1단계] 식(7)에서 전체 얼굴 영상 집합의 스킨컬러에 해당하는 영역 Sampling. [2단계] 식(6)에서 Sampling된 영역에 해당하는 컬러 채널의 평균 벡터와 공분산 벡터를 구하고, [3단계] 식(7)에서 계산된 평균 벡터와 공분산 벡터로, p_i 의 임의픽셀 확률밀도 값과 밀도를 구함. 영상분할기법을 적용하였을 때 그림 3.2처럼 물체의 깊이 정보는 상실하지만, 밝기 값으로 물체의 모양정보를 구하여 얼굴 검출의 정확성을 높였다.

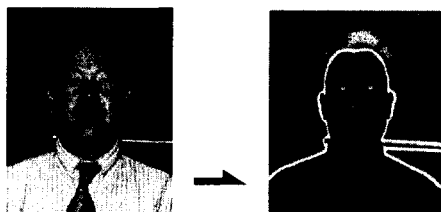


그림 3.2 분할된 영상 정보

IV. 시뮬레이션 및 분석

4.1 복합 얼굴 검출 시스템

복합 얼굴 검출 시스템은 NTSC 카메라 비디오 신호는 프레임이 홀수 짝수 영역을 교대로 취해가며 구성되어 있는 비월주사 방식의 프레임으로 구성하였고, 카메라와 적외선 조명 장치는 pan-tilt servo mechanism에 장착된 한 개의 저가 흑백 카메라와 두개의 광원을 사용하며, 파장 875mm의 근 적외선이 사용되었다.

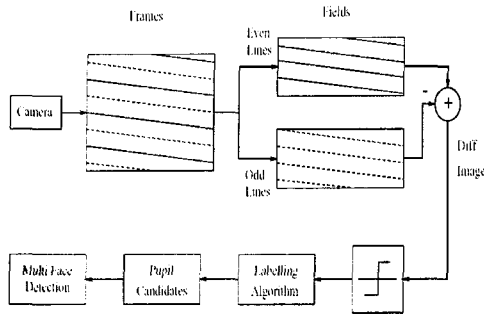


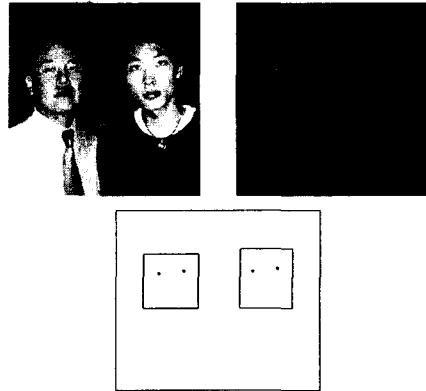
그림 4.1 복합 얼굴 검출 시스템 구성도

그림 4.1에서 광원인 LIGHT1 과 LIGHT2는 각기 7개의 적외선 LED를 갖고 있는 세트들로 구성되어 있다. LIGHT2는 두 대로 나누어 졌으며, 카메라 광선 축의 각 측면에 대하여 대칭으로 놓여졌다. 광원 축 주위의 대칭은 좀 더 균일한 조명을 내면서 그림자 형상을 없애주며, 비대칭 구성의 기능을 수행한다. 적외선 LED로 구성된 LIGHT1 세트는 카메라 광선 축 가까이에 위치하며 밝은 눈동자 영상을 생성한다. 적외선 LED로 구성된 2번째 세트인, LIGHT2는 어두운 눈동자 이미지를 생성시키기 위하여 광선 축으로부터 멀리 떨어져 위치시키며, 나머지 장면에는 비슷한 휘도를 갖게 하고 눈동자 내에 두 개의 조명조건 사이에서 높은 contrast를 가지고 물체가 만들어진다.

4.2 시뮬레이션 결과 및 분석

응시 방향을 추정하는 대부분의 눈 추적방식은 어두운만 사용한 눈동자 검출 또는 밝은 눈동자 이미지만으로는 추적하기 어렵기 때문에 이미지의 다른 영역은 유사한 형태를 갖고 있을 수 있다. 임계치를 이용하여 차별화된 조명을 사용하는 검출을 위한 기법을 제시하였으며, 그림 4.2와 같이 눈응시방향을 추적했다.

본 논문에서 하드웨어를 사용하지 않고, 프레임 속도에서 시점영상의 넓은 영역을 처리할 수 있게 몇 미터의 탐색영역을 요구하는 실시간 데스크탑 및 무인정보 단말기로 처리했다. 또 각기 짝수 및 홀수 영역을 갖고 있는 LIGHT1 및 LIGHT2를 동기화시키기 위해서 아주 단순한 회로가 개발되었으며, 짝수 영역이 스캔될 때는 LIGHT1이 켜지고 LIGHT2가 꺼진다. 홀수 영역이 스캔 될 때는 LIGHT2가 켜지고 LIGHT1이 꺼지므로 시간 t (Ft)에서 취한 프레임에 위해서, 짝수 프레임 (Et)는 밝은 눈동자 이미지를 포함하게 하고 홀수 영역(Ot)는 어두운 눈동자 이미지를 포함한다.



(a) 밝은 이미지 (b) 이진화 동공검출
(c) 검출된 얼굴영역
그림 4.2 복합 얼굴영역 및 동공검출 결과

V. 결 론

얼굴영역 검출 과정에서 RGB컬러 정보를 이용하여 명암도와 색도로 나누어 변환하였으며, Hue 채널 성분의 적색 영역 임계값으로 1차 얼굴 후보영역을 산출하고 동적 윤곽선 모델을 이용하여 스킨컬러 영역을 추출하였다.

스킨컬러가 조명변화에 민감하므로 광도를 분리할 수 있는 $Y C_r C_b$ 색상모델로 2차원 $C_b - C_g$ 가우시안 확률 분포에 근거한 밀도 값에 따라 최종적인 얼굴 영역을 구분하였으며, 사용되는 Green 채널 성분으로 얼굴색과 비슷한 황색 계열의 색 분리를 하였다. 눈동자 검출을 위해 눈의 생리학적이고 능동적 조명방식의 기계적인 특성을 활용하였으며, 반복 추측기를 사용하는 단일 얼굴 추적 시스템과 연결되어 있는 실시간 복합 얼굴 검출 시스템을 제시하였다. 실험결과 다채널 컬러모델을 이용한 얼굴 검출 시스템은 모델 혹은 서식 기반의 탐색보다 효율적이었다.

본 기술은 근거리의 작동 범위가 요구되는 데스크탑 혹은 무인 정보 단말기 애플리케이션에 적합하며, 향후 안경착용시 얼굴검출 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] G. Yang, T. S. Huang, "Human Face Detection in a Complex Background", Pattern Recognition, Vol.27, No.1, pp.53-63, 1994.
- [2] K-M. Cho, J-H. Jang, K-S. Hong, "Adaptive Skin-Color Filter", Pattern Recognition, Vol.34, pp.1067-1073, 2001.

- [3] Robert W. Burnham, Randall M. Hanes, C. James Bartleson, "Color: a Guide to Basic Facts and Concepts", pp.11-16, John Wiley & Sons., 1963.
- [4] K-M. Cho, J-H. Jang, K-S. Hong, "Adaptive Skin-Color Filter", Pattern Recognition, Vol.34, pp.1067-1073, 2001.