

형태와 가중치 벡터를 이용한 눈동자와 입술 검출

(Pupil and Lip Detection using Shape and Weighted Vector based on Shape)

장 경 식 [†]

(Jang Kyung Shik)

요약 이 논문은 눈동자와 입술을 효과적으로 인식하는 방법을 제안하였다. 얼굴에서 가장 어두운 부분 중의 하나인 눈동자와 밝은 부분인 흰자위로 구성되는 눈의 형태적인 특징과 눈동자와 눈썹 사이의 관계를 반영하는 평가함수를 이용하여 눈동자를 인식하였다. 입술 형태, 입술과 인접한 피부와의 밝기 차이를 반영하는 가중치 벡터들을 사용하여 두 입술 사이의 경계선과 입술의 4개 특징점(양 끝점 및 위와 아래의 끝점)을 찾았다. 여러 영상들에 대해 실험하여 좋은 결과를 얻었다.

키워드 : 눈동자 인식, 입술 인식, 가중치 벡터, 평가함수

Abstract In this paper, we propose an efficient method for recognizing pupils and lip in a human face. Pupils are detected by a cost function, which uses features based on the eye's shape and a relation between pupil and eyebrow. The inner boundary of lip is detected by weighted vectors based on lip's shape and on the difference of gray level between lip and face skin. These vectors extract four feature points of lip : the top of the upper lip, the bottom of the lower lip, and the two corners. The experiments have been performed for many images and show very encouraging result.

Keyword : pupil recognition, lip recognition, weighted vector, cost function

1. 서론

최근 몇 년 동안, 정면 얼굴 영상에서의 얼굴 영역 분리와 눈, 코, 입 등과 같은 얼굴 특징을 추출하는 분야에서는 많은 진전이 있었으며, 특히 KL(Karhunen Loeve) 변환에 근거한 통계적 방법을 사용하는 얼굴 인식 분야에서 많은 발전이 있었다. 이전에 행해진 대부분의 연구들은 얼굴 영역의 추출에 중점을 두었기 때문에 추출된 얼굴 영역의 확인을 위하여 눈이나 입의 대략적인 위치만을 찾는 연구들이 수행되었다[1]. 그러나 최근에 눈과 입의 위치뿐만 아니라 시간에 따른 이들의 형태변화에 대한 정보를 추출하고 여러 분야에 응용하려는 연구가 활발히 진행되어 눈동자와 입의 정확한 위치 및 형태를 찾는 분야가 많은 관심을 끌고 있다[2, 3]. 눈과 입의 위치를 찾는 연구로서 색 정보를 이용하여 얼굴, 눈 영역들을 추출하고 두 눈의 대칭성 및 위치를

반영하는 평가함수를 적용하여 눈을 인식하는 방법[4], 눈동자와 흰자위 사이의 명도 분포를 반영하는 마스크(mask)를 적용하여 눈의 위치를 찾는 방법[5], 얼굴 영역에서 정해진 제약조건을 만족하는 눈동자 한 쌍이 찾아질 때까지 문턱치(threshold)를 변화하며 이진화를 반복 수행함으로써 눈을 찾는 방법[6], 고유얼굴(eigenface) 개념을 확장한 고유눈(eigeneye)과 고유입(eigenmouth)을 이용하여 눈과 입을 찾는 방법[7, 8]이 있다. 이들 연구에서는 눈을 인식하는 과정에 중점을 두고 입의 대략적 위치만을 인식하였다.

입술 형태를 찾는 연구로서 입 영역에서 에지를 구하고 사이각, 방향, 곡률(curvature)등의 조건을 조사하여 입술의 외곽선을 인식하는 방법[2], 색을 이용한 입술 모델과 입의 형태적 특성을 반영하는 특징(feature)들을 사용하여 입술을 인식하는 방법[3], 색 정보를 사용하여 입술 영역을 추출하고 위와 아래 입술의 외곽선을 각각 4차와 2차 방정식으로 근사화시키는 방법[9], Kalman 필터와 입술 색 모델을 사용하여 입술을 인식하는 방법[10], 색 정보와 HMM(Hidden Markov Model)을 이

[†] 정 회 원 : 동의대학교 멀티미디어공학과 조교수

ksjang@hyomin.dongueui.ac.kr

논문접수 : 2001년 6월 20일

심사완료 : 2002년 2월 20일

용하여 입술 영역을 찾고 snake 방법을 이용하여 입술의 외곽선을 인식하는 방법[11, 12] 등이 있다.

이 연구들 중에서 눈을 찾기 위하여 검은 눈동자의 특징을 주요 정보로 이용하는 방법[5, 6]들은 검은 테안경을 착용하거나 조명이 어두운 경우에 오류가 발생하며, 색 정보를 이용하여 눈과 입을 찾는 방법[4, 9]들은 조명 변화에 민감하다. 또한 에지 및 투영을 이용하여 얼굴 특징을 인식하는 방법[2]에서는 조명이 어둡거나 얼굴이 작은 경우에 에지와 같은 특징 추출이 어렵고 사용하는 임계값을 경험적으로 구해야 하는 어려움이 있다. 일반적으로 영상 인식 문제에서는 인식의 정확성을 위하여 몇 가지 제약 조건을 사용하고 있으며, 얼굴 인식을 위한 기존의 방법들도 배경을 제한하거나 조명이 일정한 상황에서의 데이터를 사용하며, 많은 경우에 하나의 얼굴만을 인식한다.

본 논문에서는 한 개 이상의 얼굴이 존재하는 영상에서 눈동자와 입술을 효과적으로 인식하는 방법을 제안하였다. 얼굴에서 가장 어두운 부분 중의 하나인 눈동자와 밝은 부분인 흰자위로 구성되는 눈의 형태적인 특징, 눈썹에 대한 형태 정보 및 눈동자와 눈썹 사이의 관계를 반영하여 눈동자를 인식하였다. 또한, 입술 사이의 경계선과 같이 어두운 부분이 연속적으로 나타나는 경우에 이를 효과적으로 찾을 수 있는 가중치 벡터를 사용하여 위 입술과 아래 입술 사이의 경계선을 인식하였으며, 입술과 인접한 피부와의 밝기 차이를 반영하는 가중치 벡터를 사용하여 입술의 양 끝점 및 위와 아래의 끝점을 찾았다. 다양한 조명 상태의 실내에서 얻은 영상들에 대해 실험하여 94%의 인식률을 얻었다.

2. 얼굴 영역 분석

2.1 전체 과정

색 정보를 이용하여 얼굴 영역을 추출하고 투영(projection)을 이용하여 얼굴 영역을 보정한 후, LDA (Linear Discriminant Analysis) 방법을 이용하여 얼굴 영역 안에서 입술 영역을 찾는다. 각 입술 영역에 대응되는 두개의 눈 영역을 정하고 그 안에서 눈동자를 찾았다. 색 정보를 이용하여 찾은 입술 영역은 부정확하기 때문에 눈동자와 입술과의 위치관계를 이용하여 각 눈동자 쌍에 대응되는 새로운 입술 영역들을 찾고 이 영역에서 두 입술 사이의 경계선과 입술의 양 끝점 및 위와 아래의 끝점을 찾았다. 두 눈동자와 이와 연관된 한 입술을 한 쌍으로 묶고 각 쌍에 대한 새로운 얼굴 영역을 정하고 이들 모든 쌍에 얼굴 특징들의 상대적 위치 관계 등을 반영하는 평가함수를 적용하여 이를 가장 잘

반영하는 쌍을 눈, 입, 얼굴로 인식하였다.

2.2 얼굴 영역 추출

RGB 컬러 모델로 표현된 영상을 HSI 컬러 모델로 바꾸고 색채 요소(H와 S)를 이용하여 얼굴 영역을 추출하였다. 영상내의 위치 (i, j) 에 해당하는 한 화소(pixel)는 H, S의 두 변수로 구성되는 특징 벡터(feature vector) $x_{ij}=[h_{ij}, s_{ij}]$ 로 표현할 수 있으며, 얼굴 영역을 구성하는 화소들에 대한 특징 벡터 x 가 정규분포를 이룬다고 가정하고 H와 S로 구성되는 한 화소의 특징 벡터 x 와 얼굴 색 모델과의 마할라노비스(Mahalanobis) 거리가 임계치 이하인 경우에 얼굴 영역으로 판정하였다. (그림 1)의 (a)는 (b)의 입력 영상에서 얼굴 영역을 추출한 결과이다. 색 정보를 이용하면 피부색과 비슷한 색의 물체가 인접해 있는 경우에 오류가 발생할 수 있다. 이 연구에서도 (그림 1)의 (a)와 같이 피부색과 유사한 색의 옷을 입은 오른쪽 인물의 몸과 얼굴 부분이 얼굴 영역으로 추출되었다. 이를 보완하기 위하여 투영을 사용하였다. 얼굴 영역을 y 축 방향으로 투영하면 몸이 포함된 경우에는 일반적으로 (그림 1)의 (c)와 같이 몸 부분에서 가장 큰 값을 가진다. 이 그림에서 $+(-)$ 는 증가(감소)구간을 나타낸다. 투영 결과에서 가장 큰 값을 갖는 y 위치(Y_{MAX}), 증가 구간, 감소 구간들을 구한 후 아래와 같은 규칙들 중에서 하나라도 만족하면 몸 부분이 포함되었다고 판단하고 Y_{MAX} 위쪽에 존재하는 증가구간의 시작부분 아래 영역을 제거하였다.

규칙 1 : 감소 구간이 2개 이상, 증가 구간의 시작 부분이 Y_{MAX} 보다 크다.

규칙 2 : 감소 구간이 2개 이상, Y_{MAX} 의 위치가 얼굴 영역의 아래 부분에 있다.

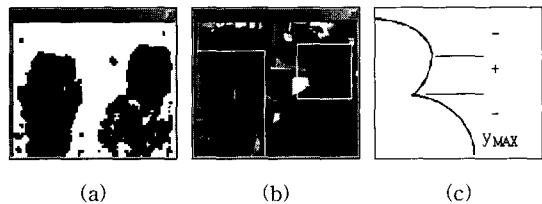


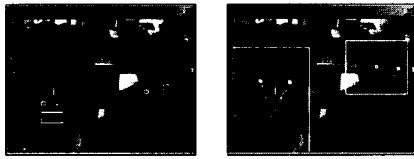
그림 1 얼굴 영역 추출

몸 부분이 제거된 영역을 x 축 방향으로 투영하면 얼굴 부분에서 큰 값을 갖게 된다. 투영 결과에서 가장 큰 값을 갖는 x 위치(X_{MAX}), 증가 구간, 감소 구간들을 구하고 X_{MAX} 에 좌측으로 인접한 증가 구간의 시작점과 우측으로 인접한 감소 구간의 끝점을 얼굴 폭의 양 끝점으로 정하였다. (그림 1)의 (b)는 얼굴 영역 보정 결

과로서 (a)의 오른쪽 인물에서 몸 영역이 제거되었다.

2.3 LDA를 이용한 입술 영역 추출

입술은 얼굴 안에 존재하기 때문에 얼굴 영역에서 색 정보를 이용하여 입술을 찾는 문제는 얼굴과 입술의 두 클래스(class)를 구분하는 문제로 볼 수 있으며, 이를 위하여 Fisher의 LDA[13]가 효과적으로 사용될 수 있다. 이 방법은 특징 벡터들을 하나의 축에 투영하여 특징 벡터들을 구분하는 것이며, LDA는 벡터들이 투영되는 축을 설정한다. 식 (1)을 이용하여 discriminant 벡터를 구하고 학습에 사용될 얼굴 영역과 입술 영역의 화소들에 대한 H, S 두 변수로 구성되는 특징 벡터 $x_{ij}=[h_{ij}, s_{ij}]$ 를 투영한 후 얼굴 색의 모델정보(m_{face}, C_{face})와 입술 색의 모델 정보(m_{lip}, C_{lip})를 구하였다. m_{face}, C_{face} 와 m_{lip}, C_{lip} 은 각각 얼굴 색과 입술 색에 대한 특징 벡터의 평균과 공분산 행렬(covariance matrix)이다. 이후 식 (2)와 같은 분류기(classifier)를 구성하고 입력되는 각 화소를 LDA에서 구한 축에 투영하고 분류하였다. (그림 2)의 (a)는 얼굴 영역 안에서 입술 영역을 추출한 결과이다.



(a) (b)
그림 2 입술 영역 및 눈동자 추출

$$m_k = \frac{1}{n_k} \sum_{x \in x_k} x \quad (k=1,2)$$

$$S_k = \sum_{x \in x_k} (x - m_k)(x - m_k)^T \quad (1)$$

$$w = S_w^{-1}(m_1 - m_2) \quad \text{where, } S_w = S_1 + S_2$$

$$d(x) = \ln \frac{P(w_{lip})}{P(w_{face})} - \frac{1}{2} \ln \frac{|C_{lip}|}{|C_{face}|} - \frac{1}{2} \{ (x - m_{lip})^T C_{lip}^{-1} (x - m_{lip}) - (x - m_{face})^T C_{face}^{-1} (x - m_{face}) \} \quad (2)$$

눈동자를 찾기 위한 눈 영역은 각 입술 영역을 기준으로 식 (3)에 의하여 구하였다. 이 식에서 (X_{Lip}, Y_{Lip})은 입 영역의 중심 좌표이며 $X_{FaceMin}, X_{FaceMax}, Y_{FaceMax}$ 는 각각 얼굴 영역의 최소 x 좌표, 최대 x 좌표, 최대 y 좌표이다. 입술 영역의 중심점을 기준으로 좌우 두 개의 영역으로 나누고 각각에서 하나씩의 눈동자를 찾는다.

$$Y_{min} = Y_{Lip} + (Y_{FaceMax} - Y_{Lip}) \cdot 0.3$$

$$Y_{max} = Y_{Lip} + (Y_{FaceMax} - Y_{Lip}) \cdot 0.75$$

$$t_1 = [Y_{min} + (Y_{max} - Y_{min}) - X_{Lip}] \cdot 0.8 \quad (3)$$

$$t_2 = X_{Lip} - t_1, \quad t_3 = X_{Lip} + t_1, \quad t_4 = \frac{t_1}{10}$$

$$X_{min} = \begin{cases} t_2 + t_4 & \text{if } t_2 < X_{FaceMin} + t_4 \\ t_2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$X_{max} = \begin{cases} t_3 + t_4 & \text{if } t_3 > X_{FaceMax} - t_4 \\ t_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

3. 얼굴 특징 인식

3.1 눈동자 인식

(그림 3)과 같이 눈과 눈썹은 항상 쌍으로 존재하고 다음과 같은 특성을 갖고 있으며, 이들 특성을 반영하는 평가함수를 구성하였다.

- (특성 1) 눈동자의 중심은 눈동자에서 가장 어두운 부분이다.
- (특성 2) 눈동자 부분(1)은 흰자위 부분(2, 3) 및 눈동자의 위, 아래 부분(4, 5)들보다 어둡다.
- (특성 3) 눈동자 위에는 눈썹이 존재한다.
- (특성 4) 눈썹의 중앙 부분(6)은 눈썹 아래 부분(7) 및 위 부분(8)보다 어둡다.

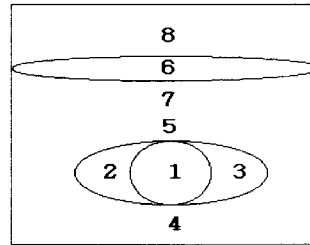


그림 3 눈동자와 눈썹 모델

$$I_1(x_c, y_c) = \frac{1}{\frac{1}{2} r_1^2 (\frac{\pi}{2})^2} [\int_0^{r_1} \int_{-\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{4}} I(x_c + r \cos \theta, y_c + r \sin \theta) r d\theta dr + \int_0^r \int_{\frac{3\pi}{4}}^{\frac{5\pi}{4}} I(x_c + r \cos \theta, y_c + r \sin \theta) r d\theta dr] \quad (4)$$

$$I_2(x_c, y_c) = \frac{1}{\frac{1}{2} (r_2^2 - r_1^2) (\frac{\pi}{2})^2} \int_{r_1}^{r_2} \int_{-\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{4}} I(x_c + r \cos \theta, y_c + r \sin \theta) r d\theta dr$$

$$I_3(x_c, y_c) = \frac{1}{\frac{1}{2} (r_2^2 - r_1^2) (\frac{\pi}{2})^2} \int_{r_1}^{r_2} \int_{\frac{3\pi}{4}}^{\frac{5\pi}{4}} I(x_c + r \cos \theta, y_c + r \sin \theta) r d\theta dr$$

$$r_1 = K_1 \cdot W \quad r_2 = K_2 \cdot r_1$$

where K_1, K_2 는 상수이며 W 는 눈과 입의 y 좌표값 차이 (5)

평가함수 구성시 사용되는 각 영역들의 밝기는 다음과 같은 방법으로 구하였다. 눈동자는 원의 형태를 가지고 있으므로 눈동자의 중심(x_e, y_e)을 기준으로 식 (4)를 적용하면 눈동자 안의 화소값들 평균인 $I_1(x_e, y_e)$ 을 얻을 수 있으며, 눈동자의 오른쪽과 왼쪽의 흰자위 부분에 속하는 영역의 화소값들의 평균은 각각 $I_2(x_e, y_e), I_3(x_e, y_e)$ 와 같이 근사적으로 얻을 수 있다. $I(x, y)$ 는 좌표 (x, y) 에서의 화소값을 나타낸다. 눈동자는 원 형태이지만 눈동자의 윗 부분과 아래 부분은 눈꺼풀에 의하여 가려지는 경우가 발생하기 때문에 눈동자 중심을 기준으로 좌우 양쪽에서 90° 되는 영역만을 고려하였다. r_1, r_2 는 식 (5)에 의하여 구하며, r_1 은 눈동자의 반경이다. 눈동자 위와 아래 부분의 화소값 평균은 식 (6)의 $I_4(x_e, y_e), I_5(x_e, y_e)$ 에 의하여 구하고 눈동자 위에 있는 눈썹의 좌표는 식 (7)을 이용하여 구하였다. y_{max} 는 눈 영역의 최대 y 좌표이다. 식 (8)의 $I_6(x_e, y_b)$ 는 눈썹 부분의 화소값 평균이고 $I_7(x_e, y_b), I_8(x_e, y_b)$ 는 각각 눈썹 위와 아래 부분의 화소값 평균이다.

$$I_4(x_e, y_e) = \frac{1}{4r_1^2} \int_{-2r_1}^{4r_1} \int_{-r_1}^{r_1} I(x_e + x, y_e + y) dx dy \quad (6)$$

$$I_5(x_e, y_e) = \frac{1}{4r_1^2} \int_{-4r_1}^{-2r_1} \int_{-r_1}^{r_1} I(x_e + x, y_e + y) dx dy$$

$$(x_e, y_b) < \arg \min_{y \in S_1} I(x_e, y_e + y),$$

where $S_1 = \{y \mid 2r_1 < y < y_{max}\}$ (7)

$$I_6(x_e, y_b) = \frac{1}{4r_3^2} \int_{-r_3}^{r_3} \int_{-r_3}^{r_3} I(x_e + x, y_b + y) dx dy$$

$$I_7(x_e, y_b) = \frac{1}{4r_3^2} \int_{r_3}^{3r_3} \int_{-r_3}^{r_3} I(x_e + x, y_b + y) dx dy \quad (8)$$

$$I_8(x_e, y_b) = \frac{1}{4r_3^2} \int_{-3r_3}^{-r_3} \int_{-r_3}^{r_3} I(x_e + x, y_b + y) dx dy$$

$$E_k^1 = \frac{\sum_{(x,y) \in S_2} u(I(x, y) - I(x_e, y_e))}{8}$$

where S_2 는 (x_e, y_e) 의 8 neighbor이며,
 $u(\cdot)$ 는 단위 계단함수

$$E_k^2 = \frac{k_1 - I(x_e, y_e)}{k_1} \quad (9)$$

$$E_k^m = \frac{I_{m-1}(x_e, y_e) - I_1(x_e, y_e)}{k_2}, \text{ where } m \in \{3, 4, 5, 6\}$$

$$E_k^n = \frac{I_n(x_e, y_e) - I_6(x_e, y_e)}{k_3}, \text{ where } n \in \{7, 8\}$$

$$E_k = \sum_{i=1}^8 w_i C_k^i \text{ where, } \sum_{i=1}^8 w_i = 1.0$$

눈동자의 (특성 1)을 반영한 평가함수는 식 (9)의 E_k^1, E_k^2 이며 E_k^1 는 눈동자 중심의 화소가 이웃 화소보다 어두운 경우 큰 값을 가지고 E_k^2 는 눈동자 영역의 화소값 평균이 작을수록 큰 값을 갖는다. (특성 2)는 E_k^m 이고 눈동자 영역이 주변 영역들보다 어두운 경우 큰 값을 갖는다. (특성 4)는 E_k^n 이며 눈썹 영역이 위, 아래 영역들보다 어두운 경우 큰 값을 갖는다. 이들 식에서 k_1, k_2, k_3 은 상수이다. 이들을 모두 반영하는 전체 평가함수는 E_k 와 같다. 눈 영역에 mean 필터를 적용한 후 식 (9)를 적용하고 가장 큰 평가 함수 값을 갖는 화소를 눈동자로 인식하였다. (그림 2)의 (b)는 눈동자를 찾은 결과이다.

3.2 입술 인식

색 정보를 이용하여 추출한 입술 영역은 위치가 잘못되거나 입술의 일부분을 찾을 수 있기 때문에 이전 과정에서 찾은 각 눈동자 쌍에 대한 입술 영역을 새로 설정하고 이 영역 안에서 입술을 인식하였다. 두 눈동자를 잇는 선분(l)의 중점에서 선분 l 에 수직인 방향으로 $k_4 \times D$ 만큼 떨어진 점을 입술 영역의 중심점으로 설정하고 입술 영역의 폭(W_{Lip})과 높이(H_{Lip})는 두 눈동자간의 거리(D)를 이용하여 정하였다. 이 영역 안의 각 열에서 식 (10)을 이용하여 가장 어두운 화소를 찾고 식 (11)을 이용하여 벡터 $L(y)$ 를 구하면 가장 큰 값을 갖는 위치에서 두 입술 사이의 경계선을 얻는다. (그림 4)의 (c)는 $L(y)$ 를 나타낸 것이다. 입술 영역이 턱을 포함하는 경우 턱 선에서도 큰 값을 가지게 되는데 이 경우 입술 영역의 중심에 가까운 것을 선택하였다.

$$M(x) = \arg \min_{y \in H_{Lip}} I(x, y) \quad (10)$$

$$L(y) = \sum_{x \in W_{Lip}} \frac{\left(K_1 - \cosh \left(\frac{M(x) - \frac{H_{Lip}}{2}}{H_{Lip}/K_2} \right) \right)}{K_1} \quad (11)$$

$$Y_{LipCenterLine} = \arg \max_{y \in H_{Lip}} L(y)$$

$$L(x) = u(O(x) - I(x)) \text{ where,}$$

$$O(x) = \frac{\sum_{y=1}^k \sum_{z=1}^k I(x, y) u(G_1(x, y))}{\sum_{y=1}^k \sum_{z=1}^k u(G_1(x, y))}$$

$$I(x) = \frac{\sum_{y=1}^k \sum_{z=1}^k I(x, y) u(-G_1(x, y))}{\sum_{y=1}^k \sum_{z=1}^k u(-G_1(x, y))} \text{ if } x \leq \frac{W_{Lip}}{2}$$

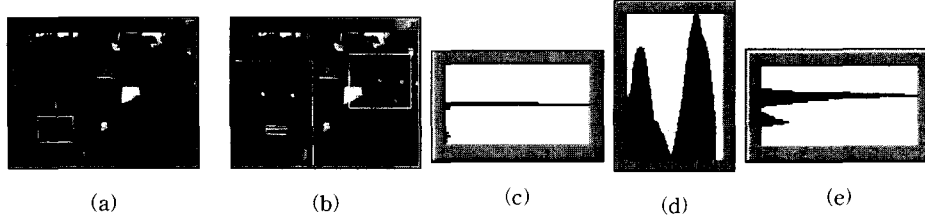


그림 4 입술 영역 및 입술 검출

$$O(x) = \frac{\sum_{y=1}^h \sum_{x=1}^w I(x,y)u(G_2(x,y))}{\sum_{y=1}^h \sum_{x=1}^w u(G_2(x,y))}$$

$$I(x) = \frac{\sum_{y=1}^h \sum_{x=1}^w I(x,y)u(-G_2(x,y))}{\sum_{y=1}^h \sum_{x=1}^w u(-G_2(x,y))} \quad \text{if } x > \frac{W_{Lip}}{2} \quad (12)$$

$u(\cdot)$ 은 단위 계단함수, $G_1(x,y) = y - mx$, $G_2(x,y) = y - (-mx + k)$

입술의 양 끝점을 찾기 위하여 두 입술 사이의 경계선을 따라 각 점에서 식 (12)를 적용하였다. 이 식은 입술의 왼쪽 끝점과 오른쪽 끝점에서 입술과 주변 피부와의 경계를 각각 기울기 m 과 $-m$ 인 직선으로 간주하고 이를 경계로 입술 영역 밝기($I(x)$)와 주변 피부 밝기($O(x)$)의 차를 구하기 위한 것이며, h 와 w 는 입술 영역의 폭을 기준으로 정하였다. 윗 입술과 주변 피부와의 경계선은 아래 입술의 경계선보다 뚜렷하기 때문에 두 입술 사이 경계선의 위쪽 영역만 고려하였다. 이후 식 (13)을 이용하여 입술의 양 끝점에 해당하는 부분에서 최대값을 갖는 벡터(그림 4)의 (d))를 구하고 이들 두 점을 입술의 양 끝점으로 정하였다. 식 (13)에서 $x_{LipCenter}$ 는 입술 영역 중심의 x 좌표이다. 이 두 점을 입술 영역의 양 끝점으로 정하여 영역을 줄이고 그 안에서 식 (14)와 같이 gradient를 구한 후 수평투영을 수행한다. 이후 식 (15)를 이용하여 (그림 4)의 (e)와 같이 두 입술 경계선을 기준으로 위와 아래쪽에서 최대치를 갖는 벡터를 구하고 이 두 점을 입술의 위, 아래 끝 부분으로 정하였다. (그림 4)의 (b)는 각 눈동자 쌍에 대응되는 입술을 찾은 결과이다.

$$W(x) = \frac{ABS\left(\sin\left(\frac{x - x_{LipCenter}}{D/\pi}\right)\right)}{ABS(\cdot)} \cdot L(x) \quad (13)$$

$ABS(\cdot)$ 은 절대값 함수

$$G(x,y) = I(x,y+1) - I(x,y), \quad (14)$$

$$H_{Lip}(y) = \sum_x G(x,y)$$

$$H(y) = ABS\left(\sin\left(\frac{y - y_{LipCenterLine}}{H_{Lip}/\pi}\right)\right) \cdot H_{Lip}(y) \quad (15)$$

3.3 평가함수를 이용한 얼굴 특징 인식

색 정보를 이용하여 분류한 얼굴 영역은 부정확하기 때문에 입과 눈의 쌍들 각각에 대한 새로운 얼굴 영역을 식 (16)을 이용하여 정하였다. 이 식에서 (x_{min}, y_{min}) , (x_{max}, y_{max}) 는 새로운 얼굴 영역의 최소포함 사각형의 좌표이며 $x_{LeftEye}$, $x_{RightEye}$ 는 두 눈동자의 중심 x 좌표, y'_{max} 는 색 정보를 이용하여 찾은 얼굴 영역의 최대 y 좌표이다. W , H 는 새 얼굴 영역의 폭과 길이를 나타낸다. 이에 따라 눈, 입의 각 쌍에는 하나씩의 얼굴 영역이 대응되며, 색 정보를 이용하여 얻은 한 얼굴 영역에는 눈, 입, 얼굴 쌍들이 다수 존재한다.

$$x_{max} = \frac{(x_{LeftEye} + x_{RightEye})}{2} + \frac{W}{2}$$

$$x_{min} = \frac{(x_{LeftEye} + x_{RightEye})}{2} - \frac{W}{2} \quad (16)$$

$$y_{max} = y'_{max}$$

$$y_{min} = y_{max} - H$$

where, $H = 1.2W$, $W = 2.5D$, D 는 두 눈동자 사이 거리

이 논문에서는 얼굴 내에서 눈의 위치와 두 눈의 상대적 위치 및 대칭성과 얼굴에서 어두운 부분인 눈동자의 특성을 반영하는 평가함수를 도입하였다. 평가함수는 다음과 같은 얼굴 특징들간의 관계를 반영한다(그림 5).

(특성 1) 눈과 입 사이의 거리(H_3)는 두 눈 사이의 거리(D)의 약 1.1 배이다.

(특성 2) 입과 양쪽 눈과의 거리 비는 비슷하다.

(특성 3) 두 눈간의 거리(D)는 이마 부분의 길이(H_1)와 비슷하다.

(특성 4) 두 눈과의 거리와 입술 폭은 비슷하다.

(특성 5) 두 눈동자의 밝기는 비슷하며 어둡다.

(특성 6) 입술과 얼굴 밑 부분과의 거리(H_2)는 두 눈 사이 거리의 약 0.9 배이다.

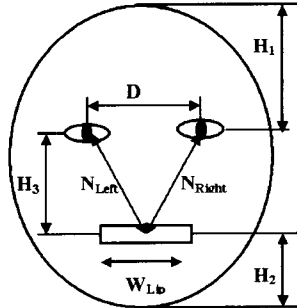


그림 5 얼굴 모델

(특성 1)에 대한 평가함수는 식 (17)의 C_k^1 이며 H_3 은 두 눈을 잇는 선분의 중심점과 입의 중심점 사이의 거리이다. (특성 2)는 C_k^2 이고 N_{Left} , N_{Right} 는 각각 왼쪽 눈동자와 오른쪽 눈동자의 중심점과 입의 중심점 사이의 거리이다. (특성 3)은 C_k^3 이며 H_1 는 얼굴 영역의 가장 큰 y 좌표와 눈의 중심점 y 좌표간의 차이이다. (특성 4)는 C_k^4 이며 W_{Lip} 은 입술의 폭이다. (특성 5)는 C_k^5 와 같고 G_{max} , G_{min} 은 각각 두 눈동자의 화소값 중에서 큰값과 작은 값이고 C 는 상수이다. (특성 6)은 C_k^6 이고 H_2 는 얼굴 영역의 가장 작은 y 좌표와 입의 중심점 y 좌표간의 차이이다. 이 함수들은 0에 가까운 값을 가질수록 해당 특성과 일치함을 나타내며, 이들을 모두 반영하는 전체 평가함수는 C_k 와 같다. 색 정보를 이용하여 구한 각 얼굴 영역 안의 눈, 입, 얼굴로 구성되는 쌍들 모두에 평가함수를 적용하고 가장 작은 값을 갖는 쌍의 눈, 입과 얼굴을 그 영역에서의 인식 결과로 정하였다.

$$\begin{aligned}
 C_k^1 &= ABS \left[1 - \frac{\min(H_3, 1.1D)}{\max(H_3, 1.1D)} \right], \\
 C_k^2 &= ABS \left[1 - \frac{\min(N_{Left}, N_{Right})}{\max(N_{Left}, N_{Right})} \right] \\
 C_k^3 &= ABS \left[1 - \frac{H_1}{D} \right], \\
 C_k^4 &= ABS \left[1 - \frac{\min(D, W_{Lip})}{\max(D, W_{Lip})} \right] \\
 C_k^5 &= ABS \left[1 - \frac{G_{Min}}{G_{Max}} \right] \cdot \frac{G_{Max}}{C}, \\
 C_k^6 &= ABS \left[1 - \frac{\min(0.9D, H_2)}{\max(0.9D, H_2)} \right] \\
 C_k &= \sum_{i=1}^6 w_i C_k^i \quad \text{where, } \sum_{i=1}^6 w_i = 1.0
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

4. 실험 및 고찰

이 논문에서는 한 개 이상의 얼굴을 포함하는 영상들을 대상으로 하였으며, 다양한 얼굴 형태를 갖는 16 명

의 얼굴 영상 260개에 대해 실험하였다. 안경을 쓰지 않은 것, 은테 안경과 검은 테 안경을 쓴 것, 정면을 응시하는 것, 좌우를 응시하는 것, 얼굴 크기가 다른 것 등 여러 상태의 영상들을 사용하였다. 이들 영상은 여러 장소의 실내에서 얻은 것이며, 영상 크기는 320×240이다. 영상 면적의 약 10 % 이상의 면적을 갖는 얼굴만을 인식 대상으로 하였다. 이는 얼굴이 너무 작아지면 눈, 입 등에서의 특징 추출이 어렵기 때문이다. 펜티엄(Pentium) II PC(350 Mhz)에서 실험하였다.

표 1 각 단계에서의 평균 수행 시간

단계	색 정보 이용 얼굴 영역 추출	눈동자 인식	입술 인식	전체
평균수행시간	0.62초	0.96초	0.27초	1.85초

표 1은 얼굴의 특징을 인식하는 각 단계의 평균 수행 시간이며, 전체적으로 빠른 경우는 0.7초, 늦은 경우는 4.2초가 소요되었다. 표 2는 실험 결과이며 색 정보를 이용하여 얼굴 영역과 입 영역을 분류하는 과정에서의 오류가 3.8%나 되었다. 또한 입술의 위치는 정확하게 찾았으나 입술 양 끝점의 위치가 부정확하게 인식되는 경우도 있었다.

표 2 실험 결과

	눈, 입 인식 성공	인식 실패			전체
		눈 인식 실패	입술 인식 실패	색 정보 이용 영역 분류 오류	
영상 개수(개)	245	3	2	10	260
비율(%)	94.2	1.2	0.8	3.8	100

그림 6은 인식결과의 예이다. (a), (b), (c)는 두 명이 있는 경우이다. 얼굴의 크기가 같은 경우 및 다른 경우에도 정확하게 인식하였다. (a), (c), (e)의 경우 입고 있는 옷의 색이 피부색과 유사하여 색 정보를 이용하여 얼굴 영역의 추출시 몸을 포함한 영역이 얼굴 영역으로 찾아졌으나 얼굴 영역 보정 과정을 통하여 얼굴 영역을 찾고 특징들을 정확하게 찾았다. (e), (f), (g)는 얼굴이 작은 경우이다. (h)는 안경에 빛이 반사되어 눈 부분이 밝아진 경우이나 눈동자를 정확하게 찾았다. (i), (j)는 검은 테 안경을 착용한 경우의 결과이다. (j), (k)는 한쪽에서 빛을 비추는 상황을 설정하여 얼굴의 한쪽은 밝고 반대쪽은 어두운 영상의 결과이다. (l)은 고개를 돌린 경우의 결과이다. 이 모든 경우에 입의 특징점 및 입술

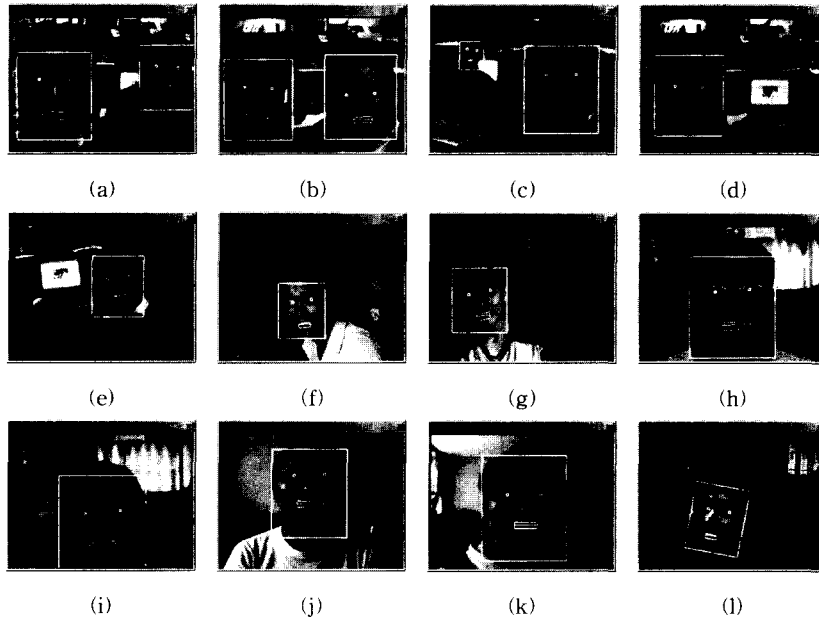


그림 6 인식 결과

사이의 경계선을 정확하게 인식하였다. 투영 및 에지에 의한 입술 인식 방법들은 조명이 변화하는 경우 오인식이 발생할 수 있으나 본 논문에서 제안한 가중치 벡터를 이용한 방법은 실험결과에서 보듯이 조명변화에 무관하게 입술을 인식한다. 또한 눈을 인식하기 위하여 일반적으로 사용되는 눈의 특징뿐만 아니라 눈썹의 특징 및 눈동자와 눈썹과의 관계를 이용하기 때문에 눈썹을 눈으로 오인식하는 가능성을 배제시키며, 조명변화나 안경 착용 등과 같은 다양한 환경에서도 정확하게 눈을 인식할 수 있다.

그림 7의 (a)의 경우 한 얼굴은 올바르게 인식하였으나 작은 얼굴은 인식하지 못하였다. 이 경우 피부색과 유사한 색의 옷을 입고 있어 몸 부분이 얼굴 영역으로 추출되었고 색 정보를 이용하여 찾은 입술영역이 올바르게 못하여 전체적으로 특징들을 잘못 찾은 경우이다.

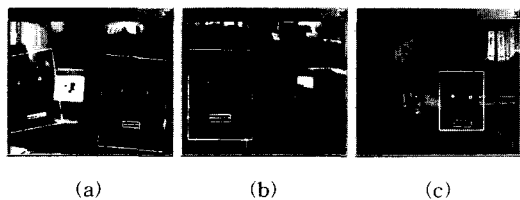


그림 7 오 인식 결과

(b)의 경우는 두 얼굴이 존재하지만 하나만 인식된 것으로 이는 두 얼굴이 겹쳐짐으로 인하여 색 정보에 의한 분류시 하나의 얼굴 영역만 나타나기 때문이다. (c)는 고개를 돌린 상황에서 눈동자의 인식이 잘못된 경우이다. 이는 오른쪽 눈썹 부분이 눈동자 위쪽보다 눈물샘 위쪽에서 진하기 때문이다.

5. 결론

근래 들어 얼굴 내에서 눈과 입의 위치뿐만 아니라 시간에 따른 이들의 형태변화 및 움직임에 대한 정보를 추출하고 여러 분야에 응용하려는 연구가 활발히 진행되어 눈동자와 입의 정확한 위치 및 형태를 찾는 분야가 많은 관심을 끌고 있다. 이 논문은 눈동자와 입술의 정확한 위치를 효과적으로 인식하는 방법을 제안하였다. 우선 눈과 눈썹에 대한 형태 정보 및 눈동자와 눈썹 사이의 관계를 반영하여 눈동자를 인식하였고 입술의 경우에는 어두운 부분이 연속적으로 나타나는 경우에 이를 효과적으로 찾을 수 있는 방법을 사용하여 두 입술 사이의 경계선을 찾고 입술과 인접한 주변 피부와의 밝기 차이를 이용하는 방법으로 입술의 양 끝점 및 위와 아래의 끝점을 정확하게 찾았다. 여러 영상에 대한 실험 결과 좋은 결과를 얻었으나 피부 색 정보를 이용하여 영역을 추출하는 과정의 문제점 개선과 입술의 양 끝점

의 정확한 위치 추출에 대한 보다 많은 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 시간적으로 변하는 입술의 정확한 형태 추출에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] M.-H. Yang, N. Ahuja, D. Kriegman, "A Survey on Face Detection Methods," IEEE Trans. on PAMI, to appear 2001.
- [2] A. R. Mirhosseini, H. Yan, K.-M. Lam, "Adaptive Deformable Model for Mouse Boundary Detection," Optical Engineering, Vol. 37 No. 3, pp.869-875, 1998.
- [3] N. Oliver, A. Pentland, "LAFTER: Lips and Face Real Time Tracker," IEEE CVPR'97, pp.123-129, 1997.
- [4] E. Saber, A. M. Tekalp, "Frontal-view Face Detection and Facial Feature Extraction Using Color, Shape and Symmetry Based Cost Function," Pattern Recognition Letters 19, pp.669-680, 1998.
- [5] S. Teskeridou, I. Pitas, "Facial Feature Extraction in Frontal Views Using Biometric Analogies," IX European Signal Processing Conference, Vol. I, pp.315-318, 1998.
- [6] J. Yang, R. Stiefelhagen, U. Meier, A. Waibel, "Real-time Face and Facial Feature Tracking and Application," Proc. Auditory-Visual Speech Processing, pp.79-84, 1998.
- [7] B. Moghaddam, A. Pentland, "Probabilistic Visual Learning for Object Detection," IEEE ICCV'95, pp.786-793, 1995.
- [8] B. Moghaddam, W. Wahid, A. Pentland, "Beyond Eigen Faces : Probabilistic Matching for Face Recognition," IEEE Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, pp.30-35, 1998.
- [9] T. Wark, Sridharan, V. Chandran, "An Approach to Statistical Lip Modelling for Speaker Identification via Chromatic Feature Extraction," IEEE ICPR'98, Vol. 1, pp.123-125, 1998.
- [10] S. Basu, N. Oliver, A. Pentland, "3D Modeling and Tracking of Human Lip Motions," IEEE ICCV'98, pp.337-343, 1998.
- [11] P. Delmas, Y. Coulon, V. Fristot, "Automatic Snakes for Robust Lip Boundaries Extraction," IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 6. pp.3069-3072, 1999.
- [12] M. Lievin, P. Delmas, Y. Coulon, F. Luthon, V. Fristot, "Automatic Lip Tracking : Bayesian Segmentation and Active Contours in a Cooperative Scheme," IEEE Conf. on Multimedia, Computing and System, pp.691-696, 1999.
- [13] Devroye, Luc, A Probabilistic Theory of Pattern Recognition, Springer, 1996.



장 경 식

1989년 연세대학교 전자공학과 졸업(학사). 1991년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1996년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1994년 ~ 1998년 2월 대우전자 전략기술 제 1 연구소 선임연구원. 1998년 ~ 현재 동의대학교 멀티미디어공학과 조교수. 관심분야는 컴퓨터 비전, 인공지능 등