

LDA와 가중치 벡터를 이용한 얼굴인식

장경식

동의대학교

Face Recognition Using LDA and Weighted Vector

KuyngShik Jang

Donggeui University

E-mail : ksjang@deu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 얼굴 영상에서 눈동자와 입술을 효과적으로 인식하는 방법을 제안하였다. 색 정보를 기반으로 LDA를 이용하여 입술 영역을 찾았다. 눈동자와 흰자위로 구성되는 눈의 형태적인 특징과 눈동자와 눈썹 사이의 관계를 반영하는 평가함수를 정의하여 눈동자를 인식하였다. 입술에서의 밝기차이를 기반으로 가중치 벡터를 정의하여 위 입술과 아래 입술 사이의 경계선을 찾고 입술과 인접한 피부와의 밝기 차이를 이용하여 입술의 양 끝 점 및 위와 아래의 끝점을 찾았다. 여러 영상에 대한 실험 결과 좋은 결과를 얻었다.

키워드

LDA, 얼굴인식, 입술인식, 평가함수

1. 서 론

최근에 얼굴에서 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[1].

눈과 입의 위치를 찾는 연구로서 색 정보를 이용하여 얼굴, 눈 영역들을 추출하고 두 눈의 대칭성 및 위치를 반영하는 평가함수를 적용하여 눈을 인식하는 방법[2], 고유얼굴(eigenface) 개념을 확장한 고유눈(eigeneye)과 고유입(eigenmouth)을 이용하여 눈과 입을 찾는 방법[3]이 있다. 입술 형태를 찾는 연구로서 입 영역에서 에지를 구하고 사이각, 방향, 곡률(curvature)등의 조건을 조사하여 입술의 외곽선을 인식하는 방법[1], 색 정보를 사용하여 입술 영역을 추출하고 위와 아래 입술의 외곽선을 각각 4차와 2차 방정식으로 근사화시키는 방법[4], Kalman 필터와 입술 색 모델을 사용하여 입술을 인식하는 방법[5], 색 정보와 HMM(Hidden Markov Model)을 이용하여 입술 영역을 찾고 snake 방법을 이용하여 입술의 외곽선을 인식하는 방법[6] 등이 있다.

본 논문에서는 얼굴영상에서 얼굴, 눈동자와 입술을 효과적으로 인식하는 방법을 제안하였다. 색 정보를 기반으로 LDA를 이용하여 입술 영역

을 찾고 눈의 형태적인 특징과 눈동자와 눈썹 사이의 관계를 반영하는 평가함수를 정의하여 눈동자를 인식하였다. 입술에서의 밝기차이를 기반으로 가중치 벡터를 정의하여 위 입술과 아래 입술 사이의 경계선을 찾고 입술과 인접한 피부와의 밝기 차이를 이용하여 입술의 위치를 찾았다. 여러 영상에 대한 실험 결과 약 95%의 인식률을 얻었다.

II. LDA를 이용한 영역 분석

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, 입력 영상의 각 화소에 대한 특징 벡터 x 와 얼굴 색 모델과의 마할라노비스(Mahalanobis) 거리가 임계치 이하인 경우에 얼굴 영역으로 판정하였다.

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[7]를 사용하였다. 식 (1)을 이용하여 discriminant 벡터를

구하고 학습에 사용될 얼굴 영역과 입술 영역의 화소들에 대한 특징 벡터 $x_{ij}=[h_{ij}, s_{ij}]$ 를 투영한 후 얼굴 색의 모델정보(m_{face}, C_{face})와 입술 색의 모델정보(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 입력 영상의 각 화소를 분류하였다. (그림 1)의 (a)는 얼굴 영역 안에서 입술 영역을 추출한 결과이다.

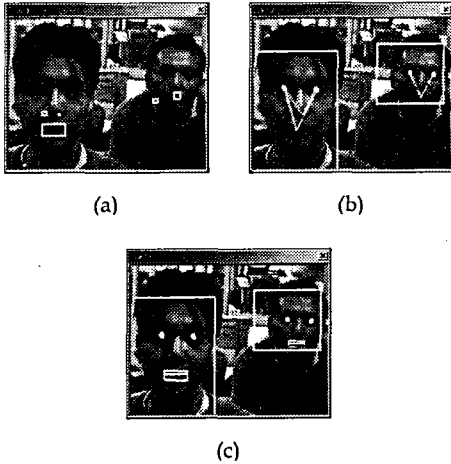


그림 1 입술과 눈동자 추출

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

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

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

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

III. 얼굴 특징 인식

III-1. 눈동자 인식

눈동자를 찾기 위한 눈 영역은 각 입술 영역을 기준으로 위치 정보를 이용하여 구하였다. 눈은 다음과 같은 특성을 갖고 있으며 이들 특성을 반영하는 평가함수를 구성하였다.

(특성 1) 눈동자의 중심은 눈동자에서 가장 어두운 부분이다.

(특성 2) 눈동자 부분은 흰자위 부분 및 눈동자

의 위, 아래 부분들보다 어둡다.

(특성 3) 눈동자 위에는 눈썹이 존재한다.

(특성 4) 눈썹의 중앙 부분은 눈썹 아래 부분 및 위 부분보다 어둡다.

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

$$I_2(x_e, y_e) = \frac{1}{\frac{1}{2} (r_2^2 - r_1^2) (\frac{\pi}{2})^2} \int_{r_1}^{r_2} \int_{-\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{4}} I(x_e + r \cos \theta, y_e + r \sin \theta) r d\theta dr \quad (3)$$

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

$$r_1 = K_1 \cdot W, \quad r_2 = K_2 \cdot r_1 \quad (4)$$

where K_1, K_2 는 상수,
 W 는 눈, 입의 y 좌표 차이

$I(x, y)$ 는 좌표 (x, y) 에서의 화소값을 나타낸다. 눈동자는 원의 형태를 가지고 있으므로 눈동자의 중심(x_e, y_e)을 기준으로 식 (3)을 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. r_1, r_2 는 식 (4)에 의하여 구하며, r_1 은 눈동자의 반경이다. 눈동자 위와 아래 부분의 화소값 평균은 식 (5)의 $I_4(x_e, y_e), I_5(x_e, y_e)$ 에 의하여 구하고 눈동자 위에 있는 눈썹의 좌표는 식 (6)을 이용하여 구하였다. y_{max} 는 눈 영역의 최대 y 좌표이다. 식 (7)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.

눈동자의 (특성 1)을 반영한 평가함수는 식 (8)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^3 이고 눈동자 영역이 주변 영역들보다 어두운 경우 큰 값을 갖는다. (특성 4)는 E_k^4 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 식 (8)를 적용하고 가장 큰 평가 함수 값을 갖는 화소를 눈동자로 인식하였다. (그림 1)의 (b)는 눈동자를 찾은 결과이다.

$$I_4(x_e, y_e) = \frac{1}{4r_1^2} \int_{-2r_1}^{2r_1} \int_{-r_1}^{r_1} I(x_e + x, y_e + y) dx dy \quad (5)$$

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

$$(x_e, y_e) < \arg \min_{y \in S_1} I(x_e, y_e + y), \quad (6)$$

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

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

$$I_7(x_e, y_b) = \frac{1}{4r_3^2} \int_{r_3}^{3r_3} \int_{r_3}^{r_3} I(x_e + x, y_b + y) dx dy \quad (7)$$

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

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

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

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

$$E_k^m = \frac{I_{m-1}(x_e, y_e) - I_1(x_e, y_e)}{k_2} \quad (8)$$

where $m \in \{3, 4, 5, 6\}$

$$E_k^n = \frac{I_n(x_e, y_e) - I_6(x_e, y_e)}{k_3}$$

where $n \in \{7, 8\}$

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

III-2. 입술 인식

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 (9), (10)을 이용하여 벡터 $L(y)$ 를 구하면

가장 큰 값을 갖는 위치에서 두 입술 사이의 경계선을 얻는다.

$$M(x) = \arg \min_{y \in H_{Lip}} I(x, y) \quad (9)$$

$$L(y) = \sum_{x \in W_{Lip}} \frac{\left(K_1 - \cosh \left(\frac{M(x) - \frac{H_{Lip}}{2}}{H_{Lip}/K_2} \right) \right)}{K_1} \quad (10)$$

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

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

$$\text{if } x \leq \frac{W_{Lip}}{2}$$

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

$$I(x) = \frac{\sum_{y=1}^h \sum_{z=1}^m I(x, y) u(-G_1(x, y))}{\sum_{y=1}^h \sum_{z=1}^m u(-G_1(x, y))}$$

$$\text{if } x > \frac{W_{Lip}}{2} \quad (11)$$

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

$$I(x) = \frac{\sum_{y=1}^h \sum_{z=1}^m I(x, y) u(-G_2(x, y))}{\sum_{y=1}^h \sum_{z=1}^m u(-G_2(x, y))}$$

$u(\cdot)$ 은 단위 계단함수

$$G_1(x, y) = y - mx$$

$$G_2(x, y) = y - (-mx + k)$$

$$W(x) = ABS \left(\sin \left(\frac{x - x_{LipCenter}}{D/\pi} \right) \right) \cdot L(x) \quad (12)$$

where, $ABS(\cdot)$ 은 절대값 함수

입술의 양 끝점을 찾기 위하여 두 입술 사이의 경계선을 따라 각 점에서 식 (11)을 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 (12)를 이용하여 입술의 양 끝점에 해당하는 부분에서 최대값을 갖는 벡터를 구하고 이들 두 점을 입술의 양 끝점으로 정하였다. 식 (12)에서 $x_{LipCenter}$ 는 입술 영역 중심의 x 좌표이다. (그림 1)

의 (c)는 각 눈동자 쌍에 대응되는 입술을 찾은 결과이다.

IV. 실험 및 고찰

이 논문에서는 한 개 이상의 얼굴을 포함하는 영상들을 대상으로 하였으며, 다양한 얼굴 형태를 갖는 16 명의 얼굴 영상 300개에 대해 실험하였다. 이들 영상은 여러 장소의 실내에서 얻은 것이며, 영상 크기는 320×240 이다.

실험결과, 95%의 인식 성공율을 얻었으며 오류의 대부분은 입술 영역의 분류과정에서 발생하였다. 또한 입술의 위치는 정확하게 찾았으나 입술 양 끝점의 위치가 부정확하게 인식되는 경우도 있었다.

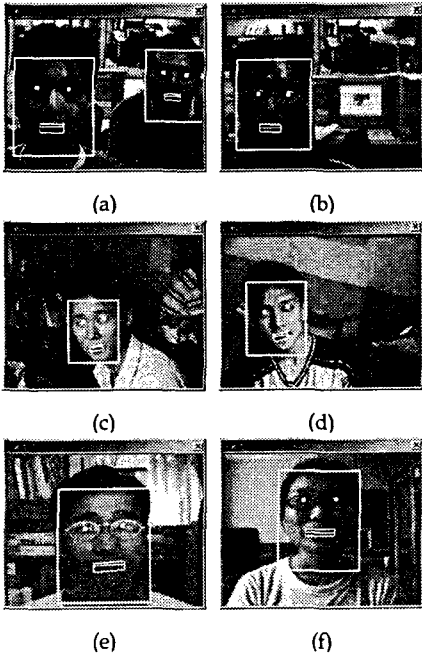


그림 2 인식 결과

그림 2는 인식결과의 예이다. (e)는 안경에 빛이 반사되어 눈 부분이 밝아진 경우이나 눈동자를 정확하게 찾았다. (f)는 검은 테 안경을 착용한 경우의 결과이다. 이 모든 경우에 입의 특징점 및 입술 사이의 경계선을 정확하게 인식하였다. 투영 및 예지에 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 사

용되는 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.

V. 결 론

이 논문은 얼굴영역에서 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 위치를 찾았다.

참고문헌

[1] A. R. Mirhosseinl, H. Yan, K.-M. Lam, "Adaptive Deformable Model for Mouse Boundary Detection", *Optical Engineering*, Vol. 37 No. 3, pp.869-875, 1998.

[2] 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.

[3] B. Moghaddam, A. Pentland, "Probabilistic Visual Learning for Object Detection," *IEEE ICCV'95*, pp.786-793, 1995.

[4] 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.

[5] S. Basu, N. Oliver, A. Pentlan, "3D Modeling and Tracking of Human Lip Motions", *IEEE ICCV'98*, pp.337-343, 1998.

[6] 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.

[7] Devroye, Luc, *A Probabilistic Theory of Pattern Recognition*, Springer, 1996.