

Pupil Detection using PCA and Hough Transform

Kyung-Shik Jang*

Abstract

In this paper, we propose a pupil detection method using PCA(principal component analysis) and Hough transform. To reduce error to detect eyebrows as pupil, eyebrows are detected using projection function in eye region and eye region is set to not include the eyebrows. In the eye region, pupil candidates are detected using rank order filter. False candidates are removed by using symmetry. The pupil candidates are grouped into pairs based on geometric constraints. A similarity measure is obtained for two eye of each pair using PCA and hough transform, we select a pair with the smallest similarity measure as final two pupils. The experiments have been performed for 1000 images of the BioID face database. The results show that it achieves the higher detection rate than existing method.

▶ Keyword : Pupil detection, PCA, Hough transform, Symmetry

I. Introduction

얼굴 특징 검출은 얼굴 모델링, 얼굴 표정 인식, 얼굴 인식 등 여러 응용 분야에 적용할 수 있는 중요한 기술이다. 얼굴의 특징으로는 눈, 코, 입 등이 있는데 그 중 눈은 핵심적인 요소가 되며, 매우 안정적인 특징이다. 눈동자 검출은 최근에 손이 부자연스런 장애인이 컴퓨터와 상호작용을 가능하게 하는 눈동자 응시 방향 검출, 자동차 운전자 졸음 방지를 위한 눈 깜박임 검출 등 많은 응용 분야에서 사용되고 있다. 이에 따라 강인하고 정확하게 눈동자를 검출하는 연구가 많이 진행되고 있다[1, 2].

눈이나 눈동자를 검출하는 기존 방법으로는 SVM(Support Vector Machine)의 입력으로 영상의 화소값 대신 Zernike 모멘트를 사용하여 눈을 검출하는 방법[3], Eigenspace를 사용하여 눈을 검출하는 방법[4] 등이 있다. 또한, Wang[5]은 투영함수인 IPF(integral projection function), VPF(variance projection function)와 이들을 결합한 HPF(hybrid projection function)를 적용하여 눈을 검출하고 CS(Circle Similarity)를 사용하여 눈 깜박임 상태를 검출하였다. Chen[6]은 여러 가지 컬러정보에 기반한 투영함수를 사용하여 눈 영역을 추출하였으나 피부색이 변하는 경우 문제가 발생할 수 있다. 가변 형판 정합(deformable template matching)을 사용하는 방법[7]은 눈의 형태에 관한 여

러 가지 에너지 함수를 정의하여 눈동자를 검출하였다. 이러한 가변 형판 정합 방법은 이후 많은 연구[8]에서 사용되었으나, 다양한 형태의 가변 형판을 사용함으로써 처리시간이 많이 소요되었다. Zhou[9]는 투영함수인 HPF(hybrid projection function)를 사용하여 눈동자를 검출하였다. Zhifei Xu[10]는 IPF를 적용하여 눈동자 위치를 찾고 WHT(Weighted Hough Transform)을 사용하여 정확한 눈동자 위치와 반경을 검출하였다.

Susan[11]는 얼굴 영역 안의 고립 영역들 쌍에 대한 8가지 특징과 이들과 연관된 퍼지 멤버십 함수들을 도입하여 눈을 인식하였다. Jianfeng[12]은 rank order 필터를 사용하여 눈동자 후보점들을 검출하고 기하학적 제약조건을 이용하여 눈동자를 찾았다. Hu[13]는 학습 눈 영역들의 선형결합으로 입력 눈 영역들을 근사화시켜 눈을 검출하였다. Viola와 Jones는 Adaboost 알고리즘을 사용하는 얼굴 추출 방법을 제안하였으며 좋은 결과를 얻었다. 이 방법은 이후에 많은 연구에서 눈 검출에도 사용되었으며, 현재 매우 효과적인 방법으로 알려져 있다[14, 15].

이 논문에서는 허프변환과 PCA를 이용하여 눈동자를 검출하는 방법을 제안한다. 눈썹을 눈동자로 오검출하는 오류를 줄이기 위하여 눈썹을 찾아 눈썹이 포함되지 않도록 눈 영역을 설정한다. rank order 필터를 이용하여 눈동자 후보점을 찾고 거짓 눈동자

*First Author: Kyung-Shik Jang, Corresponding Author: Kyung-Shik Jang
*Kyung-Shik Jang(ksjang@deu.ac.kr), Dept. of Multimedia Engineering, Donggeui University
• Received: 2016. 11. 09, Revised: 2016. 12. 18, Accepted: 2017. 01. 20.

후보점들을 제거한다. 양 눈의 두 눈동자 후보점을 기하학적인 제약조건을 기반으로 쌍으로 묶고 PCA 와 허프 변환을 이용하여 각 쌍의 두 눈동자 영역에 대한 유사도를 측정하여 최종 눈동자를 판정하였다. 2장에서는 눈동자 검출 전체 과정을 서술하였고 3장에서는 눈동자 후보점을 검출하는 과정을, 4장에서는 최종적인 눈동자 검출과정을, 5장에서는 실험과정을 서술하였다.

II. The Proposed Scheme

이 논문에서는 AdaBoost 알고리즘[14, 15]을 사용하여 입력 영상에서 얼굴을 검출하였다. AdaBoost 알고리즘은 분류 성능이 약한 분류기를 조합하여 분류 성능이 좋은 분류기를 만들어 가는 알고리즘이다. 얼굴을 검출하기 위하여 영상 전체를 스캔하면서 다양한 Harr-like feature 마스크(mask)를 이용하여 영역들의 평균 밝기를 구한다. 그 차이가 미리 정의된 임계치보다 크면 해당 영역을 그 마스크에 대한 특징으로 추출한다.

검출한 얼굴 영역을 기준으로 눈동자를 검출할 좌우 두 개의 눈 영역을 설정한다. 눈 영역에 눈썹이 포함되는 경우 눈썹을 눈동자로 검출하는 경우가 많이 발생하기 때문에 투영함수인 HPF(Hybrid Projection Function)를 이용하여 눈썹을 검출하고 눈썹 부분을 제외하도록 눈 영역을 재 설정한다.

눈동자는 어둡고 원 형태로 되어 있는 사실을 기반으로 눈 영역에서 rank order 필터를 사용하여 눈동자 후보점들을 검출한다. 이 과정에서 많은 눈동자 후보점이 검출되기 때문에 이후에는 눈꼬리 등에 위치한 거짓 눈동자 후보점들을 제거하는 과정이 수행된다.

눈꼬리는 윗 눈꺼풀의 끝 부분으로 피부와 연결되어 있기 때문에 눈꼬리 부분을 중심으로 하는 영역을 이진화하면 어두운 윗 눈꺼풀 부분을 찾을 수 있으며, 방향 정보 등을 이용하여 눈꼬리 부분에 있는 눈동자 후보점을 제거한다.

일반적으로 눈은 눈동자를 기준으로 좌우 대칭 형태인 사실을 이용하여 눈동자 후보점을 중앙으로 하는 눈 영역을 설정하고 좌우 대칭을 검사하여 대칭이 되지 않는 경우에는 제거한다. 또한, 눈동자 부분에서 빛을 반사하여 검은 눈동자 안에 작은 밝은 영역인 홀(hole)이 발생하는 경우가 발생한다. 눈동자 후보점 주변의 영역에서 이진화를 수행하고 홀을 검출하는 경우 홀을 눈동자 후보점으로 지정하고 나머지 후보점을 모두 제거한다.

얼굴의 좌우 두 개 눈 영역에서 검출한 눈동자 후보점들을 쌍으로 묶는다. 좌우 눈 영역은 형태가 비슷하기 때문에 쌍으로 묶인 두 눈동자 후보점 주변 영역의 유사도를 PCA 변환을 이용하여 측정한다. 또한, 눈 영역에서 허프(Hough) 변환을 이용하여 원을 찾고 원의 중심과 눈동자 후보점간의 거리를 구한다. 이 두 개의 정보를 이용하는 평가함수를 사용하여 최종적인 눈동자를 검출한다.

III. Eyebrow Detection and Pupil Candidates Detection

1. Eyebrow detection

얼굴을 검출하고 검출된 얼굴 영역의 폭을 기준으로 눈 영역을 설정하였으며, 일반적으로 눈 영역에는 눈썹이 포함된다. 눈동자를 검출하는 많은 연구에서 눈썹을 눈동자로 오 검출하는 경우가 많이 발생하기 때문에 이 논문에서는 눈썹을 검출하고 눈썹이 포함되지 않도록 눈 영역을 재 설정하였다.

$$HPF_h(y) = \frac{1}{W} \int_1^W |I(x,y) - IPF_h| dx - IPF_h(y) \quad (1)$$

$$\text{where, } IPF_h(y) = \frac{1}{W} \int_1^W I(x,y) dx$$

$$r_e = 0.03 * W_F \quad (2)$$

$$\min(|P_1 - V_1|, |P_2 - V_1|) > |P_1 - P_2| / T \quad (3)$$

식 (1)의 수평방향 투영함수인 $HPF_h(y)$ 를 사용하여 눈썹을 검출하였다. $I(x,y)$ 는 영상 I 에서 좌표 (x,y) 에서의 화소값이고 W 는 눈 영역의 폭이다. $HPF_h(y)$ 의 피크가 y_1 에서 한 개만 존재하면 그 위치에 눈썹이 있는 것으로 간주하고 $Y_E = y_1 + r_e$ 를 새로운 눈 영역 시작 y 좌표로 정한다. 이때 r_e 는 눈동자 반지름으로 식 (2)와 같이 입력 영상에서 검출된 얼굴 영역의 폭 W_F 를 기준으로 정하였다.

$HPF_h(y)$ 의 피크가 2개 이상인 경우에는, y_1 과 y_2 에서 $HPF_h(y)$ 의 처음 두 개의 피크값 P_1, P_2 을 가질 때 $y_2 - y_1 > 1.5r_e$ 를 만족하고 P_1, P_2 사이에서 $HPF_h(y)$ 의 최소값 V_1 이 식 (3)을 만족하는 경우에 $Y_E = 2(y_1 + y_2)/5$ 를 새로운 눈 영역의 시작 y 좌표로 정한다. T 는 상수이다. 이 조건들을 충족하지 못한 경우는 눈썹 검출이 실패한 것이다.

2. Pupil candidates detection

rank order 필터는 중간값 필터(median filter)와 유사하게 작용하는 비선형 필터이다. $n*n$ 마스크(mask)를 사용하는 경우, 마스크 내부의 화소값들을 취한 후, 크기 순으로 정렬하고 γ 번째 화소값을 마스크 중앙 위치의 화소값으로 대체한다. $\gamma = \lfloor n*n*\alpha \rfloor$ 이며, $0 < \alpha < 1$ 이다. α 는 rank order 필터의 계수이다.

눈동자 후보점을 추출하기 위하여 (그림 1)과 같은 마스크를 사용하였다. 중간 원형 부분은 눈동자에 해당하는 부분으로 E로 표기하고, 눈동자 영역을 둘러싸는 흰 부분은 눈 흰자위에 해당하는 부분으로 S로 표기한다. 마스크의 원형 부분 반지름은 r_e 이고, 마스크의 폭과 높이는 $0.1W_F$ 이다.

$$R(x, y) = \frac{\text{rank}_{0.4}\{I(x, y)\}}{(x, y) \in S} - \frac{\text{rank}_{0.6}\{I(x, y)\}}{(x, y) \in E} \quad (4)$$

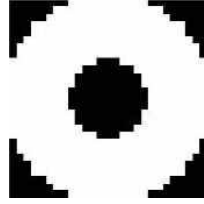


Fig. 1. Eye mask

$$P(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } R(x, y) > T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$T = \frac{\text{rank}_{0.99}\{R(x, y)\}}{(x, y) \in F_{xy}} \quad (6)$$

rank order 필터의 검출 값은 식 (4)와 같으며, 마스크의 S 영역에 대한 rank order 필터 출력에서 마스크의 E 영역에 대한 rank order 필터의 출력을 뺀 값이다. 이때, α 는 각각 0.4, 0.6을 사용하였다. 식 (5)과 같이 상위 1%의 R(x, y) 값을 갖는 화소를 눈 후보점 P(x, y)로 선택한다. 식 (5)에서 임계치 T는 식 (6)과 같으며, 이때 $\alpha=0.99$ 를 사용하였고 F_{xy} 는 마스크 전체 영역이다.

IV. Pupil Detection Scheme

1. False candidates removal

눈동자 후보점들은 눈동자에서도 검출되지만 눈꺼풀과 흰자 경계선, 눈의 끝인 눈꼬리 등 눈 영역의 검은 부분에도 많이 발생한다. 이후의 최종 눈 검출 과정에서 이러한 거짓 눈동자 후보점이 존재하면 오검출이 발생할 수 있기 때문에 거짓일 가능성이 있는 눈동자 후보점들을 제거하였다.

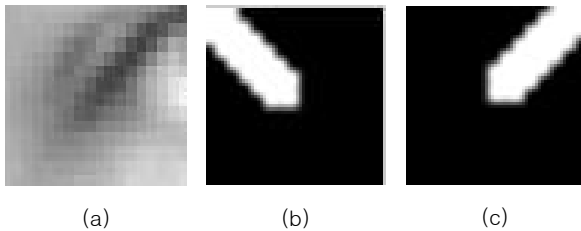


Fig. 2. Detection eye tail

(그림 2)의 (a)는 눈 꼬리 부분을 눈동자 후보점으로 검출한 경우이다. 이 부분의 특징은 눈꼬리와 연결된 위 눈꺼풀이 주변에 비하여 어둡다는 것이다. (그림 2)의 (a)와 같은 후보점을 중심으로 하는 영역을 이진화하여 어두운 부분 R을 찾고 (b), (c)

와 같은 마스크를 사용하여 마스크 흰 부분의 35% 이상 영역에 R이 포함되고 R의 크기가 (a) 영역 크기의 25% 미만이면 거짓 후보점으로 판정하였다.

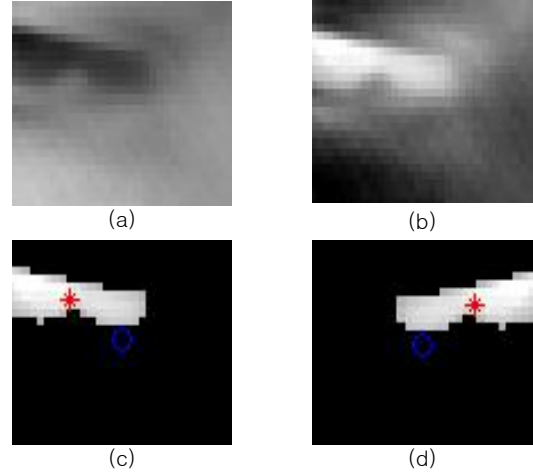


Fig. 3. Removal of false candidate by symmetry

눈은 눈동자를 기준으로 좌우 대칭 형태이다. 눈동자 후보점을 중앙으로 하는 눈 영역을 설정하고 좌우 대칭을 검사하여 대칭이 되지 않는 경우에는 제거하였다.

(그림 3)의 (a)와 같이 눈동자 후보점을 중심으로 하는 영역 R1을 구하고 화소값들을 반전하여 어두운 부분은 밝게, 밝은 부분은 어둡게 한다. 식 (7)을 이용하여 R1 영역의 화소값들이 0부터 255 값을 갖도록 선형 변환한다. (그림 3)의 (b)는 (a) 영상의 화소값들을 반전하고 선형 변환한 결과이다.

식 (7)에서 Vmax는 영역 R1에서 가장 밝은 화소값, Vmin은 가장 어두운 화소값이며, Xi는 화소 i의 변환 전 화소값, Yi는 변환 후 화소값이다. 이후 화소값이 k 이하인 화소들의 값을 0으로 설정하여 (그림 3)의 (c)를 얻는다. 이 영상은 원 영상인 (a) 영상에서 눈동자와 같이 어두운 부분들만 0이 아닌 화소값들을 갖게 된다. (그림 3)의 (d)는 영역 R1인 (c)의 중심좌표를 기준으로 좌우의 화소값들을 바꾼 R2 영역이다.

(그림 3)의 (c), (d)인 영역 R1, R2 각각에서 식 (8)을 이용하여 화소값을 가중치로 하는 무게중심 (Mx, My)를 구한다. 식 (8)에서 I(x, y)는 영상 I에서 좌표 (x, y)에서의 화소값이고 h, w는 각각 영역 R1의 높이와 폭이다. 최종적으로 R1의 가중치 무게중심과 R2의 가중치 무게중심간 거리가 임계치 이상이면 거짓 후보점으로 제거한다. (그림 3)의 (c), (d)에서 별표는 각 영역의 가중치 무게중심을 표시한 것이다.

$$Y_i = \frac{X_i - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} * 255 \quad (7)$$

$$Mx = \frac{1}{A} \sum_{y=1}^h \sum_{x=1}^w x I(x, y) \quad (8)$$

$$\text{where } A = \sum_{y=1}^h \sum_{x=1}^w I(x, y)$$

$$My = \frac{1}{A} \sum_{y=1}^h \sum_{x=1}^w yI(x, y)$$

눈동자는 빛을 반사하여 (그림 4)와 같이 검은 눈동자 중앙 부분에 밝은 부분인 홀(hole)이 있는 경우가 발생한다. 눈동자 후보점 주변에 홀(hole)이 있는 경우 그 홀을 최종 후보점으로 지정하고 나머지 후보점들은 모두 제거하였다.

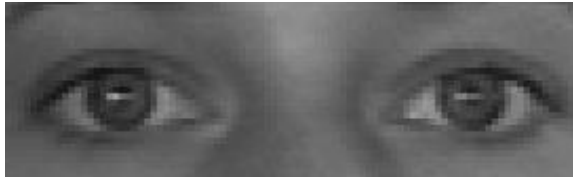


Fig. 4 Pupil with hole

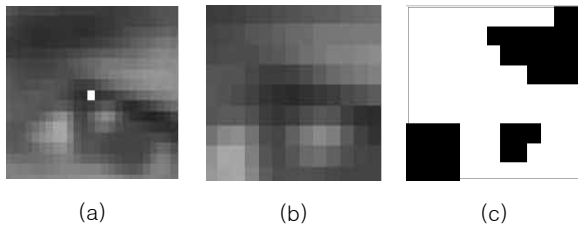


Fig. 5 Hole detection

(그림 5)의 (a)에서 눈동자 후보점은 중앙에 표시된 하얀 점 부분이며 어두운 눈동자 안의 작은 밝은 부분이 빛의 반사로 인하여 생성된 홀에 해당된다. 홀을 찾기 위하여 (b)와 같이 후보점을 중심으로 작은 영역을 설정하고 이진화를 수행하여 홀을 검출한다. (c)에서 흰 부분에 둘러싸인 우측 하단의 검은 부분이 홀에 해당된다. 홀을 구성하는 화소값들의 평균 M_1 , 홀을 둘러싸는 사각형 안에 있지만 홀이 아닌 화소값들의 평균 M_2 를 구한다. 또한 홀 영역의 장축과 단축의 길이 비 R_{axis} 를 구한다. 홀은 밝고 눈동자 안에 있기 때문에 홀 주변의 영역은 어두우며, 홀은 거의 정사각형 형태이다. 이 논문에서는 눈 영역에서 홀의 수가 하나이고 $(M_1 - M_2) > T_p$ 이며, $R_{axis} < T_{axis}$ 이면 홀로 판정한다. T_p 는 밝기 임계치이고 T_{axis} 는 축 길이 비율 임계치이다.

2. Pupil detection using PCA and Hough Transform

최종 눈동자를 검출하기 위하여 허프 변환과 PCA를 사용하였다. 얼굴의 좌우 양쪽 눈 영역 각각에서 허프변환(Hough Transform)을 사용하여 눈동자에 해당하는 원을 검출한다. 이때 검출할 원의 반지름은 눈동자 반지름을 기준으로 $(r_e - 2) \sim (r_e + 2)$ 으로 정하였다. 원을 검출하는 경우 각 눈동자 후보점에서 가장 가까운 원의 중심과의 거리를 계산하며, 이는 이후에 후보점의 유사도 측정시 사용된다.

정합(matching) 등을 이용하여 눈을 검출하는 경우 일반적으로 학습 눈 영역들을 사용하여 참조 영상(reference image)

을 구성하지만, 눈동자 및 눈의 형태가 사람에 따라 다르고 같은 사람인 경우에도 눈 뜬 정도에 따라 모양이 다르기 때문에 좋은 결과를 얻기 어렵다. 이 논문에서는 입력 영상에서 얻은 좌우 두 후보점 영역의 유사성을 이용하여 눈동자를 검출하였다.

얼굴에서 좌우 두 눈의 후보점 영역 유사도를 측정하기 위하여 PCA를 사용하였다. m 차원 특징 벡터들의 집합을 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$, 이들의 평균 벡터를 \bar{X} , 각 특징 벡터에서 평균 벡터를 뺀 벡터들의 집합을 $\Phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_m\}$ 라고 하면 특징 벡터들의 공분산행렬(covariance matrix)은 식 (9)와 같다. Σ 의 고유벡터와 고유값은 식 (10)에 의해 얻을 수 있다. 이 식에서 P_i 는 고유 벡터이고 λ_i 는 고유값이다. 고유값들을 크기 순으로 정렬하고 이에 대응하는 처음 k 개의 고유벡터들을 취하면 식 (11)과 같은 PCA 변환행렬을 구할 수 있다.

$$\Sigma = \sum_{i=1}^m \phi_i \phi_i^T \tag{9}$$

$$\Sigma P_i = \lambda_i P_i \quad \text{where, } i = 1 \dots m \tag{10}$$

$$W_{pca} = [P_1, P_2, \dots, P_k] \quad \text{where } \lambda_1 \geq \lambda_{i+1} \tag{11}$$

$$Y_i = W_{pca} X_i \tag{12}$$

눈동자 후보점 (x, y) 을 중심으로 높이 $H_e = \lfloor 0.09 W_F \rfloor$ 와 폭 $W_e = \lfloor 0.21 W_F \rfloor$ 인 눈 영역을 구한다. 입력 영상에서 검출한 모든 후보점들을 중심으로 하는 눈 영역을 학습 데이터로 사용하여 식 (11)과 같은 PCA 변환행렬 W_{pca} 를 구한다.

눈동자 반지름 r_e 를 기준으로 두 눈동자 간 최소 거리 $D_{min} = 10r_e$ 과 최대 거리 $D_{max} = 17r_e$ 를 정하고 얼굴의 좌우 양쪽에 있는 두 눈동자 후보점 사이 거리가 D_{min} , D_{max} 사이에 있고 두 후보점을 연결하는 선분의 각도 절댓값이 $\pi/12$ 이하인 것만 쌍으로 묶는다. i 번째 쌍의 두 후보점 영역 X_1, X_2 에 대해 식 (12)을 이용하여 구한 PCA 변환행렬 W_{pca} 를 사용하여 PCA 변환한 Y_1, Y_2 를 얻고 이들 간의 거리 PD_i 를 구한다.

이 논문에서는 입력 영상에서 얻은 각 쌍의 좌우 두 눈 영역의 유사성을 측정하고 가장 작은 값을 갖는 쌍의 눈동자 후보점을 최종적인 것으로 판정하였다. 눈동자 후보점 쌍 P_k 에는 좌우의 눈동자 후보점 E_i, E_j 가 포함된다. 이 두 점을 각각 중심으로 하는 영역들을 PCA 변환한 둘 간의 거리 PD_k 가 계산된다. 또한, 눈동자 후보점 E_i, E_j 에는 허프변환을 이용하여 얻은 가장 가까운 원과의 거리 CD_i, CD_j 가 계산된다. 눈동자 후보점 쌍 P_k 는 식 (13)을 이용하여 두 눈동자 후보점의 유사도가 측정된다. 모든 후보점 쌍들에 대해 식 (13)의 유사도를 측

정하고 가장 유사도가 작은 쌍의 두 후보점을 최종적인 눈동자로 검출한다. $w_1 + w_2 = 1$ 이고 허프 변환에서 원을 찾지 못하는 쌍의 경우에는 $w_2=0$ 으로 지정한다.

$$f(P_k) = w_1 \times PD_k + w_2 \times \frac{(CD_i + CD_j)}{2} \quad (13)$$

V. Experiment results

제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 BioID 얼굴 데이터 베이스[16]에 있는 얼굴 영상 중에서 무작위로 선택한 영상 1000개를 사용하였다. BioID 얼굴 데이터는 다양한 인종 23명의 정면 영상 1521개이며 384*286 크기의 명암도 영상(gray image)으로 얼굴 크기 및 조명이 다양하다. OpenCV에서 제공하는 AdaBoost 알고리즘을 이용하여 입력 영상에서 얼굴 영역을 검출하고, 제안한 방법으로 눈동자를 검출하였다. 이 논문에서 제안한 방법은 눈동자를 찾는 것이기 때문에 눈을 감은 영상들과 입력 영상에서 얼굴을 찾지 못하는 영상들은 제외하였다.

동일한 영상을 입력으로 눈동자를 검출하는 기존 방법과 제안한 방법의 검출율을 비교하였다. 기존 방법으로는 얼굴 검출에서 좋은 성능을 보이는 AdaBoost 알고리즘을 이용하여 눈을 검출하는 방법[15]을 사용하였으며 OpenCV에서 제공하는 라이브러리를 사용하였다. 눈을 찾기 위하여 사용하는 3가지 학습 데이터 중에서 가장 결과가 좋게 나오는 학습 데이터를 사용하였다.

Table 1. Experiment Result

| 임계치 | 기존 방법 | 제안 방법 |
|------------------|--------|--------|
| $0.5 \times r_e$ | 48.4 % | 49.8 % |
| $1.0 \times r_e$ | 75.9 % | 96.4 % |
| $1.5 \times r_e$ | 78.2 % | 98.7 % |
| $2.0 \times r_e$ | 78.3 % | 99.9 % |

성공 실패의 판단 기준으로 실제 눈동자 위치와 검출된 눈동자 위치의 거리 차이가 임계치보다 작은 경우에는 검출 성공으로 판정하였으며, 한 얼굴의 두 눈동자 중에 하나라도 오류로 판정되면 오류로 판정하였다. (표 1)은 임계치를 변화하며 두 방법의 검출 성공율을 비교한 결과이다.

임계치는 식 (2)에서 얼굴 크기를 기준으로 정의한 눈동자 반지름 r_e 을 기준으로 $k \times r_e$ 를 사용하였으며, k 는 0.5부터 2.0까지 0.5씩 증가하여 변화시켰다. 눈동자 반지름 1배를 임계치로 사용한 경우($k=1$)는 검출한 눈동자 위치와 실제 눈동자 위치의 거리 차이가 눈동자 반지름의 1배 보다 작은 경우로 기존 방법에서는 75.9%, 제안한 방법에서는 96.4 %의 검출율을

보였다.



Fig. 6. Fail results using existing method



Fig. 7. Success results using the proposed method

기존 방법에서는 눈썹 부분이나 눈가의 검은 부분을 눈동자로 오검출하는 경우가 많았으며, 아예 찾지 못하는 경우도 많이 발생하였다. 또한, 기존 방법은 영상 12개에서 눈썹을 눈동자로 오 검출하였고, 제안 방법은 영상 4개에서 눈썹을 눈동자로 오 검출하여 눈썹 검출이 눈동자 검출에 매우 효과적이었음을 알 수 있다.

(그림 6)은 기존 방법으로 눈동자 검출에 실패한 경우이며, 두 번째 영상은 눈동자를 아예 검출하지 못한 경우이다. (그림 7)은 제안한 방법으로 (그림 6)의 영상에서 눈동자를 찾은 결과로 얼굴 부분만 확대한 것이다.

(그림 8)은 제안한 방법에서 검출에 성공한 예들이다. 조명이 다른 경우, 얼굴이 크거나 작은 경우, 옆을 보는 경우 및 기울어진 얼굴에서도 높은 검출율을 확인하였으며, 실제 눈동자 위치와 거의 정확하게 눈동자 위치를 검출하였다.



Fig. 8. Detection examples

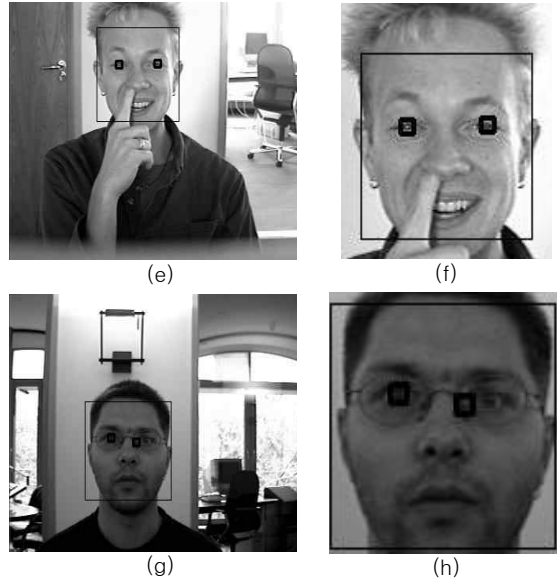
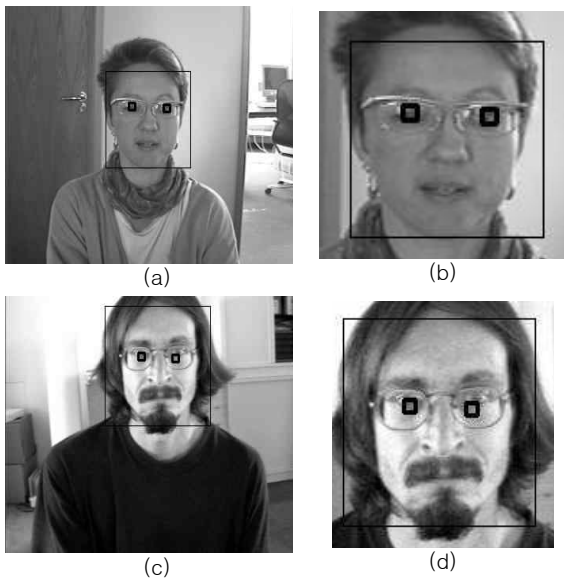


Fig. 9. Fail results

(그림 9)는 제안한 방법을 사용하여 검출 실패한 영상들이다. 왼쪽 그림은 입력 영상에서 얼굴 영역과 눈동자를 검출한 결과를 표시한 것이고 오른쪽 영상은 얼굴 부분만 확대한 영상이다. (그림 9)의 (a), (c)는 안경을 착용한 경우로 안경 렌즈에 빛이 반사되어 눈동자가 잘 안 보이는 상황으로 검출한 눈동자가 실제 눈동자 위치와 약간 차이가 나는 경우이다. (e)는 오른쪽 눈동자는 정확하게 검출하였으나 검출한 왼쪽 눈동자 위치가 실제 눈동자 위치와 4.1 화소 차이가 나서 오류로 판정한 경우이다. (g)는 역광으로 얼굴이 전체적으로 어두운 상황에서 오른쪽 눈동자는 정확하게 검출하였으나 안경테 코걸이 부분을 왼쪽 눈동자로 오 검출한 경우이다.



VI. Conclusions

이 논문에서는 PCA와 허프변환을 사용하여 눈동자를 찾는 방법을 제안하였다. 눈이나 눈동자 추출시 오류가 많이 발생하는 눈썹을 찾고 제거하기 위하여 투영함수를 사용하였다. 눈동자 후보점을 찾고 PCA와 허프변환을 이용하여 최종 눈동자를 결정하였다. BioID 얼굴 데이터베이스에 있는 얼굴 영상 1000 개에 대한 실험 결과 AdaBoost 알고리즘을 이용하는 기존 방법보다 20.5% 개선된 결과를 얻었다. 향후 연구로는 검출을 향상을 위하여 이 논문의 최종 단계인 눈동자 후보점이 실제 눈동자에 해당하는지를 더 정확하게 찾는 방법에 대한 연구가 필요하다, 또한, 안경 착용 영상에 대한 눈동자 검출율을 높이는 방법에 대한 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] Zeynep Orman, Abdulkadir Battal and Erdem Kemer, "A Study on Face, Eye Detection and Gaze Estimation," Int. J. of Computer Science & Engineering Survey, Vol. 2, No. 3, pp 29-46, 2010.
- [2] Lee Gyung-Ju, Kim Jin-Suh, Kim Gye-Young, " Robust pupil detection and gaze tracking under occlusion of eyes," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 21, No. 10, pp.11-19, 2016.10
- [3] Hyoung-Joon Kim, Whoi-Yul Kim, "Eye Detection in Facial Images Using Zernike Moments with SVM," ETRI Journal, Vol. 30, No. 2, 2008.4

- [4] A. Pentland, B. Moghaddam, and Thad Starner, "View-based and modular eigenspaces for face recognition", In Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.84-91,1994
- [5] F. Wang, M. Zhou, B. Zhu, "A Novel Feature Based Rapid Eye State Detection Method," IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, pp.1236-1240, 2009.
- [6] Shuo Chen, Chengjun Liu, "Fast Eye Detection using Different Color Spaces," IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, pp. 521-526, 2011.
- [7] A.L. Yuille, P.W. Hallinan, D.S. Cohen, "Feature extraction from faces using deformable templates", Int. J. Comput. Vision 8 (2) pp. 99-111, 1992.
- [8] Jurgen Rurainsky, Peter Eisert, "Template-Based Eye and Mouth Detection for 3D Video Conferencing," LNCS, Vol. 2849, pp.23-31, 2003.
- [9] Z. Zhou and X. Geng, "Projection Functions for Eye Detection," Pattern Recognition, Vol. 37, No. 5, pp. 1049-1056, 2004.
- [10] Zhifei Xu and Pengfei Shi, "A Robust and Accurate Method for Pupil Features Extraction," Proceedings of Int. Conf. on Pattern Recognition, pp.437-440, 2006.
- [11] Susan, S., Kadyan, P., "A Supervised Fuzzy Eye Pair Detection Algorithm," Int. Conf. on Computational Intelligence and Communication Networks, pp. 306-310, 2013.
- [12] Jianfeng, Ren, "Eye Detection Based on Rank Order Filter," Information Communications and Signal Processing, pp. 1-4, 2009.
- [13] Jiani Hu, Weihong Deng, Jun Guo, "Robust eye detection via sparse representation," IEEE Int. Conf. on Network Infrastructure and Digital Content, pp. 411-415, 2012.
- [14] Viola P., Jones M. "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," Proceedings of IEEE Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.511-518, 2001.
- [15] P. Campadelli, R. Lanzarotti, G. Lipori, "Precise Eye and Mouth Localization," International Journal of Pattern Recognition, Vol. 23, no. 3, pp. 359-377, 2009.
- [16] O. Jesprsky, K. Kirchberg, R. Frischholz, "Robust Face Detection Using the Hausdorff Distance," Audio based Person Authentication, pp.90-95, 2001.

Authors



Kyung-Shik Jang received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Electronic Engineering from Yonsei University, Korea, in 1989, 1991 and 1996, respectively.

Dr. Jang joined the faculty of the Department of Multimedia Engineering at Dongeui University, Busan, Korea, in 1998. He is currently a Professor in the Department of Multimedia Engineering, Dongeui University. He is interested in image processing, pattern recognition and computer vision.