Journal of The Korea Society of Computer and Information
Vol. 19, No. 8, August 2014
www.ksci.re.kr
http://dx.doi.org/10.9708/jksci.2014.19.8.027

Hybrid Projection 함수와 Rank Order 필터를 이용한 눈동자 검출

장 경 식*

Pupil Detection using Hybrid Projection Function and Rank Order Filter

Kyung-Shik Jang*

요 약

이 논문에서는 hybrid projection 함수와 rank order 필터를 이용하여 눈동자를 검출하는 방법을 제안한다. 눈썹을 눈동자로 검출하는 오류를 줄이기 위하여, hybrid projection 함수를 이용하여 얼굴 영역에서 눈썹을 검출하고 눈썹이 포함되지 않도록 눈 영역을 설정한다. 눈 영역에서 rank order 필터를 사용하여 눈동자 후보점을 찾고 위치를 보정한다. 두 눈동자 후보점을 기하학적인 제약조건을 기반으로 쌍으로 묶고 각 쌍의 두 눈에 대한 유사도를 정합을 이용하여 측정하여 가장 작은 값을 갖는 쌍을 최종 눈동자로 결정한다. BioID 얼굴 데이터베이스의 얼굴 영상 700개에 대한 실험 결과 92.4%의 검출율을 얻었으며 기존 방법보다 약 21.5% 개선된 결과를 얻었다.

▸ Keywords : 눈동자 검출, Hybrid Projection Function, Rank Order Filter, 유사도

Abstract

In this paper, we propose a pupil detection method using hybrid projection function and rank order filter. To reduce error to detect eyebrows as pupil, eyebrows are detected using hybrid projection function in face region and eye region is set to not include the eyebrows. In the eye region, potential pupil candidates are detected using rank order filter and then the positions of pupil candidates are corrected. The pupil candidates are grouped into pairs based on geometric constraints. A similarity measure is obtained for two eye of each pair using template matching, we select a pair with the smallest similarity measure as final two pupils. The experiments have been performed for 700 images of the BioID face database. The pupil detection rate is 92.4% and the proposed method improves about 21.5% over the existing method.

▸ Keywords : Pupil Detection, Hybrid Projection Function, Rank Order Filter, Similarity Measure

---

•제1저자 : 장경식
•투고일 : 2014. 6. 17, 심사일 : 2014. 7. 7, 게재확정일 : 2014. 8. 6.
* 동의대학교 멀티미디어공학과(Dept. of Multimedia Engineering, Dongeui University)
※ 본 연구는 2013 학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었음(2013AA168)

I. 서 론

눈이나 눈동자 검출은 자동 얼굴 분석 분야에서 중요한 주제이다. 최근에는 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].

Yuile[3]는 가변 형판 정합(deformable template matching)을 사용하여 눈 모양 및 위치를 검출하는 방법을 제안하였다. 눈의 형태에 관한 여러 가지 에너지 함수를 정의하고 최적화 방법을 사용하여 눈동자를 검출하였다. 이러한 Yuile의 가변 형판 정합 방법은 이후 많은 연구에서 사용되었다[4]. 일부 연구는 좋은 검출 결과를 얻었지만, 다양한 형태의 가변 형판을 사용함으로써 처리시간이 많이 소요되었다. Zhou[5]는 IPF(integral projection function), VPF(variance projection function)와 이들을 결합한 HPF(hybrid projection function)를 사용하여 눈동자를 검출하였다. Zhifei Xu[6]는 IPF를 적용한 후에 WHT(Weighted Hough Transform)을 사용하여 정확한 눈동자 위치와 반경을 검출하였다. Wang[7]은 HPF를 적용하여 눈을 검출하고 CS(Circle Similarity)를 사용하여 눈 깜박임 상태를 검출하였다. Chen[8]은 여러 가지 컬러정보에 기반한 투영함수를 사용하여 눈 영역을 추출하였으나 피부색이 변하는 경우 문제가 발생할 수 있다.

Jianfeng[9]은 rank order 필터(filter)를 사용하여 눈동자를 검출하였다. 원형의 눈 형판(eye template)으로 구성된 rank order 필터를 적용하여 눈동자 후보점들을 검출하고 기하학적 제약조건을 이용하여 눈동자를 찾았다. Susan[10]는 컬러정보를 이용하여 얼굴을 찾고 얼굴 영역안의 고립 영역들 쌍에 대한 8가지 특징과 이들과 연관된 9가지 퍼지 멤버쉽 함수를 도입하여 눈을 인식하였다. Hu[11]는 학습 눈 영역들의 선형결합으로 입력 눈 영역들을 근사화시키고 이들 간의 차이가 작은 것을 최종 눈 영역으로 판정하였다. Viola와 Jone은 AdaBoost를 사용하는 얼굴 추출 방법을 제안하였으며 좋은 결과를 얻었다[12]. 이 방법은 이후에 많은 연구에서 눈 검출에도 사용되었으며, 현재 매우 강인하고 효과적인 방법으로 알려져 있다[13, 14].

이 논문에서는 hybrid projection 함수와 rank order 필터를 이용하여 강인하게 눈동자를 찾는 방법을 제안한다. 눈동자를 찾는 많은 연구에서 발생하는 눈썹을 눈동자로 오검출하는 오류를 줄이기 위하여 hybrid projection 함수를 사용하여 얼굴 영역에서 눈썹을 찾아 눈썹이 포함되지 않도록 눈 영역을 설정한다. 눈 영역에서 rank order 필터를 이용하여 눈동자 후보점을 찾고 눈동자 위치를 보정한다. 두 눈동자 후보점을 기하학적인 제약조건을 기반으로 쌍으로 묶고 정합을 이용하여 각 쌍의 두 눈 영역에 대한 유사도를 측정하여 가장 작은 값을 갖는 쌍을 최종 눈동자로 결정한다. 실험 결과 높은 눈동자 검출율을 보였으며 특히, 눈썹을 눈동자로 오검출하는 것을 많이 줄일 수 있었다.

II. 눈동자 후보점 검출

1. 얼굴 검출 및 눈 영역 설정

이 논문에서는 입력 영상에서 얼굴을 검출하기 위하여 AdaBoost 알고리즘[12]을 사용하였다. 이 알고리즘은 분류 성능이 약한 분류기를 조합하여 분류 성능이 좋은 분류기를 만들어 가는 알고리즘이다. 얼굴을 검출하기 위하여 영상 전체를 스캔하면서 Harr-like feature 매스크(mask)를 이용하여 백색 영역과 흑색 영역의 평균 밝기를 구한다. 그 차이가 미리 정의된 임계치보다 크면 그 마스크에 대한 영역을 특징으로 추출한다. 평균밝기를 구하는 과정에서 빠른 연산을 위하여 입력 영상에 대한 적분 이미지(integral image)를 사용한다.

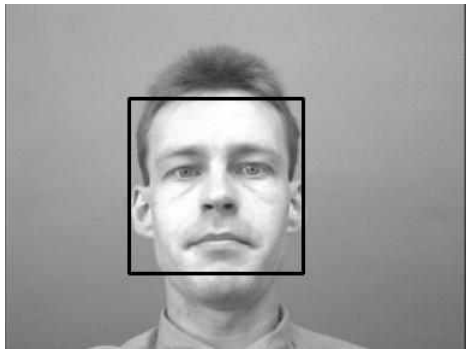


그림 1. 얼굴 검출
Fig. 1. Face Detection

AdaBoost 알고리즘은 구현이 간단하고, 일반적인 학습 스키마를 이용하기 때문에 다양한 응용이 가능하여 눈 검출과정에서도 사용된다[13]. (그림 1)은 OpenCV에서 제공되는 AdaBoost 라이브러리를 사용하여 입력 영상에서 얼굴을 검출한 예이다. 이 논문에서는 크기의 기준으로 눈동자 반지름

을 지정하여 사용한다. 눈동자 반지름은 얼굴 크기에 따라 다르기 때문에 식 (1)과 같이 입력 영상의 검출된 얼굴 폭 W_F를 기준으로 정하였으며, $\lambda = 0.08$ 이다. $\lfloor x \rfloor$는 x보다 크지 않은 정수이다.

$$r_e = \frac{\lfloor \lambda W_F \rfloor}{2} \tag{1}$$

얼굴 영역에서의 눈 영역은 식 (2)와 같이 정하였다. W_E, H_E와 H_F는 각각 눈 영역의 폭, 높이와 얼굴 영역의 높이다. X_L, X_R은 각각 왼쪽과 오른쪽 눈 영역 시작 x좌표이고 Y_E는 눈 영역 시작 y좌표이다.

$$W_E = \frac{9}{13} W_F - 2r_e \qquad H_E = \frac{H_F}{4} \tag{2}$$

$$X_L = \frac{W_F}{6.5} + r_e$$

$$X_R = X_L + W_E + 2r_e$$

$$Y_E = \frac{H_F}{4}$$

2. 눈썹 검출

이 논문에서는 검출된 얼굴 영역의 폭을 기준으로 눈 영역의 위치가 설정되며, 일반적으로 눈썹이 눈 영역에 포함된다. 눈동자를 검출하는 많은 연구에서 눈썹을 눈동자로 오 검출하는 경우가 많이 발생한다. 이러한 오류를 줄이기 위하여 눈 영역에서 눈썹을 검출하고 제거하는 과정이 수행된다.

눈 영역에서 눈썹과 눈동자는 어두우며 크기가 큰 영역이라는 특성이 있다. 또한, 눈썹은 가로 방향으로 길게 존재한다. 이러한 특성을 기반으로 투영함수를 이용하면 눈썹을 효과적으로 검출할 수 있다. 영상 I에 대하여 $I(x,y)$가 좌표 (x,y)에서의 화소값(pixel value)인 경우, $IPF_v(x)$와 $IPF_h(y)$는 각각 수직방향과 수평방향의 IPF(Integral Projection Function)이며 식 (3), 식 (4)와 같이 표현된다. H_E, W_E는 각각 눈 영역의 높이와 폭이다.

$$IPF_v(x) = \frac{1}{H}\int_1^{H_E} I(x,y)\,dy \tag{3}$$

$$IPF_h(y) = \frac{1}{W}\int_1^{W_E} I(x,y)\,dx \tag{4}$$

같은 방법으로 $VPF_v(x)$, $VPF_h(y)$는 각각 수직방향과 수평방향의 VPF(Variance Projection Function)이며 식 (5), 식 (6)과 같이 표현된다. 또한, $HPF_v(x)$, $HPF_h(y)$는 각각 수직방향과 수평방향의 HPF(Hybrid Projection Function)이며 식 (7), 식 (8)과 같이 표현된다 [5, 7].

$$VPF_v(x) = \frac{1}{H}\int_1^{H_E} \left| I(x,y) - IPF_v \right| dy \tag{5}$$

$$VPF_h(y) = \frac{1}{W}\int_1^{W_E} \left| I(x,y) - IPF_h \right| dx \tag{6}$$

$$HPF_v(x) = VPF_v(x) - IPF_v(x) \tag{7}$$

$$HPF_h(y) = VPF_h(y) - IPF_h(y) \tag{8}$$

이 논문에서는 $HPF_h(y)$를 사용하여 눈썹을 검출하였다. 눈 영역에서 $HPF_h(y)$를 구하면 이상적인 경우에는 눈썹과 눈 부분에서만 두 개의 피크(peak)가 발생하지만 안경을 착용한 경우, 눈썹이 기울어진 경우, 눈동자가 작은 경우 등 많은 요인에 의하여 $HPF_h(y)$에는 여러 개의 지엽적 피크(local peak)가 나타난다. 이 논문에서는 눈썹, 눈과 연관 없는 지엽적 피크를 제거하기 위하여 두 피크 P_i, P_{i+1}사이에서 $HPF_h(y)$의 최소값 V_i를 구하고 식 (9)를 만족하는 경우, $P_i > P_{i+1}$이면 P_{i+1}을 제거하고 $P_i \le P_{i+1}$이면 P_i를 제거한다.

$$\min(|P_i - V_i|, |P_{i+1} - V_i|) < \max(|P_i - V_i|, |P_{i+1} - V_i|)/5 \tag{9}$$

$HPF_h(y)$의 피크가 y_1에서 1개만 존재하면 눈썹으로 간주하고 $Y_E = y_1 + r_e$를 새로운 눈 영역 시작 y 좌표로 지정한다. 피크가 2개 이상이면, y_1과 y_2에서 $HPF_h(y)$의 처음 두 개의 피크값 P_1, P_2을 가질 때 $y_2 - y_1 > 1.5r_e$ 을 만족하고 P_1, P_2 사이에서 $HPF_h(y)$의 최소값 V_1 이 식 (10)

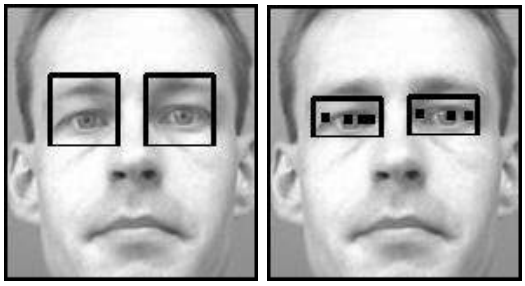
을 만족하는 경우 y_2를 눈동자 y 좌표 $Y_{eyeball}$로, 새로운 눈 영역의 시작 y 좌표 Y_E는 식 (10)과 같이 정한다. 이때, H_E는 눈 영역 높이다. 눈 영역 시작 좌표가 변하면 눈 영역 높이는 $H_E = 5r_e$로 조정된다. 위 조건을 충족하지 못하는 경우는 눈썹 검출은 실패한 것이다.

$$Dif_1 = \min(|P_1 - V_1|, |P_2 - V_1|) \quad (10)$$

$$Dif_1 > r_e \quad AND \quad Dif_1 > \frac{|P_1 - P_2|}{5}$$

$$Y_E = \frac{2(y_1 + y_2)}{5} < \frac{H_E}{2}$$

$$Y_{E2} = Y_{eyeball2} - (Y_{eyeball1} - Y_{E1}) \quad (11)$$



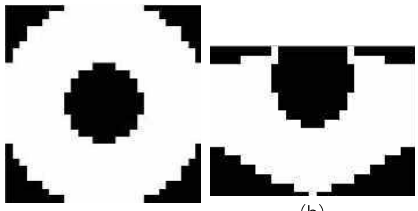
(a) 눈썹 제거 전 눈 영역 (b) 눈썹 제거 후 눈 영역

그림 2. 눈 영역, 눈동자 후보점 검출
Fig. 2. Eye region, pupil candidate detection

양쪽 눈 영역 각각에서 눈썹을 검출하지만 한쪽만 검출이 되는 경우에는 검출되지 않은 눈 영역 시작 y 좌표 Y_{E2}은 식 (11)과 같이 정하였다. Y_{E1} , $Y_{eyeball1}$은 눈썹이 검출된 눈 영역의 시작 y 좌표와 눈동자 y 좌표이며, $Y_{eyeball2}$ 는 눈썹이 검출되지 않은 눈 영역에서 $HPF_h(y)$의 최대값 y 좌표이다. (그림 2)의 (a), (b)는 각각 눈썹 부분을 제거하기 전의 눈 영역과 제거한 후의 눈 영역이다.

2. 눈동자 후보점 검출

rank order 필터는 중간값 필터(median filter)와 유사하게 작용하는 비선형 필터이다. n*n 매스크(mask)를 사용하는 경우, rank order 필터는 매스크 내부의 화소값들을 취한 후, 크기 순으로 정렬하고 γ 번째 화소값을 매스크 중앙 위치의 화소값으로 대치한다. $\gamma = \lfloor n*n*\alpha \rfloor$ 이며, $0 < \alpha < 1$ 이다. α는 rank order 필터의 계수이다. $\alpha = 0.5$ 일 때 rank order 필터는 중간값 필터이다.



(a) (b)

그림 3. 눈 매스크
Fig. 3. Eye mask

눈동자 후보점을 추출하기 위하여 Jainfeg[9]은 (그림 3)의 (a)와 같은 매스크를 사용하였으나 이 논문에서는 일반적인 눈의 형태에 유사한 (b)와 같은 매스크를 추가하여 사용하였다. 가운데 원형 부분은 눈동자에 해당하는 부분으로 E로 표기하고, 눈동자 영역을 둘러싸는 흰 부분은 눈의 흰자위에 해당하는 부분으로 S 로 표기한다. 매스크의 눈동자 반지름 re는 식 (1)과 같고, 매스크의 폭 W_m와 H_m는 식 (12)와 같으며, $\gamma = 0.6$, $\lambda = 0.08$ 이다.

$$W_m = \lfloor 2.5\lambda W_F \rfloor, \; H_m = \left\lfloor \gamma r_e + \frac{W_m}{2} \right\rfloor \quad (12)$$

매스크의 E 영역에 대한 rank order 필터의 출력은 식 (13)과 같이 계산되고 S 영역에 대한 rank order 필터 출력은 식 (14)와 같으며, $\alpha = \beta = 0.6$ 이다. rank order 필터의 검출 값은 식 (15)와 같이 계산된다.

$$R_e = \underset{(x,y) \in E}{rank_\alpha} \{I(x,y)\} \quad (13)$$

$$R_s = \underset{(x,y) \in S}{rank_\beta} \{I(x,y)\} \quad (14)$$

$$R(x,y) = R_s(x,y) - R_e(x,y) \quad (15)$$

식 (16), 식 (17)과 같이 상위 1%의 *R(x, y)* 값을 갖는 화소를 눈 후보점 *P(x, y)*로 선택한다. 식 (15)에서 임계치 T는 식 (17)과 같으며 F_{xy}는 영상 전체 영역에 대한 rank order 필터 검출값이다. (그림 2)의 (b)는 눈 영역에서 눈동자 후보점을 추출한 결과이다.

$$P(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{if } R(x,y) > T \\ 0, & otherwise \end{cases} \tag{16}$$

$$T = \underset{(x,y) \in F_{xy}}{rank_{0.99}} \{R(x,y)\} \tag{17}$$

III. 눈동자 검출

1. 눈동자 후보점 위치 보정

눈동자 후보점 주변 점들을 탐색하여 보다 정확한 눈동자 후보점 위치를 찾는다. 눈동자는 어둡고 원형이며 흰자위와 경계를 이루고 흰자위는 밝다는 사실을 이용한다. 눈동자 후보점 (x_e, y_e)을 중심으로 하는 7*7 크기의 탐색 영역 M 내부의 점 (x, y)에서 식 (18)을 이용하여 반지름 r_1의 눈동자 영역의 화소값 평균 f_1을 구하고 식 (19)를 이용하여 반지름 r_1, r_2로 구성되는 고리(ring) 모양의 흰자위 영역 화소값 평균 f_2를 구한다. 눈동자는 원 형태이지만 눈동자의 윗 부분과 아래 부분은 눈꺼풀에 의하여 가려지는 경우가 많이 발생하기 때문에 이 부분을 제외하기 위하여 Θ는 $[-\pi/4, \pi/6] \cup [5\pi/6, 5\pi/4]$로 제한된다.

$$f_1(x,y,r_1) = \frac{1}{r_1^2} \int_0^{r_1} \int_{\theta \in \Theta} I(x + r_1 \cos\theta,\ y + r_1 \sin\theta) d\theta dr \tag{18}$$

$$f_2(x,y,r_2) = \frac{1}{(r_2^2 - r_1^2)} \int_{r_1}^{r_2} \int_{\theta \in \Theta} I(x + r_2 \cos\theta,\ y + r_2 \sin\theta) d\theta \tag{19}$$

$$(x,y) = \max_{(x,y) \in M} \frac{d(f_2 - f_1)}{dr} \tag{20}$$

눈동자 크기는 사람마다 다르기 때문에 식 (1)의 눈동자 반지름 r_e를 기준으로 식 (18), 식 (19)의 눈동자 반지름은 $r_e - 2 < r_1 < r_e + 2$ 로 변하고, 흰자위 반지름은 $r_2 = r_1 + 2$로 변화하며 각 영역의 화소값 평균을 구한다. 각 눈동자 후보점의 탐색 영역에서 식 (20)을 최대로 하는 점 (x, y)를 새로운 눈동자 후보점으로 지정한다.

2. 정합을 이용한 눈동자 검출

식 (1)의 눈동자 반지름 r_e를 기준으로 두 눈동자 간 최소 거리 $D_{\min} = 10r_e$과 최대 거리 $D_{\max} = 17r_e$를 정하였다. 얼굴의 좌우 양쪽에 있는 두 눈동자 후보점 사이 거리 l 이 $D_{\min} < l < D_{\max}$를 만족하고 두 후보점을 연결하는 선분의 각도 절대값이 $\pi/12$ 이하인 두 눈동자 후보점을 쌍으로 묶는다. 각 쌍의 두 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.

정합을 이용하여 유사도를 측정하는 경우 일반적으로 학습 눈 영역들을 정규화하고 평균 모양을 구성하여 참조 영상(reference image)으로 사용하지만 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 각 쌍의 좌우 두 눈 영역의 유사성을 식 (21)으로 측정하고 가장 작은 값을 갖는 쌍의 눈동자 후보점을 최종적인 것으로 판정하였다.

이때, 눈은 좌우 대칭이기 때문에 오른쪽 눈 영역을 눈 영역의 세로 중심선을 기준으로 좌우 대칭 영상을 구한 후 유사성을 측정한다. 식 (21)에서 I_L, I_R 은 각 쌍의 왼쪽과 오른쪽 눈 영역이다.

$$MAD(I_L, I_R) = \frac{1}{W_e H_e} \sum_{y=1}^{H_e} \sum_{x=1}^{W_e} \left| I_L(x,y) - I_R(x,y) \right| \tag{21}$$

IV. 실험결과

제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 BioID 얼굴 데이터베이스[15]에 있는 얼굴 영상 중에서 무작위로 선택한 영상 700개를 사용하였다. BioID 얼굴 데이터는 23명의 정면 영상 1521개이며 384*286 크기의 명암도 영상(gray image)이다. OpenCV에서 제공하는 AdaBoost 라이브러리를 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. AdaBoost를 이용하여 구한 얼굴 폭을 식 (1)의 눈동자 반지름 크기의 기준으로 사용하였다.

눈동자를 검출하는 기존 방법과 성능을 비교하기 위하여 동일한 영상을 입력으로 OpenCV의 AdaBoost 라이브러리를 이용하여 눈을 검출하는 방법과 이 논문에서 제안한 방법의 검출 결과를 비교하였다. 이때, AdaBoost 라이브러리에서 눈을 찾기 위하여 사용하는 3가지 학습 데이터 중에서 가장 결과가 좋게 나오는 학습 데이타를 사용하였다. Intel(R) Core i5 CPU 3.30GHz, 4G RAM 환경에서 MATLAB 7.11을 사용하여 실험하였다.

검출 성공과 실패의 판단 기준으로 실제 눈동자 위치와 검출된 눈동자 위치의 거리 차이가 임계치 이내인 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.

표. 1. 실험 결과
Table 1. Experiment result

	기존 방법	제안 방법
검출 성공율 (k=0.5)	41.4 %	68.4 %
검출 성공율 (k=1.0)	70.9 %	92.4 %
검출 성공율 (k=1.5)	74.7 %	95.4 %
검출 성공율 (k=2.0)	75.4 %	97.0 %

임계치는 식 (1)에서 정의한 눈동자 반지름 r_e을 기준으로 $k \times r_e$ 를 사용하였으며, k는 0.5부터 2까지 0.5씩 증가하며 변화시켰다. 눈동자 반지름의 1배를 임계치로 사용한 경우 ($k=1$)에는 기존 방법에서는 70.0 %, 제안한 방법에서는 92.4 %의 검출율을 보였다. 조명이 다른 경우, 얼굴이 크거나 작은 경우, 옆을 보는 경우 및 기울어진 얼굴에서도 높은 검출율을 확인하였으며, 실제 눈동자 위치와 거의 정확하게 눈동자 위치를 검출하였다.

(그림 4)는 기존 방법으로 눈동자 검출에 실패한 경우이다. 눈썹부분이나 눈가의 검은 부분을 눈동자로 오검출하였다. (그림 5)는 제안한 방법으로 (그림 4)의 영상에서 눈동자를 찾은 결과이다.

그림 4. 기존방법에서 검출 실패
Fig. 4. Fail result using existing method

그림 5. 제안한 방법에서 검출 성공
Fig. 5. Success result using the proposed method

눈이나 눈동자를 검출하는 연구에서 오류가 가장 많이 나는 경우가 안경을 착용한 경우와 눈썹을 눈동자로 오검출하는 경우이다. 안경을 착용한 경우 안경테 부분을 눈동자로 검출하거나 안경에 반사되는 빛으로 인하여 눈이나 눈동자를 아예 검출하지 못하는 경우가 많이 발생한다.

이 연구에서 사용한 700개의 실험 영상 중에서 안경을 착용한 영상은 232개이고 이들 영상에 대한 실험 결과는 (표 2)와 같다. 눈동자 반지름 길이의 1배를($k=1.0$) 임계치로 사용한 결과이다. 기존 방법은 58.2%의 검출 성공률, 제안한 방법은 89.7%의 검출 성공률을 보였다.

실험 영상 700개 중에서 안경 미착용 영상 468개에 대한 실험 결과는 (표 3)과 같다. 기존 방법은 77.1%의 검출 성공률, 제안한 방법은 93.8%의 검출 성공률을 보였다. 또한, 기존 방법은 검출 실패 영상 204개 중 53개에서 눈썹을 눈동자로 오검출하였고, 제안 방법은 검출 실패 영상 53개 중 2개에서 눈썹을 눈동자로 오검출하였다.

표. 2. 안경 착용 영상 실험 결과
Table 2. Test result for image with glasses

	기존 방법	제안 방법
검출 성공	135 개(58.2 %)	208 개(89.7 %)
검출 실패	97 개(41.8 %)	24 개(10.3 %)
전체	232 개	232 개

표. 3. 안경 미착용 영상 실험 결과
Table 3. Test result for image without glasses

	기존 방법	제안 방법
검출 성공	361 개(77.1 %)	439 개(93.8 %)
검출 실패	107 개(22.9 %)	29 개(6.2 %)
전체	468 개	468 개

(그림 6)은 제안한 방법을 사용하여 검출 실패한 영상들이다. (a), (b)는 안경 렌즈에 빛이 반사되어 눈동자를 검출하지 못한 경우이다. (c)는 역광 상황에서 얼굴이 전체적으로 어둡게 된 상황이며, (d)는 안경에 의한 빛 반사로 인하여 안경테 부분이 눈동자로 오인식된 경우이다.

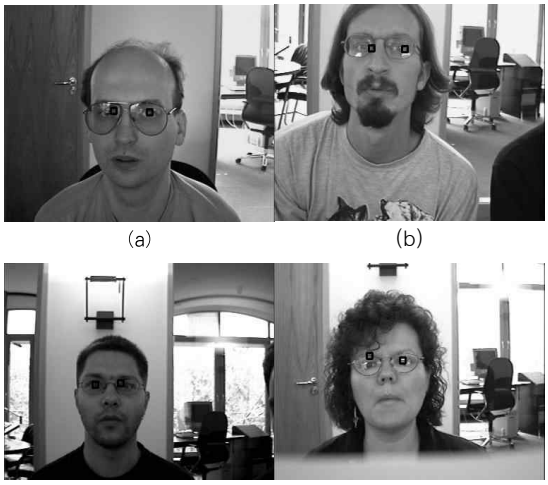


그림 6. 검출 실패
Fig. 6. Fail result

IV. 결 론

이 논문에서는 투영함수와 rank order 필터를 사용하여 눈동자를 찾는 방법을 제안하였다. 눈이나 눈동자 추출시 오류가 많이 발생하는 눈썹을 찾고 제거하기 위하여 투영함수를 사용하였다. rank order 필터를 사용하여 눈동자 후보점을 찾고 정합을 이용하여 최종 눈동자를 결정하였다. BioID 얼굴 데이터베이스에 있는 얼굴 영상 700개에 대한 실험 결과 기존 방법보다 많이 개선된 결과를 얻었다. 향후 연구로는 검출율 향상을 위하여 이 논문의 최종 단계인 눈동자 후보점이 실제 눈동자에 해당하는지를 정합이외의 방법으로 더 정확하게 찾는 방법에 대한 연구가 필요하다. 또한, 안경 착용 영상에 대한 눈동자 검출율을 높이는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

〔1〕 Dan Witzner Hansen and Qiang Ji, "In the Eye of the Beholder: A Survey of Models for Eyes and Gaze," IEEE Trans. on PAMI, Vol. 32, No. 3, pp. 478-497, 2010.

〔2〕 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.

〔3〕 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.

〔4〕 Jurgen Rurainsky, Peter Eisert, "Template-Based Eye and Mouth Detection for 3D Video Conferencing," LNCS, Vol. 2849, pp.23-31, 2003.

〔5〕 Z. Zhou and X. Geng, "Projection Functions for Eye Detection," Pattern Recognition, Vol. 37, No. 5, pp. 1049-1056, 2004.

〔6〕 Zhifei Xu and Pengfei Shi, "A Robust and Accurate Method for Pupil Features Extraction," Proceedings of Int. Conf. on Pattern Recongnition, pp.437-440, 2006.

〔7〕 F. Wang, M. Zhou, B. Zhu, "A Novel Feature Based Rapid Rye State Detection Method," IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, pp.1236-1240, 2009.

〔8〕 Shuo Chen, Chengjun Liu, "Fast Eye Detection using Different Color Spaces," IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, pp. 521-526,

2011.
[9] Jianfeng, Ren, "Eye Detection Based on Rank Order Filter," Information Communications and Signal Processing, pp. 1-4, 2009.
[10] Susan, S., Kadyan, P., "A Supervised Fuzzy Eye Pair Detection Algorithm," Int. Conf. on Computational Intelligence and Communication Networks, pp. 306-310, 2013.
[11] 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.
[12] 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.
[13] P. Campadelli, R. Lanzarotti, G. Lipori, "Precise Eye and Mouth Localization," International Journal of Pattern Recognition, Vol. 23, no. 3, pp. 359-377, 2009.
[14] Inho Choi, Seungchul Han, Daijin Kim, "Eye Detection and Eye Blink Detection using AdaBoost Learning and Grouping," Proceedings of Int. Conf. on Computer Communication and Networks, pp. 1-4, 2011
[15] O. Jesprsky, K. Kirchberg, R. Frischholz, "Robust Face Detection Using the Hausdorff Distance," Audio based Person Authentication, pp90-95, 2001.

저 자 소 개

장 경 식
1989: 연세대학교
전자공학과 공학사.
1991: 연세대학교
전자공학과 공학석사.
2006: 연세대학교
전자공학과 공학박사
현 재: 동의대학교
멀티미디어공학과 교수
관심분야: 컴퓨터비전, 패턴인식
Email : ksjang@deu.ac.kr