

Rank Order Filter와 상호상관을 이용한 강인한 눈동자 검출

장경식^{1*} · 박성대²

Robust Pupil Detection using Rank Order Filter and Cross-Correlation

Kyung-Shik Jang^{1*} · Sung-Dae Park²

¹ Department of multimedia Engineering, Dongeui University, Pusan 614-714, Korea

² Department of Digital Contents Engineering, Dongeui University, Pusan 614-714, Korea

요 약

이 논문에서는 rank order 필터와 상호상관을 이용하여 강인하게 눈동자를 찾는 방법을 제안한다. rank order 필터를 사용하여 얼굴 영상에서 눈동자 후보점을 찾는다. 임계치를 변화하며 눈 영역을 이진화하여 눈썹 위치를 구한 후 눈썹 영역의 눈동자 후보점을 제거한다. 눈동자 위치를 보정한 후 두 눈동자 후보점을 기하학적인 제약조건을 기반으로 쌍으로 묶는다. 각 쌍의 두 눈에 대한 유사도를 상호상관을 이용하여 측정하여 가장 큰 값을 갖는 쌍을 최종 눈동자로 결정한다. BioID 얼굴 데이터베이스의 얼굴 영상 500개에 대한 실험 결과 96.8%의 높은 눈동자 검출율을 보였으며 기존 방법보다 약 11.6% 개선된 결과를 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a robust pupil detection method using rank order filter and cross-correlation. Potential pupil candidates are detected using rank order filter. Eye region is binarized using variable threshold to find eyebrow, and pupil candidates at the eyebrow are removed. 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 cross-correlation, we select a pair with the largest similarity measure as a final pupil. The experiments have been performed for 500 images of the BioID face database. The results show that it achieves the high detection rate of 96.8% and improves about 11.6% than existing method.

키워드 : Rank Order Filter, 눈동자 검출, 상호상관, 유사도

Key word : Rank Order Filter, Pupil Detection, Cross-Correlation, Similarity Measure

접수일자 : 2013. 03. 27 심사완료일자 : 2013. 04. 10 게재확정일자 : 2013. 04. 17

* **Corresponding Author** Kyung-Shik Jang(E-mail : ksjang@deu.ac.kr, Tel:+82-51-890-1988)

Department of Multimedia Engineering, Dongeui University, Pusan 614-714, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.7.1564>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

얼굴 특징 검출은 얼굴 모델링, 얼굴 표정인식, 얼굴 인식 등 여러 응용분야에 적용할 수 있는 중요한 기술이다. 얼굴의 특징으로는 눈, 코, 입, 얼굴의 윤곽선 등을 들 수 있는데 그 중 눈은 핵심적인 요소가 되며, 매우 안정적인 특징이다. 이에 따라 강인하고 정확하게 눈동자를 검출하는 연구가 많이 진행되고 있다[1, 2].

Yuile는 얼굴 영상에 가변 형판 정합(deformable template matching)을 사용하여 눈 모양, 위치를 검출하는 방법을 제안하였다[3]. 눈의 형태에 관한 여러 가지 에너지 함수를 정의하고 최적화 방법을 사용하여 눈동자를 검출하였다. 이러한 Yuile의 가변 형판 정합 방법은 이후 많은 연구에서 사용되었다[4, 5]. 일부 연구는 좋은 검출 결과를 얻었지만, 다양한 형태의 가변 형판을 사용함으로써 처리시간이 많이 소요되었다. 유전자 알고리즘에 기반을 둔 눈동자 검출 방법들도 제안되었다[6, 7]. 교배(crossover) 연산과 돌연변이(mutation) 연산을 사용하여 형판정합(template matching) 방법으로 눈동자 위치를 검출하였으나 눈동자 검출결과가 일관적이지 못하다.

Zhou는 IPF(integral projection function), VPF(variance projection function)와 이들을 결합한 HPF(hybrid projection function)를 사용하여 눈동자를 검출하였다[8]. Zhifei Xu[9]는 IPF를 적용한 후에 WHT(Weighted Hough Transform)을 사용하여 정확한 눈동자 위치와 반경을 검출하였다. Jianfeng Ren[10]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 찾는다. Ling[11]은 타원 모양으로 구성된 rank order 필터와 투영을 이용하여 눈동자를 검출하고 투영함수를 적용하여 최종 눈동자를 찾는다.

이 논문에서는 rank order 필터와 상호상관을 이용하여 강인하게 눈동자를 찾는 방법을 제안한다. rank order 필터를 사용하여 얼굴 영상에서 눈동자 후보점을 찾는다. 눈썹 위치를 구한 후 눈썹 영역의 눈동자 후보점을 제거한다. 두 눈동자 후보점을 쌍으로 묶고 상호상관을 이용하여 각 쌍의 두 눈 영역에 대한 유사도를 측정하여 가장 큰 값을 갖는 쌍을 최종 눈동자로 결정한다. 실험 결과 96.8 %의 높은 눈동자 검출율을 보였

으며 기존 방법보다 약 11.6% 개선된 결과를 얻었다. 특히, 눈썹을 눈동자로 오검출하는 것을 많이 줄일 수 있었다.

II. 눈동자 검출

2.1. 눈동자 후보점 검출

rank order 필터는 중간값 필터(median filter)와 유사하게 작용하는 비선형 필터이다. 3*3 마스크(mask)를 사용하는 경우, 마스크는 영상의 전 영역에 걸쳐 화소 단위로 이동하며, 마스크 내부의 화소값들을 크기 순으로 정렬하고 γ 번째 화소값을 마스크 중앙 위치의 화소값으로 대체한다. γ 는 다음과 같이 결정된다. $\lfloor x \rfloor$ 는 x 보다 크지 않은 정수일 때, $\gamma = \lfloor 3*3*\alpha \rfloor$ 이며, $0 < \alpha < 1$ 이다. α 는 rank order 필터의 계수이다. $\alpha = 0.5$ 일 때 rank order 필터는 중간값 필터이다.

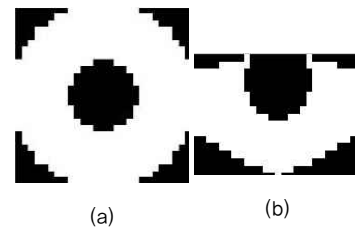


그림 1. 눈 마스크
Fig. 1 Eye mask

눈동자 후보점을 추출하기 위하여 Jainfeg Ren[10]은 그림 1의 (a)와 같은 정사각형 형태의 마스크를 사용하였으나 이 논문에서는 눈의 형태와 유사한 (b)와 같은 형태의 마스크를 추가하여 사용하였다. 가운데 원형 부분은 눈동자에 해당하는 부분으로 E 로 표시하고, 눈동자 영역을 둘러싸는 흰 부분은 눈의 흰자위에 해당하는 부분으로 S 로 표시한다. 마스크의 눈동자 반지름 r_e 는 (식 1)과 같고, 마스크의 폭 W 와 H 는 (식 2)와 같다. (식 1)에서 W_e 는 추출된 얼굴의 폭이고 $\lambda = 0.06$ 이다. (식 2)에서 $\gamma = 0.6$ 이다.

좌표 (x, y) 에서의 밝기값을 $I(x, y)$ 라고 하였을 때, 눈동자 영역에 대한 rank order 필터의 출력은 (식 3)과 같이 계산된다. E 는 눈동자 영역의 화소들이고 $\alpha = 0.6$ 이며 이는 눈동자 영역에 대한 rank order 필터의 계수

이다. 눈동자 영역을 둘러싸는 흰자위 영역에 대한 rank order 필터 출력은 (식 4)와 같이 계산된다. S 는 흰자위 영역의 화소들이고 $\beta=0.6$ 이며 이는 흰자위 영역에 대한 rank order 필터의 계수이다. rank order 필터의 검출 값은 (식 5)와 같이 계산된다.

$$r_e = \frac{\lfloor \lambda W_F \rfloor}{2} \quad (1)$$

$$W = \lfloor 2.5\lambda W_F \rfloor, H = \lfloor \gamma r_e + \frac{W}{2} \rfloor \quad (2)$$

$$R_e = \underset{(x,y) \in E}{\text{rank}_\alpha} \{I(x,y)\} \quad (3)$$

$$R_s = \underset{(x,y) \in S}{\text{rank}_\beta} \{I(x,y)\} \quad (4)$$

$$R(x,y) = R_s(x,y) - R_e(x,y) \quad (5)$$

$$P(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{if } R(x,y) > T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$T = \underset{(x,y) \in F_{xy}}{\text{rank}_{0.99}} \{R(x,y)\} \quad (7)$$

(식 6), (식 7)과 같이 상위 1%의 $R(x,y)$ 값을 갖는 화소를 눈 후보점 $P(x,y)$ 로 선택한다. (식 6)에서 임계치 T 는 (식 7)과 같으며 F_{xy} 는 전체 영역에 대한 rank order 필터 검출값이다. 그림 2의 (a), (b)는 입력영상에서 얼굴 영역의 상단부에 rank order 필터를 적용하여 눈동자 후보점을 검출할 결과이다. 실제 눈동자에 해당하는 부분들을 찾았으나 눈썹, 눈 모서리 부분 등에서도 눈동자 후보점들이 검출되었다.

2.2. 눈썹 영역의 눈동자 후보점 제거

눈동자를 찾는 많은 연구에서 눈썹을 눈동자로 오검출하는 경우가 많이 발생한다. 이 논문에서는 다음과 같이 이진화 임계치를 변화하며 눈썹을 찾아 제거하는 방법을 제안하였다. 그림 2 (c), (d)는 각각 (a), (b) 결과에서 눈썹 부분의 눈동자 후보점을 제거한 결과이다.

$$L = I_{\min} + \frac{(I_{\max} - I_{\min})}{n} \quad (8)$$

$$y_{eye} = \begin{cases} y_{proj} + 2r_e, & \text{if } y_{proj} - y_{eye}^{upper} < r_e \\ y_{proj}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

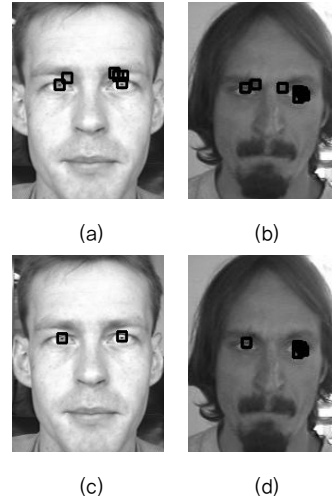


그림 2. 눈 후보점 검출

Fig. 2 Eye candidate detection

단계 1 : (식 8)의 임계치로 이진화를 수행한다. n 의 초기값은 5.0 이며 2.0까지 단계별로 0.5씩 감소한다. I_{\min} 은 영상에서 가장 작은 화소값, I_{\max} 는 가장 큰 화소값, L 은 이진화 임계치이다.

단계 2 : 이진화 결과에서 크기가 3 이하이거나 주축 각도의 절대값이 $\pi/6$ 보다 큰 것이 눈 영역의 가장자리에 위치하면 원 영상과 이진 영상에서 해당 화소를 제거한다.

단계 3 : 이진화 결과에서 가장 큰 것의 면적이 면적 임계치보다 크면 이진화를 종료하고 단계 4로 간다. 면적 임계치는 (식 1)의 눈동자 반경을 사용하여 정하였다. 면적 임계치보다 작은 경우에, $n=2.0$ 이면 눈썹이나 눈동자를 찾지 못한 경우이며 종료하고 $n>2.0$ 이면 단계 1로 간다.

단계 4 : 이진화 영상을 y 축 방향으로 수평 투영한다. 가장 큰 투영값의 1/3 보다 큰 것이 1 개이면, (식 9)에 따라 눈동자 y 좌표 y_{eye} 를 정한다. y_{eye}^{upper} 는 눈 영역 상단의 y 좌표, y_{proj} 는 투영 y 좌표, r_e 는 눈동자 반지름이다. 2 개 이상이면, 각각에 해당하는 영역의 y 좌표를 구하여 큰 y 좌표를 눈동자의 y 좌표로 정한다.

단계 5: $(y_{eye} - r_e)$ 보다 작은 y 좌표를 갖는 눈동자 후보점들을 제거한다.

III. 눈동자 위치 보정 및 눈동자 검출

3.1. 눈동자 위치 보정

Rank Order 필터를 사용하여 찾은 눈동자 후보점 주변 점들을 탐색하여 보다 정확한 위치를 찾는다. 눈동자는 어둡고 원형이며 흰자위와 경계를 이루고 흰자위는 밝다는 사실을 이용한다.

$$f_1(x, y, r_1) = \frac{1}{r_1^2} \quad (10)$$

$$\int_0^{r_1} \int_{\theta \in \Theta} I(x+r_1 \cos \theta, y+r_1 \sin \theta) d\theta dr$$

$$f_2(x, y, r_2) = \frac{1}{(r_2^2 - r_1^2)} \quad (11)$$

$$\int_{r_1}^{r_2} \int_{\theta \in \Theta} I(x+r_2 \cos \theta, y+r_2 \sin \theta) d\theta$$

$$(x, y) = \max_{(x, y) \in E} \frac{d(f_2 - f_1)}{dr} \quad (12)$$

눈동자 후보점 (x_e, y_e) 을 중심으로 하는 $7*7$ 크기의 탐색 영역 E 내부의 점 (x, y) 에서 (식 10)을 이용하여 반지름 r_1 의 눈동자 영역의 화소값 평균 f_1 을 구하고 (식 11)을 이용하여 반지름 r_1, r_2 로 구성되는 고리 (ring) 모양의 흰자위 영역 화소값 평균 f_2 를 구한다. 눈동자는 원 형태이지만 눈동자의 윗부분과 아래 부분은 눈꺼풀에 의하여 가려지는 경우가 많이 발생하기 때문에 이 부분을 제외하기 위하여 θ 는 $[-\pi/4, \pi/6] \cup [5\pi/6, 5\pi/4]$ 로 제한된다.

눈동자 크기는 사람마다 다르기 때문에 (식 1)에서 정한 눈동자 반지름 r_e 를 기준으로 (식 10), (식 11)의 눈동자 반지름 r_1 은 $r_e - 2 < r_1 < r_e + 2$ 로 변하고, 흰자위 반지름 r_2 는 $r_2 = r_1 + 2$ 로 변화하며 각 영역의 화소값 평균을 구한다. 각 눈동자 후보점의 탐색 영역에서 (식 12)를 최대화 하는 점 (x, y) 를 새로운 눈동자 후보점으로 정한다.

3.2. 상호상관을 이용한 눈동자 검출

얼굴의 좌우 양쪽에 있는 눈동자 후보점을 두 점간의 거리와 각도를 기준으로 쌍으로 묶는다. (식 1)에서 정의한 눈동자 반지름 r_e 를 기준으로 두 눈동자 간 최소 거리 $D_{\min} = 4.2r_e$ 과 최대 거리 $D_{\max} = 6.4r_e$ 를 정하고 두 눈동자 후보점 사이 거리가 그 사이에 있고 두 후보점을 연결하는 선분의 각도 절대값이 $\pi/12$ 이하인 것만 쌍으로 묶는다. 눈동자 후보점 (x, y) 을 중심으로 높이가 $H_e = [0.09W_F]$ 와 폭 $W_e = [0.21W_F]$ 인 눈 영역을 구한다.

상관관계를 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. 그러나 한 사람의 얼굴에 있는 두 눈의 경우에는 대부분 상황에서 같은 형태를 갖기 때문에 이 논문에서는 각 쌍의 좌우 두 눈 후보 영역의 유사성을 (식 13)의 상호 상관을 이용하여 측정하고 가장 큰 값을 갖는 쌍의 눈동자 후보점을 최종적인 것으로 판정하였다.

이때, 두 눈은 좌우 대칭이기 때문에 오른쪽 눈 영역을 눈 영역의 세로 중심선을 기준으로 좌우 대칭 영상을 구한 후 유사성을 측정한다. (식 13)에서 I_L, I_R 은 각각 왼쪽과 오른쪽 눈 영역 영상이고 $E(\cdot)$ 는 평균, $\sigma(\cdot)$ 는 표준편차, $I_L I_R$ 는 두 영상의 화소간 곱(pixel-by-pixel product)이다.

$$R(I_L, I_R) = \frac{E(I_L I_R) - E(I_L)E(I_R)}{\sigma(I_L)\sigma(I_R)} \quad (13)$$

IV. 실험 및 분석

제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 BioID 얼굴 데이터베이스[12]에 있는 얼굴 영상 중에서 무작위로 선택한 영상 500개를 사용하였다. BioID 얼굴 데이터는 23명의 정면 영상 1521개이며 $384*286$ 크기의 명암도 영상(gray image)이다.

OpenCV에서 제공하는 AdaBoost 방법을 이용하여

입력 영상에서 얼굴 영역을 검출하고, 제안한 방법으로 눈동자를 검출하였다. 이 논문에서 제안한 방법은 눈동자를 찾는 것이기 때문에 눈을 감은 영상들과 AdaBoost 방법으로 영상에서 얼굴을 찾지 못하는 영상들은 제외하였다. AdaBoost를 이용하여 구한 얼굴 폭을 (식 1)의 눈동자 반지름 크기의 기준으로 사용하였다.

기존 방법과 성능을 비교하기 위하여 동일한 영상을 입력으로 OpenCV의 AdaBoost 방법과 이 논문에서 제안한 방법의 눈동자 검출 결과를 비교하였다. 이때, AdaBoost 방법이 사용하는 3가지 학습 데이터 중에서 가장 결과가 좋게 나오는 데이터를 사용하였다. 성공 실패의 판단 기준으로 실제 눈동자 위치와 검출된 눈동자 위치의 거리 차이가 임계치 이내인 경우에는 검출 성공으로 판정하였으며, 한 얼굴의 두 눈 중에 하나라도 오류로 판정되면 오류로 판정하였다. 그림 3은 임계치를 변화하며 두 방법의 검출 성공율을 비교한 결과이다.

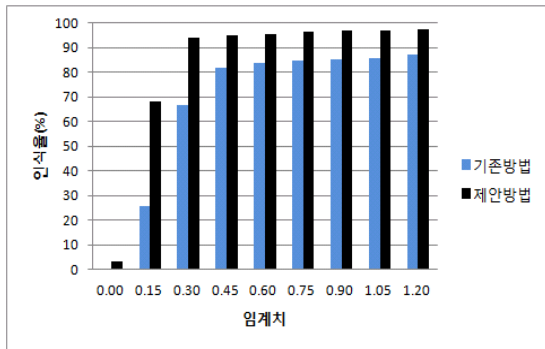


그림 3. 실험결과
Fig. 3 Experiment result

임계치는 (식 1)에서 정의한 눈동자 반지름 r_e 을 기준으로 $k \times r_e$ 를 사용하였으며, k 는 0부터 1.2까지 0.15씩 증가하여 변화시켰다. $k=0.0$ 인 경우는 실제 눈동자 위치와 검출된 눈동자 위치가 두 눈 모두 정확히 일치하는 경우로, 기존 방법에서는 0.0%, 제안한 방법에서는 3.2%의 검출율을 보였다. 눈동자 반지름의 0.9배를 임계치로 사용한 경우($k=0.9$)에는 기존 방법에서는 85.2%, 제안한 방법에서는 96.8%의 검출율을 보였다.



그림 4. 검출 성공
Fig. 4 Success results

그림 4는 본 논문에서 제안한 방법으로 눈을 검출한 결과영상들이다. 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 5는 기존 방법으로 눈동자 검출에 실패한 경우이다. 눈썹부분이나 눈안쪽의 검은 부분을 눈동자로 오검출하였다. 그림 6은 제안한 방법으로 그림 5의 영상에서 눈동자를 찾은 결과이다.

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.



그림 5. 기존 방법에서 검출 실패
Fig. 5 Fail results using previous method



그림 6. 제안 방법에서 검출 성공
Fig. 6 Success results using the proposed method

이 연구에서 사용한 500개의 실험 영상 중에서 안경을 착용한 영상은 147개이고 이들 영상에 대한 실험 결과는 표 1과 같다.

표 1. 안경 착용 영상 실험 결과
Table. 1 Test results for images with glasses

	기존 방법	제안 방법
검출 성공	117 (79.6 %)	132 (89.8 %)
검출 실패	30 (20.4 %)	15 (10.2 %)
전체	147	147

눈동자 반지름 길이의 0.45배를($k=0.45$) 임계치로 사용한 결과이다. 안경 착용 영상 147개에 대하여 기존 방법은 79.6%의 검출율을 보였고, 제안한 방법은 89.8%의 검출율을 보여 약 10% 이상이 개선됨을 확인하였다. 안경 미착용 영상에 대한 실험 결과는 표 2와 같다. 또한, 기존 방법은 검출 오류 영상 91개 중에서 45개가 눈썹을 눈동자로 검출하였고, 제안 방법은 눈썹을 눈동자로 검출한 경우는 없었다.

표 2. 안경 미착용 영상 실험 결과
Table. 2 Test results for images without glasses

	기존 방법	제안 방법
검출 성공	292 (82.7 %)	343 (97.2 %)
검출 실패	61 (17.3 %)	10 (2.8 %)
전체	353	353

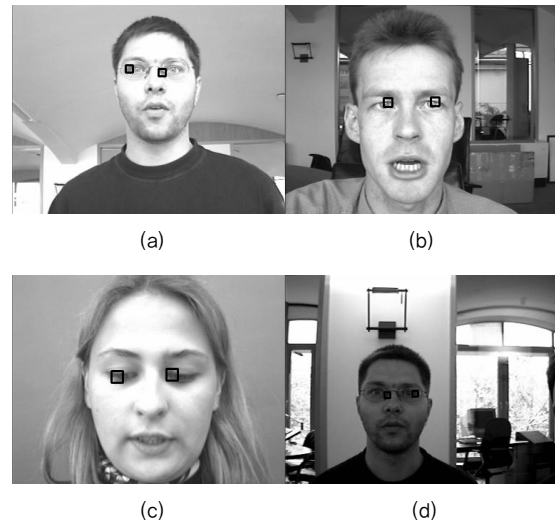


그림 7. 검출 실패
Fig. 7 Fail results

그림 7은 제안한 방법을 사용한 경우의 검출 실패 영상들이다. (a), (b)는 동양인과 달리 눈동자 크기가 아주 작고 진하지도 않아 눈동자를 검출하지 못한 경우이다. (c)는 밑을 보는 상황에서 눈이 닫혀져 눈동자 크기가 작은 경우이며, (d)는 역광 상황 및 안경에 의한 빛 반사로 인하여 안경테 부분이 눈동자로 오인식된 경우이다.

V. 결 론

이 논문에서는 rank order 필터와 상호상관을 이용하여 강인하게 눈동자를 찾는 방법을 제안하였다. 눈동자 후보점을 찾고, 눈썹 위치를 구한 후 눈썹 영역의 눈동자 후보점을 제거하였다. 눈동자 위치를 보정하고 상호상관을 이용하여 최종 눈동자를 결정하였다. BioID 얼굴 데이터베이스에 있는 얼굴 영상에 대한 실험 결과 96.8 %의 높은 눈동자 검출율을 보였으며 기존 방법보다 약 11.6% 개선된 결과를 얻었다. 향후 연구로는 검출율 향상을 위하여 눈동자 후보점을 더 정확하게 찾는 방법에 대한 연구가 필요하며, 특히 안경 착용 영상에 대한 눈동자 검출율을 높이는 방법에 대한 연구가 필요하다.

REFERENCES

[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, Mar. 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, Aug. 2010.

[3] A.L. Yuille, P.W. Hallinan, D.S. Cohen, "Feature extraction from faces using deformable templates", *Int. J. Computer Vision*, vol. 8, pp. 99-111, Aug. 1992.

[4] Fei Zuo, Peter H.N. de With. "Real-time Face Detection and Feature Localization for Consumer Applications," in *Proceedings of the PROGRESS/STW*, pp.257-262, 2003.

[5] Jurgen Rurainsky, Peter Eisert, "Template-Based Eye and Mouth Detection for 3D Video Conferencing," *LNCS*, vol. 2849, pp.23-31, 2003.

[6] T. Akashi, Y. Wakasa, K. Tanaka, S. G. Karungaru, and M. Fukumi, "Genetic eye detection using artificial template," *Journal of Signal Processing*, vol. 10, no. 6, pp. 453-463, November 2006.

[7] Nishimura, T. Nakashige, M. Akashi, T. Wakasa, Y. Tanaka, K "Eye interface for physically impaired people by Genetic Eye Tracking," in *SICE Annual Conference 2007*, pp. 17-20, 2007.

[8] Z. Zhou and X. Geng, "Projection Functions for Eye Detection," *Pattern Recognition*, vol. 37, no. 5, pp. 1049-1056, May 2004.

[9] Zhifei Xu and Pengfei Shi, "A Robust and Accurate Method for Pupil Features Extraction," in *Proceedings of Int. Conf. on Pattern Recognition*, pp.437-440, 2006.

[10] Jianfeng, Ren, "Eye Detection Based on Rank Order Filter," in *Proceedings of Int. Conf. on Information, Communications and Signal Processing*, pp. 1-4, 2009.

[11] Ling Gan and Qingjun Liu, "Eye Detection Based on Rank Order Filter and Projection Function," in *Int. Conf. On Computer Design and Application*, pp. 642-645, 2010.

[12] O. Jesprsky, K. Kirchberg, R. Frischholz, "Robust Face Detection Using the Hausdorff Distance," in *Proceedings of Int. Conf. on Audio based Person Authentication - AVBPA*, pp90-95, 2001.

장경식(Kyung-Shik Jang)

한국 정보통신학회 논문지 제 16권 7호 참조



박성대(Sung-Dae Park)

2002년 : 동의대학교 멀티미디어공학과 학사
 2004년 : 동의대학교 멀티미디어공학과 석사
 2008년 : 동의대학교 컴퓨터 · 소프트웨어공학과 공학박사
 2008년~현재 : 동의대학교 디지털콘텐츠공학과 조교수
 ※관심분야 : Non-Linear Editing, Computer Graphic Design, Digital signal & Image Processing