

시선추적을 위한 실시간 동공 중심 검출

이경주[○], 김계영^{*}

[○]숭실대학교 컴퓨터학과

^{*}숭실대학교 컴퓨터학부

e-mail: lkj0917@ssu.ac.kr[○], gykim11@ssu.ac.kr^{*}

Real-time pupil center detection for gaze tracking

Gyung-Ju Lee[○], Gye-Young Kim^{*}

[○]Dept. of Computer Science and Engineering, Soongsil University

^{*}School of Computer Science and Engineering, Soongsil University

● 요약 ●

본 논문에서는 단일의 카메라로부터 획득한 영상에 있는 동공 중심을 실시간으로 검출하는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 원에서 현의 수직이등분선은 그 원의 중심을 지난다는 사실을 이용하여 동공의 현을 찾고 동공 중심을 계산하는 것이다. 먼저 VPF(Variance Projection Function)을 이용해 일차적으로 동공 중심을 탐지한다. 탐지된 중심점을 기준으로 원을 탐색하여 정확한 동공 중심점을 찾는다. 실험을 통하여 제안한 방법은 높은 검출율과 처리시간 관점에서 우수함을 보인다.

키워드: 동공 중심 검출(pupil center detection), 시선 추적(gaze tracking), VPF(Variance Projection Function)

I. 서론

기술이 발전함에 따라서 HCI(Human Computer Interface)에 관한 연구가 많이 이루어졌다. 그 중에서도 사용자의 시선을 추적하는 눈 움직임에 기반한 인터페이스 시스템은 연구자들에 의해 관심을 받고 있는 연구 분야이다. 시선의 위치를 추적하기 위해서는 기본적으로 사용자의 얼굴 및 눈의 검출과 동공의 위치 파악이 중요하다. G.C. Feng과 P.C. Yuen은 VPF(Variance Projection Function)을 이용하여 눈 검출하는 방법을 제안했다[1]. 이는 안경을 쓰고 있거나 눈이 작은 경우 영상에서 검출이 어려운 단점이 있다. M. Asadifard와 J. Shanbezhadeh는 CDF(Cumulative Density Function)을 이용하여 눈을 찾고 동공의 중심을 계산하였다[2]. 이 방법은 눈썹, 머리 카락, 눈동자에 비친 조명 등에 의해 잘못 검출되는 경우가 발생한다.

따라서 본 논문에서는 잡음이나 조명 등의 상황에서도 적용이 가능하고 실시간으로 동공 중심을 검출하는 방법을 제안한다. 두 번째 장에서 VPF와 현의 두 점의 수직이등분선을 이용하여 동공 중심을 찾는 방법을 설명한다. 세 번째 장에서는 실험결과를 보이고 결론을 통해 마무리한다.

II. 본론

본 장에서는 영상의 잡음이나 조명으로 인한 빛 반사 등에도 동공의 중심을 검출할 수 있는 방법을 설명한다. 제안하는 알고리즘의 순서는 그림 1과 같다.

현의 수직 이등분선을 구하기 위해서는 먼저 초기 동공의 중심점을 찾아야 한다. 먼저 초기 동공의 중심을 계산하기 위해 VPF를 이용한다. VPF는 해당 픽셀의 명암값이 영상 전체의 평균 명암값과 큰 차이를 보이면 VPF의 값은 크게 나타나며 평균 명암값과 비슷하면 VPF의 값이 작게 나온다. VPF는 식(1), (2)를 통해 계산된다.

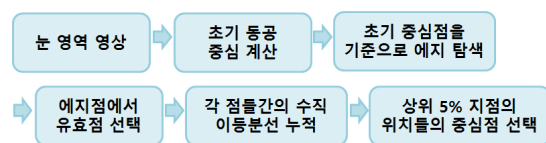


그림 1. 동공 중심 검출 순서도

Fig. 1. Flow Chart of pupil center detection

$$\delta_v^2 = \frac{1}{y_2 - y_1} \sum_{y_i = y_1}^{y_2} [I(x, y_i) - V_m(x)]^2 \quad (1)$$

$$\delta_h^2 = \frac{1}{x_2 - x_1} \sum_{x_i = x_1}^{x_2} [I(x_i, y) - H_m(y)]^2 \quad (2)$$

$$V_m(x) = \frac{1}{y_2 - y_1} \sum_{y_i = y_1}^{y_2} I(x, y_i) \quad (3)$$

$$H_m(y) = \frac{1}{x_2 - x_1} \sum_{x_i = x_1}^{x_2} I(x_i, y) \quad (4)$$

δ_v^2, δ_h^2 는 각각 수직, 수평 VPF, I 는 그레이스케일 영상을 말하고 $V(x), H(x)$ 는 각 x, y 방향의 명암도의 합을 나타낸다. 수직/수평 VPF에서 가장 작은 valley를 찾아 초기 동공 중심좌표 $initPC_{x,y}$ 를 계산한다.

$$initPC_x = (V_{x2} - V_{x1})/2 + V_{x1} \quad (5)$$

$$initPC_y = (V_{y2} - V_{y1})/2 + V_{y1} \quad (6)$$

V_{x1}, V_{x2} 는 수직 VPF의 Valley이고 V_{y1}, V_{y2} 는 수평 VPF의 Valley이다.

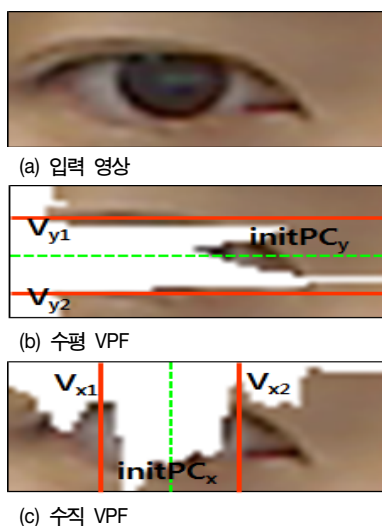


그림 2. 눈 영상에서 수직/수평 VPF
Fig. 2. Vertical and Horizontal VPF in Eye Image

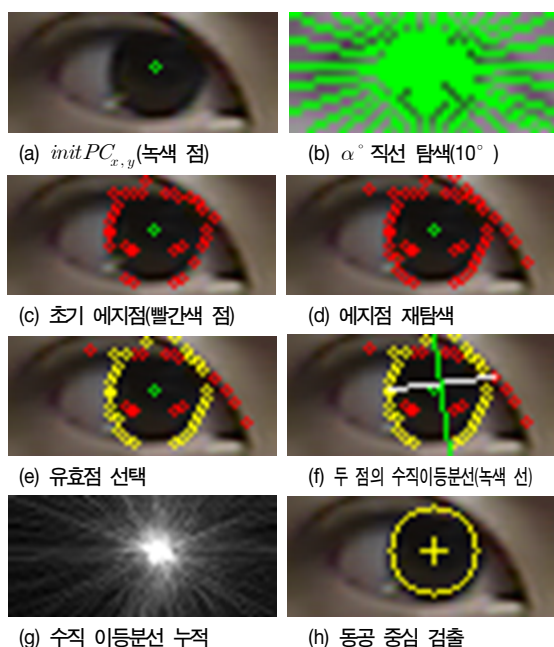


그림 3. 동공 중심 검출
Fig. 3. Pupil center detection

그 다음 그림 3 (b)와 같이 $initPC_{x,y}$ 를 중심으로 α° 씩 회전하면서 직선 방향으로 에지점 $pEdge_i(x, y)$ 을 탐색한다. ($i=1...N, N$: 찾아진 에지점 개수)

$$pEdge_i(x, y) = \begin{cases} true & \text{if } I(L_{lx}, L_{ly}) > th \\ false & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

L_l 은 $initPC_{x,y}$ 를 중심으로 탐색되어지는 l 번째 직선의 좌표이고 th 는 임계값을 말한다. 해당 위치의 명암값이 임계값보다 클 경우 해당 위치를 에지점으로 한다. 임계값은 $initPC_{x,y}$ 로부터 탐색되어지는 L_l-1 까지의 평균 명암값으로 한다.

그림 3 (c)를 보면 눈에 반사되는 불빛으로 발생하는 잡음으로 인해 에지점이 눈동자 안에서 잘못 찾아지는 경우를 볼 수 있다. 이를 해결하기 위해 찾아진 에지점을 시작으로 (7)을 이용하여 에지점을 재탐색 한다. 그림 3 (d)는 다시 찾아진 에지점을 볼 수 있다. 최종적으로 찾아진 $pEdge_i(x, y)$ 의 평균 위치를 이용해 초기 동공 중심인 $initPC_{x,y}$ 를 다시 계산한다.

$$initPC' = AVERAGE(pEdge) \quad (8)$$

AVERAGE는 에지점들의 평균 위치를 계산하는 함수이다. 이후에 $initPC'$ 을 기준으로 각 에지점들간의 거리를 계산한 후에 아래의 조건을 만족하는 점을 유효점 $pEdge'_i$ 으로 걸러낸다.

$$\| initPC' - pEdge_i \| \geq dis_1 \quad (9)$$

$$AND \| initPC' - pEdge_i \| \leq dis_2$$

dis_1, dis_2 는 임계값으로 $initPC'$ 와 $pEdge_i(x, y)$ 간의 평균 거리로 구한다. 그림 3 (e)에서 노란색 점으로 표시된 것이 (9)의 조건에 만족하여 선택되어진 유효점들이다. 걸러진 유효한 점들을 대상으로 각 점들간의 수직 이등분선을 계산한 후 2차원 배열에 누적한다[그림 3 (f), (g)].

마지막으로 누적 배열에서 많이 누적된 위치를 찾아 동공의 중심을 계산한다. 그림 3 (h)를 보면 누적 배열의 상위 5%에 해당하는 위치들의 중심을 동공의 중심으로 계산한 결과이다.

III. 실험결과 및 결론

실험에서 사용하는 PC는 Intel Core i7-2600 CPU, 4G RAM, Samsung SSD 250G로 구성되어있다. 실험데이터는 BioID Face DataBase[3]를 사용하여 성능을 평가하였다. DB는 384x286 크기의 그레이스케일(gray scale)영상으로 1,521장으로 구성되어 있다. 영상에서 얼굴과 눈 영역 검출은 Froba, B.와 Ernst, A.가 제안한 MCT(Modified Census Transform) + Adaboost 분류기[4]를 이용하여 검출하였다. 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 검출된 동공 중심의 오차 d_{eye} 는 다음과 같이 계산된다.

$$d_{eye} = \frac{\max(\|A - \tilde{A}\|, \|C_r - \tilde{C}_r\|)}{\|A - C_r\|} \quad (10)$$

A, C_r 은 왼쪽과 오른쪽 동공 중심의 ground truth이고, \tilde{A}, \tilde{C}_r 은 제안한 알고리즘으로 검출한 왼쪽과 오른쪽 동공의 중심 좌표이다.

표 1은 다른 알고리즘과의 성능비교를 나타낸 표이다. 성능비교에 사용된 알고리즘은 2D Adaboost[5], GPF[6], CDF이다. 이들의 경우 검은 눈과 안경을 착용한 영상은 제한된 실험 결과를 제공해 주었기 때문에 본 논문에서 제안한 방법도 같은 환경에서 진행하였다.

표 1. 알고리즘 성능비교

Table 1. Algorithm performance comparison

Algorithm	Detection Rate	d_{eye}
2D Adaboost	93	≤ 0.1
GPF	95	≤ 0.25
CDF	96	≤ 0.25
제안한 방법	98	≤ 0.25

제안한 방법으로 안경을 착용한 영상 416장에 대해 실험을 한 결과 검출율 88%를 보였다. 표 2를 보면 전체 수행시간은 24.35ms로 약 41fps의 실시간에 적합한 성능을 보인다.

표 2. 알고리즘 수행시간

Table 2. Algorithm execution time

항목	수행시간(ms)
얼굴 및 눈 검출	22.62
동공 중심 검출	1.73
전체 수행시간	24.35

그림 4와 그림 5에서는 동공 중심을 검출한 결과 영상을 보여준다. 녹색 원은 동공 중심의 ground truth를 나타낸 것이고, 빨간색 십자기는 검출된 동공 중심의 위치를 표시한 것이다.

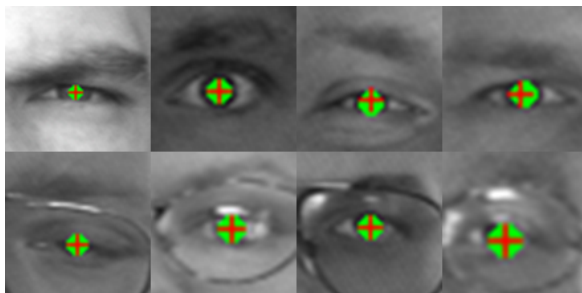


그림 4. 동공 중심 검출 결과

Fig. 4. Correctly pupil center detection

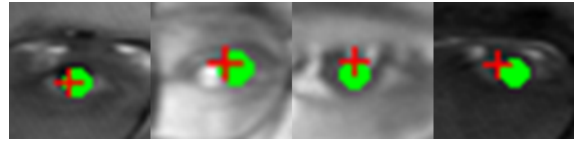


그림 5. 잘못 검출된 동공 중심 검출 결과

Fig. 5. Wrongly pupil center detection

영상에 잡음이 포함된 경우에도 동공의 중심이 검출 될 수 있도록 명암값의 분산을 이용한 프로젝션을 통해 초기 동공의 중심 좌표를 계산했다. 이후 잡음에 덜 민감하도록 에지점을 찾고 원을 탐색하는 과정을 거쳐 동공의 중심 좌표를 검출했다. 그 결과 다른 알고리즘에 비해 높은 검출율을 보였고 수행속도 또한 실시간에 적합하였다. 다만 안경을 착용한 경우 검출율이 다소 떨어지는 결과를 보였다. 이는 안경에 빛이 많이 반사되거나 안경테로 인해 초기 중심점이나 원을 탐색하는 과정이 방해되어 나타나는 것으로 보인다. 따라서 이를 해결하는 것을 추후 연구 목표로 한다.

Acknowledgement

This work was supported by the Global Leading Technology Program of the Office of Strategic R&D Planning(OSP) funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy, Republic of Korea. (10042418)

참고문헌

- [1] C. Feng and C. Yuen, "Variance projection function and its application to eye detection for human face recognition", Pattern Recognition, vol, 19, pp. 89-906, 1998.
- [2] M. Asadifard and J. Shanbezaheh, "Automatic Adaptive Center of Pupil Detection Using Face Detection and CDF Analysis", In Proceedings of the IMECS, vol, I, pp. 130-133, 2010.
- [3] BioID Face Database, <http://www.bioid.com>
- [4] B. Froba and A. Ernst, "Face detection with the modified census transform", In IEEE Intl. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition, 2004.
- [5] Z. Niu, S. Shan, S. Yan, X. Chen, and W. Gao, "2D Cascaded AdaBoost for Eye Localization", IEEE Int. Conf. on Pattern Recognition, vol. 2, pp. 1216-1219, 2006.
- [6] Z. H. Zhou and X. Geng, "Projection functions for eye detection", IEEE Int. Conf. on Pattern Recognition, vol. 37, no 5, pp. 1049-1056, 2004.