

눈동자의 움직임을 이용한 휴먼 컴퓨터 인터랙션

권기문*, 이정준*, 박강령**, 김재희*
연세대학교 전기전자공학과, 생체인식 연구센터*
상명대학교 미디어학부**

Eye Gaze for Human Computer Interaction

Ki Moon Kwon*, Jeong Jun Lee*, Kang Ryoung Park**, Jaihie Kim*
Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University*
Biometrics Engineering Research Center
Division of Media Technology, SangMyung University**
E-mail : kimoon@yonsei.ac.kr*

Abstract

This paper suggests user's interface with computer by means of detecting gaze under HMD, head mounted display, environment.

System is derived as follows; firstly, calibrate a camera in HMD, which determines geometrical relationship between monitor and captured image. Second, detect the center of pupil using algorithm of the center of mass and represent a gazing position on the computer screen. If user blinks or stares at a certain position for a while, message is sent to computer.

Experimental results show the center of mass is robust against glint effects, and detecting error was 7.1%, and 4.85% in vertical and horizontal direction, respectively. To adjust detailed movement of a mouse takes 0.8 sec more. The 98% of blinking is detected successfully and 94% of clicking detection is resulted.

I. 서론

Human Computer Interface 분야에서는 사용자와 컴퓨터간의 인터페이스로 eye-gaze 방법을 많이 시도하고 있다[1]. 이러한 이유는 몇 가지로 요약 해 볼 수 있다. Eye-gaze 인터페이스 방법은 실제 마우스의 작동법과 거의 동일한 프로토콜로 매우 자연스럽게 묘사 될 수 있다. 사용자가 눈을 움직임에 따라 마우스 커서가 이동

되고, 눈을 깜박이는 것은 기계적인 마우스의 클릭과 같은 역할을 수행하게 된다. 손과 같은 신체의 다른 부분을 사용하는 입력 장치들에 비해서 속도가 매우 빠르다[2][3]. 21 인치 모니터 좌측 상단부터 우측하단을 쳐다 볼 때 걸리는 시간이 불과 150ms 밖에 되지 않는다[4]. 또한 eye-gaze 인터페이스는 신체적인 장애가 아주 심하지 않는 사용자의 경우에는 모두 사용이 가능한 장점이 있다.

본 논문에서는 소형카메라가 부착된 HMD(Head Mounted Display)환경에서 사용자의 응시 위치추적을 통한 사용자와 컴퓨터간의 인터페이스 방법을 제안한다.

II. 동공의 중심 추출

본 절에서는 카메라에 획득된 눈동자 영상으로부터 동공의 중심 위치를 추출하는 방법에 대해서 설명한다. 추출된 동공 중심은 시스템의 모든 단계에서 사용 되어진다.

2.1 무게 중심 방법을 이용한 동공 중심 추출

우선 동공은 영상 내에서 동공 외 다른 부분보다 그레이값이 낮은 특징이 있으므로 눈동자 영상(그림 1)을 이진화시킨 영상으로부터 동공의 대략적인 위치를 추정할 수 있다. 우선 영상에서 외곽에는 동공이 나타나지 않으므로 외곽을 제외한 사각형 영역을 설정한다.

이와 같이 선택한 사각형 영역내에 존재하는 흑화소는 대부분이 동공에 의하여 발생하므로 흑화소에 대한 초기 무게 중심을 결정한다(그림 2). 동공의 초기 무게 중심 위치와 사용자들의 동공의 크기에 대한 사전 정보를 바탕으로 새로운 사각형 영역을 설정하여 영역 내에서 그림 3 과 같이 최종 동공의 중심 위치를 추출한다.



그림 1. 원영상과 중심 추출 영상

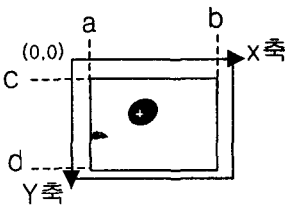


그림 2. 이진화 영상에서 초기 동공 중심 추출

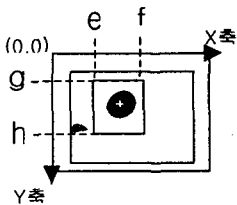


그림 3. 이진화 영상에서 최종 동공 중심 추출

본 연구에서 눈동자 영상을 취득할 때에는 외부광의 영향을 없애고 눈동자 영상을 밝게 만들기 위하여 카메라 앞에 적외선 통과 필터를 부착하고, 적외선 조명을 사용하였다. 이때 적외선 조명에 의해 영상 내에 생기는 밝은 영역(그레이값이 220 이상)을 글린트(Glint)라고 한다.

III. 제안한 인터페이스 알고리즘

본 절에서는 눈동자의 움직임에 이용한 인터페이스를 실현하기 위한 전체 시스템(그림 4)의 알고리즘에 대해서 설명한다. 시스템이 시작되면 동공 중심이 항상 추출된다. 사영 변환을 이용하여 모니터상의 사용자의 응시 위치를 추적하였고 응시 위치 오차를 보정하기 위

해 눈동자에 의한 세밀한 조정, 마지막으로 마우스의 클릭과 같은 명령 전달을 눈동자로 하는 방법에 대해서 설명한다.

3.1 캘리브레이션과 응시 위치 추적

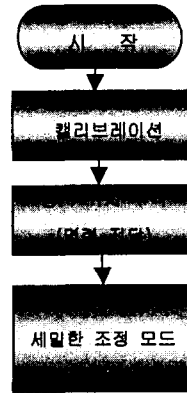


그림 4. 전체 시스템 흐름도

사용자의 응시 추적을 하기 위한 사전 단계로 캘리브레이션이 필요하다. 캘리브레이션은 모니터의 응시 위치 좌표와 영상의 동공 중심간의 관계식을 구하기 위한 사전 학습 과정이다. 사용자는 그림 5 와 같이 모니터에 정해진 점을 차례로 응시하게 될 때 그에 대응되는 카메라 영상에서 동공의 중심을 찾아낼 수 있다. 사용자의 응시위치 확인은 동공의 중심을 구하고 구한 중심에 대응하는 값을 모니터에 마우스 커서로 표시함으로써 가능해진다. 사용자가 HMD 를 통해서 모니터의 네 꼭지점과 중앙을 응시할 때 카메라에 획득되는 영상 평면(Image Plane) 상에서는 위치 정보는 그림 5(b)와 같이 반드시 직사각형 모양이 아닐 수 있다. 이러한 이유로 본 논문에서는 사영 변환(Projective Transform)을 이용한 방법으로 사용자의 응시 위치를 추적하였다.

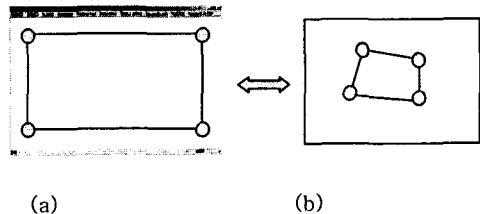


그림 5. 모니터의 네 꼭지점(a)을 응시할 때의 동공중심의 영상 평면에서의 위치 변화(b)

도형간에 회전(rotation), 스케일링(scaling), 이동

(translation), 평행 기울어짐(shearing), 왜곡(distortion) 모두 설명 가능한 사영 변환의 일반적인 식은 1 과 같다 [5].

$$\begin{bmatrix} x_1' \\ x_2' \\ x_3' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, $(x_1, x_2, x_3)^T$ 은 카메라 영상에서의 동공 중심 $(x_1', x_2', x_3')^T$ 은 모니터에서의 계산된 응시 위치

사영 변환을 위한 Calibration 과정에서는 사용자가 모니터의 네 꼭지점 쳐다볼 때 취득된 동공의 위치 정보를 이용하였다.

3.2 오차 보정을 위한 마우스 커서의 세밀한 조정

HMD 에서 입력으로 받는 화면 해상도는 800×600 이고, 화면의 좌·우측 끝을 응시할 때 카메라로부터 파악되는 동공의 움직임 정도는 100pixel 이기 때문이다. 즉, 동공의 1 pixel 움직임이 화면상에는 약 8pixel 움직임에 대응되므로, 이 이하의 세밀한 버튼 선택은 어렵게 되며 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 세밀한 조정 모드를 사용하여 세밀한 버튼 선택을 가능하게 하였다. 동공의 움직임에 따라서 마우스 커서의 세밀한 조정으로 응시 위치 오차를 보정하기 위한 방법을 제안하였다. 응시 위치 추적 오차 발생시 사용자가 응시하고 있던 모니터상의 한 지점을 일정시간 이상 쳐다보게 되면 세밀한 조정 모드로의 전환이 이루어진다. 이 때 사용자는 오차를 보상하고자 하는 방향쪽을 쳐다 보게 되면 눈동자의 움직임에 비례해서 마우스 커서가 이동하게 된다(그림 6).

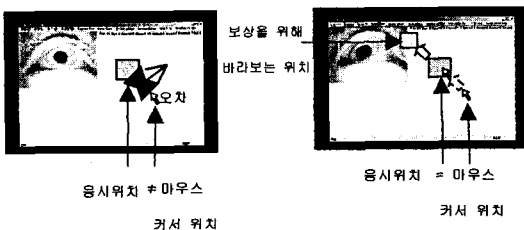


그림. 6 오차 보정을 위한 세밀한 조정

3.3 눈 깜박임에 의한 명령 전달 방법

눈 깜박임으로 명령을 전달하기 위해서는 첫째, 사용자가 현재 눈을 뜬 상태인지 감은 상태인지를 판별해야 한다. 둘째, 눈 깜박임이 명령을 전달하기 위한 것인지 아니면 단순한 깜박임인지를 구별해야 한다. 눈의 상태 판별은 동공이 움직일 수 있는 일정 범위내의 흑화소의 개수로부터 결정하였다. 사람이 한번 눈을 깜박이는 시간은 0.025 초로 매우 짧다. 따라서 눈을 감은 상태가 일정 프레임 이상 지속 되었을 때 명령을 전달하기 위한 깜박임으로 판단하였다.

IV. 실험 및 결과

실험은 총 7 명에 대해서 실험하였고 2 명은 eye-gaze 인터페이스 경험이 있고, 5 명은 없다. 표 1 은 응시위치를 매핑한 마우스 커서와 GUI 버튼간의 거리 오차를 보여준다. 실험결과는 7 명의 사용자가 각각 모니터의 10 곳을 응시했을 때의 평균오차이다.

표.1 4 개점을 사용한 사영 변환에 따른 응시위치오차

	응시위치오차	환경
X 축	38 pixel	카메라영상크기 : 640×480 Virtual monitor : 800×600
Y 축	43 pixel	

그림 7 은 각각의 사용자에게 대하여 버튼 크기에 따른 눈동자에 의한 세밀한 조정을 20 번 시행하였을 때 평균시간을 나타낸다. 실험결과에 의하면 GUI 버튼의 크기가 너무 작게 되면 버튼 선택이 어려워 수행 오차 보정 시간이 길어진다. 여기서 작은 버튼의 크기는 50×60pixel 이고, 큰 버튼은 80×100pixel 이다.

그림 8 은 세밀한 조정을 기계적인 마우스로 하였을 때와 눈동자의 움직임을 이용하였을 때 걸린 시간을 보여준다. 평균적으로 마우스를 사용할 때보다 0.8 초 정도 더 걸린다.

그림 7 과 그림 8 에서 eye-gaze 방법에 경험이 있는 사용자 A 와 사용자 B 의 경우에는 다른 사용자들 보다 세밀한 조정 수행 시간이 적게 소요되었고, 또한 마우스를 사용했을 때와 시간 격차도 작다는 것을 알 수 있다.

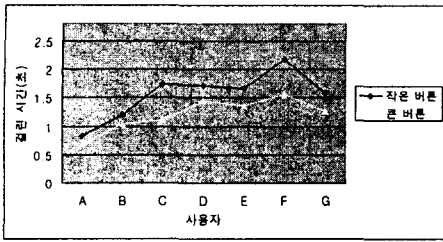


그림 7. 세밀한 조정 시간 측정

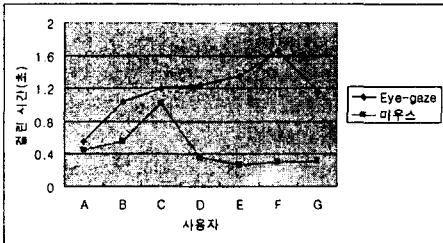


그림 8. eye-gaze 와 마우스의 세밀한 조정 시간 비교

그림 9은 사용자마다 각각 눈 깜박임을 30 번씩 시도하였을 때, 눈 깜박임 검출률과 클릭킹 성공확률은 나타낸다. 눈 깜박임 검출률은 98% 정도이고, 클릭킹 성공확률은 그보다 조금 낮은 94% 이었다.

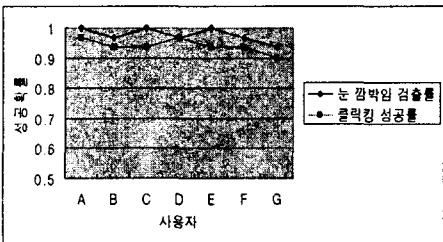


그림 9. 깜박임 검출률과 클릭킹 성공확률

표 2는 설문조사를 통해서 사용자들의 주관적인 평가 결과를 나타낸다. 동공 중심 획득 정확성과 명령 전달 편리성과 정확성 면에서 좋은 평가를 받았다.

번호	질문	평균값
1	동공의 중심을 정확하게 찾는가?	1.72
2	응시 위치 추적이 정확히 되는가?	0.72
3	세밀한 조정이 정확히 되는가?	0.57
4	세밀한 조정이 편리한가?	1.14
5	클릭킹이 정확히 되는가?	0.29
6	클릭킹이 편리한가?	1.43
7	제안한 방법이 마우스 보다 편리한가?	-0.57

-2: 매우 나쁨, -1: 나쁨, 0: 보통, +1: 좋음, +2: 매우 좋음

V. 결론

본 논문에서는 사용자가 컴퓨터와의 눈동자에 의한 인터페이스 방법에 대해 제안하고, 그에 대한 실험을 하고 결과를 측정하였다. 사용자의 응시 위치를 계산해 내고, 눈동자에 의한 마우스 커서의 세밀한 조정에 대한 실험을 하였다. GUI 버튼의 크기가 큰 경우에는 작은 경우보다는 수행시간이 단축되었다. Eye-gaze 와 마우스에 의한 세밀한 조정 시간비교에서는 마우스가 0.8 초 정도 수행시간이 짧았다. 그러나 사용자가 시스템에 익숙한 경우에는 마우스를 사용했을 경우의 성능과 큰 차이를 보이지 않았다. 제안한 눈 깜박임 방법은 통해 클릭킹을 수행한 결과는 94%의 성공률을 보였다.

Acknowledgement

본 연구는 한국과학재단 생체인식연구센터(BERC)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Jacob, R. J. K, "Eye Movement-Based Human-Computer Interaction Techniques: Toward Non-Command Interfaces", Advances in Human-Computer Interaction, H. R. Hartson and D. Hix, Editors., Ablex Publishing Co., pp151-190, 1993
- [2] L. E. Sibert, R. J. K. Jacob, "Evaluation of Eye Gaze Interaction", Proc. of the CHI, ACM in New York, pp281-288, 2000
- [3] Ohno, T. "Quick Menu Selection Task with Eye Mark", Transactions of Information Processing Society of Japan, vol. 40, no. 2, pp.602-612, 1999.
- [4] Yamato, M., Monden, A., Matsumoto, K., Inoue, K. and Torii, K, "Quick Button Selection with Eye Gazing for General GUI Environments", International Conference on Software: Theory and Practice, August 2000.
- [5] LRichard Hartely and Andrew Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, 2000.