

실시간 아이 트래커와 시선 방향 추정 Estimation of Gazed Direction using Real-Time Binocular Eye Tracker

백광열 노은정 방효충
Kwang-Yul Baek Eun-Jung Roh Hyochoong Bang
카이스트 기계항공시스템학부 항공우주공학전공
(발표자 연락처 : 042-350-5796 kybaek@ascl.kaist.ac.kr)

ABSTRACT

This work addresses the development of real-time binocular eye tracker system. Two infrared cameras and infrared LEDs are used to acquire infrared images of each eye. The tracker system estimates user's 3D gazed position by means of vision-based pupil detection with infrared image. Correspondences between the gazed direction and eye image coordinate are calculated by calibration process using pre-known flat calibration board. Using the correspondence, the points representing the gazed directions are overlaid onto the image observed by the view camera. The whole tracker algorithms are implemented in real time by Visual C++ and multimedia timer.

1. 서 론

아이 트래커는 사용자 눈의 응시점을 추적하는 것으로 의학 및 군사 분야에 활용되고 있다. 특히 전투기나 전투용 헬기에 장착된 아이 트래커는 조종사의 응시점을 추적하여 근접전에서 목표물을 보다 빠르고 쉽고 정확하게 탐지해 낼 수 있으며 기존의 레이더 장비나 적외선 추적 장비에 비해 조종사의 업무 부담을 현저히 줄여주는 역할을 한다.

본 연구에서는 미래 전장 환경과 생활 속에서 요구되는 아이 트래커 시스템 구현을 위해 선행되어야 할 하드웨어 설계, 실시간 소프트웨어 구현과 관련된 기반 알고리즘에 대한 연구를 수행하였다. 시선 방향을 얻기 위해 사용자의 두 눈에 대한 정보를 획득하는 두 개의 소형 적외선 카메라와 하나의 장면 카메라를 사용하는 소형화된 아이 트래커를 구축하였다. 적외선 LED를 이용하여 눈에서 반사된 적외선을 획득하는 기법에 대한 연구를 수행하였으며 획득한 눈의 영상으로부터 영상처리를 통해 동공의 중심을 찾고, 사용자의 동공 중심과 장면 카메라에 표시된 응시점에 대한 정보를 통해 사용자의 시선방향을 추정하였다. 영상 획득 후 후처리를 통해 알고리즘의 처리시간 단축과 결과에 대한 신뢰성을 확보한 후 전체 아이 트래커 알고리즘을 PC기반 실시간 소프트웨어를 통해 구현하였다.



그림 1. 양안 아이 트래커 시스템 구성

2. 양안 아이 트래커 시스템 구성

가. 아이 카메라

아이 카메라는 광학 방식 아이 트래커 시스템을 구축할 때 가장 중요한 역할을 하는 장치이다. 본 연구에서는 눈 주위의 영상만을 효과적으로 얻기 위해 초점거리 약 10cm 정도의 적외선 카메라를 선정하였다. 사용자에게 주는 물리적 부담을 줄이기 위해 크기(32(W)×32(H)×40(D)mm)가 작고, 무게(20g)가 가벼운 소형 적외선 카메라 모듈을 선정하였다.



그림 2. 적외선 카메라 모듈

나. 적외선 LED

적외선 LED는 광학 방식 아이 트래커 시스템에서 동공의 적외선 영상을 명확히 얻기 위해 중요한 역할을 하는 장치이다. 적외선 LED를 이용하여 동공을 향해 적외선을 방출하게 되면, 외부의 적외선 광원 없이 동공에서 나오는 적외선만으로 얻는 영상보다 더 뚜렷한 동공의 영상을 얻을 수 있다. 적외선 LED는 기존의 아이 트래커 방식을 토대로, 상용 제품에서 많이 사용되고 있는 850nm ~900nm 파장대의 적외선 LED 중 설계된 양안 아이 트래커 시스템에 적합한 LED의 크기, 방사 형태와 방사 출력 등을 고려하여 Knowledge*on Inc사의 OPE5587로 선정하였다. 적외선 LED OPE5587은 국내에서 쉽게 구입할 수 있으며, 880nm 파장 대역의 적외선을 방사한다. 또한 방사 각은 $\pm 10^\circ$ 로 동공영역에 집중적으로 적외선을 방사하기에 적합하다. 그림 3은

OPE5587의 방사 파장 대역과 방사 패턴을 나타낸다.

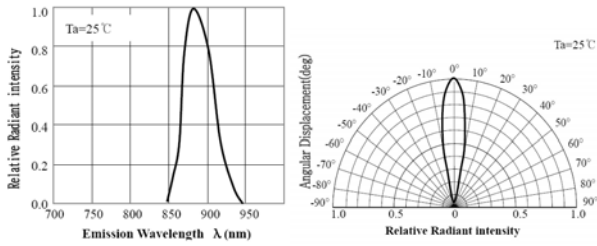


그림 3. OPE5587 방사 파장 대역과 방사 패턴

다. 다이크로익 필터(Dichroic Filter)

사용자의 눈 영상을 획득하기 위해 눈앞에 카메라를 위치시켜야 하나 이는 시야를 가리므로 다이크로익 필터를 사용하였다. 다이크로익 필터는 정해진 파장대역의 빛은 반사시키고 그 외 파장대역의 빛은 통과시키는 특성을 지녔다. 적외선 파장 대역을 반사시키는 다이크로익 필터를 사용하여 카메라를 눈앞에 장착하지 않고 시야를 가리지 않는 윗부분에 카메라를 장착할 수 있도록 하였다.

라. 양안 아이 트래커 하드웨어 설계

개발한 아이 트래커 시스템은 사용자가 바라보는 장면 획득을 위한 하나의 장면 카메라, 동공 영상 획득을 위한 두 개의 적외선 아이 카메라로 구성된다. 아이 카메라의 양 옆으로 뚜렷한 동공 적외선 영상을 얻기 위해 2개의 적외선 LED OPE5587이 각각 장착되어 있다. 적외선 LED에서 방사되는 적외선은 각각의 아이 카메라 밑에 45도 각도로 장착된 다이크로익 필터에 의해 반사되어 사용자의 동공 방향으로 방사된다. 설계된 아이 트래커는 3개의 카메라, 4개의 적외선 LED, 2개의 다이크로익 필터를 하나의 장치로 통합하였다. 그림 4는 제작한 양안 아이 트래커를 사용자의 이마 앞부분에 착용한 모습이다. 제작된 양안 아이 트래커의 크기는 가로 12cm, 세로 6cm, 높이 5cm이며 무게는 160g 이다.



그림 4. 양안 아이트래커 착용 모습

마. 실시간 아이 트래커 소프트웨어

눈의 빠른 움직임을 정확하게 인지, 추적하기 위해서는 일정한 시간 간격으로 빠르게 데이터를 처리하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 이후 설명할 아이 트래커 알고리즘을 Visual C++ MFC를 사용하여 구현하였다. 또한 멀티미디어 타이머(Multimedia Timer)를 이용하여

일정한 간격으로 영상을 획득하고 처리하여 동공을 인식하고 응시점을 장면 카메라 영상에 표시하도록 하였다. 멀티미디어 타이머는 실시간 OS가 아닌 윈도우 기반에서 50ms의 해상도를 보이는 기존의 타이머보다 세밀한 1~5ms의 해상도의 타이머를 제공한다. 그림5은 본 연구에서 개발한 실시간 아이 트래커 소프트웨어를 나타낸다.

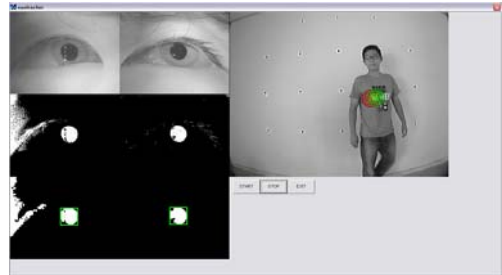


그림 5. 실시간 아이 트래커 소프트웨어

2. 동공 인식 알고리즘

본 연구에서는 Green(1992), Williams 와 Hoekstra (1994) 에 의해 개발된 적외선을 이용한 동공 추출법을 이용하여 눈의 중심점을 구하였다. 이 방법은 눈 주위의 피부, 홍채에 비해 동공이 적외선에 크게 반응하는 점을 이용한 것이다. 그림 6은 적외선 LED를 사용하여 사용자의 눈 방향으로 적외선을 방사하여 얻는 적외선 영상이다. 적외선을 반사하지 않고 흡수하는 동공의 특성으로 인해 동공이 어둡게 나타나는 것을 알 수 있다.

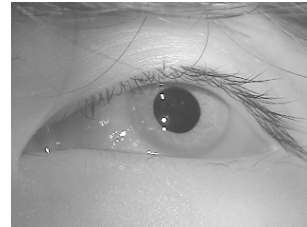


그림 6. 눈 주위의 적외선 영상

움직임이 빠른 동공을 영상을 통해 인지하고 추적하는 아이 트래커 시스템에서는 처리의 고속성이 요구된다. 따라서 이를 위해 배경과 객체의 간단한 분리시키는 이진화를 통하여 영상을 단순화시킨다. 이진 영상은 이진 영상의 1(또는 255)의 부분은 흰색으로써 대상 객체를 표시하고, 0의 부분은 검정색으로써 배경을 표시하는 것이 일반적이다.

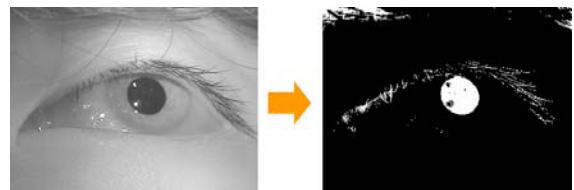


그림 7. 이진화를 통한 동공과 배경의 구분

그림 7은 이진화를 통해 동공과 배경을 구분해낸 결과

이다. 동공 부분이 배경으로부터 분리됨을 확인할 수 있다. 그러나 눈썹, 머리카락, 그림자와 눈의 가장자리 또한 경계 값 (Threshold)보다 낮은 명암을 보여 이진 영상에서 1의 값을 갖는다. 이러한 노이즈 중 크기가 작은 노이즈를 제거하기 위해 모폴로지 연산을 사용하였다. 모폴로지 연산은 배경과 확장과 객체를 축소시키는 침식 연산(erosion operator), 배경 축소와 객체 확장을 시키는 팽창 연산(dilation operator)으로 구성된다.

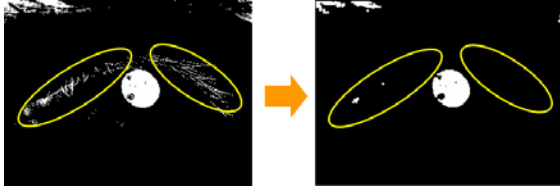


그림 8. 열림 연산을 이용한 노이즈 제거

그림 8은 침식 연산 후에 팽창 연산을 수행하여 미세한 잡음을 제거하는 열림 연산(opening operator) 적용하여 작은 노이즈를 제거한 결과이다. 두 타원 안의 눈썹으로 인한 작은 노이즈가 제거되었음을 알 수 있다. 그러나 머리카락과 그림자로 인해 나타나는 크기가 큰 노이즈는 제거 되지 못하고 덩어리를 이루어 남게 된다. 이러한 노이즈는 라벨링을 통해 각각의 객체를 구분하고 각각의 영역에 대해 크기, 가로세로 비율(aspect ratio), 컴팩트니스(compactness)을 확인하여 가장 동공에 가까운 영역을 찾아내는 방법을 사용하여 제거할 수 있다. 여러 샘플 영상을 통해 동공의 표준 크기, 가로 세로 비율(식2), 컴팩트니스(식1)를 정하고 이 값과 비교하여 판이하게 다른 값을 보이는 노이즈는 제거한다.

$$C = \frac{L^2}{4\pi S} \quad (1)$$

$$AR = \frac{Width}{Height} \quad (2)$$

표 1. 동공의 표준 크기, 가로세로 비율, 컴팩트니스

Area(S)	1779,28
Length(L)	272.36
Aspect ratio(AR)	0.9795
Compactness(C)	3.3099

표 1은 120개의 동공의 샘플 영상으로부터 얻은 동공의 표준 크기, 둘레길이, 가로세로 비율, 컴팩트니스를 나타낸다. 그림 9은 라벨링을 적용한 후 크기, 가로세로 비율, 컴팩트니스를 비교하여 동공을 인식한 결과이다.



그림 9. 라벨링 후 인지한 동공의 위치

3. 양안 아이 트래커의 응시점 보정

가. 응시점 보정

응시점 보정은 아이 트래커 시스템의 정확도에 큰 영향을 주는 중요한 작업이다. 응시점 보정은 아이 카메라에서 획득한 영상에서 인식한 사용자의 동공의 위치와 장면 카메라로부터 얻는 사용자의 시선 방향에 대한 영상 내에서 사용자의 응시점을 매핑시켜주는 과정이다. 아이 카메라 영상에서 동공의 위치를 (x,y) 라 하고, 장면 카메라 영상에서 사용자의 응시점을 (X,Y) 라 하면 동공의 위치와 사용자의 응시점은 식(3)와 같은 이차식 관계로 가정할 수 있다.

$$\begin{aligned} X_i &= a_0 + a_1x_i + a_2y_i + a_3x_i^2 + a_4x_iy_i + a_5y_i^2 \\ Y_i &= b_0 + b_1x_i + b_2y_i + b_3x_i^2 + b_4x_iy_i + b_5y_i^2 \end{aligned} \quad (3)$$

장면 카메라에서 사용자의 응시점은 그림 10과 같은 보정 평면을 이용하여 보정 평면의 특징점 중 하나로 제한할 수 있다. 응시점 보정 과정에서 사용자는 보정 평면의 특징점 중 하나로 시선을 고정하고, 이 때 아이 카메라 영상에서 앞에서 설명한 동공 인식 알고리즘을 이용하여 동공의 위치 (x,y) 를 측정한다. 바라본 특징점의 위치가 사용자의 응시점 (X,Y) 이 된다. 특징점의 위치 또한 영상처리를 통해 결정지을 수 있다.

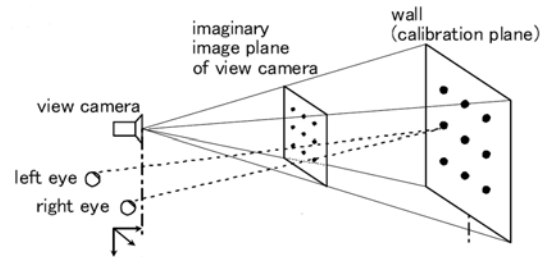


그림 10. 아이트래커 시스템 응시점 보정

이렇게 얻은 동공의 위치 정보와 사용자의 응시점 정보로 이루어진 선형방정식의 해를 최소자승법 (Least squares)을 통해 구함으로써 미지수를 계산할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & x_1y_1 & y_1^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_k & y_k & x_k^2 & x_ky_k & y_k^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & x_1y_1 & y_1^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_k & y_k & x_k^2 & x_ky_k & y_k^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ \vdots \\ a_5 \\ b_0 \\ \vdots \\ b_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_k \\ Y_1 \\ \vdots \\ Y_k \end{bmatrix} \quad (4)$$

식(4)을 $AQ=B$ 라 하면 는 다음과 같이 계산된다.

$$Q = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (5)$$

즉, 응시점 보정을 통해 식(3)의 미지계수를 모두 결정하게 되면 아이 카메라에서 획득한 영상 내에서 동공을 인지하여 그 위치를 알아내면 사용자의 응시점을 유추해 낼 수 있다.

나. 두 눈에 대한 응시점 보정 실험

앞서 설명한 응시점 보정 방법을 두 눈에 대해 수행하여 각각의 아이 카메라에서 동공의 위치와 장면 카메라의 응시점 사이의 연관 관계를 찾아내었다. 그림 11는 양안 아이 트래커 시스템을 사용자가 착용한 모습과 응시점 보정을 위해 보정 평면을 바라보는 장면이다.



그림 11. 양안 아이트래커 시스템과 응시점 보정 실험

두 아이 카메라로부터 들어오는 동공 영상과 장면 카메라로부터 들어오는 장면 영상을 동시에 처리하여 동공의 위치와 특징점의 위치를 알아낸다. 보정 평면상의 9개의 점을 이용하여 응시점 보정을 한다. 이 때 각 점은 50cm씩 떨어져있으며 사용자의 눈으로부터 보정 평면까지 거리는 2m이다.



그림 12. 두 눈의 동공 인식과 보정 평면 특징점 인식

그림 12은 특징점 5를 바라볼 때의 두 눈에 대한 동공 인식과 보정 평면 특징점 인식 결과를 나타낸다. 처리의 고속성을 위해 특징점 인식은 주위의 작은 관심 영역 (Region of interest)를 설정하고, 이 관심 영역 안에서 수행한다. 총 289 프레임의 데이터를 획득하여 앞서 설명한 최소자승법을 이용하여 동공의 위치와 특징점의 위치 사이의 연관 관계식의 계수를 구하였다. 표2는 각각의 눈에 대한 X 축 방향 계수와 Y축 방향 계수 값을 나타낸다.

표2. 두 눈의 응시점 보정 X,Y축 방향 계수

	a0	a1	a2	a3	a4	a5
X_L	304.3	3.341	-10.47	0.004	0.000	0.044
X_R	298.2	3.218	-10.97	0.011	-0.017	0.061
	b0	b1	b2	b3	b4	b5
Y_L	-1239	5.684	12.01	-0.025	0.013	-0.025
Y_R	-909.8	3.914	7.03	-0.013	0.000	0.005

다. 움직이는 물체에 대한 응시점 추정 실험

앞에서 수행한 응시점 보정 실험의 결과를 검증하기 위해 움직이는 물체에 대한 사용자의 응시점 추정 실험을

수행하였다. 그림 13는 앞에서 수행한 응시점 보정 결과를 이용하여 전방의 움직이는 사람의 가슴을 바라보도록 한 사용자의 응시점을 추정한 결과이다. 두 눈의 동공의 위치로부터 추정된 응시점은 일치하지 않았으나 추정된 응시점이 움직이는 사람의 가슴의 위치에 비교적 가까운 지점을 가리키고 있음을 확인할 수 있다.

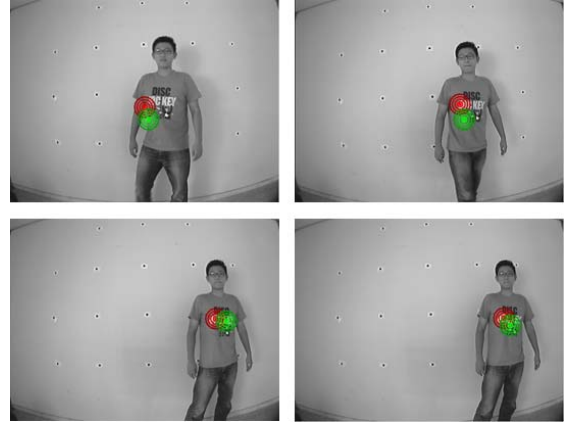


그림 13. 각각의 동공의 위치로부터 추정한 응시점

3. 결론

본 연구에서는 사용자 두 눈의 동공을 인식하여 응시 방향을 추정하는 양안 아이 트래커 시스템을 개발하였다. 적외선 LED와 적외선 카메라로부터 동공 주위 영상을 얻고, 이를 실시간 영상처리를 통해 동공을 인식한다. 응시점 보정 실험을 통해 얻은 두 눈 영상 내의 동공의 위치와 장면 카메라의 영상의 응시점 사이의 상관 관계를 구하였다. 이 상관관계를 이용하여 인식한 동공의 위치로부터 사용자의 시선 방향을 추정하였다. 움직이는 사람에 대해 시선 방향 추정 실험을 하여, 개발한 양안 아이 트래커의 성능을 검증하였다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소 및 서울대학교 비행체특화 연구센터의 “헤드/아이 트래커 통합기술 연구” 연구 수행 결과입니다. 관계 기관의 지원에 깊은 감사사를 드립니다.

참고문헌

- [1] Morimoto C. and et al. "Detecting Eye Position and Gaze from a Single Camera and 2 Light Sources", IEEE ICPR, 2002.
- [2] Mitsugami I. Ukita N. and Kidode M. "Estimation of 3D Gazed Position Using View Lines", IEEE ICIAP, 2003.
- [3] Shih S. and Lo T. "A Bi-directional Visual Stereo Interface for Accessing Stereo Matching Results from a Human Brain", IEEE ICPR, 2002.