

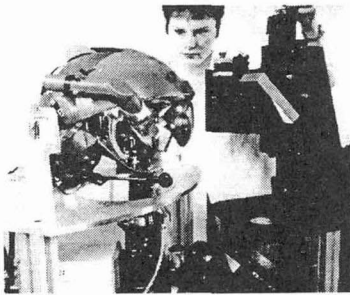
HMD를 위한 아이트래커 시스템 개발

Detecting and Tracking an Eyes for HMD(Helmet Mounted Display)

홍진성*, 방효충(한국과학기술원)

1. 서 론

사람의 눈은 주위를 관측할 수 있도록 되어 있는 기관이다. 이때 사람이 주위의 어떤 물건을 살펴 볼 때에는, 그 부분을 망막의 한 가운데에 놓고 바라보게 된다. 또한, 눈이 보고 있는 방향은 사람이 의도하는 방향과 같다고 볼 수 있다. 이 사실을 이용하면, 사용자의 응시 방향을 추적하여 사용자가 무엇을 바라보고 있는지에 대한 정보를 알아낼 수 있다.[1] 사용자의 응시점 추적(Gaze Tracking)은 군용으로 전투기 조종사의 시선 추적을 통한 목표물 포착에 응용될 수 있는 중요한 기반 기술일 뿐만 아니라 민수용으로는 가상현실용 시뮬레이터 및 장애인용을 위한 대체 입력 시스템에 응용될 수 있고, 또한 현재 그 이용 빈도가 높아지고 있는 추세이다.



<그림 1> 아이 트래커를 HMD (Helmet Mounted Display)에 응용한 사례

아이 트래커(Eye Tracker)는 기본적으로 눈의 응시점을 추적하는 것이므로, 눈의 정보를 얻을 수 있는 장비가 필요하다. 본 논문에서

는 눈에서 반사되어 나오는 적외선을 이용하여 눈의 정보를 얻고자 한다. 적외선을 사용하여 영상에서 동공의 위치를 찾는 방법은 Green(1992), Williams과 Hoekstra(1994)에 의해 개발되었다[2]. 이 방법은 동공이 근적외선 영역대역(약 800nm ~ 1000nm)의 빛에 대해 반사를 잘 시킬 수 있는 물질로 이루어져 있다는 것을 이용한 것이다. 또한 적외선을 눈에 주사하면 적외선 광원이 눈에 반사되어 (Corneal Reflection 또는 Glint) 나타나고, 두 가지 현상 모두 영상에서 주변보다 뚜렷하게 나타나는 경향이 있다. 본 논문에서는 이와 같은 현상을 이용하여 카메라로부터 획득한 영상정보를 이용, 영상에서 동공과 각막반사점(Glint)의 위치를 추정하는 방법을 제시하고, 향후 HMD에 이용하는 기술의 기본기술로 사용하고자 한다.

2. 동공영역 추출(Extraction) 및 추적(Tracking) 기법

가) 영상에서 동공영역 추출(Extraction)

카메라 영상에서 쉽게 동공영역을 추출하고 추적하기 위해 적외선을 이용한다. 이때 적외선 광원을 카메라의 어느 부분에 부착하는지에 따라 획득한 동공의 영상이 달라지는데, 부착하는 위치는 보통 카메라의 중심축과 중심축을 벗어나는 위치로 구분할 수 있다. 카메라와 동일한 축에 부착되어 있는 적외선 광원을 안구에 비추면, 빛은 동공을 통해 들어간 망막에서 반사되어 동공을 통해 다시 빛의 근원지로 돌아온다. 따라서 광원이 카메라와 동일한 축으로 되어 있다면 영상에서의 동공은 어두운 배경에 비해 밝게(<그림 2>) 나

타나고 반대로 눈이 카메라 중심축과 다른 축에서 발사된 빛에 비춰진다면 동공의 이미지는 배경보다 어둡게(<그림 3>) 나타난다[3].

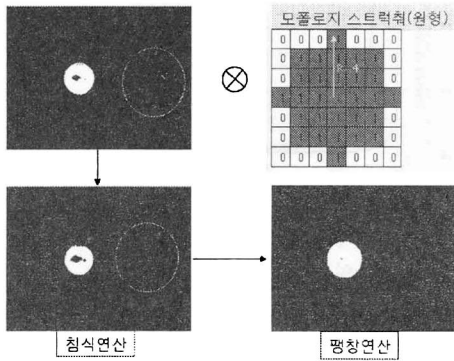


<그림 2>
Odd Image



<그림 3>
Even Image

위와 같은 두 장의 영상을 아주 짧은 시간동안 연속적으로 획득한 후 차분영상(Difference image)을 만들면, 동공 색과 비슷한 눈썹 등이 영상에서 비교적 나타나지 않도록 할 수 있어 실제의 동공영상만을 획득할 수 있다. 만약, 차분영상에서도 동공 이외의 잡음이 존재한다면 모폴로지(Mopology) 기법을 통하여 나머지 잡음을 없앨 수 있다(<그림 4>).



<그림 4> 모폴로지 연산을 이용한 잡음 제거

2) 동공 추적(Tracking)

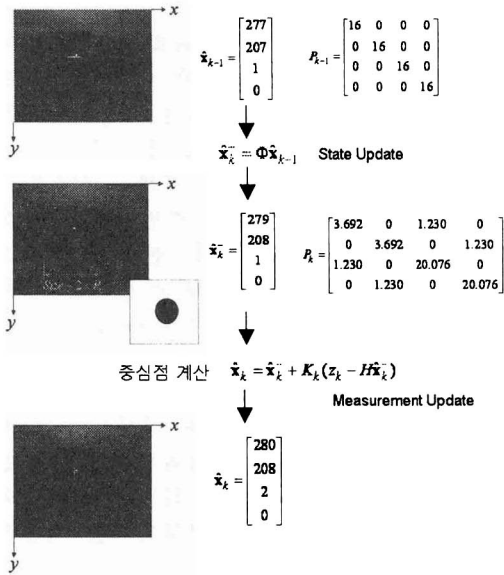
차분영상은 매 프레임마다 바로 전 프레임의 영상을 이용하기 때문에 카메라의 영상획득 속도(FPS, Frame Per Second)와 같다. 즉, 매 프레임마다 동공영상을 획득할 수 있고, 동공이 각 영상에서 어느 곳에 있는지 파악할 수 있으면 동공의 움직임을 추적할 수 있다. 하지만, 실제 영상은 768×494(사용 카메

라에 의존함) 픽셀로 이루어져 있어서, 매 프레임마다 차분영상을 얻기 위해 768×494 픽셀의 차이를 계산하고, 동공의 위치를 계산하는 것은 빠른 속도를 요구하는 영상처리에서 단점으로 작용한다. 그러므로 실시간 영상처리를 위해서는 영상의 모든 픽셀을 이용하기 보다는, 동공이라 예상되는 주변영역만 계산하여 시간을 단축해야 한다. 본 논문에서는 시간 단축을 위해 칼만필터를 이용하였다. 칼만필터는 사용자가 제시한 모델과 실제 측정된 정보를 바탕으로 현재의 동공 위치를 계산할 수 있고, 모델을 통해 다음 프레임의 동공 위치를 추정하여, 그 영역만 계산하면 되기 때문에 영상처리시 빠르게 결과를 얻을 수 있다. 사용된 선형모델은 영상의 현재 위치와 속도를 고려한, 위치-속도 선형모델을 이용하였다.

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \Phi \hat{\mathbf{x}}_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

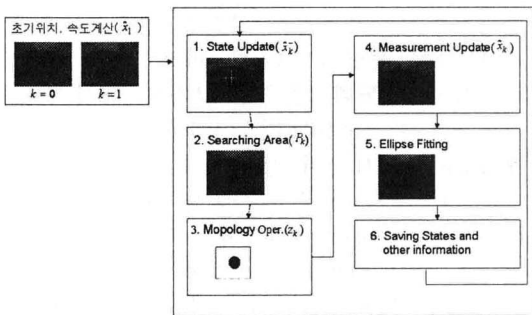
$$\mathbf{y}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_k \quad (2)$$

이때 시간변화(Δt)는 영상의 프레임변화와 같으므로 $\Delta t=1$ (단위 : 프레임)이라 할 수 있고, 획득한 영상 중, 동공 주변이라 판단되는 영역에서 동공 위치(x, y)만을 측정할 수 있으므로 \mathbf{y}_k 를 식(2)와 같이 구성하였다. 칼만필터에서 공분산값(Error Covariance)은 동공 주변의 크기를 설정하는 역할을 한다. 이때 공분산 값이 동공의 크기에 비해 작은 값이므로, 실험을 통해 동공의 크기를 대략적으로 계산하여 이 값(Size)을 더하여 사용한다. 이때 Size는 카메라의 성능에 의해 정해지는데, 카메라의 초당 영상 획득속도(FPS)가 빠르면 빠를 수록 Size값이 작아질 수 있다. 다음 <그림 5>는 칼만필터를 실제 동공영역의 추적에 어떻게 사용하고 있는지를 나타낸다.[4]



<그림 5> 칼만필터를 이용한 동공중심 위치 계산

한편, 눈이 깜박이는 경우는 측정결과가 없기 때문에 칼만필터에서 상태변수를 측정할 수 없다. 본 논문에서는 이 경우, 눈 깜박이는 속도는 상당히 빠르고, 보통사람의 경우 동공의 중심위치는 눈을 깜박이더라도 크게 변하지 않는다고 가정하였다. 눈이 깜박이면 영상에서 동공의 크기가 줄어드는데, 이때 기준치 이상으로 줄어들면 눈이 감졌다고 판단, 그때의 측정결과는 바로 전 프레임에서의 상태변수와 같은 값을 사용 하였다. <그림 6>은 전체적인 동공추적의 흐름도를 나타낸 것이다[5].

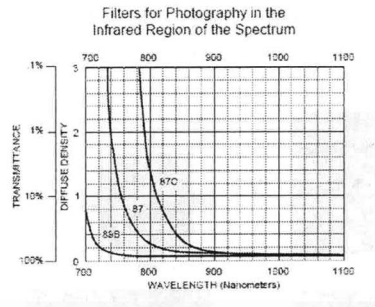


<그림 6> 동공추적 흐름도

한편, 칼만필터를 이용하기 위해서는 초기의 중심위치 및 속도를 구해야 하므로, 동공이 확연이 파악되는 영상 두 장이 필요하다(캘리브레이션 단계). 이 초기위치와 초기속도를 가지고, 그 이후에는 연속적으로 동공추적 알고리즘이 실행이 된다.

3. 실험장치 구성

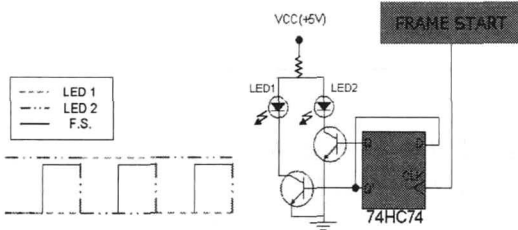
동공 영상을 획득하기 위한 입력장치로는 적외선 카메라(SONY VCC S70E2IR, 30FPS, 해상도 768H×494V)를 사용하였다. 적외선 카메라는 근적외선 파장대역에 민감하게 설계되었으므로, 실험에 사용된 적외선 영역을 구별하기 위해서는 다른 파장대역을 차단할 수 있는 필터가 필요하다. 이를 위해 800nm 이하의 파장을 차단할 수 있는 필터(Kodak WRATTEN No.87)를 사용하여 카메라 렌즈 앞부분에 부착하였다.



<그림 7> Kodak WRATTEN 필터의 적외선 통과 대역

카메라에 부착한 적외선 LED로는 880nm 파장대역의 적외선을 방출할 수 있는 Knowledge-on 사의 OPE-5688를 사용하였고, 각 LED는 앞서 언급한 효과를 얻기 위하여 카메라 렌즈 중심과 카메라 바깥쪽에 각각 부착하였다. 카메라 렌즈 중심에 부착된 LED를 켜면 동공부분에서 반사되어 나오는 적외선에 의해 밝은 영상(Odd Image)을 얻을 수 있고, 카메라 바깥쪽에 부착된 LED를 켜면 어두운 영상(Even Image)을 얻을 수 있다. 두 개의 적외선은 직접 눈에 방사되므로, 눈을 보호할 수 있도록 적외선 LED에 흐르는

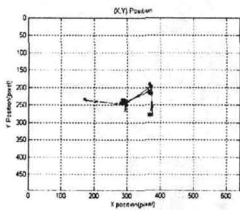
전류를 제어해 주어야 한다. 이때 적외선 방사량이 $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 이하이면 눈에 피해를 주지 않고[5], 두 개의 적외선 LED를 순차적으로 ON/OFF 시키기 위해 D-Type 플립플롭(74HC74)를 이용하여 각 프레임 신호가 들어올 때마다 반복되어 LED가 ON/OFF가 되도록 아래와 같이 구성하였다.



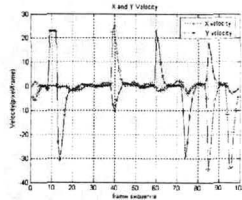
<그림 8> 적외선 LED ON/OFF 제어기

4. 실험결과

카메라로부터 영상을 획득한 후, 후 처리에서 칼만필터 알고리즘을 이용하여 동공의 위치를 추적하였다. 100 프레임의 연속된 영상을 이용하여 처리한 결과 다음과 같이 영상에서 동공의 움직임을 추적할 수 있었다. <그림 9>는 칼만필터를 적용한 후의 동공의 중심위치를 나타낸다. 동공이 (300,250)의 위치에서 왼쪽 방향 및 오른쪽 방향으로 움직였다는 것을 알 수 있다. <그림 10>에서는 각 프레임별로 동공 중심위치의 변화 속도를 나타내고 있다. 약 10프레임에서 X속도는 거의 0이고, Y축 속도가 급격하게 변화하는 것으로 보아 동공이 위를 향하고 있다가 아래쪽으로 향하는 것임을 확인할 수 있다.



<그림 9> 동공 중심 위치



<그림 10> 동공 중심위치의 이동속도

5. 결론

본 논문에서는 HMD를 위한 아이트래커 개발의 기초적인 연구로써, 획득한 영상데이터에서 동공의 위치를 추출하고, 칼만필터를 이용하여 동공의 중심 위치를 추적하는 연구를 수행하였다. 실험결과를 바탕으로 향후 실제적인 눈의 응시방향을 계산하고, 헤드트래커와 통합하여 조종사의 HMD에 적용할 수 있도록 연구할 예정이다.

6. 후기

본 연구는 서울대학교 비행체 특화 연구센터의 헤드/아이 트래커 통합기술 연구 사업의 일환으로 진행 중인 “아이 트래커 시스템 설계”의 연구결과이며 관계기관의 지원에 깊은 감사를 드립니다.

7. 참고문헌

- [1] 김도형, 유동현, 정명진, “HCI를 위한 눈 응시방향 추적시스템 개발”, 대한전기학회, 1999.
- [2] Jason S. Babcock and Jeff B. Pelz Rochester Institute of Technology, “The Wearable Eyetracker : A Tool for the Study of High-level Visual Tasks”, February 2003.
- [3] Yoshinobu Ebisawa, “Improved Video-Based Eye-Gaze Detection Method”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, VOL. 47, No. 4, August 1998
- [4] Qiang Ji, Xiaojie Yang, “Real-Time Eye, Gaze, and Face Pose Tracking for Monitoring Driver Vigilance”, Real-Time Imaging, 2002.
- [5] Andrew Fitzgibbon, Maurizio Pilu and Robert B. Fisher, “Direct least Square Fitting of Ellipses”, December 1998.
- [6] Jason S. Babcock, Jeff B. Pelz, “Building a lightweight eyetracker”, Rochester Institute of Technology.