

논문 2008-45SP-2-6

# HMD(Head Mounted Display)에서 시선 추적을 통한 3차원 게임 조작 방법 연구

( A Study on Manipulating Method of 3D Game in HMD Environment  
by using Eye Tracking )

이 의 철\*, 박 강 령\*\*

( Eui Chul Lee and Kang Ryoung Park )

## 요 약

최근에 휴먼 컴퓨터 인터페이스 분야에서 사용자의 시선 위치를 파악하여 더욱 편리한 입력장치를 구축하고자 하는 연구가 많이 진행되고 있다. 하지만 복잡한 하드웨어 구성으로 제품의 가격이 매우 비싸고, 까다로운 사용자 캘리브레이션 과정으로 인해 시스템의 사용에 어려움을 겪는다. 본 논문에서는 HMD(Head Mounted Display)에 USB 카메라와 적외선을 반사시키는 hot-mirror와 적외선 조명을 이용한 시선 추적 모듈을 부착하고, 이를 통해 획득한 눈 영상의 2차원적인 분석과 간단한 사용자 캘리브레이션 과정을 통해 시선 위치를 파악하는 방법을 제안한다. HMD는 사용자의 얼굴 움직임과 함께 움직이므로, 얼굴 움직임에 영향을 받지 않는 시선 추적 시스템을 구현할 수 있다. 또한, 시선 추적 시스템을 3차원 1인칭 슈팅 게임에 적용하여, 캐릭터의 시선 방향을 조정하고, 적 캐릭터를 조준하여 사격이 가능하도록 하여, 게임의 몰입감과 흥미성을 높일 수 있게 하였다. 실험 결과, 한 대의 데스크톱 컴퓨터 환경에서 게임과 시선 추적 시스템이 실시간으로 동작 가능했으며, 약 0.88°의 시선 위치 추출 오차를 보였다. 또한 3차원 1인칭 슈팅게임에서 일반 마우스의 역할을 시선 추적 시스템이 문제없이 대신할 수 있음을 확인하였다.

## Abstract

Recently, many researches about making more comfortable input device based on gaze detection technology have been done in human computer interface. However, the system cost becomes high due to the complicated hardware and there is difficulty to use the gaze detection system due to the complicated user calibration procedure. In this paper, we propose a new gaze detection method based on the 2D analysis and a simple user calibration. Our method used a small USB (Universal Serial Bus) camera attached on a HMD (Head-Mounted Display), hot-mirror and IR (Infra-Red) light illuminator. Because the HMD is moved according to user's facial movement, we can implement the gaze detection system of which performance is not affected by facial movement. In addition, we apply our gaze detection system to 3D first person shooting game. From that, the gaze direction of game character is controlled by our gaze detection method and it can target the enemy character and shoot, which can increase the immersion and interest of game. Experimental results showed that the game and gaze detection system could be operated at real-time speed in one desktop computer and we could obtain the gaze detection accuracy of 0.88 degrees. In addition, we could know our gaze detection technology could replace the conventional mouse in the 3D first person shooting game.

Keywords : Eye Tracking, 3D game, Head Mounted Display

학생회원, 상명대학교 컴퓨터과학과  
(Department of Computer Science, Sangmyung University)

\*\* 정회원, 동국대학교 전자공학과  
(Department of Electronic Engineering, Dongguk University)

※ 이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-331-D00421).

접수일자: 2006년11월2일, 수정완료일: 2008년2월26일

## I. 서 론

사용자의 안구운동을 분석하여 시선 위치를 실시간으로 추적함으로써 기존의 방법들보다 자연스럽게 편리한 입력장치를 구현하려는 연구는 많은 발전을 해 오고 있다<sup>[1~6]</sup>. 이러한 시선 추적 인터페이스 방법이 가지는 장점은 여러 가지가 있다. 첫 번째로, 시선 추적 인터페이스 방법은 기존에 널리 사용되는 마우스의 작동방법과 유사한 프로토콜을 가지고 있어, 사용자의 자연스러운 컴퓨터 사용을 가능하게 하며, 조작 방법을 큰 어려움 없이 숙지할 수 있다. 두 번째로, 손을 사용하는 키보드나 마우스 등의 입력 장치들에 비해 컴퓨터를 동작시키는 속도를 매우 빠르게 할 수 있다<sup>[2~4]</sup>. Yamato의 연구에서는 일반적인 데스크톱 컴퓨터 사용 환경에서 21인치 모니터의 좌측상단에서 우측하단을 바라볼 때 걸리는 시간이 150ms라고 보고한 바 있다<sup>[4]</sup>. 세 번째로, 시선 추적 인터페이스는 손이 불편한 사용자에게 컴퓨터를 사용할 수 있는 다른 방법을 제공한다는 장점도 있다.

기존의 시선 추적 시스템은 구현 방법에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다. 피부전극(skin electrode)을 이용한 방법, 콘택트렌즈를 이용한 방법, 데스크톱 기반 방법, 머리 착용식(head mounted) 구현 방법이 그것들이다.

피부전극을 이용한 방법은 피부전극을 눈 주위에 부착하여, 망막과 각막 사이의 전기적인 차이의 지속적인 측정을 통해 안구의 회전량을 추정하여, 시선 위치를 계산해내는 방법이다<sup>[7]</sup>. 이 방법은 피부전극을 양 눈 주변에 모두 부착하면, 양 눈의 시선 위치를 함께 계산할 수 있으며, 비용이 저렴하다는 장점이 있다. 하지만 사용자가 거부감을 느낄 수 있으며, 얼굴의 움직임이 제한적이고, 정확도가 떨어진다는 단점이 있다.

콘택트렌즈를 이용한 시선 추적 방법은 미끄러지거나 이동이 없는 콘택트렌즈를 각막면에 착용하여 시선 위치를 추정하는 방법으로, 렌즈 면에는 마그네틱 코일이나 거울 역할을 할 수 있는 추가적인 장치가 부착되어 있어야 한다<sup>[8]</sup>. 이 방법의 장점은 사람의 눈의 자연적인 움직임에 기반을 둔 정확한 데이터를 취득할 수 있다는 것이지만, 사용자 측면에서 매우 불편하고 거부하며, 눈 깜빡임에 치명적이고, 안구의 움직임에 대해 제한된 영역에 대해서만 측정이 가능하다는 단점이 있다.

데스크톱 기반 방법은 일반적으로 사용되는 개인용 컴퓨터 환경에 조명과 카메라를 장착하고 사용자의 얼굴 및 눈의 움직임을 카메라로 취득하여 시선 위치를

파악하는 방법이다<sup>[9]</sup>. 이 방법은 설치가 용이하고, 다른 컴퓨터에서도 손쉽게 옮겨 사용할 수 있다는 장점이 있지만, 얼굴 움직임이 자유롭지 못하며, 이것을 극복하기 위해서는 얼굴 움직임에 따른 카메라의 방향이 바뀌어야 하기 때문에 광각 및 협각 카메라와 pan-tilt 장비를 사용해야 하므로 가격이 비싸다는 단점이 있다<sup>[10]</sup>.

마지막으로 머리 착용식 구현 방법은 모자나 머리띠, 헬멧 등의 장치에 작은 카메라와 조명을 장착하여 사용자의 눈 영상을 취득하고, 조명 패턴이나 카메라를 통해 취득된 영상과 눈 영상의 상대적인 관계를 고려하여 시선 위치를 추정하는 방법이다<sup>[11, 27~35]</sup>. 이 방법은 사용자의 얼굴 움직임에 따라 머리 착용 장치에 장착되어 있는 카메라나 조명도 함께 움직이기 때문에 얼굴 움직임이 비교적 자유롭다는 장점이 있다. 하지만, 얼굴 움직임 추적을 위해 다중 카메라나 여러 개의 조명을 사용해야 함으로서 시스템이 복잡해지고<sup>[30~32, 34, 35]</sup>, 카메라와 모니터, 안구 사이의 3차원적인 분석이 필요한 경우에는 복잡한 카메라 캘리브레이션이 선행되어야 한다는 단점이 있다<sup>[28~29]</sup>. 특히 기존연구에서는 시선 추적을 위해 모니터의 구석에 4개의 적외선 조명을 부착하여 사용하였으며<sup>[30~32]</sup>, 또다른 기존연구에서는 얼굴 움직임 추적을 위해 사용자가 착용하는 스테레오 안경의 전면에 4개의 적외선 조명 혹은 위치 추적 센서를 부착하고, 적외선 조명을 사용하는 경우는 조명을 패턴을 촬영하기 위한 외부 카메라를 추가로 사용하였다<sup>[34~35]</sup>.

머리 착용식 구현 방법은 위와 같이 모자나 머리띠, 헬멧 등의 장치를 사용할 수도 있지만, 최근에는 HMD(Head Mounted Display) 환경에서 시선 위치를 추적하는 방법들이 연구되고 있다. 이 방법은 위의 머리 착용식 구현 방법처럼 얼굴의 움직임을 계산하기 위해 전방향을 촬영하는 카메라 또는 조명 패턴이 필요하지 않고, 얼굴 움직임의 변위와 같이 움직이는 모니터를 이용하기 때문에 구현이 매우 간단하다. 기존의 HMD 환경에서 시선 추적 시스템에 대한 연구<sup>[11]</sup>를 보면, 눈 영상을 취득하는 카메라와 조사용 조명만을 사용하여 시스템을 구현하고, 간단한 사용자 캘리브레이션 단계를 거친 후 시선 추적이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 사용자가 HMD의 화면을 보는데 지장을 주지 않기 위해 HMD의 하단에 카메라를 부착하여, 눈과 카메라 사이의 거리가 멀어져서 전체적인 시선 추적의 해상도가 떨어지는 문제점이 있다. 또한 카메라가 HMD의 하단에 부착되어 있어서, 눈을 촬영하기 위해서는 카메라가 기울어져야 하므로, 눈 움직임의 상하

움직임에 대한 해상도가 떨어진다는 단점이 있다<sup>[11]</sup>.

본 시스템에서는 HMD의 화면 전면에 시선 추적 모듈을 장착하고, 이를 통해 취득된 눈 영상을 영상처리 과정을 거쳐서 사용자의 시선 위치를 파악하는 시스템을 제안한다. 시선 추적 모듈은 USB(Universal Serial Bus) 방식의 카메라 1대, 적외선 조명 1개 그리고 750nm이상의 적외선 파장대만을 반사시키는 hot-mirror로 구성되어 있으며, '사람이 임의의 한 곳을 응시할 때 양쪽 눈은 같은 곳을 응시한다'는 일반적인 특징을 이용하여, 한 쪽 눈만을 시선 추적에 사용하여 처리시간을 단축시켰다. 위의 시스템을 적용한 결과, hot-mirror의 반사를 통해 눈 영상을 취득함으로써, 기존의 HMD환경에서의 시선 추적 장치<sup>[11]</sup>의 문제점인 눈 영상의 움직임 해상도가 떨어지고, 특히 상하 움직임에 민감하지 못한 부분을 해결할 수 있었다<sup>[27, 33~35]</sup>.

위의 시선 추적 장치를 통해 취득된 눈 영상은 원형 검출 알고리즘과 지역적 이진화를 통해 동공 중심을 추출하고, 사용자 캘리브레이션을 통해 획득한 기준점들과 모니터 평면 사이의 기하학적 관계를 변환 행렬로 표현하며, 동공 중심 좌표와 변환 행렬의 곱을 통해 모니터상의 현재 시선 위치를 계산할 수 있었다.

## II. 시선 추적을 위한 장치

### 1. HMD (Head Mounted Display)

본 시스템 사용자는 머리에 착용하는 HMD를 통해 일반적인 모니터와 같은 화면을 볼 수 있다. HMD를 통해 화면을 보는 동안 HMD의 전면에 부착되어 있는 시선 추적 모듈을 통해 사용자의 눈 움직임을 동영상으로 받아들인다. HMD는 사용자의 머리에 착용하기 때문에 머리가 움직인 범위만큼 모니터 화면도 함께 움직이게 된다. 그러므로 머리의 움직임에 관계없이 HMD에 부착된 시선 추적 모듈을 통해 눈 영상을 취득할 수 있었다. 본 연구에서 사용한 HMD(iglass-SVG3D)는 다음과 같은 특성을 가진다<sup>[12]</sup>.

- 화면 해상도 : 800(가로)×600(세로) 픽셀
- Diagonal FOV (Field of View) : 26°

### 2. 시선 추적 모듈

본 연구에서 제안하는 시선 추적 모듈은 크게 세 가지의 장치로 구성된다. PC에서 일반적으로 사용하는 USB 방식의 화상카메라와 적외선 조명, 그리고 적외선 파장대(750nm 이상)를 반사하고 가시광선 파장대는 투

과시켜 주는 hot-mirror가 그것이다. 이들 장치의 사양은 아래와 같다.

- USB 카메라<sup>[13]</sup>
  - 센서 : CCD(Charge Coupled Device) 센서
  - 영상 크기 : 640(가로)×480(세로)픽셀
  - 캡처속도 : 15프레임/초
- 가시광선 차단(적외선 투과) 필터(카메라 렌즈 전면에 부착)<sup>[14]</sup>
  - 투과파장대 : > 750nm
  - 반사파장대 : < 750nm
- 적외선 조명
  - 조사각 : 36도 (가로, 세로)
  - 파장대 : 880nm
- Hot mirror
  - 크기 : 30mm(가로)×30mm(세로)×0.5mm(두께)
  - 투과파장대 : < 750nm
  - 반사파장대 : > 750nm

제안하는 시선 추적 모듈은 그림 1과 같은 구조를 가진다. 사용되는 카메라는 USB 방식으로 640×480의 공간해상도에서, JPEG 5:1 압축을 적용하고, USB 1.0에서 초당 15프레임의 동영상만을 캡처할 수 있다는 전송속도의 한계가 있지만<sup>[13]</sup>, Frame Grabber와 같은 ADC(Analog to Digital Convertor) 장치를 필요로 하지 않기 때문에, 전체 시스템의 소형화 및 경량화 측면에서 매우 적합하다. 또한 초당 15프레임(프레임당 66ms)의 동영상 캡처 속도는 본 논문에서 제안하는 시선 추적 알고리즘을 영상 한 프레임에 대해 적용하여 처리하는 시간(CPU 2.4GHz, Memory 1GB에서 40ms)에 적합한 속도이다.

또한, 눈 영상을 획득할 때 뚜렷한 동공의 경계를 가지고, 외부광의 영향을 받지 않는 일정한 밝기의 영상을 얻기 위해서, 일반적으로 카메라 내부에 존재하는 '적외선 차단필터'를 제거하고, 이 자리에 '적외선 투과필터'를 삽입하였다. 일정한 밝기의 영상은 제안하는 알고리즘에서 지역적 이진화를 수행 시, '안정적인 이진화 임계치를 정해줄 수 있다'는 측면에서 매우 중요한 요소이다.

적외선 조명은 그림 1과 같이 카메라의 측면에 눈을

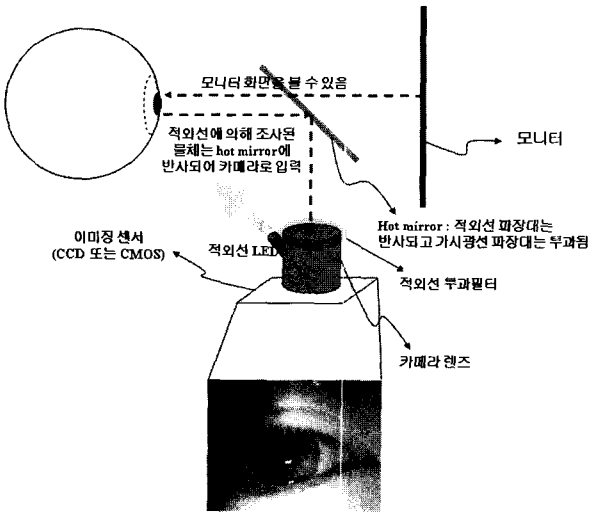


그림 1. 시선 추적 모듈 구조 [27, 33~35]  
 Fig. 1. Details of proposed gaze tracking module. [27, 33~35]

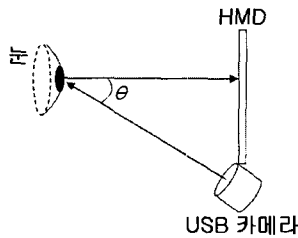


그림 2. 카메라와 눈의 시선 방향이 이루는 사이 각 (θ)<sup>[11]</sup>  
 Fig. 2. The angle between a normal vector of camera lens and a gaze direction. [11]

향하도록 부착하였다. 조명이 hot-mirror의 중심부에 반사될 경우 조명의 반사광(specular reflection)이 발생하여, 동공 추출 시 치명적인 오차를 유발할 수 있으므로, hot-mirror의 외곽부에 반사되어 카메라에 specular reflection이 취득되지 않도록 조명을 부착하였다.

본 연구에서는 기존의 연구<sup>[11]</sup>와는 다르게 hot-mirror를 통해 적외선 조명에 의해 조사된 눈 영상을 반사시켜서 카메라로 취득하게 된다. 기존 연구<sup>[11]</sup>에서는 그림 2와 같이 HMD 모니터 하단에 카메라를 부착하여 사용자 눈을 관측했으며, 이처럼 카메라가 HMD하단에서 눈을 촬영하기 위해 기울어져 있을 때, 눈의 상하 움직임에 대해 해상도가 떨어지는 문제점이 있었다. 그러므로 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 750nm 이상의 적외선 파장대를 반사시키고 그 미만 파장대의 가시광선은 투과시키는 hot-mirror를 사용하여, 사용자가 가시광선에 의해 조사된 물체는 볼 수 있고, 적외선에 의해 조사된 눈은 반사시켜서 카메라를 통해 영상을 취득할 수 있도록 하는 방법을 제안한다.

위와 같은 방법을 통해, 세로 움직임에 대한 해상도가 가로 방향과 거의 동일한 영상을 취득하여, 시선 추적 시 동공의 움직임에 대해 민감하게 반응하는 결과를 얻을 수 있었다. 결과적으로는 기존의 연구에 비해 정확한 시선 위치 추출 정확도를 얻을 수 있었다.

### III. 시선 위치 추정 방법

본 연구에서는 시선 위치를 추정하기 위해서 정확한 동공의 중심을 검출하는 새로운 방법을 제안한다. 그리고 이를 바탕으로 눈 영상에서의 사용자의 동공중심이 모니터상에 어느 위치를 보는지를 판단할 수 있도록 눈 영상과 모니터 면의 관계를 설정하는 사용자 캘리브레이션 과정을 진행한다. 또한 눈 깜빡임을 측정하여, 눈 깜빡임 시 시선 추적에 사용할 수 없는 영상을 찾아내서 예외 처리를 진행한다.

#### 1. 동공 중심 추출

본 연구에서는 동공의 중심을 검출하기 위해서 1차적으로 원형 검출 알고리즘을 통해 초기 동공 영역을 검출한다. 위의 과정을 통해 대략적인 동공 영역을 검출하게 되면, 이 위치를 중심으로 일정 크기의 작은 영역에 대해 지역적 이진화를 수행하므로써 동공의 정확한 중심을 구할 수 있다.

#### 가. 원형 검출 알고리즘을 통한 초기 동공 중심 검출

Daughman의 연구에서는 홍채인식을 위해, 홍채와 동공의 경계를 찾을 때 원형 검출 알고리즘(Circular Edge Detection)을 사용하였다<sup>[15]</sup>. 원형 검출 알고리즘은 반지름의 차이가 작은 두 개의 원이 반지름의 크기를 변화시켜 가면서 영상 전체를 탐색하여, 두 개의 원에 해당하는 픽셀값들의 차이가 가장 큰 부분을 원으로 판단하고 추출하는 방법이다. 이 방법을 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\left[ \max \left( \frac{\delta}{\delta r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right) \right] \quad (1)$$

위와 같이 홍채인식을 위한 영역 추출 과정에서는 대부분의 사용자가 카메라의 렌즈 정면을 응시하므로, 동공이나 홍채가 거의 정확한 원으로 나타나서 위와 같은 방법을 사용하면 정확한 홍채와 동공의 영역을 찾아낼 수 있다.

하지만 본 연구에서는 위의 방법만으로는 정확한 동

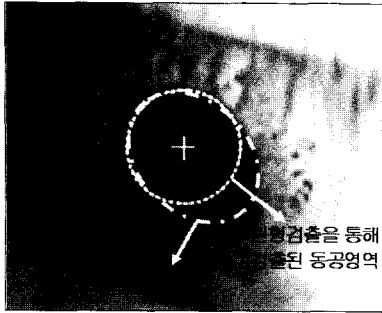


그림 3. 실제 동공영역과 원형 검출 알고리즘을 통해 검출된 동공영역의 차이

Fig. 3. Difference between a real pupil region and a detected pupil region by using circular edge detection.

공의 중심을 찾을 수 없다. 시선 추적을 위해 동공 영상을 카메라를 통해 취득할 때, 사용자의 동공은 지속적으로 움직이고, 동공이 영상의 외곽에 위치할수록, 동공은 그림 3과 같이 타원 모양으로 나타나기 때문이다.

본 연구에서는 초기에 대략적인 동공의 위치를 찾기 위해, 원형 검출 알고리즘을 사용하고 검출된 동공 영역을 중심으로 일정 영역에 대하여 지역적 이진화를 수행함으로써 더 정확한 동공의 중심을 검출 한다. 기존 연구에서는 동공 검출을 위해 원형검출 알고리즘을 사용하지 않고, 이진화와 라벨링 방법만을 사용하였다. 그 결과 눈썹과 그림자에 의하여 동공이 아닌 영역이 검출되는 경우가 있었다<sup>[33]</sup>.

원형 검출을 통한 대략적인 동공 영역 검출의 정확도를 분석하기 위해 본 시스템의 조명과 카메라를 이용하여 50명에게 각각 20장씩 총 1000장의 영상을 획득하였다. 획득한 영상은 동공이 영상의 다양한 부분에 분포시켜 취득하고, 원형검출을 통해 검출된 동공의 중심 및 반지름으로 결정되는 이진화를 위한 대략적인 동공 영역(본 연구에서는 대략적인 동공 영역을 수평(동공 중심 X위치 - 30픽셀~동공 중심 X위치 + 30픽셀) 및 수직(동공 중심 Y위치 - 30픽셀~동공 중심 Y위치 + 30픽셀)로 사용하였음)내에 실제 동공 영역에 포함되는 지를 직접 확인하였다. 그 결과 99.9%의 검출 정확도를 보였다.

나. 지역적 이진화를 통한 상세 동공 중심 검출

기존의 연구에서는, 동공을 추출하기 위해 이진화 또는 라벨링 등의 화소값 기반 영상처리 방법을 사용하였다. 이 방법들은 '동공은 내부가 뚫린 구조로 되어 있으므로 다른 부분보다 현저하게 어둡게 관찰된다<sup>[16]</sup>'는 점을 이용한 방법이다.

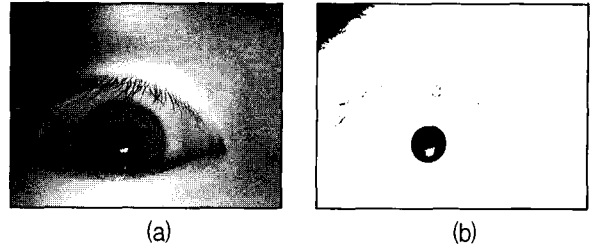


그림 4. (a) 본 시스템에서 취득한 눈 영상, (b) 75를 임계치로 하여 이진화를 수행한 영상

Fig. 4. (a) Acquired eye image through our eye tracking system. (b) Binarized image by using threshold of 75.

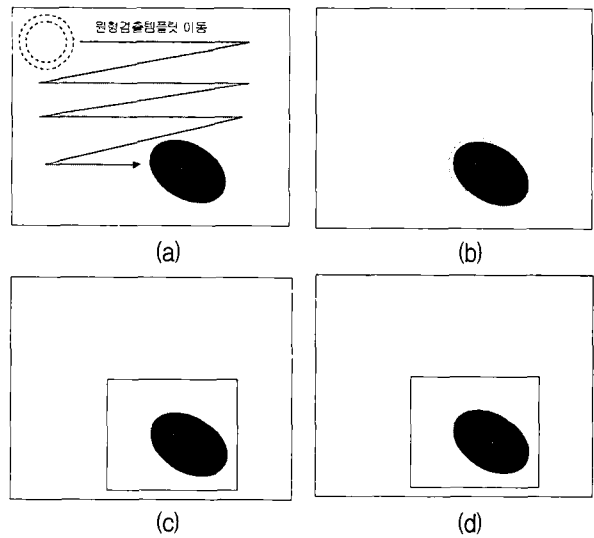


그림 5. 동공 검출 과정<sup>[27, 34~35]</sup>. (a) 원형검출 알고리즘을 수행. (b) 동공의 초기 중심을 구함. (c) 초기 중심을 기준으로 일정 영역에 대해 지역적 이진화를 수행함. (d) 흑화소의 무게중심을 구함으로써, 동공의 정확한 중심을 구할 수 있음.

Fig. 5. Process of detecting a pupil region<sup>[27, 34~35]</sup>. (a) Performing the Circular Edge Detection Algorithm. (b) Calculating the initial center of pupil. (c) Local thresholding in the squared area base initial pupil center (d) Estimating the accurate center of pupil through calculating the centroid of black pixels.

하지만 눈 영상을 보면, 조명이 고르지 못해서 영상의 외곽 부분은 동공을 검출하기 위한 이진화 임계치보다 어두운 화소값이 나타나기도 하고, 눈썹 영역의 경우 또한 마찬가지로 현상이 나타날 수 있다. 또한 조명으로 인해 동공영역에 반사광(glint)이 생길 때, 이진화를 통해 정확한 동공의 중심을 얻을 수 없다는 단점이 있다. 그림 4는 이와 같은 현상을 보여주고 있다.

3.1.가절에서 전술한 바와 같이 원형 검출 알고리즘만으로는 정확한 동공의 중심을 찾을 수 없다. 그러므

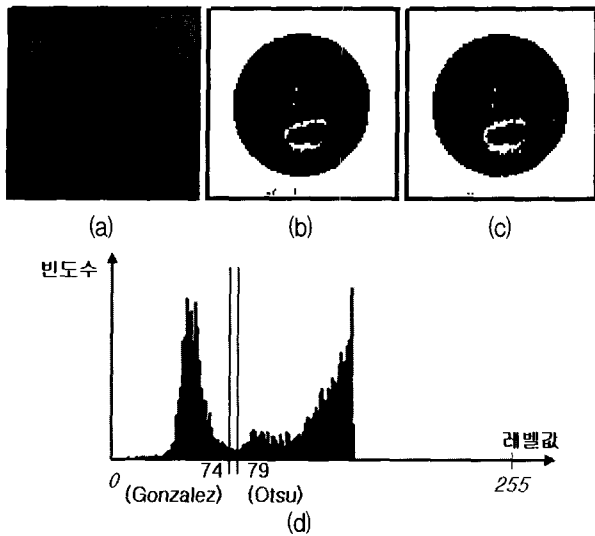


그림 6. (a) 반사광 영역을 레벨값 53으로 채운 원영상. (b) Otsu 방법<sup>[19]</sup>으로 구해진 임계치를 통해 이진화한 영상. (c) Gonzalez&Woods 방법<sup>[20]</sup>으로 구해진 임계치를 통해 이진화한 영상. (d) (a)영상에 대한 히스토그램과 각각의 방법으로 구해진 임계치.

Fig. 6. (a) An Image after replaced 53 with specular reflected region. (b) Binarized image by using the threshold through Otsu method<sup>[19]</sup>. (c) Binarized image by using the threshold through Gonzalez & Woods method<sup>[20]</sup>. (d) Histogram of image (a) and the threshold values through each methods.

로 본 연구에서는 '동공이 타원일 경우 원형 검출 알고리즘만을 가지고는 동공의 정확한 중심을 찾을 수 없다'는 문제점을 개선하기 위해 지역적 이진화 방법을 통해 정확한 동공의 중심을 검출하고자 한다.

그림 5의 (a)와 (b)의 그림은 3.1.1절에서 진행한 원형 검출 알고리즘 과정을 대략적으로 나타낸 것이다. (b)까지의 과정이 끝나면 검출된 동공 중심을 기준으로 일정 크기의 사각 범위 내에서 이진화를 수행하게 된다.

위의 과정을 통한 동공 검출 결과 초기 동공의 중심과 반지름을 알 수 있다. 이 값을 바탕으로 그림 5의 (c)와 같이 사각 영역을 결정하고, 그 안에서만 이진화를 수행하게 된다. 원형 검출을 통해 얻어진 동공의 반지름 값은 타원일 경우 정확하지 않지만, 대략적인 동공의 반지름을 추측할 수는 있다. 본 연구에서는 3.1.1절에서 전술한 대략적인 동공영역(수평(동공 중심 X위치 - 30픽셀~동공 중심 X위치 + 30픽셀) 및 수직(동공 중심 Y위치 - 30픽셀~동공 중심 Y위치 + 30픽셀)) 내에서 이진화를 수행한다.

위에서 정한 사각 영역에 대해 이진화를 수행하기 전

에 눈 영상에서 동공 영역에 반사광이 존재한다면 이를 제거해주는 전처리 과정을 거쳐야 한다. 만약 반사광을 제거하지 않고 이진화를 수행할 경우, 동공의 무게중심 위치가 반사광이 존재하는 곳의 반대편으로 치우쳐서 계산되기 때문이다.

동공에 생기는 반사광은 사람 눈의 각막면에 생기는 것으로, 각막이라는 볼록거울에 생기는 적외선 조명의 상이라고 말할 수 있다. 기존 연구에서는, 사람 눈의 각막면에 생기는 반사광의 밝기를 Phong 모델<sup>[17]</sup>에 근거하여 추정할 바 있다. 이 연구에서는 반사광의 레벨값이 최소 251이지만<sup>[18]</sup>, 본 연구에서는 조명의 세기와 카메라의 셔터속도 등의 조건이 다르므로, 위의 방법을 통해 반사광의 최소 레벨값을 추정하였다. 그 결과, 본 연구가 진행되는 환경에서는 반사광의 최소 레벨값이 203으로 추정되었다.

위와 같은 방법으로 추정된 반사광의 픽셀값과 동공의 픽셀값은 큰 차이가 있으므로, 사각 영역 내에서 레벨값이 203 이상인 픽셀에 대해서는 반사광이라고 생각하고, 실험적으로 얻어진 일반 동공영역의 값으로 대체함으로써, 반사광을 제거할 수 있다. 반사광이 존재하지 않는 동공영역의 밝기값을 구하기 위해, 20명으로부터 각각 10장씩 취득한 눈 영상을 분석한 결과, 밝기 평균은 53.38, 표준편차는 11.43으로 나타났다. 이를 기반으로, 픽셀값이 203 이상인 반사광에 대해서는 53으로 대체하여 반사광을 지우는 효과를 얻을 수 있다.

반사광을 제거한 후, 사각영역 내의 이진화를 위한 적절한 임계치를 결정해야 한다. 사각영역 내에는 그림 6과 같이 어두운 동공 영역과 홍채영역이 존재하게 된다. 이는 영상이 배경과 우리가 구하고자 하는 동공영역이 뚜렷하게 구분되는 이상적인 경우로, 적절한 임계치를 구하는 방법이다. Otsu는 그림 6과 같이 전경과 배경으로 구분되어 두 개의 봉우리 형태의 히스토그램이 나타나는 영상의 임계치를 구하는 방법을 제안하였다<sup>[19]</sup>. 이 방법은 비교적 정확하게 히스토그램의 계곡에 해당되는 위치를 찾아내서 배경과 전경을 분리할 수 있지만, 복잡한 연산으로 인해 실시간으로 동작하는 시스템에 적용하기 힘들다는 단점이 있다.

이런 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 Gonzalez와 Woods가 제안하는 임계치 추정 방법을 사용하였다<sup>[20]</sup>. 이 방법 또한 Otsu의 방법과 마찬가지로 히스토그램에서 두 봉우리 사이의 계곡을 임계치로 정하는 방법이다. 이 방법은 Otsu의 방법처럼 매번 분산값을 구하는 절차가 없으므로 훨씬 더 빠른 시간 내에 임계치를

구할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 임계치를 구하는 방법으로 이 방법을 사용하였다. 단, 동공 영역은 상대적으로 매우 어두운 레벨값을 가지기 때문에 임계치의 값은 80 이상이 될 수 없다고 가정하였으며, 위의 방법을 통해 임계치를 구한 결과값이 80을 넘을 경우에는 80을 임계치로 사용하도록 하였다.

임계치를 통해 이진화된 동공영역을 구한 후 흑화소의 무게 중심을 구하여 동공의 정확한 중심을 구할 수 있다.

2. 눈 깜빡임 측정

카메라를 통해 눈 영상을 취득할 때, 사용자는 눈을 깜빡일 수 있다. 영상 분석을 통해 동공 위치를 추출하고, 이를 기반으로 시선위치를 파악하므로, 눈을 깜빡일 때 취득된 영상은 시선 추적을 위해서 사용할 수 없다.

50명을 대상으로 눈 깜빡임에 대한 연속 영상을 취득하여 분석한 결과 눈 깜빡임은 평균 2.3프레임(15프레임/초 기준)동안 진행되는 것을 알 수 있었다.

눈 깜빡임에 대한 영상은 그림 7과 같이 2~3프레임 정도 진행되어서 시선 추적에 사용할 수 없으므로, 이 프레임에 대해서는 예외처리가 필요하다. 예외처리를 하지 않으면 계산된 시선위치의 연속성이 없어질 것이다. 다시 말해서 사용자의 눈 깜빡임에 의해 시선 위치에 오류가 발생하게 된다.

본 연구에서는 눈 깜빡임을 감지하는 방법을 제안하고, 눈 깜빡임이 발생되었다고 판단될 때, 이전 프레임에서 계산되었던 동공의 중심위치를 현재의 동공 중심 위치로 취하도록 하였다.

눈 깜빡임을 감지하는 방법은 눈을 감았을 때에는 동공이 가려지게 되므로, 이진화를 수행해도 동공의 위치를 추출할 수 없게 된다는 원리를 이용한다. 속눈썹 등



그림 7. 사용자의 눈 깜빡임에 대한 연속영상. (왼쪽에서부터 3번째 ~ 5번째 영상이 제안하는 방법을 통해 눈을 깜빡였다고 판단됨)

Fig. 7. Continuous images about an eye blinking (From the upper left, the 3rd ~ the 5th images are concluded that 'eye blinking state' by proposed method).

의 상대적으로 어두운 부분에 대해서는 이진화를 수행한 후에도 흑화소가 남기는 하지만, 동공영역만큼 넓고 연속적인 영역이 남지는 않는다.

본 연구에서는 원형 검출 알고리즘을 통해 대략적인 동공의 위치를 구한 후, 지역적 위치에 대해 이진화를 수행하게 된다. 지역적 위치에 대해 이진화를 수행할 때에는 임계치보다 낮은 픽셀에 대해서 0값을 할당하면서 그 개수를 세게 된다. 이진화를 위해서는 지역적 영역에 대해서 모든 픽셀이 임계치보다 크거나 작을지를 판단해야 하므로, 눈 깜빡임을 판단하는 절차는 별도의 연산을 필요로 하지 않게 된다는 장점이 있다.

지역적 영역에 대해서 흑화소의 개수가 몇 개 이하이면 눈 깜빡임의 여부에 대한 기준을 세우기 위해 동공의 크기를 분석하였다.

기존의 연구에서, 동공의 지름이 2~8mm 정도며, 주변의 광량과 사람에 따라 크기가 다르다.<sup>[20]</sup> 하지만 같은 광량이라 해도, 사람마다 동공의 크기는 다르다. 그러므로 본 연구에서는 동공의 지름이 2~8mm 사이에

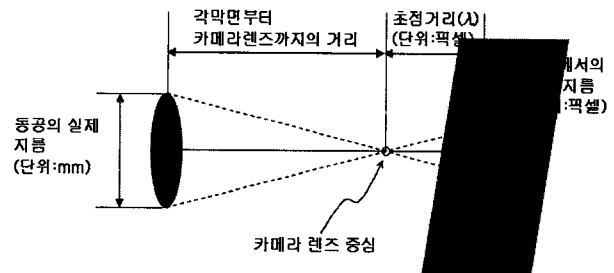


그림 8. 영상에서의 동공 지름을 구하기 위한 모델  
Fig. 8. Scheme in order to estimate the diameter of pupil.

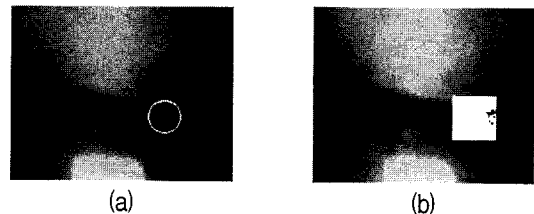


그림 9. (a) 눈을 감았을 때의 영상에 대해 원형 검출 알고리즘을 통해 동공의 중심을 찾은 결과. (b) 원형검출 알고리즘으로 찾은 초기 동공중심과 지름을 기준으로 정한 사각형 영역 안에서의 이진화 결과<sup>[34]</sup>

Fig. 9. (a) When a user blink his(or her) eye, the result of estimated pupil region by using the Circular Edge Detection. (b) The result of local thresholding in squared area base the initial pupil center and diameter by using Circular Edge Detection<sup>[34]</sup>.

서 변화한다고 가정하여, 영상에 취득될 수 있는 동공의 최소크기를 분석하였다.

본 연구에서 사용되는 카메라의 초점거리( $\lambda = f \cdot c$ )는 캘리브레이션을 통해 구한 결과 683픽셀이었다. 또한 HMD를 착용했을 때 사용자의 눈부터 hot-mirror를 거쳐서 카메라 렌즈까지의 거리는 약 35mm이다. 그러므로 그림 8과 같은 방법으로 분석하여, 비례식을 통해서 동공의 최소 지름을 구하면 약 40픽셀이 된다.

이를 근거로 하여, 본 연구에서는 동공의 최소 크기를 1,257픽셀(20픽셀 $\times$ 20픽셀 $\times\pi$ )로 하고, 지역적 이진화의 수행 결과인 흑화소의 개수가 동공의 최소 크기보다 작을 때에는, 사용자가 눈을 감은 상태라고 판단하도록 하였다.

위의 임계치가 적당한지를 알아보기 위해 50명의 사용자로부터 눈을 감았을 때의 영상을 취득하고, 이진화를 수행한 후, 흑화소의 개수를 세어 보았다. 그 결과 평균 흑화소의 개수는 평균 510개이고, 표준편차는 342로 나타났다. 1257픽셀을 넘는 경우는 발생하지 않았다. 이에 대한 영상은 그림 9와 같다.

### 3. 사용자 캘리브레이션과 모니터 좌표로의 사상

취득된 눈 영상으로부터 계산된 동공의 중심좌표가 모니터상의 어느 위치를 응시하는 것인지를 판단하기 위해서는 동공 중심과 모니터 평면사이의 기하학적 위치 관계를 설정해야 한다. 기존 연구에서는 사용자에게 의존적인 캘리브레이션 단계를 수행하게 된다. 이 단계는 9단계에서부터 17단계까지 복잡하게 수행되며<sup>[21~22]</sup>, 사용자들은 불편을 느낄 수 있다. 본 논문에서는 4단계 캘리브레이션을 제안하고, 이 과정을 통해 얻은 4개의 동공 중심 좌표를 모니터 평면에 사상하는 방법에 대해 설명한다.

#### 가. 사용자 캘리브레이션

본 연구에서는 모니터 평면과 동공 중심과의 관계 설정을 위해 모니터의 4개의 꼭짓점을 차례로 바라보는 사용자 캘리브레이션 과정을 거친다. 기존의 연구에서는 3차원 적인 눈의 구조를 2차원적인 영상만을 분석한다는 한계점을 극복하기 위해, 모니터상의 미리 정해진 9~17개의 점을 보는 과정을 통해 정확한 시선 추적을 수행하였다<sup>[21~22]</sup>. 하지만 이는 사용자에게 불편을 초래한다. 또한 사용자의 눈은 미세하게 떨리고, 많은 점을 정확하게 응시할 수 없을 수도 있다. 사용자의 캘리브레이션시 발생하는 오차는 기존의 연구에서도 언급

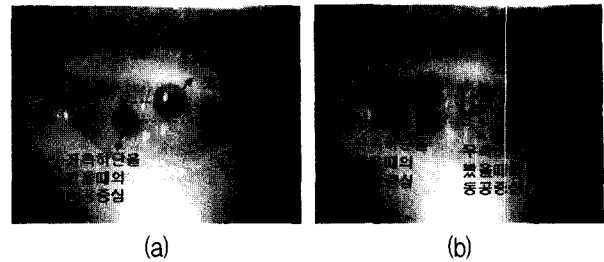


그림 10. 사용자 캘리브레이션 수행 결과 각 단계의 동공 위치를 알 수 있는 합성 영상<sup>[34~35]</sup>. (a) 2단계 캘리브레이션. (b) 4단계 캘리브레이션

Fig. 10. Merged image about each user dependent calibration stage<sup>[34~35]</sup>. (a) 2-stage user dependent calibration (b) 4-stage user dependent calibration

된 바 있다<sup>[23]</sup>. 이를 극복하기 위해서는 캘리브레이션 단계를 최소화하는 것이 필요했기 때문에, 본 논문에서는 단계가 적으면서, 최적화된 4단계 사용자 캘리브레이션을 제안한다.

본 저자의 기존 연구<sup>[11]</sup>에서는, 4단계보다 적은 2단계 사용자 캘리브레이션을 제안한바 있다. 이는 모니터의 우측상단과 좌측하단을 차례로 바라보는 방법으로써, 시선 추적시, 캘리브레이션 단계에서 바라보지 않은 부분(좌측상단과 우측하단)을 응시할 때에는 오차가 커지는 것을 알 수 있었다. 정확도가 떨어지는 이유는 두 점을 본 후 취득된 동공의 중심을 기반으로 나머지 두 점을 그림 10의 (a)와 같이 그 영역이 직사각형이라고 가정하고 추정하기 때문이다.

네 개의 꼭짓점을 봤을 때, 동공의 중심이 이루는 사각형을 직사각형으로 가정하기 때문에, 직사각형인 모니터 평면과는 단순히 선형보간법(Linear Interpolation)으로 사상이 가능하였다. 하지만 실제로 사용자가 모니터의 네 개의 꼭짓점을 응시했을 때 동공의 중심은 그림 10의 (b)와 같이 왜곡된 형태의 사각형으로 나타난다.

그러므로 본 연구에서는 네 단계 캘리브레이션을 진행하여, 정확도를 향상시켰다.(5.2.1 참조)

제안하는 사용자 캘리브레이션 방법은 전술한 바와 같이 모니터의 4개의 꼭짓점을 바라보는 단계로 진행된다. 이렇게 얻어진 4개의 동공중심좌표는 모니터의 4개의 점으로 사상(mapping)되게 된다. 4개의 점이 이루는 사각형은 왜곡되었으므로 선형보간법을 사용할 수 없으며, 다음절에서 제안하는 방법으로 사상을 진행하게 된다.



나. 모니터 좌표로의 사상

사용자 캘리브레이션을 통해 얻어진 4개의 동공 중심좌표를 이어보면 그림 10의 (b)와 같이 왜곡된 형태의 사각형으로 나타난다. 이런 왜곡된 형태의 사각형을 또 다른 형태의 사각형으로 기하학적 관계를 설정해 주기 위해서는 기하학적 변형<sup>[20]</sup> 방법을 사용할 수 있다.

기존의 시선 추적에 관련된 연구<sup>[10]</sup>에서는 모니터 꼭짓점에 달려있는 조명에 의해 생긴 각막면의 반사광의 모양이 왜곡된 사각형임을 밝히고, 이를 모니터 평면에 사상하기 위해, 그림 11에서 보는 바와 같이 복비(Cross Ratio)방법을 사용하였다.

그림 11과 같은 복비 방법은 왜곡된 사각형의 각 변의 연장선의 교점(소점)을 구하고, 이를 통해 복비를 구하는 과정이 있다. 하지만,  $\overline{AB}$ 와  $\overline{CD}$  또는  $\overline{BC}$ 와  $\overline{AD}$ 가 평행일 경우 소점은 생기지 않으며, 이와 같은 경우 복비를 적용할 수 없어서, 다른 방법으로 예외처리를 해야 한다는 문제점이 생긴다.

본 논문에서는 기하학적 변환 (Geometric Transform) 방법을 통해 모니터 평면으로 사상하는 방법을 사용한다<sup>[20, 28~35]</sup>.

그림 12에서 보는 바와 같이 4단계의 사용자 캘리브레이션을 통해 얻어진 4개의 동공 중심 좌표( $C_{x1}, C_{y1}$ ), ( $C_{x2}, C_{y2}$ ), ( $C_{x3}, C_{y3}$ ), ( $C_{x4}, C_{y4}$ )는 기하학적 변환을 통

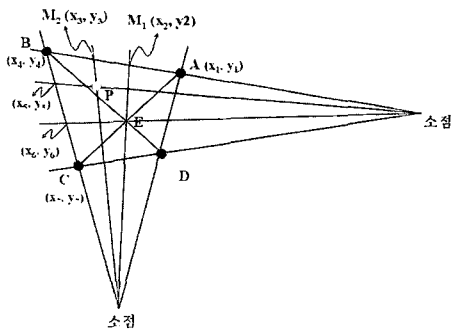


그림 11. 복비의 개념도<sup>[10, 27, 30~32]</sup>  
 Fig. 11. Conceptual Diagram of the Cross Ratio.<sup>[10, 27, 30~32]</sup>

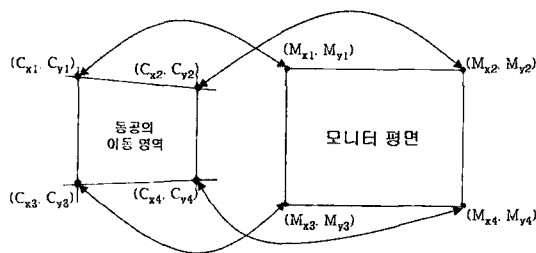


그림 12. 기하학적 변환의 개념도<sup>[28~35]</sup>  
 Fig. 12. Conceptual Diagram of the Geometric Transform.<sup>[28~35]</sup>

해 모니터의 4개의 꼭짓점 좌표( $(M_{x1}, M_{y1})$ ,  $(M_{x2}, M_{y2})$ ,  $(M_{x3}, M_{y3})$ ,  $(M_{x4}, M_{y4})$ )로 각각 사상될 수 있다. 또한 4개의 동공 중심점들을 통해 그려지는 사격형 범위 안의 임의의 점 또한 모니터 평면의 임의의 한 점으로 사상될 수 있다. 이와 같은 기하학적 변환 과정을 설명하면 다음과 같다.

$$m_{x1} = aC_{x1} + bC_{y1} + cC_{x1}C_{y1} + d \quad (2)$$

$$m_{y1} = eC_{x1} + fC_{y1} + gC_{x1}C_{y1} + h \quad (3)$$

식(2), 식(3)을 통해 하나의 동공 중심점은 하나의 모니터 꼭짓점과 관계를 설정할 수 있다.

8개의 미지의 변수 ( $a \sim h$ )를 편리하게 구하기 위해서, 4개의 동공중심과 모니터 꼭짓점 간의 관계를 한꺼번에 행렬형태로 표현하면 식(4)와 같다.

$$M = T \cdot C \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} m_{x1} & m_{x2} & m_{x3} & m_{x4} \\ m_{y1} & m_{y2} & m_{y3} & m_{y4} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & c & d \\ e & f & g & h \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{x1} & c_{x2} & c_{x3} & c_{x4} \\ c_{y1} & c_{y2} & c_{y3} & c_{y4} \\ c_{x1}c_{y1} & c_{x2}c_{y2} & c_{x3}c_{y3} & c_{x4}c_{y4} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

식(4)에서 M행렬은 4개의 모니터 꼭짓점의 좌표를 나타내고, T행렬은 변환을 위한 변수 ( $a \sim h$ )를 나타내며, C행렬은 4개의 동공 중심 좌표를 나타낸다. M과 C는 미리 얻어진 정보를 사용하고, 얻고자 하는 행렬은 T이므로 식(5)와 같이 역행렬을 이용하면 T를 구할 수 있다.

$$MC^{-1} = TCC^{-1} \Rightarrow T = MC^{-1} \quad (5)$$

위의 과정을 통해 구해진 변환행렬(T)과 사용자의 동공중심 위치를 나타내는 행렬(W)의 곱을 거치면 사용자의 현재 응시 위치(G)를 계산할 수 있다.

$$G = TW \Rightarrow \begin{pmatrix} g_x \\ g_y \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = T \begin{pmatrix} w_x \\ w_y \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

식 (5)와 같이 역행렬을 구하는 과정은 많은 연산량을 필요로 하지만, 사용자 캘리브레이션이 종료된 후 단 한번만 계산하면 되므로, 실시간으로 계산되는 시선 위치 추적을 진행하는데 문제가 없었다.

#### IV. 시선 추적 인터페이스를 이용한 게임 조작

기존의 게임 장르는 게임 주인공의 시점에 따라 크게 1인칭 게임과 3인칭 게임으로 나눌 수 있다. 1인칭 게임은 게임의 주인공이 모니터에 등장하지 않고, 사용자가 배경과 활동무대를 직접 바라보며 게임이 진행된다. 그러므로 캐릭터라는 중간 매개물이 없이 자신이 직접 게임의 주인공인 듯 한 느낌을 주어 몰입감이 크다는 장점이 있다. 반면, 3인칭 게임은 사용자가 조작하는 주인공이 모니터에 등장하며, 사용자와 게임의 배경, 활동무대 간에 캐릭터라는 매개물이 사용자의 눈에 보인다. 그러므로 1인칭 게임과 같은 몰입감을 가질 수는 없지만, 사용자에게 ‘어떤 물체 또는 캐릭터를 마음대로 조작할 수 있다’는 매력을 주는 장점이 있다<sup>[11]</sup>.

본 연구에서는 눈동자 시선 추적 인터페이스를 이용하여 게임의 주인공을 움직이게 하기보다는 ‘게임 사용자가 바라보는 곳을 게임 캐릭터가 바라본다’라는 장점을 부각시켜서 몰입감을 증대시키고, 사용자가 직접 임의의 목적달성을 위한 게임의 주인공이 되기에 적당한 1인칭 게임을 적용 장르로 선택하고자 한다.

3차원 1인칭 슈팅 게임에서는 사람이나 로봇 등의 캐릭터가 주인공이고, 1인칭이므로 캐릭터의 모습이 보이지 않고 기껏해야 손과 무기가 보일 뿐이다. 또한 걸음을 통한 캐릭터 자체의 이동은 키보드를 이용하며 시선 방향의 이동과 적을 사격하기 위한 조준은 마우스를 이용함으로써 두 입력 장치의 역할이 엄격히 분리되어 있다는 특징이 있다. 그리고 일반적으로 캐릭터가 비행시

물레이션이나 레이싱 게임보다는 저속으로 움직이면서 주변 환경을 세심히 살펴야 하는 특징이 있다. 그러므로, 본 연구에서는 시선 추적 인터페이스를 접목하기 위한 1인칭 게임의 세부장르로 1인칭 슈팅 게임을 선택하고자 한다. 시선 추적을 이용하여 게임 캐릭터의 시선방향이 전 방향으로 이동하는 것을 조정할 수 있으므로 그 활용성이 높다는 장점이 있으며, 또한 사용자의 시선이 곧 캐릭터의 시선이 된다는 일치성이 게임의 몰입감을 증가시킬 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구에서는 실험을 위해 높낮이를 가지고 있는 지형 및 주인공을 기준으로 적이 어느 방향에 있는지 알아볼 수 있는 레이더를 가지는 3차원 1인칭 슈팅 게임을 실험에 활용하였다. 본 시스템을 적용한 게임화면은 그림 13과 같다. 그림 13과 같이 사용자의 시선 방향에 따라 캐릭터가 바라보는 게임상의 뷰(view) 방향이 변화됨을 알 수 있다. 뷰가 변화될 수 있는 방향은 일반 마우스를 이용했을 때와 같이, 화면의 중심을 기준으로 마우스 커서가 이동할 수 있는 모든 방향으로 가능하다.

또한 본 연구에서는, 본 저자의 기존 연구를 개선하여, 시선 위치의 이동이 없는 구역에서는 정확한 시선 추적 장치를 활용하여, 적을 조준하여 사격할 수 있는 기능을 추가하였다.

#### V. 실험 결과 및 분석

본 연구는 아래와 같은 환경에서 실험을 진행하였다. 하드웨어는 Pentium-4 3.0 GHz, 1GB RAM과 Geforce-4 FX 6600, 128MB RAM 비디오 카드를 사용하였다. 시선 추적 프로그램은 Microsoft Visual Studio C++ 2005, DirectX 9.0c SDK의 DirectShow를 사용하여 구현하였다. 3D FPS 게임은 DirectX 9.0c SDK를 사용하여, Microsoft Visual Studio C++ 2005 환경에서 제작하였다.

##### 1. 주관적인 평가

주관적인 평가에서는 사용자가 본 시스템을 사용하면서 어느 정도의 어지러움(dizziness)을 느끼는지를 조사하였다. 그리고 일반 마우스를 사용해서 게임을 했을 때와 시선 추적 인터페이스를 사용하여 게임을 했을 때 어느 것에 더 흥미(interest)와 몰입감(immersion)을 느끼는지를 설문을 통해 측정하였다. 또한 ‘부작용(어지러움)이 있음에도 불구하고 과연 이 같은 게임을 즐길 것인가’도 설문을 통해 조사하였다.

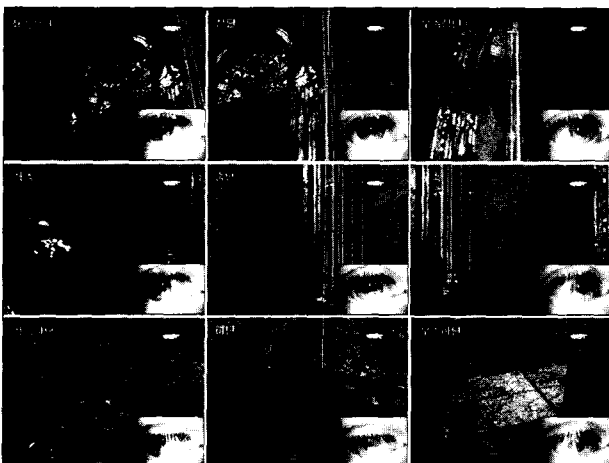


그림 13. 게임 사용자의 시선방향에 따른 1인칭 게임 캐릭터의 시선위치 변화

Fig. 13. According to the gaze directions of user, change of the viewing directions of the game character.

가. 사용자 어지러움 측정

기존에 Hakkinen등은 HMD 착용 시 사용자가 느끼는 어지러움의 정도를 측정하기 위해 HMD를 착용하지 않고 TV를 시청하는 집단, HMD를 통해 영화를 감상하는 집단 그리고 HMD를 통해 3D 게임을 하는 집단으로 나누어 실험한 결과, 한 시간 후 아래(그림 14)와 같은 결과가 얻었다<sup>[24]</sup>.

그림 14에서 HMD를 이용하여 영화를 볼 때는 HMD 없이 일반 TV를 사용했을 때보다 어지러움의 정도가 높게 나타나고 있으며, HMD를 사용해서 3D 게임을 했을 때는 그 정도가 더욱 심하게 나타나는 것을 알 수 있다.

이러한 실험결과를 고려하여, 본 연구에서도 70명의 사용자들에게 시선 위치 추적에 의한 게임 시스템을 10분간 사용하게 하여 1분 간격으로 느끼는 어지러움 정도를 측정하였다. 측정값은 총 5단계로 표현하였다<sup>[34~35]</sup>. '4'는 '매우 어지러움', '3'은 '약간 어지러움', '2'는 '보통', '1'은 '거의 어지럽지 않음', '0'은 '전혀 어지럽지 않음'으로 하여 측정된 결과는 그림 15와 같다.

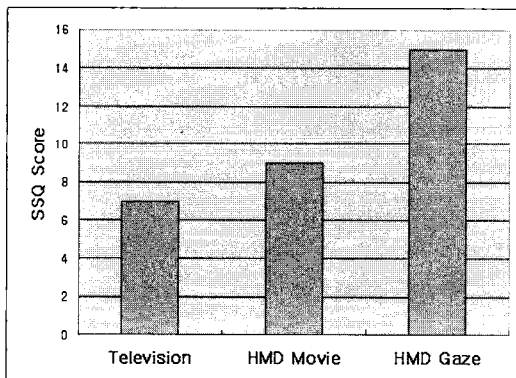


그림 14. 사용자 어지러움 측정 결과<sup>[24, 33]</sup>  
 Fig. 14. The result about measurement of user sickness.<sup>[24, 33]</sup>

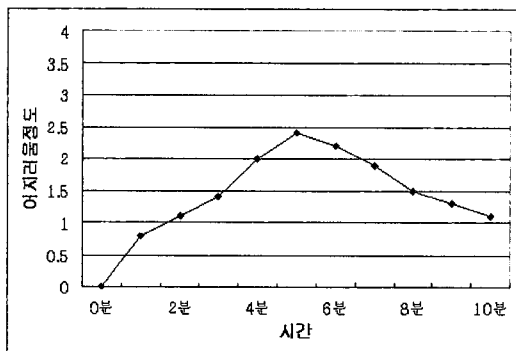


그림 15. 시간에 따른 어지러움 정도 변화 추이 (70명에 대한 평균 실험값)  
 Fig. 15. According to the lapse of time, changes of the sickness level (Average value about 70 persons).

실험결과, 어지러움의 정도는 실험 대상자에 따라 매우 다르게 나타났다. 실험 내내 전혀 어지럽지 않다고 응답하는 경우가 있었으며, 중도에 어지러움을 참지 못하고 실험을 포기하는 경우도 있었다. 실제로 Hakkinen의 실험결과에서도 보면, 기존의 HMD 사용 경험, 성별, 나이에 따라서 어지러움의 정도가 크게 차이 나는 것을 알 수 있었다.

그림 15와 같이 평균 실험값을 통해 변화 추이를 분석해 볼 때 대부분의 사용자들이 처음 시작부터 5분 정도까지는 어지러움의 정도가 계속 증가하고 있으나, 그 시간 이후로는 어지러움의 정도가 낮아지는 결과를 볼 수 있다. 이는 사용자가 시스템 사용 초기에 익숙하지 않은 HMD 환경에서 어지러움을 느끼다가 어느 정도 시간이 지난 이후에는 적응하면서 어지러움을 느끼는 정도가 줄어드는 것으로 해석할 수 있다. Hakkinen의 실험결과에서도 10분이 지나기 전에 최악의 어지러움을 느끼며, 한 시간 동안의 전체적인 추이를 분석해보면 어지러움의 정도가 점점 감소하는 것을 알 수 있다<sup>[24]</sup>.

Hakkinen의 실험 결과에서 알 수 있듯이 일반 사용자가 HMD를 사용하는 자체에서 기본적으로 많은 어지러움을 야기하기 때문에, HMD에서의 시선 추적 시스템이 어지러움을 유발하는 유일한 요인이 되지는 않는다. Hakkinen의 논문에서는 최소한 HMD의 화면 해상도가 1600×1200 픽셀 이상에 초당 100장 이상의 속도로 화면을 재생하는 기능이 포함되어야 어지러움 증상을 없앨 수 있는 것으로 언급하고 있다.

나. 일반 마우스와 시선 위치 추적 인터페이스의 몰입감과 흥미성 비교

본 실험에서는 기존의 연구<sup>[11, 33~35]</sup>에서처럼 70명의 사용자들에게 기계적인 마우스와 시선 위치 추적 인터페이스를 각각 5분간 사용하여 게임을 하도록 하고, 어느 쪽에 더 몰입감(immersion)과 흥미성(interest)이 높은지를 비교하였다. 실험 결과는 그림 16과 같다.

몰입감에 대한 설문결과를 보면 '시선 위치 추적 인터페이스를 사용한 게임이 더 몰입감이 크다'라는 의견이 많은 것을 알 수 있다. 그 이유로 'HMD를 사용하여 큰 화면이 외부환경에 영향을 받지 않고 집중할 수 있도록 하는 것'과 '내 눈이 바라보는 곳에 따라 캐릭터의 시선이 바뀌는 것'을 꼽았다.

흥미성에 대한 설문 결과도 '시선 위치 추적 인터페이스를 사용한 게임이 더 흥미성이 높다'라는 의견이 많았다. 그 이유로는 '신기하다', '내 눈에 따라 캐릭터의 시선

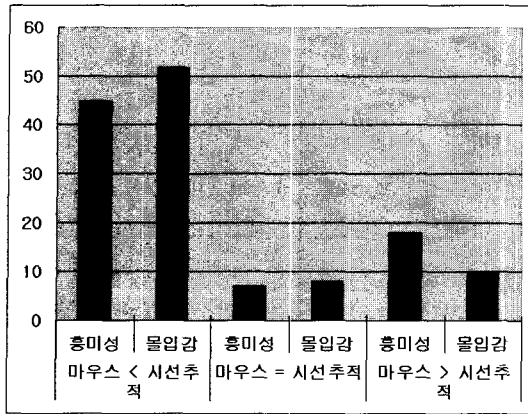


그림 16. 흥미성과 몰입감에 대한 설문 결과  
Fig. 16. The survey result about the interest and immersion.

이 움직인다', '새로운 장치에 대한 호기심'을 꼽았다.

마우스가 시선 위치 추적 인터페이스보다 몰입감이나 흥미성이 높다고 한 응답자들은 그 이유로 '눈의 움직임에 신경을 쓰다 보니 게임에 집중할 수 없다'를 꼽았다.

실험결과, 사용자들이 일반 마우스를 사용하는 게임보다 시선 위치 추적 인터페이스를 사용한 게임에서 몰입감과 흥미를 느낀다는 응답이 많게 조사됨으로써, 시선 위치 추적 인터페이스와 게임의 접목에 더 큰 가능성을 가지게 되었다.

다. 시선 위치 추적을 이용한 게임의 추후 사용여부 조사의 실험과 설문을 통한 시선 위치 추적 게임 시스템은 초기 5분여의 시간까지 어지러움을 느낀다는 단점과 몰입감과 흥미성이 높다는 장점을 동시에 가지고 있는 것으로 나타났다. 기존의 3D FPS 게임 역시 어지러움 증이 단점으로 지적되면서도 사실감과 흥미성 때문에 많은 사용자들이 즐기고 있다. 높은 흥미성과 강한 몰입감에 매력을 느낀 사용자들이 단점을 감수하면서 게임을 즐기는 것이다.

본 시스템은 HMD를 사용하기 때문에 기존의 3D FPS 게임에서 느끼는 것보다 더 큰 어지러움을 느낄 것으로 예상되며 (5.1.1 참조), 본 시스템을 이용한 상용게임이 만들어진다면 사용할 것인지의 여부를 100명의 실험대상자들을 통해 설문을 실시하였다.

설문 결과, 이 같은 게임을 '사용하겠다'는 사람이 76명으로 '사용하지 않겠다'는 24명보다 훨씬 많게 조사됐다. '사용하겠다'는 의견 중에는 게임 자체의 흥미성이 높아야 하며, HMD 및 시선 위치 추적 장비가 경제적인 부담이 되지 않을 경우라는 전제조건을 제시한

응답자들이 많았다. '사용하지 않겠다'는 이유로는 추가되는 부가장비가 부담스러우며 불편할 것 같다는 의견이 대부분이었으며, 어지러움 증상을 이유로 꼽은 조사자는 6명에 불과했다. 이 6명은 기존에 HMD를 사용하지 않는 3D 게임 또한 어지러움 증 때문에 즐기지는 않는 것으로 나타났다.

이와 같은 실험 결과, 본 연구에서 제안하는 시선 위치 추적 게임시스템을 전체 응답자중 76%의 많은 사용자들이 다시 사용하겠다고 답함으로써, 시선 위치 추적 인터페이스 방법이 게임에서의 적용 가능성이 매우 높음을 알 수 있었다.

## 2. 객관적인 평가

사용자의 시선 위치 정확도 및 시선 추적 시스템을 사용하여 적을 사격할 때의 적중률과 게임 상에 적어있는 위치까지 도달하는 시간을 기계적인 마우스를 사용했을 때와 시선 위치 추적 인터페이스의 두 가지 경우로 나누어 측정, 비교, 분석하였다.

### 가. 시선 위치 정확도

모니터 상에 사용자의 시선 위치 정확도를 파악하기 위하여 그림 17과 같이 모니터 상의 12개의 점(검은색 점)을 30명의 사용자가 응시하도록 하고, 이때 계산된 시선 위치와 실제 응시해야할 위치 사이의 최소 자승 에러(RMS error)를 측정하였다. 실험 결과 약 34픽셀(0.88°)(X축으로는 23픽셀(0.6°)의 에러, Y축으로는 26픽셀(0.68°)의 에러 (HMD 모니터 해상도 : 800×600 픽셀))의 시선 위치 추출 에러 성능을 나타냈다. 구해진 오차의 크기는 게임에서 적의 캐릭터의 최소 크기를 결정하는 데 있어서 중요하다.

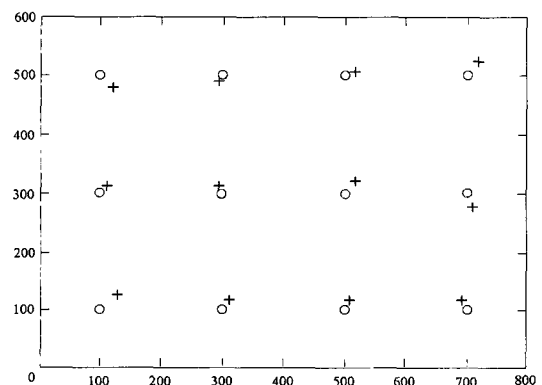


그림 17. 시선 위치 추출 정확도 실험 결과  
Fig. 17. Experimental result of the accuracy of gaze estimation.

나. 적 캐릭터 사격 정확도

본 연구에서는 시선 추적 인터페이스를 사용하여 캐릭터의 뷰 위치를 조작하는 것 뿐만 아니라, 적 캐릭터를 조준하여 사격을 할 수 있도록 하였다. 적 캐릭터를 조준하여 사격할 수 있는 영역은 그림 18의 pointing area에 사용자의 시선이 위치하고 있을 때 가능하다. 그 외의 모니터 외곽구역은 캐릭터의 뷰 위치를 조작하기 위한 navigation area로 사용되기 때문이다.

Pointing area에서 적 캐릭터를 조준하여 사격을 할 때, 정확도를 분석하기 위해 기존의 마우스를 이용한 사격과 비교하여 실험을 진행하였다.

본 연구에서 사용된 게임을 처음 접하는 50명의 사용자들은 기존에 사용하던 마우스와 시선 추적 인터페이스를 각각 사용하여, 게임에서 정해진 시점의 정해진 위치에 출현하는 적 캐릭터의 적중률을 측정하였다. 실험이 진행된 시간은 각각 2분이며, 이 시간동안 적 캐릭터가 출현하는 횟수는 10번이다. 또한 적이 출현했다가 사라지기까지의 평균 시간은 약 1.2초이다. 그리고 시선 위치의 추출 평균 에러(RMS 34픽셀, X축으로 23픽셀, Y축으로 26픽셀)을 고려하여 적 캐릭터가 화면에서 차지하는 평균 면적은 가로크기가 46픽셀(좌우로 23픽셀씩), 세로크기가 52픽셀(상하로 26픽셀씩)보다 작지 않도록 하였다. 실험 결과는 그림 19의 그래프와 같다.

위의 실험을 수행한 결과 시선 추적 시스템을 사용했을 때의 적중률은 일반 마우스를 사용했을 때보다 약간

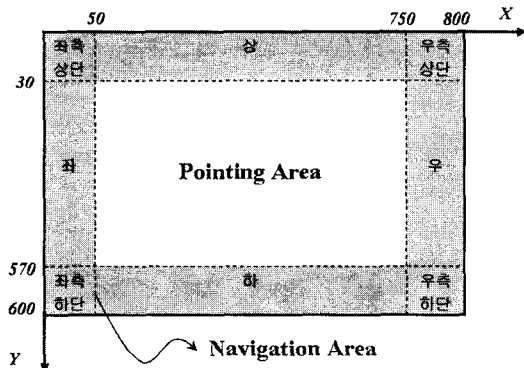


그림 18. 모니터 평면의 구역설정. 흰색 영역은 적 캐릭터를 조준할 수 있는 pointing area, 회색 음영 처리된 영역은 캐릭터의 뷰 방향을 이동시키는 navigation area로 정의함<sup>[34, 35]</sup>

Fig. 18. Allocating the areas on the monitor plane. The white area is the pointing area, in which area, user can aim to the enemy characters. And, gray area is the navigation area, in which area, user can move a viewing direction of the character<sup>[28~35]</sup>.

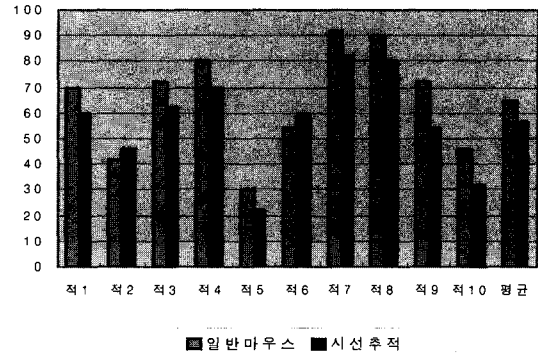


그림 19. 50명의 사용자가 일반 마우스와 시선 추적 시스템을 사용해서 게임을 진행한 결과 10개의 적 캐릭터에 대한 사격 적중률

Fig. 19. Experimental result about the hit ratio of 10 enemy characters. 50 peoples perform the experiment by using the normal mouse and gaze tracking system.

떨어지는 것으로 나타났다. 이는 제안하는 시선 추적 방법의 오차가 기존의 마우스에 비해 정확하지 못한 이유와, 눈의 미세한 떨림 현상(saccadic movement)<sup>[25]</sup> 때문으로 분석된다. 하지만 이런 부정확성과 떨림 현상은 아래와 같은 이유로 사격 게임에 있어서 단점으로만 작용되지 않을 수 있다.

기존의 사격이나 양궁 등의 조준 개념이 도입된 게임에서는 게임의 난이도를 높이기 위해 실제 조준 시에 나타나는 인체의 미세한 떨림 현상을 그대로 구현하려고 한다. 이를 위해 사용자가 현재 조준하고 있는 위치를 알려주는 표시점이 사용자의 마우스 조작에 관계없이 임의의 위치로 계속 떨리게 하는 등의 방법을 사용하여, 사용자가 목표물을 조준하는데 어렵게 만든다<sup>[26]</sup>. 이러한 떨림 등의 방해 요소가 없다면 마우스를 손으로 조작하여 목표물을 조준하기는 너무 쉬워서 게임의 난이도와 흥미가 반감하는 결과를 초래할 것이다.

하지만 시선 추적 인터페이스를 사용한다면, 위와 같이 인위적으로 만들어진 방해요소를 자연스럽게 사실적으로 게임에 적용할 수 있다. 그 이유는 사람의 동공은 계속적으로 미세한 떨림 운동 (saccadic movement)<sup>[25]</sup>을 하기 때문이다. 또한 그 정도가 매우 적기 때문에, 실제로 게임에 적용했을 때, 인위적으로 구현된 떨림과 비슷한 효과를 얻을 수 있었다. 이는 조준 개념이 적용된 게임에서 난이도를 조절하는데 있어서 큰 장점으로 작용할 수 있을 것이다.

다. 캐릭터 뷰 방향 이동 정확도

제안한 알고리즘의 정확도를 측정하기 위해 50명을 대상으로 8개의 방향(좌측상단, 상단, 우측상단, 좌측, 우측, 좌측하단, 하단, 우측하단)을 응시하게 하여 얼마만큼 정확하게 응시하는 지를 측정하였다.

실험 결과, 그림 20과 같이 navigation area의 모든 구역에서 비교적 정확하게 캐릭터의 뷰 방향을 이동할 수 있는 것으로 나타났다.

|                    |                           |                    |
|--------------------|---------------------------|--------------------|
| Left-Up<br>98.0%   | Up<br>100.0%              | Right-Up<br>98.0%  |
| Left<br>96.0%      | Center<br>(Pointing Area) | Right<br>100%      |
| Left-Down<br>98.0% | Down<br>96.0%             | Right-Down<br>100% |

그림 20. 캐릭터 시선이동의 정확도<sup>[11]</sup>  
Fig. 20. Accuracy about moving of the viewing direction.<sup>[11]</sup>

라. 적 캐릭터의 위치까지 도달하는 시간 추이

본 실험은 기존의 연구<sup>[33]</sup>처럼 50명의 사용자들이 5번 반복 사용하여 게임 중 임의로(Randomly) 생성(출발 위치부터 적의 위치까지의 거리는 항상 일정함)된 적 캐릭터의 위치까지 도달하는 데 걸리는 시간을 매번 측정하여 변화 추이를 분석하였다. 또한 일반 기계적인 마우스를 사용하

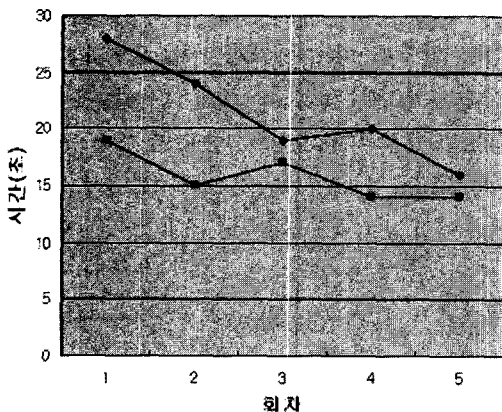


그림 21. 시선 위치 추적과 일반마우스 사용 시 게임에서 적의 위치까지 도달하는데 걸리는 시간. 빨간 그래프는 일반마우스, 파란 그래프는 시선 추적으로 진행한 결과

Fig. 21. The required time of arriving to the enemy character. The red line is about when using the normal mouse, and the blue line is about when using the gaze tracking system.

여 걸리는 시간도 측정하여 비교해 보았다(그림 21).

실험 결과, 시선 위치 추적 인터페이스를 사용하는 초기에는 시간이 많이 소요됨을 알 수 있었으나, 반복횟수가 증가됨에 따라 기계적인 마우스를 사용했을 때의 시간과 거의 비슷해짐을 알 수 있었다. 기계적인 마우스를 사용했을 때는 반복회수의 증가에 따라 소요시간에 큰 변화가 없었다. 이는 대부분의 사용자 이미 기계적인 마우스에 익숙해져 있으므로, 반복회수 증가에 따른 성능 향상의 효과가 없기 때문이다.

VI. 결론

본 논문에서는 HMD(Head Mounted Display) 화면 전면에 USB 카메라와 적외선 조명, hot-mirror로 구성된 시선 추적 모듈을 부착한 후, 3차원 1인칭 슈팅 (First Person Shooting) 게임에서 게임 캐릭터의 시선 방향의 조정과 적 캐릭터의 사격을 위한 조준에 이를 적용한 방법을 제안한다. 실험을 통해 제안하는 방법을 사용한다면 손이 불편한 사용자가 게임을 즐길 수 있는 기회를 가질 수 있으며, 게임 캐릭터의 시선이 게임 사용자의 시선 방향과 일치하고, 적 캐릭터의 조준을 사용자의 시선 방향을 통해 가능토록 하여, 게임의 흥미와 몰입감을 증가시킬 수 있는 결과를 얻을 수 있었다.

향후 보다 다양한 조명 환경 및 사용자들을 대상으로 본 시스템의 성능을 평가해야 할 것으로 예상된다.

Acknowledgement

이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술 연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-331-D00421).

참고 문헌

[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., pp. 151-190, 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] Andrew T. Duchowski, Vinay Shiva Shankariah, Tim Rawls, Anand K.Gramopadhye, Brian J. Melloy, Barbara Kanki, “Binocular Eye Tracking in Virtual Reality for Inspection Training”, ACM Press New York, NY, USA 2002.
- [6] Jeong Jun Lee, Kang Ryoung Park, Jaihie Kim, “Gaze detection system under HMD environment for user interface”, the Joint Conference of ICANN/ICONIP, June 2003.
- [7] K.Ando et al., “Effects of phencyclidine, secobarbital and diazepam on eye tracking in rhesus monkeys”, Psychopharmacology, Springer
- [8] Daniel Cheng and Roel Vertegaal, “An Eye for an Eye: A Performance Evaluation Comparison of the LC Technologies and Tobii Eye Trackers”, the Association for Computing Machinery, Inc., pp61, 2004.
- [9] Shen-Wen Shih, Jin Liu, “A Novel Approach to 3-D Gaze Tracking Using Stereo Cameras”, IEEE Transactions on system, man, and Cybernetics Part B: Cybernetics, VOL, 34, NO.1, February 2004.
- [10] Dong Hyun Yoo and Myung Jin Chung, “Non-Intrusive Eye Gaze Estimation without Knowledge of Eye Pose”, Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 2004.
- [11] 이의철, 박강령, “눈동자 시선 추적에 의한 3차원 1인칭 슈팅 게임”, 한국정보처리학회 논문지, 제12-B권 제4호, pp. 465~472, 2005년 8월
- [12] <http://www.serrata.com.au/iglassesvga.html#i-glasses%20SVG%203D>, accessed on 2008.2.25.
- [13] <http://www.logitech.com>, accessed on 2008.2.25.
- [14] <http://www.kodak.com/global/en/professional/support/techPubs/b3akic/b3akic.jhtml>, accessed on 2008.2.25.
- [15] John G. Daugman, “High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence,” IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. 15, No. 11, pp.1148-1160, 1993.
- [16] Gregory A. Baxes, “Digital Image Processing-Principles and Application”, Wiley
- [17] Edward Angel, “Interactive Computer Graphics”, A Top-Down Approach with OpenGL, 2nd Edition
- [18] 박현애, 박강령, “휴대폰에서의 홍채인식을 위한 고속 홍채검출에 관한 연구”, 대한전자공학회 논문지, 제 43권 SP편 제 2 호, pp. 19~29, 2006년 3월
- [19] N. Otsu. A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics, 9(1):62--66, 1979.
- [20] Rafael C.Gonzalez, Richard E. Woods, “Digital Image Processing Second Edition”, 2002 by Prentice-Hall, Inc.
- [21] Richard N. Aslin and Bob McMurray, “Automated Corneal-Reflection Eye Tracking in Infancy: Methodological Developments and Applications to Cognition”, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., INFANCY, 6(2), 155~163, 2004.
- [22] John David Smith, “ViewPointer: Lightweight Calibration-Free Eye Tracking for Ubiquitous Handsfree Deixis”, A thesis of Master of Science, Queen’s University, September 2005
- [23] Sheng-Wen Shih, Yu-Te Wu, Jin Liu, “A Calibration-Free Gaze Tracking Technique”, 15th International Conference on Pattern Recognition (ICPR’00) - Volume 4 p. 4201
- [24] Jukka Hakkinen, Tero Vuori, Monika Puhakka, “Postural Stability and Sickness Symptoms after HMD Use”, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 4-7, 2002.
- [25] Clark, M.R, Stark, L., “Time optimal behavior of human saccadic eye movement,” IEEE Trans. on Automatic Control AC-20 (1975), 345-348.
- [26] Eidos, “Athens 2004 PC Games”, Oct 14, 2004.
- [27] “Method and Apparatus for Tracking Gaze Position”, 미국 특허 출원증 (출원 번호 : 11/91813, 출원일 : 2007.12.06), 발명자(이의철 외)
- [28] Eui Chul Lee, Kang Ryoung Park, “A Robust Eye Gaze Tracking Method based on Virtual Eyeball Model”, Machine Vision and Applications, accepted for publication
- [29] Eui Chul Lee, Kang Ryoung Park, “A Study on Eye Gaze Estimation Method Based on Cornea Model of Human Eye”, Lecture Notes in Computer Science (MIRAGE 2007), Vol. 4418, pp. 307-317, INRIA Rocquencourt, France, March, 28 - 30, 2007.
- [30] You Jin Ko, Eui Chul Lee, Kang Ryoung Park, “A Robust Gaze Detection Method by Compensating for Facial Movements Based on Corneal Specularities”, Pattern Recognition Letters, accepted for publication
- [31] You Jin Ko, Eui Chul Lee, Kang Ryoung Park, “A study on Robust eye gaze tracking system

- allowing the natural facial movements”, ACCV'07 Workshop on Multi-dimensional and Multi-view Image Processing, Tokyo, 19 Nov. 2007.
- [32] 고유진, 이의철, 박강령, “적외선 환경에서 얼굴 및 눈동자 움직임이 자유로운 시선 위치 추적에 대한 연구“, 2006년 한국 차세대컴퓨팅학회 논문 발표회, 일산 KINTEX, 2006.11.16-17
- [33] 이의철, 박강령, “사용자 시선 추적을 통한 3차원 FPS 게임 화면 조정“, 2006년 한국 차세대컴퓨팅학회 논문 발표회, 일산 KINTEX, 2006.11.16-17
- [34] Eui Chul Lee, Kang Ryoung Park, Min Cheol Whang, Junseok Park, “Robust Gaze Tracking Method for Stereoscopic Virtual Reality System”, Lecture Notes in Computer Science (HCI International 2007), Vol. 4552, pp. 700~709, Beijing, China, July 22~27, 2007.
- [35] Eui Chul Lee, Kang Ryoung Park, Min Cheol Whang, Joa Sang Lim, “Vision-based Gaze Estimation Method For Stereoscopic Display Systems”, 10th International Federation of Automatic Control (IFAC), Ritz-Carlton Hotel, Seoul, Korea, 4-6 Sep., 2007.

---

 저 자 소 개
 

---



이 의 철(학생회원)  
 2005년 2월 상명대학교 소프트웨어학부 학사 졸업  
 2007년 2월 상명대학교 컴퓨터과학과 석사 졸업  
 2007년 3월~현재 상명대학교 컴퓨터과학과 박사과정

<주관심분야 : 영상처리, 패턴인식, 컴퓨터 비전, HCI>



박 강 령(정회원)-주저자 및 교신저자  
 1994년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업  
 1996년 2월 연세대학교 전자공학과 석사  
 2000년 2월 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 박사

2000년 2월~2003년 2월 LG 전자 기술원 Digital Vision Group 선임연구원  
 2003년 3월~2008년 2월 상명대학교 소프트웨어대학 디지털미디어학부 조교수  
 2008년 3월~현재 동국대학교 전자공학과 조교수  
 2003년 8월~현재 생체인식연구센터 총괄과제 책임자

<주관심분야 : Biometric 영상처리, 패턴인식, 컴퓨터 vision, 컴퓨터 그래픽스>