

논문 2009-46SP-5-11

반 깜박임 선택을 이용한 응시 상호작용과 착용형 AR 시스템

(Gaze Interaction Using Half Blink Selection and The Wearable AR System)

박형민*, 이재영*, 이석한*, 최종수**

(Hyung-Min Park, Jae-Young Lee, Seok-Han Lee, and Jong-Soo Choi)

요약

본 논문에서는 반 깜박임 선택 기법을 이용한 응시 상호작용(Gaze interaction) 방법과 이를 이용한 착용형 증강현실 시스템(Wearable Augmented Reality system)이 제안 된다. 응시 상호작용은 가장 쉽고 자연스러우며 빠른 방법이며, 팽투과 HMD 기반의 착용형 AR 시스템에 매우 적합한 기법이다. 이 시스템은 사용자의 응시 좌표와 반 깜박임(Half blink)을 인식하여 사용자가 바라보고 있는 객체의 정보를 HMD에 출력한다. 이를 통해 마이다스 터치 문제(Midas touch problem)를 해결하여 사용자의 의도를 정확히 전달할 수 있게 된다. 제안된 상호작용법을 AR 주석(Annotation) 시스템에 적용, 구현하여 사용성을 평가하였고, 실험 결과를 통해 제안한 기법의 유용성을 검증하였다.

Abstract

In this paper, we propose a wearable augmented reality system using gaze interaction. Gaze interaction has been considered to be the potential of easy, natural and fast way of interaction and becomes a suitable way in optical see-through HMD based wearable AR. Our system recognizes user's gaze point, half blink motion and displays the information of object seen by user to HMD. Half blink selection technique avoids the Midas touch problem and represents user's intention correctly. We've developed a AR annotation system and estimated the usability of gaze interaction. The accuracy and robustness of our technique is verified on the experimental results.

Keywords : 증강현실(AR), 착용형 컴퓨터, 응시 상호작용, 반 깜박임 선택, HMD, AR주석시스템

2.1. 서론

유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous computing)의 개념 중 하나인 웨어러블 컴퓨팅(Wearable computing)은 1966년 MIT에서 제안되었고 현재까지 미래의 첨단 컴퓨팅 환경으로 여겨지고 있다.

착용형 컴퓨터의 가장 큰 장점은 사용자가 쉽게 실시간으로 실세계와 소통할 수 있다는 것이며, 이는 착용

형 컴퓨터가 사용자와 외부환경간의 인터페이스 역할은 물론 상호작용을 위한 개체로서의 역할까지 담당하기 때문이다. 기존 컴퓨터가 외부환경 중간 도구로서 위치하는 반면, 착용형 컴퓨터는 사용자와 결합하여 컴퓨팅의 주체로 존재하는 것이다.

증강현실(Augmented Reality)은 착용형 컴퓨터의 핵심 분야에 속한다. 이것은 실세계(외부환경)에 가상세계(컴퓨터안의 세계)를 실시간으로 합성시켜주는 기술이다. 그래서 실세계를 증강시킨다. 사용자는 실세계 안에서 가상세계와 상호작용을 할 수 있다. 사용자의 눈에 비치는 실세계에 컴퓨터가 가지고 있는 막대한 정보가 실시간으로 합쳐질 수 있게 되는 것이다. 길을 물을 수도 있고, 수술과정을 안내할 수도 있으며, 박물관 및 미

* 학생회원, ** 평생회원, 중앙대학교
(Chung-Ang University)

※ 이 논문은 2단계 BK21 사업, 서울시 산학연 협력사업-기술이전지원(TR080601), 서울시 산학 클러스터(SFCC) 사업(10570) 지원과제임.

접수일자: 2009년2월4일, 수정완료일: 2009년9월2일

술판에서 궁금한 것에 대한 답을 즉시 얻을 수도 있다. 이러한 동작을 수행하기 위하여 AR시스템은 입력장치, HMD(Head-Mounted Display), 카메라, 소형PC 등으로 이루어진다.

AR시스템은 카메라와 센서를 통해 외부환경을 인식하여 실 좌표계를 얻어서 가상객체 환경의 좌표계와 정합하고 합성하여 HMD에 출력시킨다. 이때, 사용자는 실세계와 가상환경이 혼합된 증강현실을 경험하게 되며, 입력장치를 통해 상호작용을 할 수 있다. 초기의 상호작용은 기존 컴퓨터 환경하의 키보드, 마우스, 터치패드, 터치포인트 등 별도의 입력장치를 필요로 했다^[1~2]. 따라서 착용형 컴퓨터 특징인 착용성, 이동성을 저하시켰다. 또한 수리, 수술^[3] 등의 경우는 손을 이용한 상호작용이 허용되지 않는다.

가령, 손을 이용하여 어떤 객체와 상호작용하려면 먼저, 그 객체를 주목(응시)하여 확인한 다음, 커서를 객체 위로 움직인다. 그러나 수술 작업과 같이, 손을 쓸 수 없는 환경에서는 커서 이동 과정을 대신해주는 응시 상호작용(gaze interaction)을 사용할 수 있다^[4]. 이 방법은 바라보는 것만으로 객체를 선택한다. 이 경우, 입력장치로 눈 추적기(eye tracker)를 쓰는데, 소형화 된 눈 추적기를 HMD에 내장시킬 수 있어 착용성의 특징을 살릴 수 있다. Susanna는 핸드프리(Hands-free) 인터랙션이 가능한 수리 보조 시스템을 제안한 예도 있다^[5]. 사용자는 HMD를 통해 수리작업에 필요한 부품목록 및 튜토리얼 정보를 제공 받고, HMD 화면에 출력되는 버튼을 응시하여 클릭한다.

응시 상호작용의 가장 큰 문제는 사용자가 어떤 객체를 바라볼 때, 단순히 바라보고 있는지 또는 객체를 선택하기 위해 바라보는 것인지 구별하기 어렵다는 것이다. 이것을 마이다스 터치(Midas touch) 문제라고 한다. 이 문제를 보완하기 위해 우리는 응시지속 시간(dwelling time) 선택 기반의 숙성기법(aging technique)을 제안한 바 있다^[6]. 숙성기법은 각 객체에 응시지속 시간을 의미하는 나이 변수를 할당하고, 사용자가 객체 응시 여부에 따라 나이를 증가 또는 감소시켜, 최종적으로 나이가 가장 많은 객체를 선택하는 방법이다. 기존 응시 지속법보다 안정적이긴 하나 여전히 마이다스 터치 문제가 남아 있다.

본 논문에서는 반 깜박임 선택(half blink selection) 기법이 적용된 AR 시스템이 제안된다. 반 깜박임 동작은 먼 곳을 바라볼 때 초점을 맞추기 위해 눈을 살짝

감는 동작과 같다. 이를 통해 마이다스 터치 문제를 완전히 해결한 응시 상호작용과 이를 적용한 착용형 AR 주석 시스템이 제안된다. 눈 추적기로 응시 상호작용을 획득하고, 카메라를 통해 전방의 실세계 내에서의 사용자 지시점에 대한 3차원영상을 추정한다. 사용자가 실세계 물체를 바라보면 물체에 대한 자세한 정보가 HMD에 출력된다.

II장에서는 제안한 응시 인터랙션 기법과 AR 주석 시스템에 대해 설명하고, III장에서는 제안한 기법과 시스템에 대한 결과를 보이며, IV장에서는 결론 및 향후 연구계획을 논한다.

II. 착용형 AR 주석 시스템

1. 응시 상호작용

응시 상호작용은 응시 방향, 응시 지속 시간, 제스처, 깜박임 등의 눈 움직임을 이용하여 상호작용하는 방법을 의미한다.

가. 응시 상호작용의 개요

AR 시스템에서 실세계와 상호작용하기 위해서는 객체 선택이 선행되어야 한다. 예를 들어 마우스로 바탕화면의 프로그램을 실행하려면 먼저 마우스 커서를 아이콘 위로 이동 한 후 버튼을 클릭하여 아이콘을 선택해야 한다. 이와 마찬가지로 응시 상호작용에서도, 객체를 선택 및 조작하기 위한 과정이 요구되는데, 응시 방향으로 커서의 움직임을 제어할 수 있고, 눈 깜박임으로 클릭 메시지를 대신할 수 있다. 하지만 완전한 깜박임(full blink) 선택을 할 때마다 부자연스러운 동작을 반복해야 하고, 컴퓨터는 깜박임 동작 선택 여부를 판단하기 어렵다.

따라서 기존 대부분의 응시 상호작용은 응시지속 시간(dwelling time) 선택 기반 방법을 적용하고 있다. 일정 시간 동일한 곳을 응시함으로써 클릭 메시지를 생성할 수 있지만 이 방법은 깜박임 선택과 마찬가지로 마이다스 터치 문제를 발생시킨다. 컴퓨터는 사용자가 단순히 바라보고 있는지, 혹은 클릭하기 위해 바라보고 있는지를 판단할 수 없기 때문에, 사용자의 의사를 정확히 반영할 수 있는 선택 기법이 필수적이다.

나. 눈 추적기

눈의 움직임을 분석하기 위해 눈 추적기(eye tracker)

표 1. 눈 추적기의 구성

Table 1. Components of eye tracker.

부품	비고
Web Cam	640x480(VGA), CMOS , 24fps , USB2.0
IR Pass Filter	IR Long Pass Filter (850nm)
IR Illumination	IR LED (910nm)

를 제작하였다. 웹캠 렌즈의 적외선 차단 필터를 제거하고, 적외선 투과 필터를 부착한 후 적외선을 투광하여 적외선 영상을 얻었다. 눈 추적기의 구성은 표 1과 같다.

다. 응시점 추출

먼저 동공 중심점을 검출하여 응시 방향을 계산하였다. 그림 1의 적외선 영상에서 동공은 다른 영역에 비해 매우 어둡게 나타난다. 따라서 그림 2와 그림 3과 같이 간단한 대비 강조 연산과 모폴로지 연산을 통해 영상에서 동공 영역을 쉽게 분리해 낼 수 있었다.

동공 영역의 중심점을 얻기 위해, 그림 4의 Canny 에지 연산자로 얻은 동공 외곽선에 그림 5와 같이 타원

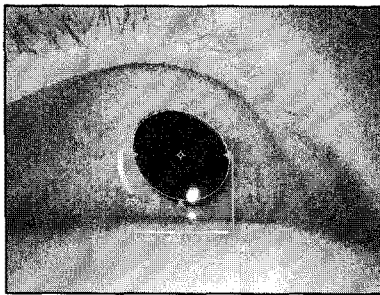


그림 1. 적외선 영상
Fig. 1. Infrared image.

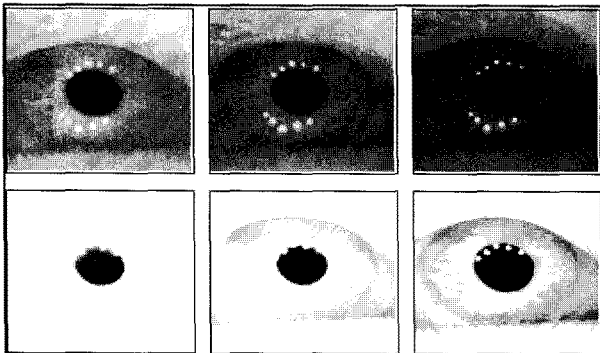


그림 2. 여러 밝기 조건에서의 대비 강조 연산
Fig. 2. Contrast enhanced image in various conditions.

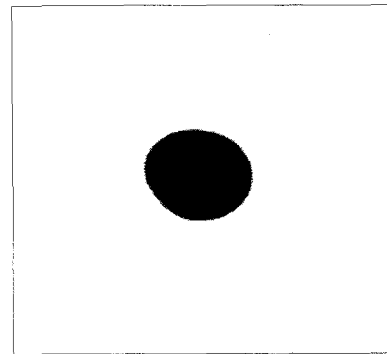


그림 3. 모폴로지 연산
Fig. 3. Morphology operation.

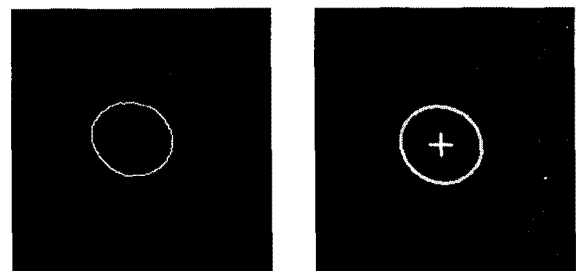


그림 4. 동공 외곽선 그림 5. 타원 피팅
Fig. 4. Edge of the pupil. Fig. 5. Ellipse fitting.

을 맞추어 넣었다(fit)^[7]. 정면이 아닌 다른 방향을 바라보거나 눈꺼풀에 가려질 경우 동공은 원이 아닌 타원 형태를 띠기 때문에 원형 Hough 변환은 적합하지 않았다. 맞추어진 타원의 방정식을 통해 동공의 중심점을 계산하였다. 또 칼만 필터를 적용하여 동공의 흔들림(jitter) 현상을 보완하였다. 응시점은 검출된 동공 중심좌표와 화면의 보정을 통해 구할 수 있는데, 이는 다음장에서 설명한다.

라. 반 깜박임 선택

기존의 응시 지속 선택 기법과 깜박임 선택 기법은 마이다스 터치 문제와 부자연스러운 동작을 수반하기 때문에 이 문제를 개선한 반 깜박임(half blink) 선택 기법을 제안하였다. 완전 깜박임(full blink) 선택 기법은 눈을 완전히 감았다 떼야 하는 반면에, 반 깜박임 선택 기법은 눈을 반 정도 감았다 뜨면 된다. 이 동작은 먼 곳을 바라볼 때 초점을 맞추기 위해 눈을 살짝 감는 동작과 동일하다.

기존의 선택 기법에 비해 반 깜박임 선택 기법은 몇 가지 장점을 갖는다. 첫째, 마이다스 터치 문제가 없다. 인위적이며 순간적인 반 깜박임 동작은 사용자의 의도를 정확히 반영할 수 있기 때문에 마이다스 터치 문제

를 야기하지 않는다. 둘째, 오인식이 거의 발생하지 않는다. 반 깜박임 동작은 풀 깜박임 동작과 완전히 다른 움직임을 보인다. 일반적인 눈 깜박임의 경우 위 눈꺼풀이 아래로 내려오지만 반 깜박임 동작은 이와 반대로 아래 눈꺼풀이 위로 올라가기 때문에 두 동작을 명확하게 구별해 낼 수 있다. 셋째, 시야를 가리지 않는다. 눈을 완전히 감았다 뜨는 완전 깜박임 동작은 순간적으로 사용자의 시야를 가리기 때문에 착용형 컴퓨터 환경에 부적합하다. 반면 반 깜박임은 동작 중에도 시야가 확보되기 때문에 지속적인 객체 응시가 가능하다.

그림 1의 적외선 영상에서 피부 영역이 눈 영역에 비해 상대적으로 밝음을 볼 수 있다. 피부가 눈보다 적외선을 더 잘 반사하기 때문인데, 이런 현상은 피부색과 상관없이 동일하게 나타난다. 반 깜박임 동작을 검출하기 위해서 아래 눈꺼풀의 움직임과 영상의 밝기 변화를 이용하였다. 위 눈꺼풀은 눈썹의 영향으로 검출이 어렵기 때문에 사용하지 않았다.

자세한 과정은 다음과 같다.

A : 동공 중심의 y 좌표 (pixel)

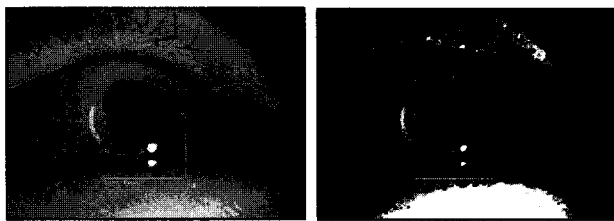


그림 6. 아래 눈꺼풀 영역을 분리
Fig. 6. Separating lower eyelid from IR image.

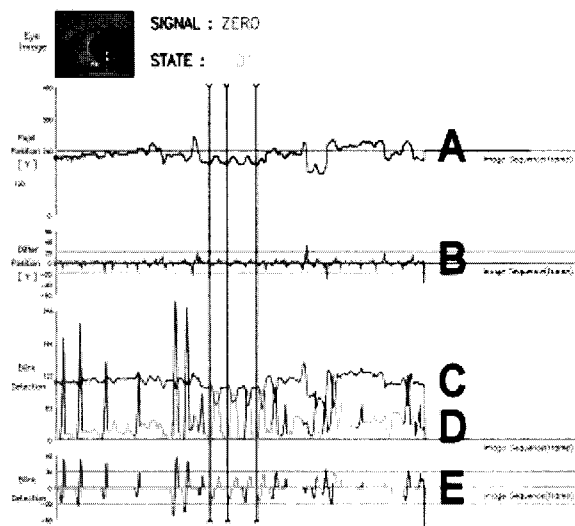


그림 7. 반 깜박임 검출 과정
Fig. 7. Half blink detection.

- B : A' (매 프레임당 A의 변화량, pixels)
- C : 동공 중심과 아래 눈꺼풀의 거리(pixels)
- D : 영상의 평균 밝기(0~255)
- E : $C' - D'$ (Half blink signal)

- ① 그림 6과 같이 영상의 밝기를 감소시키고 대비를 증가시켜 눈과 피부영역을 분리한다.
- ② 아래 눈꺼풀 영역의 최상단 좌표를 구한다.
- ③ A와 ②의 차를 구한다.(C)
- ④ 영상의 평균 밝기를 계산한다.(D) 평균 밝기는 눈을 감을 때 증가하고, 눈을 뜰 때 감소한다.
- ⑤ B가 10 pixels 이상일 경우 무시한다. 즉, 다른 곳을 보기 위해 동공이 움직이는 경우
- ⑥ D'가 20 이상 일 경우 무시한다. 풀 깜박임 동작
- ⑦ C'와 D'의 차를 구한다.(E)
- ⑧ E가 positive \rightarrow 0 \rightarrow negative 순으로 발생하면 반 깜박임으로 인식한다.

반 깜박임 동작의 실제 모습은 그림 8과 같다. 눈을 살짝 감았다 뜨는 동작을 하면, 영상의 평균 밝기는 증가하였다가 감소하고, 동공의 중심과 아래 눈꺼풀간의 거리는 감소하였다가 증가한다. 이렇게 상반되는 두 신호 패턴을 이용함으로써 강건한 반 깜박임 동작을 검출할 수 있었다.

그림 9(a)의 다른 곳을 보기 위해 눈을 움직이는 동작, 그림 9(b)의 완전 깜박임 동작, 그리고 그림 9(c)의 반 깜박임 동작 등 각각에 따른 신호 패턴을 그래프로 확인 할 수 있었다. 그림 9의 x축은 입력 영상의 프레임(시간)을 나타내고 y축은 각 신호의 정도를 나타낸다. 먼저 그림 9(a)의 눈을 움직이는 경우에는 A(동공중심의 y좌표)가 상하로 이동한다. A의 프레임당 변화량인 B값이 10 화소 이상인 경우 현재 프레임의 각 앞, 뒤 5

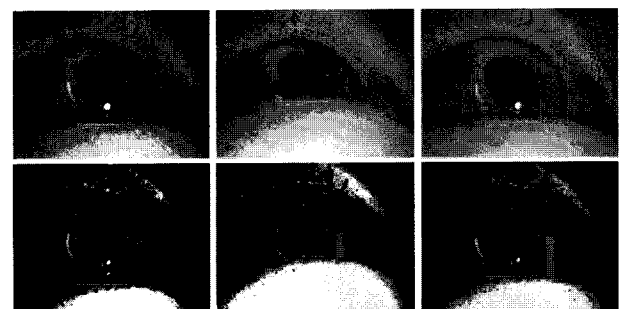


그림 8. 반 깜박임 동작
Fig. 8. Half blink motion.

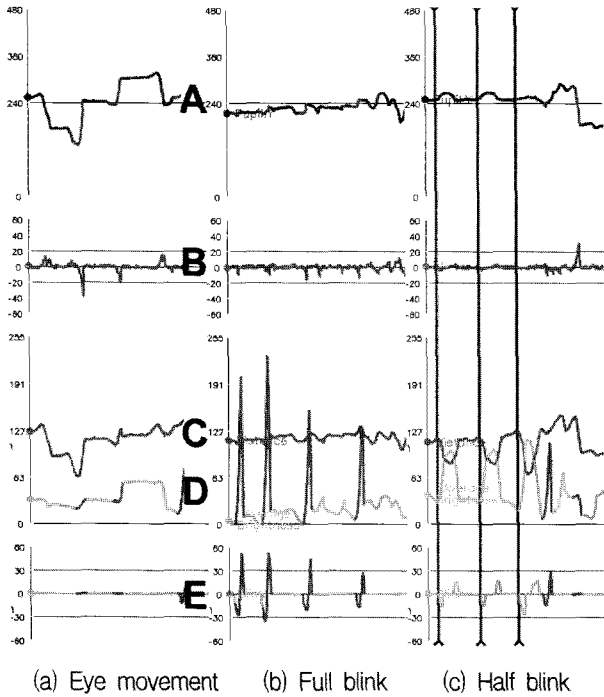


그림 9. 각 동작 별 눈 움직임 신호 패턴
Fig. 9. Signal patterns of eye movements.

프레임의 입력 신호를 무시하였다(그래프의 회색 부분). 눈을 아래, 위로 움직이면 아래 눈꺼풀도 함께 움직이기 때문에 C(동공 중심점과 눈꺼풀간의 거리)와 D(평균 밝기) 신호도 변화했다. 하지만 두 신호는 유사한 패턴을 띠기 때문에 E(반 깜박임 신호) 신호의 변화는 거의 볼 수 없었다.

그림 9(b)의 완전 깜박임 동작을 할 경우는 위 눈꺼풀이 눈 영역 전체를 덮었고, 입력 영상의 평균 밝기(D)가 급격히 증가하였다. 반 깜박임 동작은 D에서 펄스로 나타났고, 그림 9(b)에서 4번의 완전 깜박임 동작이 일어났음을 확인할 수 있다. 마찬가지로 급격한 밝기 변화가 일어날 경우 각 앞, 뒤 5프레임의 입력 신호를 무시하였다.

그림 9(c)의 반 깜박임 동작은 고유한 C, D 신호를 발생시켰다. 반 깜박임 동작을 하면 아래 눈꺼풀이 위로 이동하지만, 사용자는 동일한 곳을 응시하고 있기 때문에 동공의 중심좌표는 움직이지 않았고 동공 중심점과 눈꺼풀간의 거리(C)는 감소하였다. 또 눈꺼풀이 눈을 가리기 때문에 영상의 평균 밝기(D)는 증가함을 볼 수 있었고 두 신호의 변화량의 차이는 '높힌 S' 형태의 독특한 패턴을 생성하였다. 이 패턴을 인식함으로써 반 깜박임 동작을 검출할 수 있었다.

2. 착용형 AR 주석 시스템

주석(annotation) 시스템은 증강 현실의 대표적인 응용분야로 손꼽힌다^[8]. 제안된 시스템의 구현결과를 예시하기 위해서 실제 세계의 객체를 바라보면 관련 정보를 HMD에 증강 출력해주는 착용형 증강현실(AR) 주석 시스템을 구현하였다.

가. 장비 구성

착용형 AR 시스템은 그림 10에서 사용자에게 가상 정보를 제공하기 위한 단안시 광투과(monocular optical see-through) HMD, 전방의 영상을 취득하기 위한 카메라(scene camera), 그리고 응시 상호작용을 획득하기 위한 눈 추적기로 구성된다. 사용자는 왼쪽 눈으로 실제 장면을 보고, 오른쪽 눈으로 HMD를 투과한 실제 장면과 가상 정보가 합성된 증강현실 장면을 볼 수 있다. 그림 11에서 각 장치는 교정(calibration)과 정합(registration) 과정을 거쳐 하나의 좌표계상에서 작동한다.



그림 10. 착용형 AR 시스템
Fig. 10. Wearable augmented reality system.

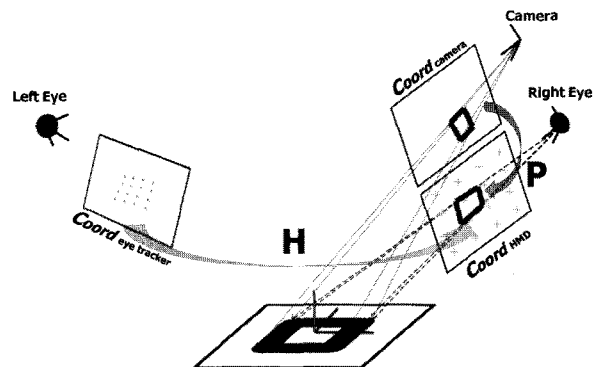


그림 11. 각 장치 간의 기하학적 변환 관계
Fig. 11. Geometry transform among devices.

나. 증강현실 장면 구현

그림 12(a)에서 보는바와 같이 5개의 레고 캐릭터로 스타워즈 장면을 구성하였다. 사용자가 착용형 AR 시스템을 쓴 채로 레고 캐릭터를 응시하면 각 캐릭터에 해당하는 정보가 HMD에 출력되는 시나리오이다. 각 캐릭터 하부에는 원활한 검출 및 추적을 위해 마커를 부착하였다.

실제세계의 장면을 증강현실로 구현하기 위해 실제세계의 3차원 좌표계를 구하여 가상의 좌표계로 매핑해야 한다. 그림 12(b)와 같이 우리는 ARToolkit을 사용하여 각 캐릭터의 호모그래피(homography)를 계산하였고 3차원 좌표계를 가상 좌표계에 변환하였다. 이로써 레고 캐릭터의 위치, 회전, 이동 정보가 OpenGL상의 3차원 좌표계에 등록되었고 우리는 사용자 전망의 장면을 증강 현실로 재구성할 수 있었다.

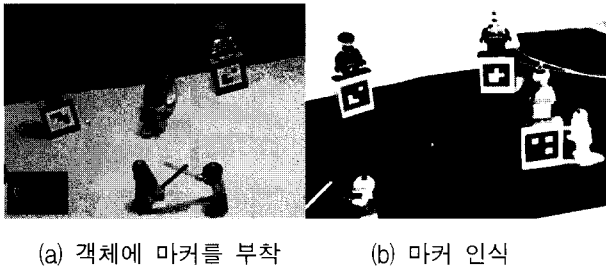


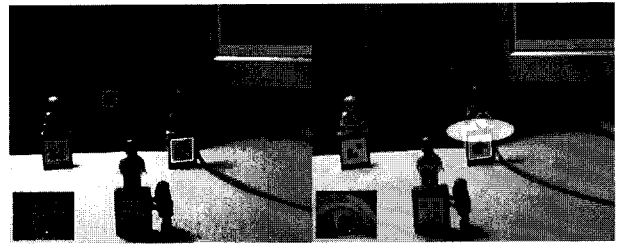
그림 12. 증강 현실 구현에 사용된 스타워즈 씬 Fig. 12. Starwars scene for AR.

다. 응시 상호작용을 이용한 시스템 운용

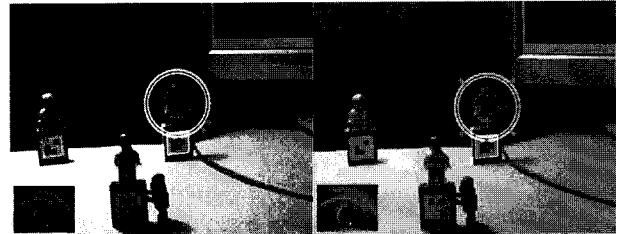
눈 추적기를 통해 획득한 응시 상호작용을 시스템에 이용하기 위해 눈 추적기의 좌표계와 증강현실 좌표계와의 교정(calibration) 과정이 필요하다. 최종적으로 증강현실 좌표계는 HMD의 화면 좌표계에 투영되기 때문에, 우리는 응시 커서의 움직임 범위를 HMD 화면 좌표계로 제한하였다. 동공 중심좌표로 HMD 화면 좌표계 상의 응시 좌표를 계산하기 위하여 시스템 구동 시마다 교정 작업을 해야 한다. 그림 13과 같이 사용자는 HMD에 출력되는 16개의 기준 점을 순서대로 응시하



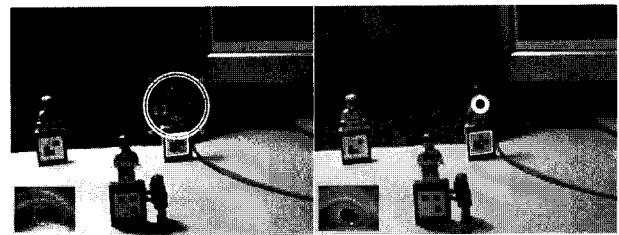
그림 13. 눈 추적기 좌표계와 HMD 좌표계의 교정 Fig. 13. Calibration between eye tracker and HMD.



(a) 캐릭터를 응시하지 않음 (b) 캐릭터 응시 시작



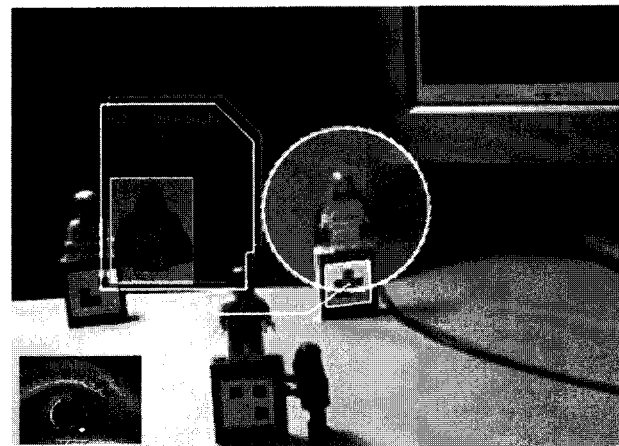
(c) lock-on 진행 중 (d) lock-on 완료



(e) 반 깜박임 선택 실행 (f) 2차 선택 단계



(g) 2차 선택 단계 (h) 2차 선택 단계



(i) 캐릭터의 이름, 소속, 나이 등의 정보가 증강됨

그림 14. 증강 현실 주석 시스템 Fig. 14. AR annotation system.

고, 버튼을 눌러 동공 중심좌표를 저장한다.

동공 중심 좌표와 HMD 화면 기준점은 평면상(z=0)에 존재하기 때문에 16쌍의 저장된 좌표를 이용하여 두 평면 사이의 기하학적 변환 관계를 나타내는 그림 11의 호모그래피(H)를 계산할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x'_1 \\ x'_2 \\ x'_3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \\ = x'_D = H_{TD}x_T \quad (1)$$

식(1)에서 x_1, x_2 는 눈동자 추적기에서 취득된 동공 중심점의 x좌표와 y좌표를 의미하며 x_3 는 동차좌표계(Homogeneous) 값인 1이다. 그리고 x'_D 는 HMD로부터 취득된 눈동자 좌표를 의미한다.

교정 과정 완료 후, 실시간으로 획득한 동공 중심좌표에 호모그래피를 곱하면 HMD 화면 좌표계의 응시 좌표를 얻을 수 있다. 이 좌표에 응시 커서를 출력하여 사용자에게 시각 피드백을 제공하였다.

안정적인 객체 선택 및 상호작용을 위해 응시지속 선택 기법과 반 깜박임 선택 기법으로 구성된 2단계 선택 기법을 적용하였다. 사용자가 레고 캐릭터를 바라보면 커서의 모양이 변하며 응시지속이 증가한다. 그림 14의 (b),(c),(d)와 같이 일정 시간이 지나면 응시지속 선택이 발생하고 1차 선택 상태인 잠김(lock-on) 모드로 들어간다. 잠김 모드가 되면 응시 커서의 좌표가 갱신되지 않고 반 깜박임 동작 인식 루틴이 작동한다. 응시 지속 선택과 반 깜박임 선택 기법의 조합은 안정적인 선택을 가능하게 한다. 사용자가 한 점을 바라보려고 노력 하더라도 눈의 흔들림(jitter)현상 때문에 응시 좌표는 지속적으로 변하는데 잠김 모드를 통해 이 문제를 해결하였다. 그림 14의 (e),(f),(g),(h),(i)와 같이 잠김 모드에서 사용자가 반 깜박임 동작을 하면 2차 선택 상태로 넘어가며, 응시하고 있는 캐릭터의 이름, 나이, 소속 등의 자세한 정보가 캐릭터 옆에 증강 된다. 빠르게 눈이나 머리를 돌리면 1, 2차 선택 상태에서 벗어 날 수 있다.

라. 광투과 HMD를 통한 디스플레이

HMD는 일반 디스플레이 장치보다 더 큰 몰입감을 제공하고 휴대가 편리하기 때문에 증강현실 연구에서 자주 이용된다. 특히 광투과 HMD는 카메라로 촬영한 영상이 아닌 실제 뷰(view)에 가상 정보가 합성된 증강

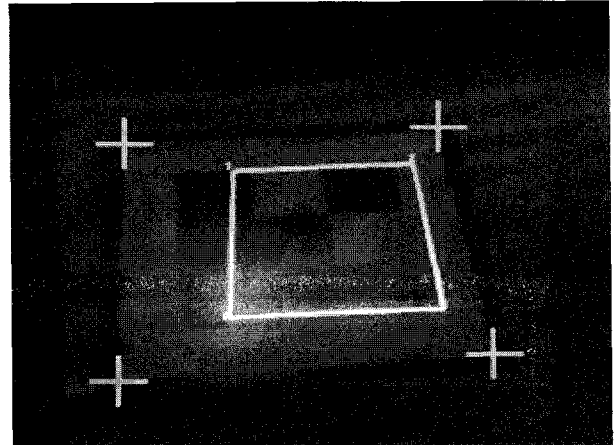


그림 15. HMD 정합 과정

Fig. 15. HMD registration.

뷰를 제공해주기 때문에 몰입감은 더욱 커진다. 광투과 HMD를 이용하기 위해서는 실제 뷰의 객체 위에 가상 정보가 정확히 출력되도록 좌표를 맞추는 정합(registration)이 필요하다. 하지만 컴퓨터는 사용자의 망막에 맺히는 실제 뷰에 접근할 수 없기 때문에 정합 과정은 사용자의 입력을 통해 수동으로 이뤄진다. 우리는 SPAAM(Single Point Active Alignment Method)^[9]으로 그림 11의 실제 뷰와 HMD 좌표계 사이의 투영행렬인 P를 계산하였고, 이를 레고 캐릭터의 좌표에 곱하여 정합을 할 수 있었다. 그림 15에서 사용자가 HMD의 창을 통해 보여진 실제 마커의 네 모서리인 초록 십자 모양을 클릭하면 카메라로 검출한 마커의 모서리인 네 모서리내 사각형과 정합이 이루어진다. 마커를 다른 위치로 이동한 후, 한 번 더 위 과정을 수행하면 정합이 마무리 된다. SPAAM을 통해 실제 뷰와 가상 뷰의 만족스러운 정합 결과를 얻었다.

III. 실험

실험은 CPU Intel 코어2쿼드 Q6600 2.4GHz, RAM 2GB 의 PC 환경에서 진행하였다.

가. 응시 상호작용 평가

사용자가 실제로 바라보고 있는 응시점과 눈 추적기로 획득한 HMD 좌표계의 응시점의 오차가 적을수록 정확한 응시 선택이 가능하다. 오차는 눈 추적기에서 획득한 동공 중심 좌표의 오차, 사용자의 응시 불안정에 의한 오차, 눈 추적기와 HMD의 보정 오차로 구성 된다.

고해상도의 근접 눈 영상을 이용했기 때문에 눈 추적기로 획득한 동공 중심 좌표의 오차는 무시할 수 있다. 최근 연구에서 눈 추적기의 검출 오차는 무시하는 추세이다^[10]. 결국 응시 좌표의 오차는 보정 과정 시 사용자의 응시 불안정으로 인한 보정 오차에 기인한다고 볼 수 있다.

응시 불안정은 동공의 흔들림(jitter) 현상과 주시안(dominant eye)의 혼용 때문에 발생한다. 칼만 필터의 완충 효과를 이용하여 흔들림 현상을 보완 할 수 있지만, 주시안의 혼용을 막기 위해서는 사용자의 집중, 훈련이 요구된다. 사람이 어떤 물체를 바라보기 위해 눈을 움직일 경우, 양쪽 눈의 시선이 동일하게 물체를 향하지 않고 한 쪽 눈으로만 물체를 정확히 바라보게 된다. 즉 한 쪽 눈이 시선을 이끌고 나머지 눈은 이를 따라가게 되는데, 시선을 이끄는 눈을 주시안이라 부른다. 우안시인 사람은 오른쪽 눈으로, 좌안시인 사람은 왼쪽 눈으로 응시 방향을 결정하는데 때에 따라 좌우 눈을 혼용하기도 한다. 동일한 점을 응시한다 할지라도 주시안에 따라 동공 중심 좌표가 다르게 나타나는데, 이 때문에 보정 과정 중의 주시안 혼용은 큰 오차를 발생시킨다. 이러한 오차는 눈 추적기와 HMD 좌표계 사이의 호모그래피 오차로 이어지고 최종적으로 응시 좌표의 오차로 나타난다. 호모그래피의 정확도는 참조된 점의 개수에 따라 달라지는데, 우리는 실험을 통해 기준점 개수에 따른 응시 좌표의 정확성을 평가하였다.

첫 번째 실험에서는 사용자가 응시한 16개의 기준점을 1회 참조하였고, 두, 세 번째 실험에서는 각 기준점마다 1, 2초 동안 입력된 동공 중심 좌표를 참조하여 호

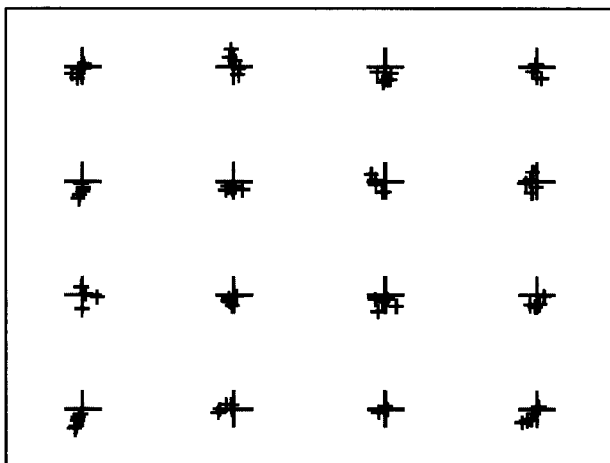


그림 16. 응시 오차
Fig. 16. Gaze point error.

모그래피를 계산하였다. 그림 16과 같이 사용자는 HMD 화면에 출력된 16개 붉은 십자 모양을 보며 버튼을 눌러 응시 좌표를 저장하였고, 이 과정을 5회 반복하여 기준점과 응시 좌표의 평균 오차를 계산하였다.

표 2를 보면 예상처럼 호모그래피 계산에 참조한 동공 중심점의 개수가 많을수록 응시 좌표의 오차가 감소함을 볼 수 있었다. 평균 8.5 화소의 오차는 다른 연구^[10]와 유사한 정도로 상호작용하기에 충분한 정확도를 나타내었다. 응시 오차를 줄이기 위해서는 많은 데이터를 획득해야 하기 때문에 보정 과정에 더 많은 시간이 필요하였지만, 실험 결과 각 조건에서의 보정 과정 소요시간은 19초, 24초, 41초로 모두 납득할 만한 수준이었다.

또 제안한 응시 상호작용의 속도를 평가하였다. 이는 상호작용의 사용성과 직결되는 요소로서 우리는 가장 일반적인 마우스를 이용한 상호작용과 비교하여 실험하였다. 그림 17과 같이 HMD에 출력된 구형 객체 중에 임의의 구를 사용자가 선택하는 과정으로 실험이 이뤄졌다. 상호작용 시간은 커서를 객체로 옮기는 포인팅 시간과 선택 시간으로 나뉘어진다. 마우스로 상호작용하는 경우 약 740ms가 소요 되었는데, 눈으로 구의 위

표 2. 보정 시 참조한 점의 개수에 따른 응시 좌표 오차

Table 2. Gaze point error in each experiment condition.

각 점당 참조 횟수 (전체 참조점 개수)	Distance mean Error(pixels)	Angle mean Error(degrees)
1회(16개)	17.6	0.81
24회(384개)	12.1	0.56
48회(768개)	8.5	0.39

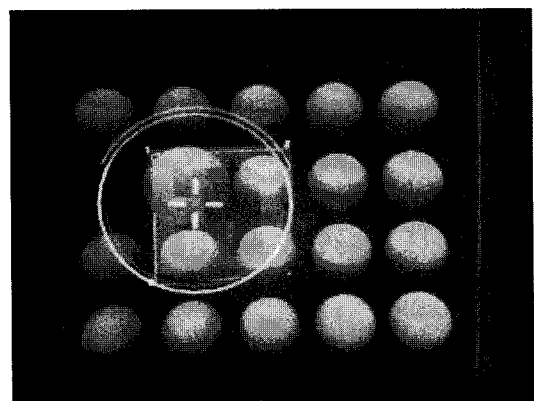


그림 17. 응시 상호작용 속도 측정
Fig. 17. Experiment of speed of gaze interaction.

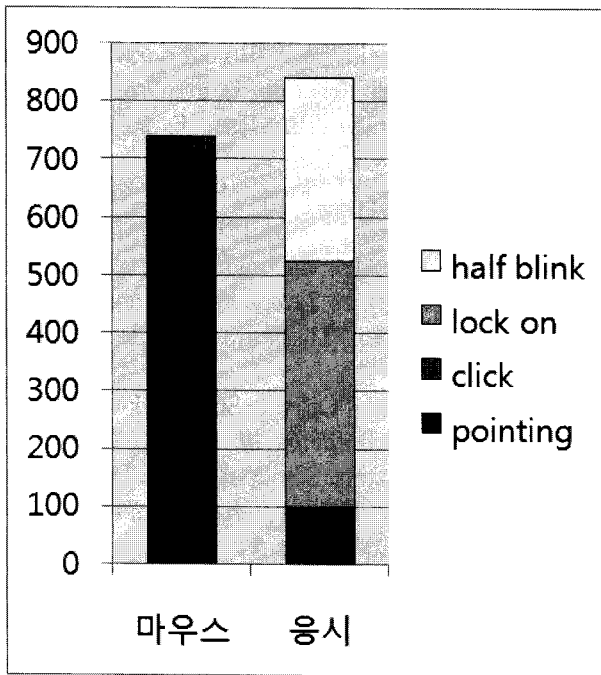


그림 18. 마우스와 응시를 통한 상호작용 시간(ms)
 Fig. 18. Interaction time(ms) using mouse and gazing.

치를 확인하고 손으로 마우스를 움직이는 과정을 수반하기 때문에 포인팅 시간이 715ms로 대부분을 차지하였다. 반면 응시 상호작용의 경우 전체 상호작용 시간은 약 835ms로 마우스를 이용한 경우와 비슷하였지만, 시간의 구성비는 전혀 다르게 나타났다. 손으로 커서를 이동하는 과정 없이, 바라봄과 동시에 커서가 구 위로 이동하기 때문에 포인팅 시간이 매우 적게 소요됨을 볼 수 있다. 대부분 lock-on과 반 깜박임을 통한 선택 과정에서 시간이 소요되는데, lock-on 시간은 사용자의 응시 훈련 정도에 따라 탄력적으로 변경할 수 있다. 우리는 반 깜박임 선택 기법의 정확성을 평가하기 위해 긍정 오류(false positive)와 부정 오류(false negative)를 측정하였다. 긍정 오류는 사용자가 반 깜박임 동작을 하였는데 시스템이 그것을 인식하지 못한 오류이고, 부정 오류는 반 깜박임 동작을 하지 않았는데 반 깜박임으로 인식한 오류이다. 실험은 15명의 20~30대 남녀를 대상으로 각각 5분 동안 60회의 반 깜박임 동작을 포함한 다양한 눈의 움직임을 통해 진행되었고 긍정 오류는 평균 5.4회, 부정 오류는 평균 2.2회 발생하였다.

우리는 실험을 통해 응시 인터랙션을 통해 마우스와 동일한 정도의 상호작용이 가능함을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 마이다스 터치 문제를 완전히 해결한 응시 상호작용과 이를 적용한 착용형 AR 주식 시스템을 제안하였다. 광투과 HMD, 카메라, 그리고 눈 추적기 등으로 구성된 시스템을 착용한 사용자는 응시를 통해 증강현실 주식 시스템을 운용하고, 객체의 증강된 정보를 제공 받을 수 있었다. 먼저 눈 추적기로 응시 상호작용을 획득하고 카메라를 통해 전방의 실제 세계를 3차원 재구성 하였다. 눈 추적기와 HMD의 보정을 통해 HMD 좌표계의 응시 좌표를 구하였고 HMD 정합 과정을 거쳐 실제 뷰의 좌표계와 가상 뷰의 좌표계를 일치시켰다. 이를 통해, 사용자가 실제 세계의 객체를 응시함에 의해 증강현실 공간상의 객체를 선택할 수 있었고, HMD를 통해 객체의 추가 정보를 제공 받았다. 또 응시 상호작용의 대표적인 문제점인 마이다스 터치 문제를 해결한 반 깜박임 선택기법을 제안하고 이를 시스템에 적용하여 그 효용성을 확인하였다.

제안한 응시 상호작용을 이용한 증강현실 시스템은 첨단 국방 연구에 적용될 수 있다. 실제로 미국의 Land warrior^[11]뿐 아니라 한국의 첨단 보병 시스템 연구에서도 고글 형태의 HMD를 기반으로 한 통합 시스템을 채용하고 있다. 앞으로 안경 형태의 HMD 출시, 그리고 눈 추적기와 카메라의 소형화 등으로 인해, 착용형 AR의 적용 분야는 더욱 늘어날 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] S. Feiner, B. MacIntyre, T. Hollerer, A. Webster "A Touring Machine : Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment", *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 1, no. 4, pp. 1617-4909, Dec 1997.
- [2] J. Looser, M. Billingham, R. Grasset, A. Cockburn "An Evaluation of Virtual Lenses for Object Selection in Augmented Reality". *5th international conference on Computer graphics and interactive techniques - GRAPHITE 2007*, pp. 203-210, Perth, Australia, Dec 2007.
- [3] C. Bichlmeier, F. Wimme, S.M. Heining, N. Navab, "Contextual Anatomic Mimesis Hybrid In-Situ Visualization Method for Improving Multi-Sensory Depth Perception in Medical Augmented Reality", *The Sixth IEEE and ACM*

International Symposium on Mixed and Augmented Reality(ISMAR 2007), pp. 129-138, Nara, Japan, Nov 2007.

[4] T. Höllerer, S. Feiner, "Mobile Augmented Reality". *Telegeoinformatics: Location-Based Computing and Services*, Taylor and Francis Books Ltd., pp. 221-260, Jan 2004.

[5] S. Nilsson, T. Gustafsson, P. Carleberg "Hands Free Interaction with Virtual Information in a Real Environment", *The 3rd Conference on Communication by Gaze Interaction - COGAIN 2007*, pp.53-57, Leicester, UK, Sep 2007.

[6] H. M. Park, S. H. Lee and J. S. Choi, "Wearable Augmented Reality System using Gaze Interaction", *The Seventh IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality(ISMAR 2008)*, pp.175-176, Cambridge, UK, Oct 2008.

[7] A. Fitzgibbon, M. Pilu, R.B. Fisher, "Direct least square fitting of ellipse", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 21, Issue 5, pp. 476-480, May 1999.

[8] R. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, B. MacIntyre, "Recent advances in augmented reality", *Computer Graphics and Applications*, Volume 21, Issue 6, pp. 34 - 47, Nov 2001.

[9] M. Tuceryan, Y. Genc, N. Navab, "Single-Point Active Alignment Method (SPAAM) for Optical See-Through HMD Calibration for Augmented Reality", *Presence Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 11, No. 3, pp. 259-276, June 2002.

[10] Agustin J. S., "Off-the-Shelf Mobile Gaze Interaction", *Proceedings of COGAIN 2008*, pp. 6-10, Prague, Czech, Sep 2008

[11] Land warrior, http://en.wikipedia.org/wiki/Land_Warrior, 2007.

[12] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, 2000.

저 자 소 개



박 형 민(학생회원)
2007년 경희대학교 전자정보학부
학사 졸업.
2009년 중앙대학교 첨단영상
대학원 영상공학과
석사 졸업.

<주관심분야 : 증강현실, 인터랙션, UI>



이 재 영(학생회원)
2005년 세명대학교 전기공학과
학사 졸업.
2007년 중앙대학교 첨단영상
대학원 영상공학과
석사 졸업.
2007년~현재 중앙대학교
첨단영상대학원
영상공학과 박사과정.

<주관심분야 : 영상처리, 증강현실, 컴퓨터비전>



이 석 한(정회원)
1999년 중앙대학교 전자공학과
학사 졸업.
2001년 중앙대학교 첨단영상
대학원 석사 졸업.
2001년~2004년 LG전자
주임연구원.

2009년 중앙대학교 첨단영상대학원 박사 졸업.
2009년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원
박사 후 과정.

<주관심분야 : 실시간 카메라 추적, 증강현실, 3차원 컴퓨터 비전>



최 종 수(평생회원)-교신저자
1975년 인하대학교 전기공학과
학사 졸업.
1977년 서울대학교 대학원
전자공학과 석사 졸업.
1981년 Keio University(일본)
전기공학과 박사 졸업.

1981년~1981년 Aloka Co. Ltd 연구소
연구원.

1981년~1999년 중앙대학교 전자공학과 교수.
1999년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원
영상학과 교수.

<주관심분야 : 영상신호처리, 컴퓨터 비전, 증강현실, 영상합성, 영상통신>