

손동작을 이용한 상호작용 증강현실 시스템

최광운[†], 정다운^{**}, 이석한^{***}, 최종수^{****}

요 약

본 논문에서는 컴퓨터 비전 기술 기반으로 사용자의 손 움직임과 가상객체 사이의 자연스러운 상호작용을 위한 증강현실 시스템을 제안한다. 기존의 증강현실 시스템은 마커를 이용하거나 트랙커 같은 센서를 직접 조작해야 했기 때문에 사용자에게 불편함을 제공한다. 우리는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 손 움직임을 증강현실 시스템에 적용한다. 또한 가상객체의 움직임에 물리적 현상을 적용하여 현실감을 부여한다. 제안한 시스템은 마커를 이용하여 기하학적 정보를 얻어 가상의 공이 움직이는 가상공간, 벽돌 등의 시스템 환경을 구성하였으며, 사용자의 손 움직임은 테이핑을 통하여 특징점을 추출하여 정보를 얻는다. 이 특징점을 이용하여 손 위에 가상 평면을 안정적으로 정합한다. 가상의 공의 움직임은 포물선 방정식을 이용하여 기본적으로 포물선 움직임을 보이고, 평면 또는 벽돌에 충돌이 발생할 경우에는 가상 공의 위치와 평면의 법선벡터를 이용하여 가상 공의 움직임을 보였다. 실험을 통해 충돌 시 발생하는 잘못된 공의 위치에 대해 보정되는 과정을 보였고, 증강된 가상객체의 떨림과 수행속도에 대해 마커를 이용한 시스템과 비교하여 제안한 시스템으로 대체할 수 있다는 것을 확인하였다.

Interaction Augmented Reality System using a Hand Motion

Kwang-Woon Choi[†], Da-Un Jung^{**}, Suk-Han Lee^{***}, Jong-Soo Choi^{****}

ABSTRACT

In this paper, We propose Augmented Reality (AR) System for the interaction between user's hand motion and virtual object motion based on computer vision. The previous AR system provides inconvenience to user because the users have to control the marker and the sensor like a tracker. We solved the problem through hand motion and provide the convenience to the user. Also the motion of virtual object using a physical phenomenon gives a reality. The proposed system obtains geometrical information by the marker and hand. The system environments like virtual space of moving virtual ball and bricks are made by using the geometrical information and user's hand motion is obtained from the hand's information with extracted feature point through the taping hand. And it registers a virtual plane stably by getting movement of the feature points. The movement of the virtual ball basically is parabolic motion with a parabolic equation. When the collision occurs either the planes or the bricks, we show movement of the virtual ball with ball position and normal vector of plane and the ball position is faulted. So we showed corrected ball position through experiment. and we proved that this system can replaced the marker system to compare to jitter of augmented virtual object and progress speed with it.

Key words: Augmented reality(증강현실), Hand motion(손동작)

※ 교신저자(Corresponding Author): 최종수, 주소: 서울특별시 동작구 흑석동 중앙대학교 교수연구동 612호(156-756), 전화: 02)820-5295, FAX: 02)826-2505, E-mail: kk228123@imagelab.co.kr

접수일: 2011년 9월 9일, 수정일: 2011년 12월 17일
완료일: 2012년 2월 1일

[†] 준회원, 중앙대학교 첨단영상대학원
(E-mail: kk228123@imagelab.cau.ac.kr)

^{**} 준회원, 중앙대학교 첨단영상대학원
(E-mail: crisia@imagelab.cau.ac.kr)

^{***} 정회원, 중앙대학교 첨단영상대학원
(E-mail: ichthus@imagelab.cau.ac.kr)

^{****} 정회원, 중앙대학교 첨단영상대학원
(E-mail: jschoi@cau.ac.kr)

※ 본 연구는 2단계 BK21의 지원으로 수행되었음.

1. 서 론

증강현실(Augmented Reality)은 인간과 컴퓨터와의 상호작용 및 의사전달에 이용할 수 있는 새로운 패러다임을 제공하는 기술으로써 현실세계를 토대로 가상의 사물을 이음새 없이 실시간으로 혼합할 뿐만 아니라 가상세계를 통해서 얻어지는 여러 가지 부가정보들을 현실세계에 추가하여 사용자에게 가상현실과 차별되는 현실감을 제공한다[1]. 증강현실은 의료[2,3], 교육[4], 미술·전시[5] 등과 같이 다양한 응용분야에서 사용되어지고 있다.

게임은 사용자가 경험하기 힘든 현실을 대체하여 경험을 할 수 있는 역할을 하는데, 가상현실상의 게임은 현실감이 떨어지지만 증강현실은 현실감이나 몰입감 등을 줄 수 있기 때문에 더욱 효과적이다. 증강현실 기술은 사용자가 게임에 직접 참여하여 실세계에서 일어나는 것처럼 느낄 수 있도록 도와준다. 이러한 증강현실의 특성 때문에 증강현실을 게임에 적용시키는 연구가 이미 되고 있다[6-8]. 증강현실 게임이 사용자들에게 현실감 및 흥미를 주기 위해서는 현실세계와 가상의 객체들이 잘 어우러지게 정합시키는 것이 중요하다. 그래서 기존의 증강현실 연구는 주로 현실세계와 증강된 객체와의 자연스러운 매칭을 위한 연구들로 집중되었다[9-11]. 최근에는 현실세계와 증강된 객체와의 자연스러운 매칭을 위한 연구뿐만 아니라 가상 객체의 움직임에 현실세계에서 일어나는 움직임을 부여해 현실감 있는 상호작용을 하도록 하는 연구 또한 활발히 이루어지고 있다[12]. 자연스러운 매칭과 현실감 있는 상호작용은 모두 현실세계에 가상의 객체를 혼합하여 표현하는 것으로 컴퓨터 비전 기술을 이용한 증강 현실이 많은 주목을 받고 있다.

컴퓨터 비전 기술을 이용한 증강 현실은 카메라에서 얻은 영상 내에서 특징을 찾고, 이 특징을 기반으로 하여 증강 현실을 구현하므로 환경의 제약이 적다. 그리고 휴대용 장비 등에 적용하기 용이하다는 장점을 가지고 있다. 컴퓨터 비전 기술을 이용한 증강 현실의 구현을 위해서는 증강이 되는 대상 객체와 객체를 바라보는 카메라의 3차원 위치 정보의 관계를 빠르고 정확하게 알아내야 한다. 이러한 정보는 마커[13], 트랙커[14], 데이터 클러브[15] 등 다양한 방법을 이용해서 추출할 수 있고, 이를 통하여 현실

감을 향상시키고 사용자의 몰입도를 높일 수 있기 때문에 컴퓨터 비전을 이용한 증강현실 시스템에도 적용하려는 연구들이 진행되고 있다.

Imura의 연구[17]는 증강현실 환경에서 가상유체를 합성하는 표현 방법을 제안하였다. 예측 불가능한 사용자들의 움직임에 대해 유체들의 적절한 반응을 나타내기 위해 파티클 기반의 유체 시뮬레이션 방법 사용하였다. 이 실험은 2개의 카메라에 의해서 이미지를 얻었으면 GPU를 이용하여 유체의 역학 운동을 실시간으로 표현하였다. Imura는 현실세계에서 일어나는 유체의 움직임을 가상유체에 적용할 수 있다는 것을 실험을 통해 보였다.

Bergig의 연구[18]는 마커 역할을 하는 종이 위에 연필을 이용하여 다수의 객체를 스케치를 하고 스케치된 내용을 가상의 3차원 객체로 표현해주는 증강현실 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 우선 사용자가 직접 손으로 종이 위에 스케치를 한 후 웹캠을 통해서 스케치된 종이를 인식한다. 인식 후 종이 위에 스케치된 그림이 3차원 가상 객체가 모니터를 통해 증강된다. 이 연구는 사용자가 손으로 직접 스케치한 그림이 3차원의 가상 객체로 증강될 뿐만 아니라 3차원 가상 객체들 사이에 힘과 관성을 적용하여 움직임을 표현하였고 실험을 통하여 가능성을 제시하였다.

Uematsu의 연구[19]는 증강현실 환경에서 비전 기반의 추적 방법을 사용하여 실시간 상호작용이 가능한 볼링 시스템을 제안하였다. 사용자가 테이블 위에 모델링된 레인을 따라 직접 진짜 공을 굴리는 시스템이다. 레인 끝에 마커를 놓고 컴퓨터 그래픽을 이용하여 가상의 핀들을 마커 위에 표현하였다. Table PC에 부착된 웹캠에서 얻어진 이미지와 가상의 볼링 핀이 겹치게 되고, 카메라 자세는 모델링된 레인 주변에 놓여진 2D 마커를 통해서 추정하였다. 얻어진 이미지에서 공과 핀의 충돌을 검출하기 위해서 공의 위치를 매 프레임 계산하고 충돌이 일어난 후 검출된 공의 움직임과 핀의 관계를 계산하여 가상 핀 넘어지는 방향이 계산된다. 이 연구는 증강현실 환경에서 진짜 공과 가상의 핀 사이에 움직임 관계를 표현하여 실제 볼링 시스템을 구현하였다.

Kaufmann의 연구[20]는 기계학 교육을 위한 증강현실 응용프로그램을 제안하였다. 이 프로그램은 PC 게임 시장을 위해 개발된 물리엔진을 이용하여 만들

어졌으며 학생들이 3차원 가상세계에서 공부하고 그들이 스스로 실험을 활동적으로 할 수 있게 만드는 새로운 특성을 가진 물리학 교육방법을 제시하였다. HMD(head-mounted display), 무선 펜, PIP(personal interaction panel)을 이용하여 구성하였으며 무선 펜과 PIP은 3차원 공간을 조절하는데 사용된다. 모든 장치는 적외선 optical tracking 시스템인 iotracker에 의해서 추적된다. 이 프로그램을 통해서 물리학을 공부하는 학생들은 재미와 몰입감을 동시에 향상시킬 수 있다.

Changhun Chae의 연구[21]는 증강현실 시스템을 이용하여 가상의 객체를 증강시키고 뿐만 아니라 증강된 가상의 객체에 자연스러운 움직임은 나타내기 위한 어플리케이션을 제안하였다. 이를 위해 ODE(Open Dynamics Engine), OpenSceneGraph, osgART가 사용되었다. ODE를 통해 가상 객체에 움직임을 표현하였고 OSE는 3D 고성능 그래픽스를 osgART는 증강현실을 구현하기 위해서 사용되었다. 이 연구는 마커를 이용하여 증강된 가상의 공의 움직임을 자연스럽게 표현하기 위해서 실제 공의 움직임을 부여하였고, 또한 가상의 공과 마커와의 상호작용을 보였다.

이처럼 마커 또는 다른 입력장치를 이용해 단순히 가상객체를 증강시키는 것만이 아니라 현실세계에서 일어나는 현상들을 가상객체에 그대로 적용하여 현실감을 높여주는 증강현실 시스템의 연구가 계속되어왔다. 마커나 트랙커 같은 입력장치는 가상 객체를 안정적으로 증강시킬 뿐만 아니라 사용자들이 가상객체와의 상호작용을 위한 도구로 사용되었다.

우리는 이전에 컴퓨터 비전 기술에 트랙커를 적용하여 증강현실 시스템을 구현하였다[16]. 이 연구에서는 증강현실 기술을 이용하여 가상의 공을 만들고, 트랙커를 이용하여 3차원 정보를 얻어 가상의 공과의 상호작용을 구현했다. 마커를 통하여 기하학적 정보를 얻어 가상의 공과 이것의 움직임이 일어나는 가상공간을 만들어 주었다. 현실세계와의 똑같은 움직임을 가상의 공에 부여하기 위해서 포물선 방정식과 마커의 Z축 반대 방향에 현실과 같은 중력을 부여하여 가상의 공에 움직임을 부여했다. 트랙커를 탁구체에 부착하여 탁구체의 움직임의 정보를 얻었고, 이것과 가상 공의 움직임 정보를 이용하여 탁구체와 가상의 공과의 충돌을 나타내었다. 그러나 만약 가상

객체의 움직임을 현실세계의 움직임을 고려하지 않고 단순히 미리 지정된 애니메이션을 통하여 움직임을 표현한다면 현실세계와 비교하여 그 움직임이 현실세계의 것과 많은 차이를 나타내어 사용자로 하여금 이질감을 느끼게 할 수 있다. 그렇기 때문에 가상 객체에 물리적 특성을 부여하여 현실세계와 증강된 가상객체 사이에 자연스러운 혼합과 상호작용을 동시에 반영하여 사용자에게 더욱 향상된 현실감을 제공한다. 하지만 이 방법을 사용하면 사용자들이 트랙커 설치와 직접 조작해야하는 불편함을 제공할 뿐만 아니라 비용이 많이 든다는 단점이 있다.

본 논문에서는 이전 연구를 바탕으로 손 추적 기술과 증강현실 기술을 접목한 증강현실 시스템을 제안하여 이전 연구의 문제점을 보완하고 사용자들에게 편의성 및 현실감을 제공하였다. 이전 연구에서는 트랙커를 이용하여 정보를 얻어 가상의 공과의 상호작용을 보였지만 우리는 사용자의 손 움직임을 적용하여 가상 객체와의 상호작용을 보였다.

제안한 시스템은 마커를 이용하여 기하학적 정보를 얻어 공과 벽돌 및 가상 공의 움직이는 가상공간을 만들었고, 사용자의 손 움직임은 테이블을 통하여 특징점을 추출하여 정보를 얻었다. 이 특징점들을 이용하여 가상의 공과의 상호작용을 나타냈다. 가상 공의 움직임은 포물선 움직임을 보이고, 평면 또는 벽돌에 충돌이 발생할 경우에는 가상 공의 위치와 평면의 법선벡터를 이용하여 가상 공의 움직임을 보였다. 충돌 시 발생하는 잘못된 공의 위치를 보정하였고, 증강된 가상객체의 떨림과 수행속도에 대해 마커를 이용한 시스템과 비교하여 제안한 시스템이 충분히 대체할 수 있는 성능을 보였다.

2. 시스템 구성

우리가 제안한 시스템은 손 움직임을 적용하여 자연스러운 가상객체의 상호작용을 만들어주는 컴퓨터 비전을 이용한 실시간 증강현실 시스템이다. 그림 1을 통해서 시스템을 간단하게 표현하고 있다. 카메라에서 실시간으로 획득한 입력영상 안에서 마커를 인식하여 마커 위에 평면과 벽돌 등 시스템의 전반적인 환경을 만든다. 손의 움직임을 정확하게 얻기 위해서 테이블을 이용하였다. 호모그래피는 최소 4개의 특징점이 필요하기 때문에 1개의 녹색과 3개의

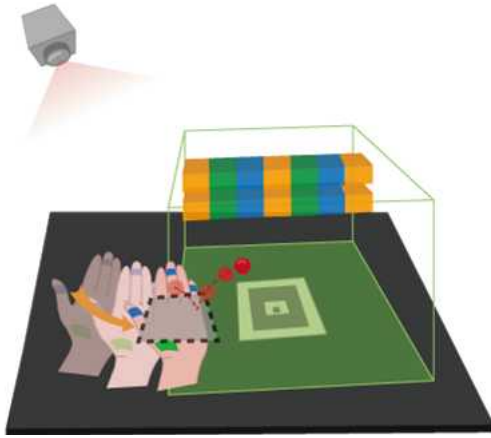


그림 1. 제안한 시스템 구성

파란색 테이프를 이용하여 테이핑을 하였으며 Ycbr, HSV 컬러모델을 이용하였다. 얻어진 영역에 대해서 외곽선을 추출하고, 추출한 외곽선 대한 최대, 최소 점의 좌표값을 가지고 특징점을 추출하였다. 이 특징점들을 이용하여 손에 대한 좌표계를 구성하였으며 좌표계 변환을 통하여 게임이 이루어지는 기준 좌표계로 변환시켰다. 공의 움직임은 포물선 운동과 공과 평면에 대한 충돌을 법선벡터, 매개변수방정식을 이용하여 모델링 하였다. 마지막으로 카메라로부터 획득한 영상과 가상의 객체를 합성하여 사용자에게 제공한다.

그림 2는 제안된 시스템의 프로세스 과정을 보여준다. 우리는 마커에서 얻어진 기하학적 정보와 손에서 얻어진 특징점을 증강현실 시스템에 적용하기 위해서 ARtoolkit 라이브러리를 사용하였고 OpenGL



그림 2. 제안한 시스템 흐름도

그래픽 라이브러리를 이용하여 카메라로부터 얻어진 영상에 합성하였다.

3. 손 영역 검출 및 3차원 추적

3.1 손 영역 검출 및 손가락 구별과 추적

제안한 시스템에 손 움직임을 적용하기 위해서는 손 영역에서 정확한 특징점이 추출이 필요하다. 호모 그래피를 구하기 위한 최소한의 특징점은 4개이다. 우리는 손 영역에서 특징점을 찾기 위해서 3개의 파란색과 1개의 녹색테이프를 이용하였다[22].

파란색을 정확하게 추출하기 위해서 Ycbr 컬러 모델을 이용하였으며, 녹색은 HSV 컬러모델을 사용하였다. 식 (1)을 이용하여 3개의 파란영역, 1개의 녹색영역을 찾는다.

$$R_b = \{Cb|140 \leq Cb \leq 165\}, R_y = \{H|48 \leq H \leq 73\} \quad (1)$$

$B_{area[i]}$, G_{area} 은 각각의 색상 영역에 대해서 추출된 외곽선을 나타낸다. 추출된 외곽선에서 식(2)를 이용해서 각각의 중심점을 구한다. $B_{area[i]}$ 영역의 중심점은 P_{bi} 이고, G_{area} 영역의 중심점은 P_g 이다.

$$P_g = \frac{\min(G_{area}) + \max(G_{area})}{2} \quad (2)$$

$$P_{b,i} = \frac{\min(B_{area[i]}) + \max(B_{area[i]})}{2} \quad i = 1, 2, 3$$

일정한 순서를 가지는 4개의 점을 이용하여 카메라 좌표계와 손 좌표계 사이의 변환행렬을 구한다. 3개의 파란색 영역에서 얻은 특징점에 대해 식 (3)을 이용하여 순서를 정렬하였다. 그림 3은 손 영역에서 특징점 추출 과정을 블록다이어그램으로 보여준다.

$$P_{b1} = \min(\overline{P_g P_{bi}}) \quad i = 1, 2, 3 \quad (3)$$

$$P_{b2} = \min(\overline{P_{b1} P_{bi}}), P_{b3} = \max(\overline{P_{b1} P_{bi}}) \quad i = 2, 3$$

3.2 이동평균을 이용한 떨림 보정

증강현실시스템에서 정확한 특징점 추출은 중요하다. 특징점을 제대로 추출하지 못하면 중간된 가상 객체가 떨리는 문제점이 발생하기 때문이다. 우리가 제안한 증강현실시스템은 손을 이용하여 사용자와 가상 객체사이의 상호작용을 나타내어 사용자에게 더 나은 현실감을 제공하려고 한다. 하지만 손에서 정확

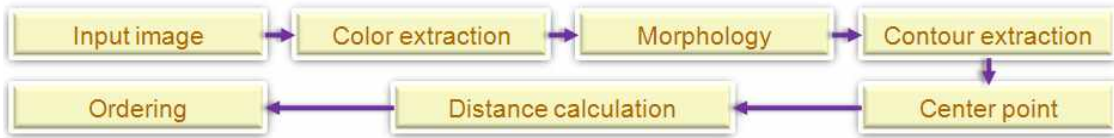


그림 3. 손 영역 특징점 추출 블록다이어그램

한 특징점을 추출하지 못하여 가상 객체의 떨림으로 인하여 사용자가 의도하지 않은 상호작용이 일어날 수 있다. 따라서 우리는 테이핑을 이용하여 손에서 특징점을 추출하여 문제점을 최소화하였지만, 테이핑 된 손을 통해서 4개의 특징점을 추출한 후, 가상의 객체를 증강시키더라도 손 위에 증강된 객체가 떨리는 문제점이 발생을 한다. 이는 매 프레임 특징점을 추출하는 단계에서 특징점의 값이 변하기 때문이다. 테이핑을 이용해서 얻은 각각의 특징점에 대해서 이동평균을 적용하여 객체의 떨림을 보정하였다. 이동평균 방법은 식 (4)로 나타낸다.

$$P_{r,avg} = (1-\alpha)P_{n-i} + \alpha P_n \quad (4)$$

$$P_{n-i} = (1-\alpha)P_{n-(i+1)} + \alpha P_{n-i}, 1 \leq i$$

i 는 반복회수으로써 이전의 움직임을 얼마나 반영할 것인지를 표현하고 있으며, 점 P_n 은 현재프레임에서 얻어진 특징점을 의미한다. 점 P_{n-i} 는 i 에 따라 얻어진 특징점들을 이동평균을 사용해서 얻어진 점을 의미한다. 점 $P_{r,avg}$ 은 현재 프레임에서 얻어진 점과 P_{n-i} 에서 구해진 점을 가지고 이동평균을 통해서 얻어진 특징점이다. α 는 0.0~1.0사이의 값으로 가중치를 의미한다.

그림 4에서 ◇로 표시된 선은 실제로 얻어진 값을 의미하고 굵은 실선은 실제로 얻어진 값에 이동평균을 적용했을 때 얻어지는 결과를 보여주는 그래프이다.

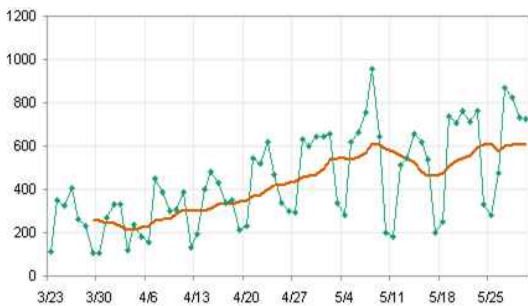


그림 4. 이동평균을 나타낸 그래프

3.3 좌표계 관계

실제 공간상에 존재하는 한 점은 3차원으로 나타내고, 카메라를 통한 영상에 존재하는 한점은 2차원으로 나타낸다. 각각 $M = [XYZ1]^T$ 과 $m = [xy1]^T$ 라고 할 때, 이들 사이의 사영 관계는 3×4 카메라 행렬 P 에 의해서 다음과 같이 정의된다[23].

$$m = \lambda PM = \lambda K[R|t]M = \lambda K[r_1 r_2 r_3 | t]M \quad (5)$$

식 (5)의 λ 는 사영 행렬 P 에 대한 스케일 변수이며, R 은 카메라의 회전 변위에 의한 3×3 행렬이다. 또한 r_i 는 행렬 R 의 i 번째 열(column)을 나타내며, t 는 카메라의 이동을 의미하는 3×1 이동 벡터(translation vector)이다. 또한 3×3 행렬 K 는 카메라의 내부 파라미터(intrinsic parameter)를 원소로 갖는 카메라 교정 행렬(camera calibration matrix)을 나타내는 정칙 행렬(non-singular matrix)이며, 일반적으로 다음과 같이 정의된다.

$$K = \begin{bmatrix} f_x & s & x_0 \\ 0 & f_y & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

식 (6)의 행렬에서 f_x, f_y 는 영상의 각 좌표 축 방향으로의 스케일 값을 의미하며, s 는 영상에 대한 비틀림 파라미터(skew parameter)이다. 그리고 (x_0, y_0) 는 영상의 주점(principal point)을 나타낸다. 식 (6)의 카메라 행렬을 구하기 위해서는 일반적으로 별도의 카메라 교정이 필요하다. 교정된 카메라 행렬 K 와 식 (4)로부터 2차원 영상 평면과 3차원 공간 내에 존재하는 한 평면 π_0 사이의 사영 관계를 계산할 수 있으며, 이는 영상 평면과 π_0 사이의 2차원 호모그래피(homography)로 정의될 수 있다. 따라서 π_0 상에 존재하는 서로 다른 4개의 점과 이들에 대한 영상 좌표 사이의 호모그래피를 이용하면 카메라 사영 행렬 P 의 계산이 가능하다. π_0 를 3차원 기준 좌표계 상의 XY평면이라고 가정하고, π_0 상의 4개의 점 $X_1 \sim X_4$ 가 영상의 $x_1 \sim x_4$ 로 사영된다고 할 때, $X_i = [X_i Y_i 0 1]^T$ 및

$x_i = [x_i, y_i, 1]^T$ 로 구성된 행렬 $M_p = [X_1, X_2, X_3, X_4]$ 와 $m_p = [x_1, x_2, x_3, x_4]$ 사이의 사영 관계는 식 (5)에 의해서 다음과 같다.

$$m_p = K[R|t]M_p = [p_1, p_2, p_3, p_4]M_p \quad (7)$$

여기서 p_i 는 사영 행렬의 각각의 열 벡터를 나타낸다. 본 논문에서는 X_i 좌표를 정사각형 마커의 네 꼭지점과 손의 영역의 네 개의 특징점을 이용하여 지정한다. 영상으로부터 검출된 마커의 꼭지점 좌표와 손의 영역의 네 개의 특징점 좌표를 식 (7)에 대입하여 정리한 다음, 식 (8)의 관계를 얻는다.

$$K^{-1} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11}X_i + r_{12}Y_i + t_x \\ r_{21}X_i + r_{22}Y_i + t_y \\ r_{31}X_i + r_{32}Y_i + t_z \end{bmatrix} \quad (8)$$

여기서 (x_i, y_i) 는 영상 내에서의 i 번째 꼭지점 좌표이며, r_{ij} 는 회전 행렬의 i 행 j 열의 원소를 나타낸다. t_x, t_y, t_z 는 이동벡터 t 의 원소이다. 식 (8)과 4개의 꼭지점 좌표를 이용하여 r_{ij} 및 t 의 값을 계산한다. 또한, 회전 행렬의 직교 조건(orthogonal condition)으로부터 R 의 세 번째 열벡터는 $r_3 = r_1 \times r_2$ 이다.

제안한 시스템에서 사용되는 좌표계는 marker, 카메라, 손의 좌표계로 구성되며 marker좌표계는 기준 좌표계가 되어 이루어진다. 따라서 손의 좌표계를 marker 좌표계로 변환 시켜야 한다. 그림 5는 제안한 시스템의 좌표계 변환과정을 보여준다.

손 좌표계 내의 점 X_h 를 식 (9)를 이용해서 카메라 좌표계로 변환한다.

$$X_c = H_h X_h \quad (9)$$

위 수식에서 $X_c(x_c, y_c, z_c)$ 는 손 좌표계에서의 점 $X_h(x_h, y_h, z_h)$ 를 카메라 좌표계로 변환된 점을 나타낸다. H_h 은 손 좌표계에서 카메라 좌표계로 바뀌는 변환 행렬이다.

$$X_m = H_m^{-1} X_c \quad (10)$$

식 (10)를 이용해서 점 $X_c(x_c, y_c, z_c)$ 를 marker 좌표계 내의 점 $X_m(x_m, y_m, z_m)$ 으로 변환한다. H_m^{-1} 은 marker 좌표계에서 카메라 좌표계로 바뀌는 변환 행렬은 H_m 의 역행렬이다.

위의 변환들을 식 (11)을 통해서 다시 정의한다.

$$X_m = H_m^{-1} H_h X_h \quad (11)$$

4. 볼 움직임의 물리적 모델링

4.1 공의 움직임

제안한 시스템에서 기본적인 가상 공의 움직임을 표현하기 위해서 등가속도 운동을 이용하여 포물선 움직임을 다음의 수식으로 모델링한다

$$\begin{aligned} v &= v_0 + at \\ x &= x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2 \end{aligned} \quad (12)$$

중력의 방향은 그림 5의 Z축의 반대방향으로 가정하였고, 공기의 저항은 무시하였다. 공은 OpenGL 그래픽 라이브러리를 사용하여 렌더링 하였고, 카메라 좌표계 안에서의 공의 좌표는 기준 좌표계로 변화시켰다.

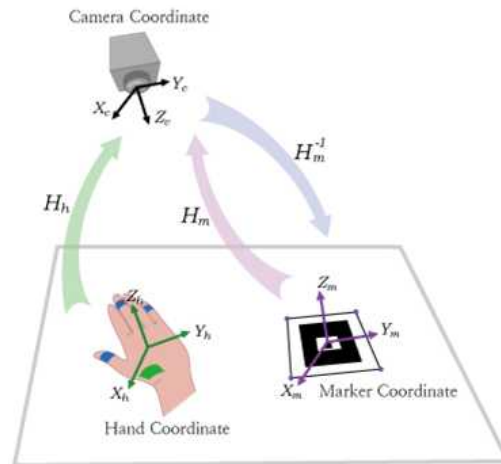


그림 5. 제안한 좌표계 시스템

4.2 충돌체크

제안한 시스템에서는 포물선 움직임을 가지는 공이 평면 또는 벽돌에 충돌이 일어났을 때 움직임의 변화가 생긴다. 우리는 이 움직임을 표현하기 위해서 평면과 벽돌 2가지 경우로 나누어서 표현하였다.

4.2.1 평면

평면과의 충돌 체크를 위하여 평면과 공의 중심점 사이의 거리를 계산하였으며 그 거리가 공의 반지름보다 작으면 충돌이 일어난다고 가정하였다. 우리는 평면과 공의 거리를 계산하기 위해서 그림 6과 같이 평면 위의 임의의 세 점을 통해서 법선벡터 이용하였

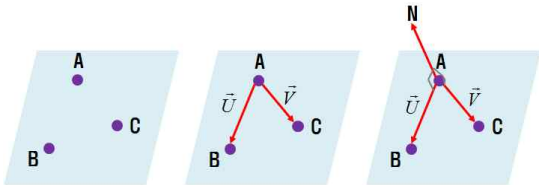


그림 6. 법선 벡터

다. 법선벡터를 구하는 방법은 식 (13)와 같다.

$$\vec{n}_i = \frac{(\vec{U} \times \vec{V})}{\|\vec{U} - \vec{V}\|} \tag{13}$$

$$= a\vec{u}_x + b\vec{u}_y + c\vec{u}_z, i = 1, 2, \dots, N$$

식 (13)에서 N은 평면의 전체 수이다. $\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z$ 는 평면 좌표계 x, y, z축에 대한 단위벡터이다. 우리는 식 (14)을 이용해서 각각의 평면의 방정식을 만들었다.

$$ax + by + cz + d = 0 \tag{14}$$

평면과 공 사이의 거리를 구하기 위해서 식 (15)를 사용하였다.

$$D_i = \frac{ax_c + by_c + cz_c + d}{\pm \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \tag{15}$$

위의 수식에서 D_i 는 공의 중심점과 평면 사이의 거리이다. 그리고 x_c, y_c, z_c 는 공의 중심점에 대한 각 축의 좌표점을 의미한다. 우리는 식 (15)에서 얻어진 음수의 값은 충돌의 반대편을 의미하기 때문에 이 값을 무시한다.

우리는 충돌이 발생하는 경우를 공의 위치에 따라 2가지로 가정하였다.

그림 7은 충돌에 대한 첫 번째 상황을 보여준다. 충돌이 발생하기 전의 공의 위치는 평면과 체와의 거리가 공의 반지름보다 큰 곳에 위치할 경우이다. 거리가 공의 반지름보다 작아진다면 충돌이 발생한다. 우리는 평면과의 거리를 계산할 때 공의 중심점을 이용하기 때문에 충돌이 일어났을 때 공의 위치는 평면을 뚫고 지나가는 (P_{vc}, P_{hc}) 가 된다. 공의 위치를 평면 위로 보정하기 위해서 우리는 식 (16), 식 (17)을 사용하였다.

$$P'_{vc} = P_{vc} - R_a \tag{16}$$

$$P'_{hc} = P_{hc} + \vec{v}_{h0}t_c \tag{17}$$

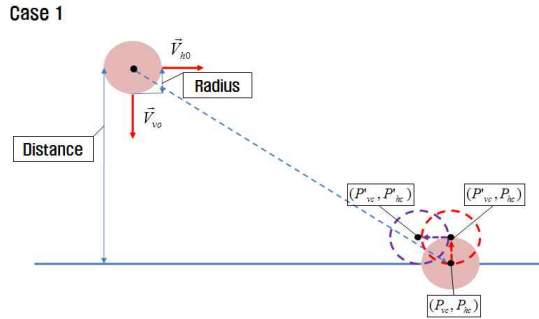


그림 7. 충돌에 대한 첫 번째 경우

위의 수식을 사용하여 보정된 공의 위치는 (P'_{vc}, P'_{hc}) 로 나타내었다.

식 (16)에서 R_a 는 공의 반지름이다. \vec{v}_{h0} 는 공의 수평 속도 벡터를 나타낸다. t_c 는 충돌이 일어나기 바로 직전의 위치에서 충돌이 일어났을 때의 위치까지 걸린 시간을 의미한다. t_c 는 식 (18)에 의해서 구했다.

$$t_c = -\frac{v_{v0} \pm \sqrt{v_{v0}^2 - 2|g|D}}{|g|} \tag{18}$$

D 는 수식(15)을 이용해서 구한 공의 중심점과 평면 사이의 거리이다. \vec{g} 는 공에 대한 중력 가속도 벡터를 의미한다. 그리고 $\sqrt{v_{v0}^2 - 2|g|D}$ 의 양수의 값은 충돌 방향과 반대이기 때문에 무시한다. v_{v0} 는 공의 처음가지고 있는 수직 속도이다.

공의 위치를 보정하기 위해 사용된 속도 벡터는 식 (19), 식 (20)에 의해서 구했다.

$$\vec{v}'_h = \vec{v}_{h0}t_c \tag{19}$$

$$\vec{v}'_v = \vec{v}_{v0} - g t_c \tag{20}$$

그림 8은 충돌에 대한 두 번째의 경우를 보여준다.

충돌이 발생하기 전에 공의 위치가 평면 또는 체 위에 있는 경우이다. 이 경우에 우리는 처음에 그림 8에 나타나 있는 l_0 을 구한다. 그리고 평면과 l_0 교점을 다음의 식에 의하여 구한다. 식 (21)은 평면의 방정식을 의미하고, 식 (22)은 직선 l_0 에 대한 매개변수 방정식이다. 우리는 다음의 두 방정식을 이용하여 교점 (x_0, y_0, z_0) 을 얻을 수 있으며 이를 통해서 $\vec{p}_0: (x_0, y_0, z_0)$ 를 구할 수 있다.

$$ax + \beta y + \gamma + d = 0 \tag{21}$$

Case 2

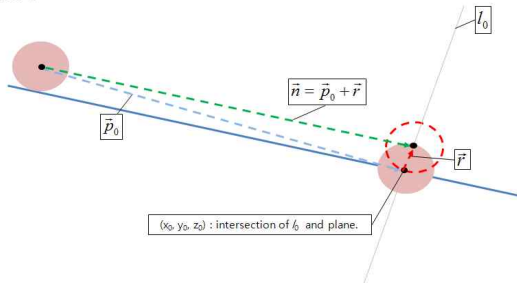


그림 8. 충돌에 대한 두 번째 경우

$$\begin{aligned} x &= m_1 + \alpha t \\ y &= m_2 + \beta t \\ z &= m_3 + \gamma t \end{aligned} \quad (22)$$

충돌의 첫 번째 경우와 마찬가지로 공의 중심점에 대해서 계산하기 때문에 그림과 같이 공의 위치를 보정해 주어야한다. 벡터 $\vec{n} : (m_1, m_2, m_3)$ 를 통해서 공의 위치를 보정해 주었다. \vec{n} 은 식 (23)에서 얻을 수 있다.

$$\vec{n} = \vec{p}_0 + \vec{r} \quad (23)$$

\vec{r} 는 직선 l_0 과 평면의 방정식을 통해 얻어진 교점으로부터 공의 중심을 보정해 주는 벡터이다. 이 벡터는 식 (24)에 의해서 정의된다.

$$\vec{r} = R_c(\vec{u}_x + \vec{u}_y + \vec{u}_z) \quad (24)$$

4.2.2 벽돌

벽돌은 3차원으로 이루어진 4개의 점으로 구현하였으면 아래의 식 (25)와 같다.

$$\begin{aligned} P_{b1} &= (x, y_1, z), & P_{b2} &= (-x, y_1, z) \\ P_{b3} &= (-x, -y_2, z), & P_{b4} &= (x, -y_2, z) \end{aligned} \quad (25)$$

각 벽돌마다 식 (13)를 통해서 법선벡터를 만들어 주고, 식 (14)를 통해서 벽돌과 공 사이의 거리를 구한다. 공의 위치가 식 (26)를 만족한다면 충돌이 공과 벽돌 사이에 충돌이 일어나면서 벽돌은 사라진다.

$$\{y_c \cap z_c \mid y_1 < y_c < y_2, z_c \equiv z\} \quad (26)$$

5. 실험 결과

실험 환경은 게임이 진행되는 동안에 사용자의 손 영역을 추출하는데 문제점을 최소화하기 위해서 다

음과 같이 환경을 구성하였다. 카메라는 사용자의 맞은편에서 위에서 아래로 비스듬히 내려다보도록 고정시켰으며, 실내에서 실험하여 빛 변화의 영향을 최소화 하였다. 카메라에 입력받는 영상은 검은색 바탕을 사용하여 손 영역을 쉽게 찾을 수 있게 하였다. PGR 1394 카메라와 6mm렌즈를 사용하였으며 640×480의 RGB영상을 이용하여 실험하였다.

5.1 손 영역 검출 및 손가락 구별

증강현실 기술을 사용하기 위해서는 특징점 추출이 중요하다. 제안한 시스템에서는 손에서 정확한 특징점을 추출하기 위해서 녹색과 파란색을 이용하여 4개의 부분에 테이핑 하였다. 일반적으로 널리 사용되는 RGB 컬러모델을 포함하여 CIE L*a*b, CIE L*u*v, HSI 등 여러 가지가 컬러모델이 있다. 이 중 각각의 특성이 있기 때문에 어느 것이 가장 좋다고는 할 수 없다. 우리는 명암 및 컬러 요소가 분리되어 있는 HSV, Ycbcr 컬러 모델을 이용하였다. HSV컬러 모델은 사람의 시각 인식방법과 가장 비슷한 색상 모델로써 H채널을 이용해서 색상을 추출하는데 널리 이용되고 있다. 우리는 이 컬러모델을 이용해서 녹색영역을 추출하였고, 파란영역을 파란색과 빨간색의 색차신호를 이용하는 Ycbcr 컬러 모델을 이용해서 파란영역을 추출하였다. 그림 9의 (a)는 입력영상이고, (b)는 색상영역을 추출한 결과이다. 찾아낸 영역에 대해서 외곽선을 추출하고, 외곽선의 x, y의 최대값, 최소값을 이용하여 중심점을 찾았다. (c)는

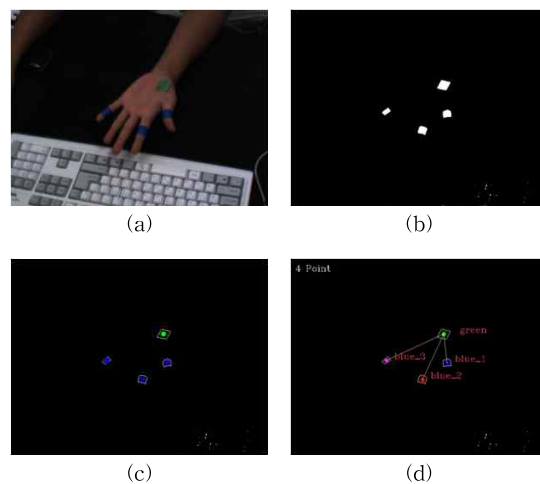


그림 9. 손 영역에서 특징점을 추출한 결과

외곽선과 중심점을 추출한 결과이다. 호모그래피를 구하기 위해서 파란영역의 중심점들을 녹색영역의 중심점과의 거리를 이용하여 손가락을 구별했다. 결과는 (d)에서 보여준다.

5.2 떨림 보정

증강현실시스템에서 떨림 문제는 여전히 풀어야 할 문제로 남아있다. 우리는 이를 보정하기 위해서 이동평균 방법을 사용하였다. 이동평균 방법은 앞서 제시한 식 (4)로 나타낼 수 있으며 가중치와 이전의 움직임 얼마나 반영할 것인지 따라서 이동평균의 값은 바뀐다. 떨림 보정을 비교하기 위한 실험 방법으로 그림 10과 같이 마커를 손바닥 중앙에 올려놓고 움직이지 않은 상태로 카메라 촬영 행렬 값을 측정하였다.

가중치는 0.0에서부터 1.0까지 0.1씩 증가하였고 이전의 움직임은 1개에서부터 12개까지 1개씩 증가하면서 실험을 하였다. 실험을 통하여 가중치가 0.7 이고 이전의 움직임의 수는 3개로 했을 때 가장 좋은 성능을 얻을 수 있었다. 그림 11은 카메라 촬영 행렬의 x축에 대한 이동변화를 나타내었으며 손에서 얻어진 특징점에 대하여 이동평균을 적용하였을 경우(파란선)와 적용하지 않았을 경우(녹색 점선)와 비교를 나타낸다. 증강현실 시스템에서는 가상객체를 안정적으로 증강시키기 위해서 마커를 가장 많이 사용되므로 제안된 방법과 마커와의 비교를 통하여 실험하였다. 그림 11과 같이 손에서 얻어진 특징점에 이동평균을 적용하였을 경우(파란선)와 마커(주황색 점선)와 비교하였을 경우에도 유사한 변화율을 보이는 것을 확인하였고 이를 통해서 가상객체를 안정적



그림 10. 비교에 사용된 영상

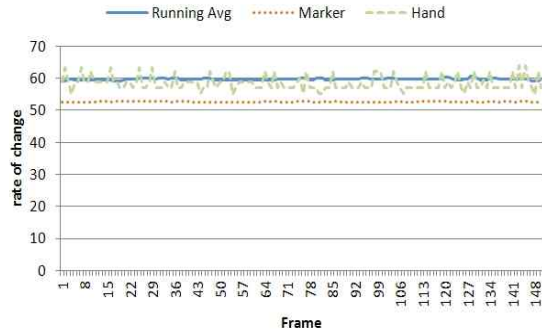


그림 11. 이동 평균을 적용한 결과

으로 증강시켰다. 제안된 방법과 마커에서 얻어지는 카메라 촬영 행렬은 같은 특징점에서 계산되는 것이 아니라 각각 상대적인 값을 통해 얻어지기 때문에 값이 다를 수 있다.

5.3 마커를 이용한 카메라 촬영 행렬 비교

본 논문에서는 손 영역에 대해 색상 테이핑을 통하여 특징점을 추출하였고, 이를 가지고 증강현실시스템에 적용하였다. 증강현실시스템에서는 가상객체를 입력영상과 혼합하기 위해서 카메라 촬영행렬을 이용한다. 그러므로 입력영상에서 추출한 특징점을 추출하고, 특징점들을 정확한 트래킹을 통해서 카메라 촬영행렬이 계산하는 것이 중요하다. 정확하게 특징점들을 추출하고 트래킹을 위해서 증강현실시스템에 마커를 많이 사용하고 있다. 제안된 방법이 효과적으로 카메라 촬영 행렬을 계산하는지를 마커를 이용한 방법과의 비교실험을 통해 확인하였다. 실험 방법은 그림 10과 같이 마커를 사용자의 손바닥 중앙에 위치시키고 회전 및 이동을 하여 실시간으로 색상을 통해서 추출된 특징점과 동시에 검출한 마커의 네 모서리를 특징점으로 하는 카메라 촬영 행렬을 계산하여 비교하였다.

제안된 방법을 통하여 계산된 카메라 촬영 행렬과 마커로부터 계산된 카메라 촬영 행렬은 동일한 카메라를 사용하여 얻은 입력 영상에서 얻어진 값이므로 같아야한다. 하지만 제안된 방법과 마커에서 얻어지는 카메라 촬영 행렬은 같은 특징점에서 계산되는 것이 아니라 각각 상대적인 값을 통해 얻어지기 때문에 값이 다를 수 있지만 비슷한 변화율을 보인다. 우리는 동일한 카메라에 대한 회전 값과 이동 값의 변화 모습을 비교하였다. 식 (6)을 통해서 얻어진 두

개의 사영 행렬을 얻었고, 각각의 구성성분을 이용하여 회전 값과 x, y, z 축에 대해서 이동한 변화를 비교하여 결과를 얻었다. 그림 12부터 그림 15까지는 회

전, x, y, z 축에 대해서 이동한 변화를 보여준다. 다음 실험을 통하여 마커를 대신하여 제안된 방법으로 효과적으로 증강현실게임에 적용가능하다는 것을 확인하였다.

회전

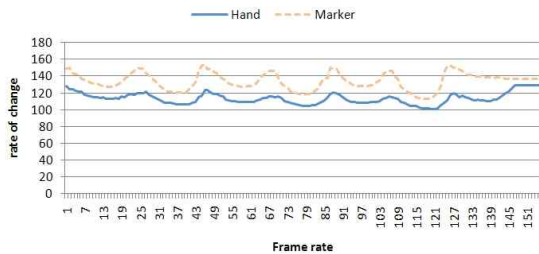


그림 12. 회전 값 비교

X축 이동

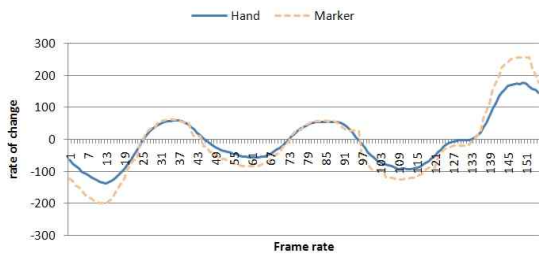


그림 13. X축 이동 값 비교

Y축 이동

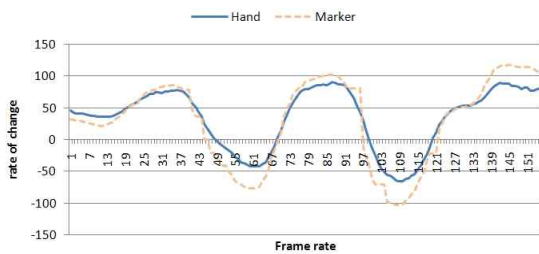


그림 14. Y축 이동 값 비교

Z축 이동

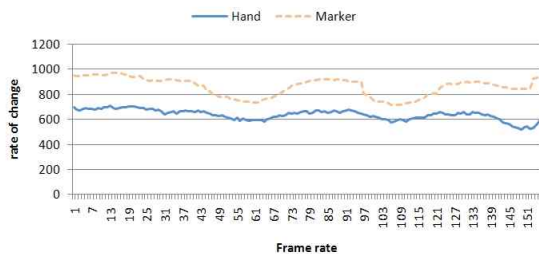


그림 15. Z축 이동 값 비교

5.4 충돌에 대한 공의 위치 보정

우리는 앞서 충돌이 발생하는 경우를 그림 6, 그림 7과 같이 공의 위치에 따라 2가지로 나타낸다고 제시하였다. 2가지 경우 모두 공의 중심점을 이용해서 평면 또는 벽돌과 충돌이 일어나기 때문에 공이 평면이나 벽돌을 뚫고 지나가는 문제점이 발생한다. 그림 16은 충돌이 발생하기 전의 공의 위치가 평면 또는 채와의 거리가 공의 반지름보다 큰 경우에서 보정이 되지 않은 결과이고, 그림 17은 식 (15), 식 (16)을 통해서 보정된 결과이다.

그림 18은 충돌이 발생하기 전에 공의 위치가 평면 또는 채 위에 있는 경우에서 보정이 되지 않은 결과이며, 그림 19는 식 (22)를 통해서 보정된 결과를 보여주고 있다.

그림 16, 17, 18, 19의 아래의 그림은 공의 모습을 자세히 보여주기 위하여 위의 그림을 확대한 결과이다.

5.5 frame rate

우리가 제안한 시스템이 실시간으로 가능하다는 것을 보이기 위해서 Intel Core i5 2.80Hz, 램 4GB 환경의 컴퓨터와 PGR 1394 카메라와 6mm렌즈를 사용하여 640×480의 RGB영상을 입력받아 마커를 이용한 시스템과 Frame rate를 비교하였다. 마커를 이용한 시스템은 제안한 시스템에서 손 대신에 마커를 이용한 벽돌깨기 게임이다. 표 1은 마커와 제안된 시스템의 frame rate를 비교한 표이다.

표 1의 결과와 같이 제안된 시스템을 마커를 이용한 시스템과 비교하여 실시간으로 비슷한 성능을 보인다는 것을 확인하였다.

표 1. 마커를 이용한 시스템과 제안한 시스템 frame rate 비교

	마커를 이용한 시스템(Marker)	제안된 시스템
frame rate(fps)	28.2894	27.2784

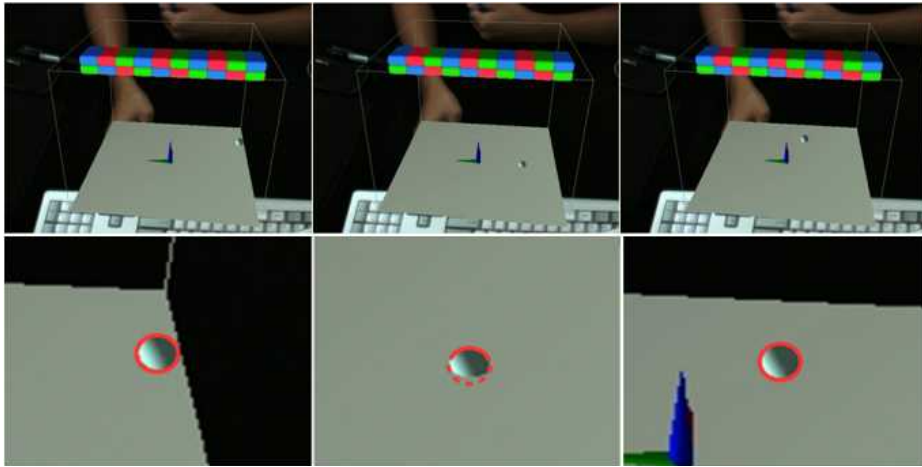


그림 16. 충돌 첫 번째 경우 실험 영상 (보정 전)

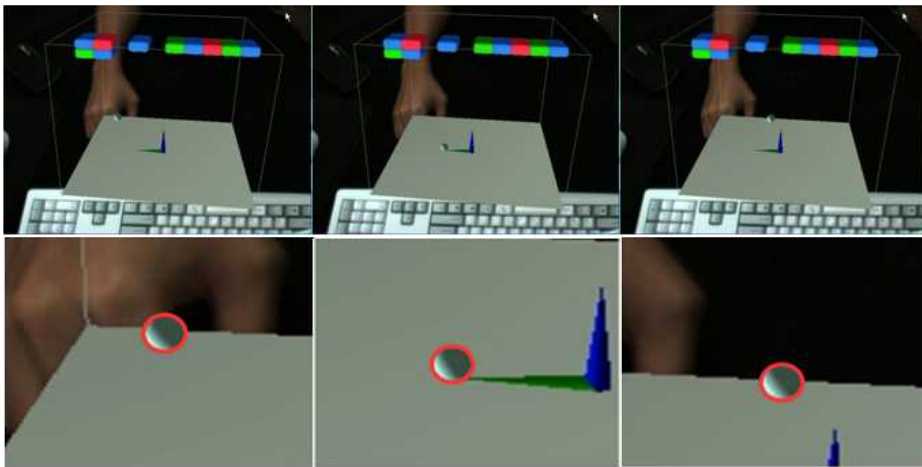


그림 17. 충돌 첫 번째 경우 실험 영상 (보정 후)

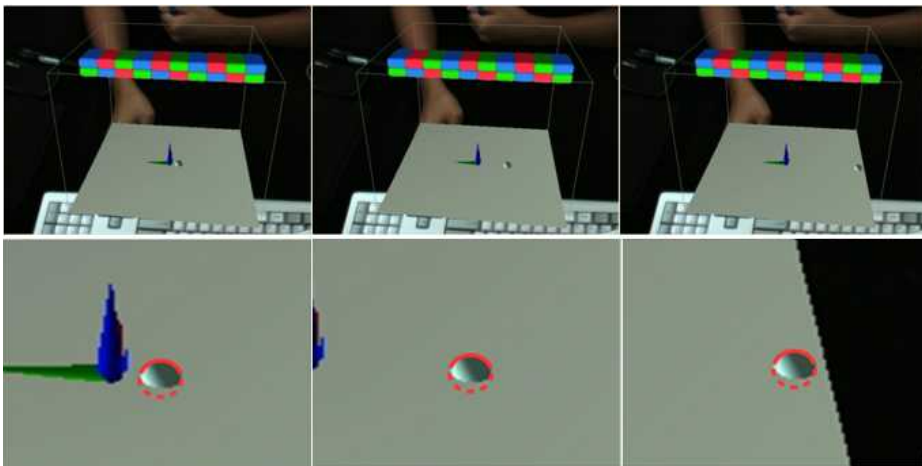


그림 18. 충돌 두 번째 경우 실험 영상 (보정 전)

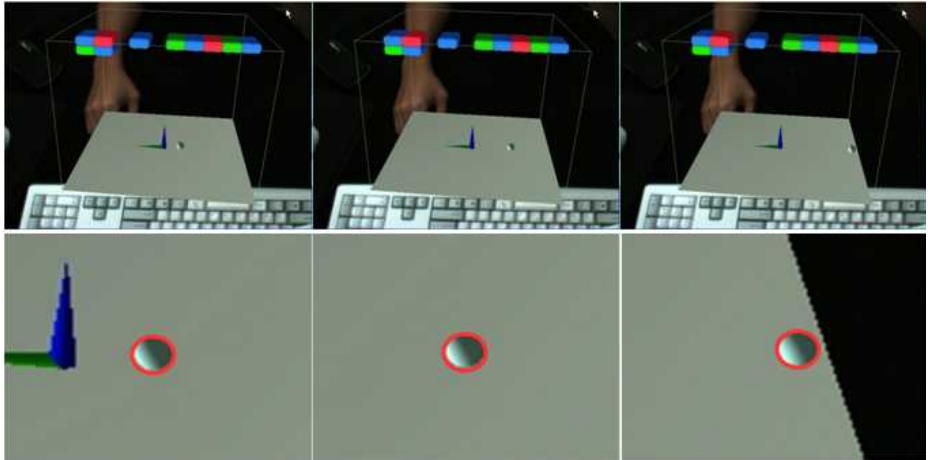


그림 19. 충돌 두 번째 경우 실험 영상 (보정 후)

5.6 현실감 및 편의성에 관한 실험 결과

우리가 제안한 방법과 다른 입력장치를 사용하는 시스템과 비교 분석을 위하여 20명을 상대로 실험을 하였다. 실험은 전통적인 2D 벽돌깨기 게임, 마커를 이용한 3D 벽돌깨기 게임, 제안된 방법을 이용하여 피실험자가 게임을 하도록 하였으며 위의 세 가지를 2번씩 반복 수행하였다. 게임을 마친 피실험자들은 편의성, 현실감, 몰입감, 흥미에 대하여 각각에 대하여 0부터 5까지의 점수를 통해 평가하였다. 실험 결과는 그림 20에서 보여준다. 그래프와 같이 제안한 시스템을 나머지 시스템들과 비교했을 때 편의성 및 현실감 등에서 더 높은 실험결과를 얻었다.

5.7 구현된 증강현실 시스템

우리는 사용자의 손을 이용하여 가상 객체와의 상호작용이 가능한 증강현실 시스템을 구현했다. 제안

된 시스템은 마커를 통해서 평면, 벽돌, 공 등의 시스템 환경이 그려지고, 사용자의 손에 녹색과 파란색 테이프를 가지고 테이핑 하여 손 영역에서 4개의 특징점을 추출했다. 이 특징점을 이용하여 손 위에 아래의 그림과 같이 가상 평면을 나타냈고, 또한 가상 객체에 현실세계에서 일어나는 움직임을 똑같이 부여하였다. 제안한 증강현실시스템을 통해서 사용자의 손을 직접적으로 이용하여 가상 객체와의 상호작용이 가능함과 동시에 자연스러운 가상 객체의 움직임을 부여하여 사용자에게 더 나은 현실감 및 몰입감을 제공하였다.

6. 결 론

본 논문에서 증강현실 기술과 사용자의 손을 이용하여 사용자와 가상 객체사이의 상호작용이 가능한 증강현실 시스템을 보였다. 사용자의 손을 직접 이용할 뿐만 아니라 가상 객체에 현실 환경에서와 똑같은 움직임을 부여하여 사용자들에게 보다 높은 현실감을 부여한다는 장점이 있다. 제안한 증강현실 시스템은 마커를 인식하여 평면, 벽돌, 공 등의 게임 환경을 구성하고 사용자의 손 영역에 테이핑을 이용하여 3개의 파란 영역, 1개의 녹색 영역을 지정해주었다. 이는 사용자의 손 영역에서 보다 정확한 특징점을 추출하기 위해서 사용되었다. 공의 움직임을 현실 세계에서 일어나는 움직임과 똑같이 나타내기 위해서 물리적 수식을 사용하여 표현하였다. 기본적인 공의 움직임은 포물선 움직임으로써 포물선 방정식을 이



그림 20. 실험 결과

용하여 표현하였고, 평면 또는 벽돌에 대한 충돌은 공의 중심점, 법선벡터 등을 이용한 물리적 수식을 통하여 나타내었다. 우리는 이를 통해서 사용자에게 편의성 및 현실감을 제공하였고, 마커와의 비교를 통해서 손을 이용한 증강현실 시스템이 실시간으로 충분히 사용가능하다는 것을 보여주었다. 향후에 이를 통하여 다른 증강현실 시스템에 확대하고 적용할 수 있는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] R.T. Azuma, "A Survey of Augmented Reality," *Presence, Teleoperators and Virtual Environments*, Vol.6, No.4, pp. 355-385, 1997.
- [2] S. Vogt, A. Khamene, F. Sauer, A. Keil, and H. Niemann, "A High Performance AR System for Medical Applications," *ISMAR 2003*, pp. 270-271, 2003.
- [3] C. Bichlmeier, S.M. Heining, M. Feuerstein, and N. Navab, "The Virtual Mirror: A New Interaction Paradigm for Augmented Reality Environments," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol.28, No.9, pp. 1498-1510, 2009.
- [4] D. Wagner and I. Barakonyi, "Augmented Reality Kanji Learning," *ISMAR 2003*, pp. 335, 2003.
- [5] T. Miyashita, P. Meier, T. Tachikawa, S. Orlic, T. Eble, V. Scholz, A. Gapel, O. Gerl, S. Arnaudov, and S. Lieberknecht, "An Augmented Reality Museum guide," *ISMAR 2008*, pp. 103-106, 2008.
- [6] Z. Szalavari, E. Eckstein, and M. Gervautz, "Collaborative Gaming in Augmented Reality," *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pp. 195-204, 2008.
- [7] B. Thomas, B. Close, J. Donoghue, J. Squires, P. deBondi, M. Morris, and W. Piekarski, "ARQuake: An Outdoor/Indoor Augmented Reality First Person Application," *Proceedings of the 4th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, pp. 139-146, 2000.
- [8] T. Ohshima, K. Satoh, H. Yamamoto, and H. Tamura, "AR2Hockey: A Case Study of Collaborative Augmented Reality," *Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium*, pp. 268-275, 1998.
- [9] D.G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," *International Journal of Computer Vision*, Vol.60, No.2, pp. 90-110, 2004.
- [10] J. Shi and C. Tomasi, "Good Features to Track," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 593-600, 1994.
- [11] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, and L.V. Gool, "SURF: Speeded Up Robust Features," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol 110, No.3, pp. 346-359, 2008.
- [12] M. Leotta and K. Boyle, "Plausible Physics in Augmented Images," *ACM SIGGRAPH 2005*, pp. 53, 2005.
- [13] H. Kato and M. Billinghurst, "Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-Based Augmented Reality Conferencing System," *Proceedings of the 2nd International Workshop on Augmented Reality*, pp. 85-94, 1999.
- [14] Li. Yingzhu, L.-K. Shark, S.J. Hobbs, and J. Ingham, "Real-Time Immersive Table Tennis Game for Two Players with Motion Tracking," *International Conference Information Visualisation*, pp. 500-505, 2010.
- [15] B.H. Thomas and W. Piekarski, "Glove Based User Interaction Techniques for Augmented Reality in an Outdoor Environment," *Virtual Reality: Research, Development, and Applications*, Vol.6, No.3, pp. 167-180, 2002.
- [16] S.H. Lee and J.S. Choi, "AR Squash Game," *ISMAR 2007*, pp. 4-8, 2007.
- [17] M. Imura, T. Amada, Y. Yasumuro, and Y. Manabe, "Synthetic Representation of Virtual Fluid for Mixed Reality," *International Conference on Virtual Reality*, pp. 135-142, 2006.

[18] O. Bergig, N. Hagbi, and J. El-Sana, "In-Place 3D Sketching for Authoring and Augmenting Mechanical Systems," *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 87-94, 2009.

[19] Y. Uematsu and H. Saito, "Interactive AR Bowling System by Vision-Based Tracking," *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, pp. 236-237, 2007.

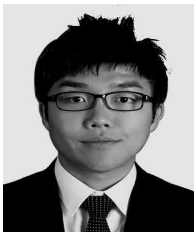
[20] H. Kaufmann and B. Meyer, "Simulating Educational Physical Experiments in Augmented reality," *ACM SIGGRAPH ASIA 2008*, pp. 1-8, 2008.

[21] C. Chae and K. Ko, "Introduction of Physics Simulation in Augmented Reality," *International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality*, pp. 37-40, 2008.

[22] C.S. Chua, H. Guan, and Y.K. Ho, "Model-Based 3D Hand Posture Estimation from a Single 2D Image," *Image and Vision Computing*, Vol.20, No.3, pp. 191-202, 2002.

[23] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge Univ. Press, London, 2003.

[24] 이정진, 김종호, 김태영, "증강현실 응용을 위한 손 끝점 추출과 손 동작 인식 기법," *한국멀티미디어학회 논문지*, 13권, 2호, pp. 316-323, 2010.



최 광 운

2008년 2월 호서대학교 정보통신 공학과 공학사
 2012년 3월 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 공학 석사
 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 비전, HCI, 증강현실



정 다 운

2001년 2월 덕성여자대학교 전산학과 공학사
 2007년 2월 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 공학 석사
 2007년~3월 현재 중앙대학교 첨단영상대학원 첨단영상학과 박사과정

관심분야 : 컴퓨터 비전, 컴퓨터 그래픽스, 증강현실



이 석 한

1999년 중앙대학교 전자공학과 공학사
 2001년 중앙대학교 첨단영상대학원 공학석사
 2009년 중앙대학교 첨단영상대학원 공학박사

2001년~2004년 LG전자 주임연구원
 2009년~2010년 중앙대학교 첨단영상대학원 Post-Doc
 2010년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 연구전담교수

관심분야 : 실시간 카메라 추적, 증강현실, 3D 컴퓨터비전



최 종 수

1975년 인하대학교 전기공학과 공학사
 1977년 서울대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 1981년 Keio University 전기공학과 공학박사

1981년 2월~1981년 9월 Aloka Co. Ltd 연구소 연구원
 1981년 9월~1999년 8월 중앙대학교 전자공학과 교수
 1999년 9월~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 교수
 관심분야 : 영상신호처리, 컴퓨터 비전, 증강현실, 영상합성, 영상통신