

# ARPushPush: 실내 환경 증강 현실 게임\*

김기영<sup>1</sup>, 이민경<sup>1</sup>, 박영민<sup>1</sup>, 이종원<sup>2</sup>, 우운택<sup>1</sup>  
광주과학기술원 U-VR 연구실<sup>1</sup>  
{kkim,mlee,ypark,wwoo}@gist.ac.kr  
세종대학교 디지털컨텐츠학과<sup>2</sup>  
{jwlee}@sejoing.ac.kr

## ARPushPush: Augmented Reality Game in Indoor Environment

Kiyoung Kim<sup>1</sup>, Minkyung Lee<sup>1</sup>, Youngmin Park<sup>1</sup>, Jongwon Lee<sup>2</sup>,  
and Woontack Woo<sup>1</sup>  
GIST U-VR Lab.<sup>1</sup>  
Sejong University Department of Digital Contents<sup>2</sup>

### 요약

본 논문에서는 손 제스처와 천장의 ARToolKit 마커 추적을 이용한 새로운 실내 환경 증강 현실 시스템을 제안한다. 추적 장치를 활용한 기존 증강 현실 시스템에서는 카메라와 추적 장치 사이의 캘리브레이션이 힘들고, 사용자 시야에 위치한 마커들이 몰입감을 감소시킨다. 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 마커 추적용 카메라, 증강용 카메라, 그리고 HMD (Head-Mounted Display)를 동일한 몸체에 장착하여 캘리브레이션 과정을 단순화한다. 또한, 천장에 마커를 부착하여 사용자의 시야에서 마커를 제거하고, 초기 마커 위치 관계를 동적으로 추정하는 방법을 통해 시스템의 확장성과 정확성을 높인다. 캘리브레이션과 마커 추적 정보를 이용해 증강된 객체를 실세계 좌표계로 표현하고, 추출된 사용자 위치와 손의 정의된 제스처를 기반으로 가상 객체 움직임을 제어하게 된다. 제안된 시스템의 유용성을 검증하기 위해, 증강된 블럭을 움직이는 ARPushPush 게임을 구현하였다. 제안된 시스템은 넓은 활동 영역이 요구되는 증강 현실 응용에 널리 이용될 수 있다.

Keyword : Augmented Reality, ARToolKit, HCI, Game, VR

### 1. 서론

증강 현실은 3 차원 가상 객체의 이음매 없는 증강을 통해 인간의 감각을 향상시키는 기술이다 [1]. 증강 현실의 구현에는 추적 (Tracking) 기술과 상호작용 기술이 필수적이다. 특히, 추적 기술이 발전함에 따라 테이블 기반뿐 아니라 넓은 실내에서도 증강 현실의 구현이 가능해졌다.

넓은 실내 환경에서의 증강 현실 구현을 위해 다양한 연구들이 진행되어 왔다. Foxlin 등은 실내 환경에서 사용자의 머리 자세를 추적하기 위해 관성 센서와 비전 센서를 포함한 'Vis-tracker'를 개발하였다 [2]. 'Vis-tracker'는 실내 천장과 벽면에 부착

한 기점을 기준으로 사용자의 머리 자세를 추적한다. 그러나 이 장치는 자체 하드웨어에 의존하며 증강 현실에의 응용이 이루어지지 않았다. Galantay 등은 상호 작용을 강조한 'Living-room'을 제안하였다 [3]. 'Living-room'의 벽과 천장에는 조밀하게 ARToolKit 마커가 부착되어 머리 자세의 강건한 추적을 시도하였다. 그러나 마커의 조밀한 부착은 비효율적이고, 몰입감을 감소시키는 단점이 있다. Nakazato 등은 천장에 부착된 반투명 반사체 (Translucent retro-reflectors) 마커를 이용한 추적 시스템을 제안하였다 [4]. 시스템이 실내 조명 변화에 강건하지만, 마커 인식 시간이 일반 마커보다 오래 걸려 시스템 성능이 저하된다. Piekarski

\*본 연구는 실감방송 연구센터를 통한 정보통신부 ITRC 사업과 선도기반기술개발사업의 지원 하에 수행됨

등은 실내와 야외에서 사용 가능한 하이브리드 추적 시스템을 제안하였다 [4]. 야외에서는 GPS, 실내에서는 벽과 천장에 부착된 다수 ARToolKit 마커를 통해 머리 자세를 추적하였다. 실내에서 다수의 ARToolKit 마커들을 사용하는 경우, 초기에 마커들의 이상적인 위치 관계가 요구되는데, 천장에는 마커의 정확한 부착이 힘들기 때문에 발생하는 오차가 증가하게 된다. 또한, 실제 추적되는 위치와 증강용 카메라 간의 캘리브레이션이 힘들기 때문에, 증강된 가상 객체와의 상호 작용에 추적 정보를 직접 사용하기 어려운 단점이 있다.

본 논문에서는 이를 극복하기 위해 손 제스처와 천장의 ARToolKit 마커에 기반한 새로운 실내 환경 증강 현실 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 마커 추적용 카메라, 증강용 카메라, 그리고 HMD (Head-Mounted Display)를 동일한 몸체에 장착하여, 캘리브레이션 과정을 단순화 시킨다. 또한, 천장에 마커를 부착하여 사용자의 시야에서 마커를 제거하고, 초기 마커 위치 관계를 동적으로 추정하는 방법을 통해 시스템의 확장성과 정확성을 높인다. 캘리브레이션과 마커 추적 정보를 이용해 증강된 객체를 실세계 좌표계로 표현하고, 추출된 사용자 위치와 손의 정의된 제스처를 기반으로 가상 객체 움직임을 제어하게 된다. 제안된 시스템의 유용성을 검증하기 위해, 증강된 블럭들을 움직이는 ARPushPush 게임을 구현하였다.

본 시스템은 넓은 활동 영역이 요구되는 증강 현실 응용에 활용될 수 있다. 천장 마커를 이용해 실내 환경에서의 안정적 추적을 지원하고, 사용자의 시야에서 마커를 제거하여 몰입감을 증대시킨다. 또한, 사용자의 손에 의해 마커가 가려지지 않으므로, 자연스러운 상호 작용이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 제안된 증강 현실 시스템의 구조, 캘리브레이션, 마커 추적, 그리고 상호 작용 방식을 설명한다. 3 장에서는 실험 결과를 보이고, 4 장에서는 결론과 향후 연구에 대해 언급한다.

## 2. 제안된 시스템 구조

제안된 증강 현실 시스템은 그림 1과 같이, 초음파 센서나 마그네틱 추적 장치와 같은 고가의 장비 대신, 천장에 부착된 ARToolKit 마커들을 이용한 추적 방식을 사용한다 [10].

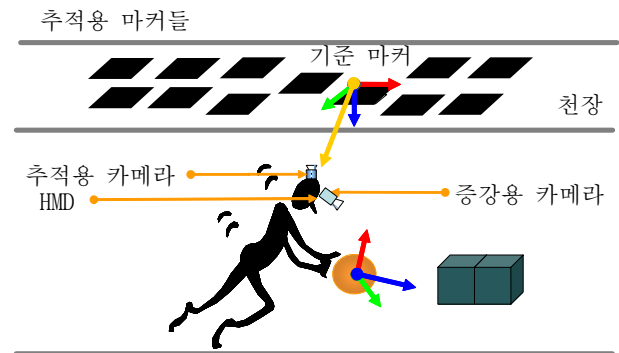


그림 1. 제안된 증강 현실 시스템

입의 위치에 부착된 천장의 추적용 마커들은 오프라인 트레이닝을 통해 기준 마커에 대한 각 마커들의 위치 관계 즉, 회전행렬 (R)과 이동행렬 (t)이 계산되고, 파일로 저장된다. 실제 온라인 상태에서는 저장된 마커 위치 정보를 이용하여 추적용 카메라의 절대적인 자세를 구한다. 그다음, 증강용 카메라와 추적용 카메라 간의 상대적인 유클리디언 (Euclidean) 변환 행렬을 구한다. 기준 마커에 대한 추적용 카메라의 위치 행렬에 획득한 변환 행렬을 곱하면, 증강용 카메라의 기준 마커에 대한 위치 및 자세를 얻는다. 이 과정을 통해 가상 객체를 기준 마커에 대한 좌표계로 표현하게 되므로, 가상 객체와의 상호작용이 가능하게 된다. 그림 2는 이러한 전체 시스템 흐름을 나타낸다.

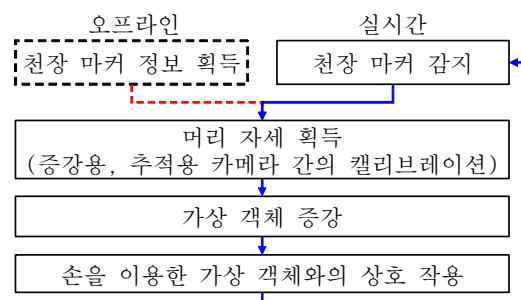


그림 2. 제안된 시스템 흐름도

## 2-1 추적용 카메라와 증강용 카메라의 관계 추출

본 장에서는 추적용 카메라와 증강용 카메라 간의 강제 변환을 보정하는 방법을 설명한다. 제안된 시스템에서 두 카메라의 시야 방향이 어긋나므로 각 영상에서 대응되는 특징점을 얻을 수 없는 문제점이 발생한다. 그러므로 일반적인 스테레오 캘리브레이션 접근 방식으로는 두 카메라 간의 강제 변환을 얻을 수 없다. 또한, 정밀히 제작된 캘리브레이션 패턴과 가상 카메라를 이용한 방식은 사용자가 이동시에 발생하는 오차를 수치로 보정할 수 없다.

추적용과 증강용 카메라 간의 관계는 그림 3에서와 같이 강제 변환 행렬  $X$ 로 표현된다.  $(i)$ 번째 프레임과  $(i+1)$ 번째 프레임에서의 두 카메라의 움직임은 각각 행렬  $A, B$ 로 표현된다.

$$X = \begin{bmatrix} R_x & t_x \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_i = \begin{bmatrix} R_{a,i} & t_{a,i} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B_i = \begin{bmatrix} R_{b,i} & t_{b,i} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

위 식에서,  $R$  과  $t$  는 각각  $3 \times 3$  회전 행렬 및  $3 \times 1$  이동 행렬을 나타낸다.

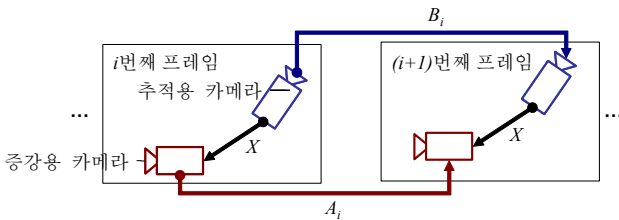


그림 3.  $(i)$ 번째 프레임과  $(i+1)$ 번째 프레임에서의 추적용 카메라와 증강용 카메라의 변환 관계

제안된 시스템의 경우, 증강용 카메라의 강제 변환  $A$  는 *Essential* 행렬을 이용하여 추출하거나 [12], 별도의 마커를 추적해서 획득한다. 추적용 카메라의 강제 변환  $B$  는 천장의 마커 추적을 통해 획득한다. 두 카메라의 관계는 다음과 같다.

$$AX = XB \quad (2)$$

그러므로  $A$  와  $B$  가 알려지면,  $X$  를 복원할 수 있다 [6]. 위 식 (2)를 정리하면 다음과 같이 회전 행렬을 분리할 수 있다.

$$R_A R_X = R_X R_B \quad (R_A - I)t_X = R_X t_B - t_A \quad (3)$$

위 식에서  $R_X$ 를 구하기 위해서는  $R_A$ 와  $R_B$ 의

고유치 (Eigenvalue)가 같다는 사실을 이용한다. 즉,  $R_A$ 와  $R_B$ 는 유사변환 (Similarity transform)으로 표현된다.

$$R_X^T R_A R_X = R_B \quad R_X^T = R_X^{-1} \quad (4)$$

즉, 식 (4)를 정리하면, 다음과 같은 식을 도출해낼 수 있다.

$$e_A = R_X e_B \quad (5)$$

위 식에서  $e_A$ 와  $e_B$ 는 각각  $A$ 와  $B$  행렬의 고유벡터 (Eigenvector)이다. 그러므로  $X$ 의 회전 행렬은 식 (6)을 최소화하는  $R_X$ 를 구함으로써 얻는다.

$$f = \|e_A - R_X e_B\| \quad (6)$$

이동 행렬은 구해진 회전 행렬  $R_X$ 를 이용하여, 식 (7)을  $t_x$ 에 대해 정리하여 얻는다.

$$\begin{cases} (R_{A_i} - I)u_X = (\lambda_{B_i} / \lambda_X)(R_X u_{B_i} - k_i u_{A_i}) \\ t_X = \lambda_X u_X, \quad k_i = \lambda_{A_i} / \lambda_{B_i} \end{cases} \quad (7)$$

위 식에서  $\lambda$ 는 스케일 인자 (Scale factor)이고,  $u_X$ 는 이동 행렬의 단위 행렬 (Unit vector)을 의미한다.

## 2-2 천장의 마커를 이용한 머리 움직임 추적

사용자의 편의성과 조명의 효과를 최소화하는 임의의 위치에 마커를 부착하기 위해서는 다수 ARToolKit 마커의 위치를 동적으로 추출하는 방법이 요구된다. 본 장에서는 임의의 위치에 마커의 위치를 부착한 후, 캘리브레이션 된 카메라를 이용하여, 마커들 간의 위치 관계를 추출하는 방법을 제시한다. 우선, 천장에 마커들을 임의의 위치에 부착한다. 마커들 중 원점 마커를 선정 후, 이를 기준으로 인접한 마커간의 위치 관계를 점차적으로 계산해 나간다. 그림 4에서와 같이 기준점 마커  $O$ 와 마커  $B$ 는 카메라의 FOV (Field Of View)에 포함되지 못한다고 가정하자. 두 마커들 간의 관계를 구하기 위해서는 중간 마커인  $A$  마커와  $O$  마커간의 관계, 그리고  $A$  마커와  $B$  마커간의 관계가 필요하다. 두 마커들 간의 관계를 구한 다음, 이러한 과정을 전체 천장의 마커들간의 반복 수행해 모든 마커들의 관계를 정리한다. 마지막으로, 천장의 기하학 정보를 이용하여 구해진 상대적 위치 관계를 최적화한다.

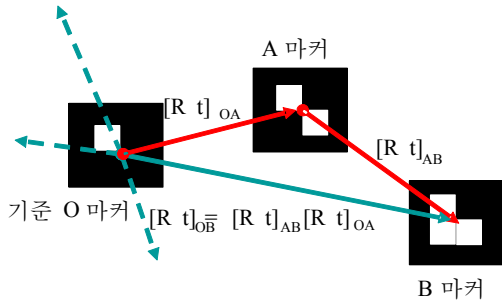


그림 4. 천장 마커들간의 관계 추출 방법

하나의 기준점 대해 상대적인 위치 관계를 계산하는 경우, 임의의 마커가 기준점에서 점점 멀어질수록 오차는 커지게 된다. 그러므로 각각의 위치관계를 보다 정확히 계산하기 위해 정확한 카메라 캘리브레이션과 기하 정보를 이용한 최적화 방법이 요구된다. 본 논문에서 제안한 방법은 천장에 부착된 마커가 동일 평면상에 위치한다고 가정한다. 동일 평면상에 마커가 위치하는 경우, 기준 마커와 마커들 간의 관계 중 회전 행렬에서 회전축을 제외한 나머지 두 축의 회전각은 0 이된다. 그리고, 이동 행렬의 경우, 마커의 이동이 2 차원 평면 상에서 이루어지므로 천장과 방향이 동일한 축의 이동 값은 0 이된다. 이 두 정보를 이용하여, 최적화된 마커들을 기반으로 X 마커의 변환 행렬을 다음과 같이 최적화한다.

$$f_R = \sum_{i=0}^n \left\{ \|R(x)_{P_i} - R(x)_X\|^2 + \|R(y)_{P_i} - R(y)_X\|^2 \right\} \quad (8)$$

$$f_t = \sum_{i=0}^n \|t(z)_{P_i} - t(z)_X\|^2$$

위 식에서  $R(x)$ 는 X 축을 기준으로 회전한 각도이며,  $t(z)$ 는 Z축 방향으로 이동한 값이다.  $n$ 은 사전에 최적화 마커의 개수이다.  $P_i$ 는 사전에 최적화된 마커를 의미한다. 그러므로, 실제 최적화를 수행하기 위해서는 사전에 초기 최적화 마커들이 필요하다. 즉, 초기 최적화된 마커들을 기반으로 새로 추가된 마커의 이동 및 회전 행렬을 구한다. 이는  $f_R, f_t$ 를 최소화하는  $R(x)_X, R(y)_X, t(z)_X$ 를 찾아냄으로써 구해질 수 있다.

### 2-3 가상 객체와의 상호 작용

사용자에게 실내 공간에서 위치에 따른 서비스를 제공하기 위해서는 현실감 있는 증강 현실

환경을 제공하기 위한 상호작용이 필수적이다. 특히, 사용자에게 실내 증강 현실 환경을 제공할 경우, 사용자가 일상 생활에 불편함이 없도록 하는 형태의 범위에 상호작용이 가능하도록 해야 한다. 즉, 데이터 글러브를 착용하거나, Tangible objects 를 이용한 상호작용 보다는 사용자의 자연스러운 손 (Bared-Hand)을 이용한 상호작용이 적합하다.

사용자의 자연스러운 손을 상호작용 도구로 사용하기 위해서는, 1) 사용자의 손을 복잡한 배경에서 실시간으로 분리해야하고, 2) 분리된 손의 위치 정보를 알기 위한 특징점을 파악해야하고, 3) 특징점의 위치 정보를 지속적으로 업데이트해야하고, 4) 이를 통해 사용자의 손 모양을 인식해야한다. 특별히 제안된 시스템 구성에서는 다중 마커를 이용하여 사용자의 머리 위치를 확인하고, 확인된 사용자 시야 카메라와 사용자 손의 관계를 도출해야한다. 이러한 과정은 아래 그림에서 나타내었다.

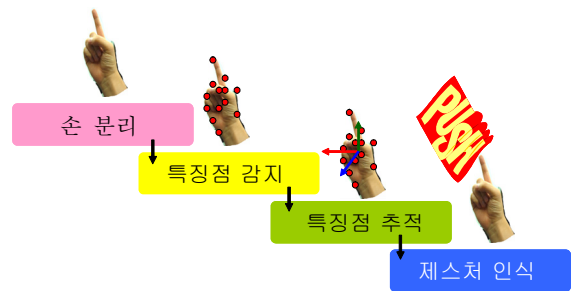


그림 5. 손을 이용한 가상 객체와의 상호작용 단계

우선, 증강 객체를 조작하기 위해서는 증강 객체를 선택해야 한다. 사용자는 증강용 카메라의 시야에 위치한 증강 객체들 중에서 손의 중심과 거리가 가장 근접한 객체를 선택하게 된다. 그런 다음, 다른 모양의 제스처를 취함으로써 제스처를 조작할 수 있게 된다. 제스처 인식은 추적된 손의 특징점의 상대적 위치 관계들을 분석하여 결정된다 [11]. 손과 최대 근접한 객체는 증강용 카메라에서 손의 중심을 나타내는 2 차원 정보와 천장 마커로부터 계산된 사용자의 위치를 조합하여 판별한다.

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3-1 실험 환경 및 하드웨어

본 시스템에서는 마커 추적과 증강을 위해 PointGrey 사의 Flea 카메라 두 대를 사용하였다 [8]. Flea는 IEEE 1394 인터페이스와 소니 CCD 칩을 사용하고, 640 × 480의 영상을 초당 60 프레임까지 지원한다. 두 카메라를 사용자의 편의성을 위해 그림 6에서와 같이 모자에 강건하게 부착되어, 사용자의 머리 움직임이 큰 경우에도 동일한 움직임을 가진다. 6mm 렌즈를 장착한 두 대의 Flea 카메라는 Zhang의 알고리즘을 통해 캘리브레이션되었다 [7]. 그림 6은 실제 사용자가 제안된 시스템을 사용하기 위해 장비를 착용한 상태를 보여준다. ARPushPush 게임에서 사용자의 대부분의 시선이 바닥을 향하므로, 추적용 카메라는 직각이 아닌, 약 10도 기울어진 형태로 부착되었다. HMD는 (주) 대양의 i-Visor를 장착하였다.

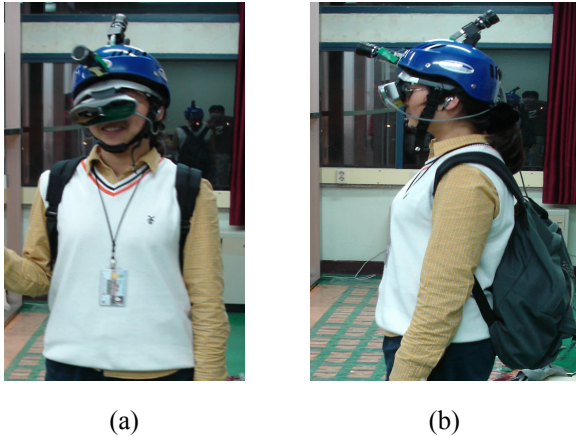


그림 6. 실험 환경 및 제안된 실제 시스템 (a) 정면 모습 (b) 측면 모습

천장에는 총 36개의 AR 마커들을 부착하였다. 마커의 크기는 실제 영상에 획득되는 마커의 크기를 반복적으로 측정하여, 한 변의 길이를 140mm로 결정하였다. 마커들의 위치는 천장의 조명 효과를 최대한 피하기 위해, 임의의 위치에 설치되었다. 그림 7은 실험실 환경과 부착된 AR 마커를 보여준다. 렌더링된 마커들의 모습에서 나타나듯 왼쪽 상단의 기준 마커에서 멀어질수록 오차가 조금씩 커짐을 알 수 있다. 이상적인 경우

렌더링된 마커들은 평면상에서 일직선을 형성해야 한다.

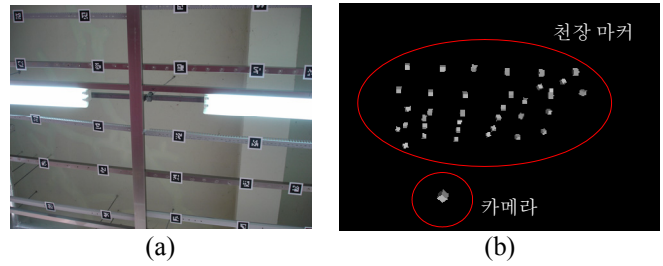


그림 7. 추적 마커 (a) 천장에 부착된 49개의 추적용 AR 마커 (b) 오프라인에서 트레이닝한 마커를 OpenGL로 구현된 3차원 공간에 복원한 모습

#### 3-2 ARPushPush 게임

본 논문에서는 제안된 시스템을 활용하여, ‘ARPushPush’ 응용 게임을 개발하였다. 게임은 OpenCV, ARToolKit, 그리고 HandVu 라이브러리를 이용하여 구현되었다 [9][10][11]. 사용자는 게임 속에서 증강된 객체(공)를 정의된 순서대로 옮겨야 한다. 게임을 위해, 다음과 같은 4가지의 손 제스처를 정의하였다. 사용자 손 추적 알고리즘으로 인해 성능은 10 프레임으로 감소하였다.

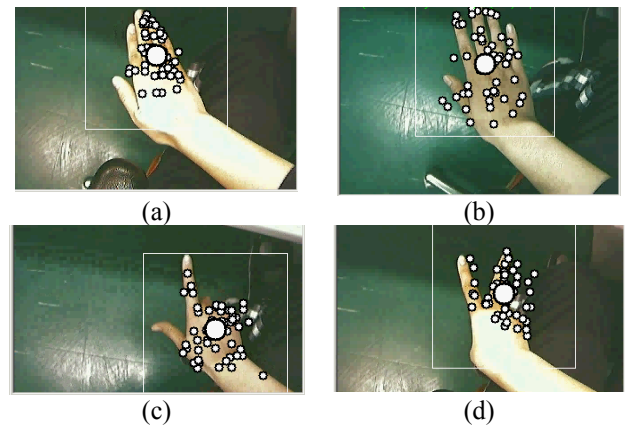


그림 8. ARPushPush 게임용 손 제스처 정의 (a) 게임 종료 (b) 객체 선택 (c) 객체 이동 (d) 게임 시작

제안된 시스템과 게임의 유용성을 검증하기 위해, 9명의 피실험자를 대상으로 몰입감에 대한 사용성 평가를 실시하였다. 표 1은 ARPushPush 게임에서 사용자의 몰입감을 저해하는 5가지 요소들에 대한 평가를 수행한 결과이다. 5가지 저해 요소는 실제 게임 동작시에 드러난 주요 문제점들

이다.

표 1. 증강 현실 시스템의 몰입감 저해 요소 분석

몰입감 감소 원인	평균	표준편차
증강 객체 불안정성	4.2	0.8
상호 작용 불정확성	2.4	0.7
성능 저하 (프레임률)	4.5	0.5
증강 객체 비사실성	1.6	0.7
상호 작용 피드백 부족	1.6	0.7

피실험자들은 본 시스템에서 몰입감을 저해시키는 가장 큰 요소로 증강 객체의 불안정성과 프레임률의 저하를 지적하였다. 이는 게임 진행시 조명의 변화와 실험자의 빠른 머리 움직임 변화에 대응하여 강건한 마커 추적이 이루어지지 않았다는 사실을 의미하며, 프레임률이 상호 작용의 정확성보다 몰입감에 더 큰 영향을 끼치는 것을 의미한다. 반면 상호 작용 피드백 (사운드, 햅틱)은 이와 비교하여 몰입감에 그다지 영향을 끼치지 않음을 알 수 있다.

#### 4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 실내 환경에서 활용될 수 있는 비전 센서를 이용한 증강 현실 시스템을 제안하였다. 본 시스템에서는 천장에 마커를 부착함으로써, 사용자의 시야에서 마커를 제거하였다. 그리고 두 비전 센서간의 관계를 실시간으로 추출하는 방법을 제시하였다. 이를 통해 넓은 실내 환경에서 특정 장비없이 사용자의 손을 이용한 가상 객체와의 상호 작용이 가능함을 보였다. 향후 연구로는 추적중에 발생하는 증강 오차를 줄이기 위한 강건한 최적화 방법이 연구되어야 한다. 그리고, 방 크기의 실내 환경을 확장하여, 보다 넓은 영역에 적용시키는 일이 남아있다. 가상 객체와의 상호작용시에 사용자에게 보다 실감나는 피드백을 제공하기 위한 연구도 진행되어야 한다. 제안된 시스템은 사용자의 활동 영역으로 넓은 환경이 요구되는 협업 환경 시스템에 적합하고, 엔터테인먼트나 교육 분야의 증강 현실 응용에 폭넓게 활용될 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] R. Azuma, "A Survey of Augmented Reality", Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, 4 (August 1997), 355 - 385.
- [2] E. Foxlin, and N. Leonid, "VIS-Tracker: A Wearable Vision-Inertial Self-Tracker", IEEE Virtual Reality, Los Angeles, Mar 2003
- [3] M. Engeli, R. Galantay, and J. Torpus, "living-room Interactive, Space-Oriented Augmented Reality", ACM Multimedia, MM'04, October 10-16, 2004, New York, USA
- [4] Y. Nakazato, M. Kanbara, and N. Yokoya, "Discreet markers for user localization", IEEE International Symposium on Wearable Computers, p. 172-173, Nov. 2004
- [5] W. Piekarski, B. Avery, B. H. Thomas, and P. Malbezin, "Integrated Head and Hand Tracking for Indoor and Outdoor Augmented Reality", IEEE Virtual Reality Conference, Chicago, IL, Mar 2004
- [6] F. Dornaika, and R. Chung, "Stereo geometry from 3D ego-motion streams", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B 33(2): 308-323, 2003
- [7] Z. Zhang, "Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations," ICCV99, vol. 1, pp. 666-673, 1999
- [8] Point Grey Research Inc., <http://www.ptgrey.com>, 2002
- [9] Intel OpenCV Library, <http://www.intel.com/research/mrl/research/openCV>
- [10] ARToolKit Library, [http://www.hitl.washington.edu/research/shared\\_space/download](http://www.hitl.washington.edu/research/shared_space/download)
- [11] HandVu Library, <http://www.cs.ucsb.edu/~matz/HGI/HandVu.html>
- [12] R. Hartley and A. Zisserman, "Multiple view geometry in computer vision", Second edition, Cambridge University Press, March 2004