

# 일반적인 객체를 사용한 증강현실 기반의 감각형 사용자 인터페이스\*

이원우<sup>1</sup>, 정우진<sup>1</sup>, 이종원<sup>2</sup>, 우운택<sup>1</sup>  
광주과학기술원 U-VR 연구실<sup>1</sup>  
세종대학교 디지털컨텐츠학과<sup>2</sup>  
{wlee<sup>1</sup>, wjung<sup>1</sup>, wwoo<sup>1</sup>}@gist.ac.kr  
jwlee<sup>2</sup>@sejong.ac.kr

## Tangible User Interface with General Objects in Table-Top Augmented Reality Environment

Wonwoo Lee<sup>1</sup>, Woojin Jung<sup>1</sup>, Jongweon Lee<sup>2</sup>, and Woontack Woo<sup>1</sup>  
GIST U-VR Lab.<sup>1</sup>  
Sejong Univ. Department of Digital Contents<sup>2</sup>

### 요약

본 논문에서는 일반적인 형태의 객체를 인터페이스로 사용할 수 있는 Table-top 증강현실 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 IR 마커를 감각형 객체의 밑면에 부착하고, 이를 테이블 아래의 IR 카메라가 추적한다. 테이블 아래에 위치한 IR 카메라와 사용자의 시점에 위치한 카메라 사이의 보정을 통해 사용자는 시야에 마커가 보이지 않더라도 증강된 가상 객체를 볼 수 있다. 이를 통해 제안된 시스템은 객체 위에 마커를 부착함으로써 인해 발생하는 부자연스러움을 없애고, 다양한 형태의 객체를 감각형 사용자 인터페이스로 활용할 수 있도록 한다. 또한 IR 카메라와 IR 마커의 사용을 통해 주변 조명의 변화에 강건한 증강현실 기반의 인터페이스를 제공한다. 제안된 시스템은 Table-top 작업 환경에서 교육, 엔터테인먼트, 협업 등의 다양한 분야에 활용될 수 있다.

Keyword: Tangible Augmented Reality, Interaction, Interface

### 1. 서론

감각형 사용자 인터페이스 (Tangible User Interface)는 현실 세계의 사물과 컴퓨터의 디지털 정보를 연결하여 사용자로 하여금 직관적인 상호작용을 할 수 있도록 한다. Ishii 등은 Tangible Bits 를 제안하고, 감각형 사용자 인터페이스의 개념을 구체화 하였다 [1]. 증강 현실 분야에서도 현실 세계에 증강된 가상 객체나 정보 등과 상호작용하기 위해 감각형 사용자 인터페이스를 도입한 Tangible Augmented Reality (Tangible AR) 에 관한 연구들이 진행 중이다.

Poupyrev 는 감각형 사용자 인터페이스를 사용하여 음악을 컨트롤 할 수 있는 ARGroove 시스템을 제작하였다 [2]. ARGroove 시스템에서 사용자는 레코드 판을 움직임으로써 음악을 컨트롤 할

수 있으며, 레코드 판 위에 증강된 가상 객체로부터 현재 상태에 관한 정보를 얻을 수 있다. Morten 과 Benedikt 는 감각형 사용자 인터페이스와 증강 현실을 화학 교육에 활용하는 Augmented Chemistry 를 제안하였다 [3]. 사용자는 큐브와 그립퍼라는 감각형 인터페이스를 사용하여 원자들을 분해 및 결합을 시뮬레이션 할 수 있다. Kato 등은 투명한 컵을 감각형 사용자 인터페이스로 활용하는 MagicCup 을 제안하였다 [4]. MagicCup 시스템에서는 투명한 컵을 사용하여 증강된 가상 객체를 추가, 삭제 및 이동할 수 있다. Park 등은 증강현실 기반의 3 차원 모델링에 감각형 사용자 인터페이스를 도입한 Tangible Augmented Reality Modeling (TARM) 시스템을 제안하였다 [5].

기존의 Tangible AR 시스템들의 인터페이스는

\* 본 연구는 실감방송 연구센터를 통한 정보통신부 ITRC 사업과 ICU DML의 지원 하에 수행됨.

가상 객체를 증강하거나 상호작용을 위해서 감각형 사용자 인터페이스로 사용할 물체에 마커를 부착한다. 부착된 마커가 사용자의 시야에 보여야만 가상 객체가 증강되며 상호작용이 가능하다. 사용자의 신체의 일부분이 마커를 가리는 경우 가상 객체의 증강이 불가능하다. 마커의 부착을 위해서 감각형 사용자 인터페이스로 사용될 수 있는 객체의 형태는 평평한 면을 갖는 사각형, 육면체 등으로 제한되므로 다양한 형태의 인터페이스 구축에 한계가 있다.

이러한 단점들을 해결하기 위해 본 논문에서는 일반적인 형태의 객체를 인터페이스로 사용할 수 있는 Table-top 증강현실 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 사용자가 작업 공간으로 이용하는 테이블과 감각형 객체에 부착된 마커를 추적하는 카메라, 그리고 사용자에게 가상 객체가 증강된 영상을 제공하는 카메라로 이루어진다. 마커는 객체의 밑면에 부착되며, 이를 테이블 아래의 카메라가 추적한다. 테이블 아래에 위치한 마커 추적용 카메라와 가상 객체가 증강된 영상을 제공하는 증강용 카메라 사이의 보정을 통해 사용자는 시야에 마커가 들어오지 않더라도 증강된 가상 객체나 정보를 볼 수 있다. 그림 1은 제안된 시스템의 개념도를 보인 것이다.

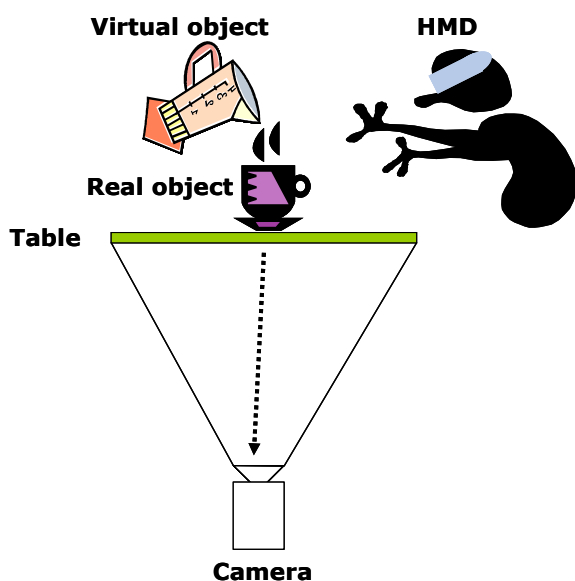


그림 1. 일반적인 객체를 활용하는 Tangible Augmented Reality 시스템 개념도

제안된 시스템은 사용자의 시야에서 마커를 감춤으로써 마커의 부착이 갖는 부자연스러움을 없애고, 일반적인 객체를 감각형 사용자 인터페이스로 활용할 수 있도록 한다. 또한 마커를 추적하는 카메라와 사용자에게 가상 객체가 증강된 영상을 제공하는 증강용 카메라를 분리함으로써 사용자가 마커를 가리는 경우 증강이 되지 않는 문제를 해결한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2 장에서는 제안된 시스템의 구성에 대해 설명하고, 3 장에서는 실험 결과를 보인다. 4 장에서는 결론 및 향후 과제에 대해 논한다.

## 2. 시스템 구성

### 2.1 IR 카메라 와 IR 마커

실제 환경에는 다양한 조명 조건들이 존재한다. 예를 들면, CAVE 와 같이 밀폐되어 있고 어두운 환경의 경우, 카메라가 마커를 인식하기 어렵기 때문에 증강 현실 기반의 인터페이스의 사용이 용이하지 않다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 제안된 시스템은 IR 카메라와 IR 마커를 사용한다.

IR 카메라는 IR Emitter 와 IR 필터, 카메라로 구성되어 있으며, IR 마커는 IR Emitter 에서 방출된 적외선을 반사하는 물질로 만들어진다. 카메라에 부착된 필터는 적외선만을 통과시키기 때문에, 반사체로 만들어진 IR 마커 만이 영상에 나타나고 주변의 물체는 영상에 나타나지 않는다. IR 마커가 IR 카메라의 영상에 나타나는 것은 Emitter 로부터 방출되는 적외선을 반사하기 때문이므로 주변 환경의 조명 조건이 변하더라도 영향을 적게 받는다.

### 2.2 감각형 객체의 추적 및 인식

기존의 Tangible Augmented Reality 시스템들은 감각형 객체로 쓰이는 객체의 표면에 마커를 부착한다. 그러나 일상 생활에서 접하는 사물들은 평평한 면 뿐만 아니라 곡면과 같은 다양한 형태를 갖는다. 때문에 Tangible AR 환경에서 감각형 사용자 인터페이스로 활용하기 위해 표면에 마커를 부착하는 것이 용이하지 않다. 그 외에도 사용자의 신체의 일부분이 마커를 가리는 경우 가상 객

체의 증강이 불가능 하다. 다수의 사용자가 존재하는 Table-top 협업 환경에서는 이러한 문제점이 더욱 두드러지게 된다.

제안된 시스템에서는 대부분의 사물들은 평평한 밑면을 갖는다는 점에 착안하여, 감각형 사용자 인터페이스로 사용할 객체의 밑면에 마커를 부착한다. 이를 통해 사용자의 시야에서 마커를 감출 수 있으며, 객체의 표면에 마커를 부착하는 경우 발생하는 부자연스러움을 없앨 수 있다. 객체의 밑면에 부착된 마커의 추적은 테이블 아래에 위치한 카메라를 통해 이루어지며, 가상 객체의 증강은 증강용 카메라가 제공하는 영상 위에 이루어진다.

### 2.3 가상 객체의 증강

일반적인 증강현실 시스템에서는 한 대의 카메라로 영상을 얻어 마커를 추적하고 가상 객체를 증강한다. 제안된 시스템은 마커의 추적을 위한 카메라와 가상 객체를 증강할 영상을 제공하는 카메라가 서로 분리되어 있다. 마커 추적용 카메라를 이용하여 얻은 정보를 이용하여 증강용 카메라의 시점에서 가상 객체를 증강하기 위해서는 두 카메라 사이의 보정이 필요하다.

그림 2는 두 카메라 사이의 관계를 보인 것이다. Camera<sub>1</sub>은 테이블 아래에서 마커를 추적하는 카메라이고, Camera<sub>2</sub>는 가상의 객체가 증강될 영상을 제공하는 카메라이다. Camera<sub>2</sub>의 시점에서 증강된 가상 객체를 보기 위해서는 Camera<sub>1</sub>의 자세와 Camera<sub>2</sub>자세 사이의 관계를 알아야 한다. Camera<sub>1</sub> 과 Camera<sub>2</sub>에 대하여 월드 좌표계에서 카메라 좌표계로의 변환 행렬을 각각 T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> 라 하면, Camera<sub>1</sub>의 자세와 Camera<sub>2</sub>의 자세 사이의 관계는 식 (1)로 표현될 수 있으므로 두 카메라 사이의 상대적인 변환 행렬인 T<sub>12</sub>를 아는 경우 Camera<sub>1</sub>자세 정보로부터 Camera<sub>2</sub>의 자세를 추정할 수 있다.

$$T_2 = T_{12}T_1 \quad (1)$$

Camera<sub>1</sub>의 자세와 Camera<sub>2</sub>의 자세 사이의 관계를 나타내는 T<sub>12</sub>는 다음과 같이 구한다. 먼저

Camera<sub>1</sub>과 Camera<sub>2</sub>를 고정하고, 양면으로 제작된 마커를 사용하여 유리 테이블을 위에 놓인 마커를 두 카메라가 보도록 한다. 일정 수의 frame 동안 각각의 T<sub>1</sub> 및 T<sub>2</sub>를 구하고 T<sub>1</sub>과 T<sub>2</sub>의 평균값인 T<sub>1e</sub>와 T<sub>2e</sub>를 얻는다. 그 다음 식 (2)를 통해 T<sub>1e</sub>와 T<sub>2e</sub>로부터 T<sub>12e</sub>를 구한다.

$$T_{12e} = T_{2e}T_{1e}^{-1} \quad (2)$$

마커의 움직임으로 인해 T<sub>1</sub>이 동적으로 변하게 되는 경우, 미리 얻은 T<sub>12e</sub>를 이용하여 T<sub>2</sub>를 계산할 수 있다. 따라서 Camera<sub>2</sub>에 마커가 보이지 않더라도 Camera<sub>1</sub>이 추적한 마커의 정보를 바탕으로 가상 객체를 Camera<sub>2</sub>의 시점에서 증강할 수 있다.

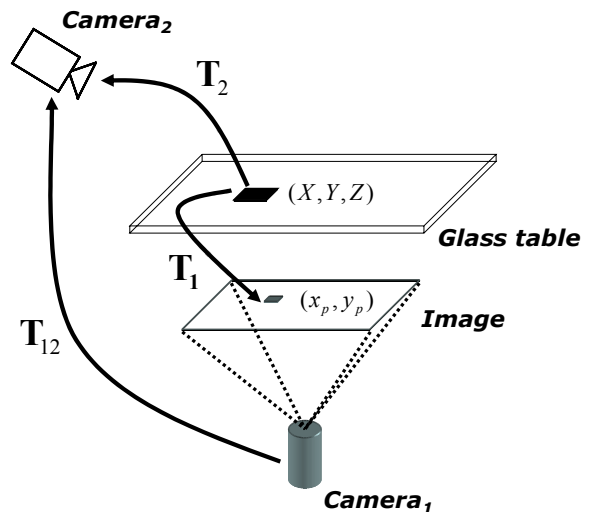


그림 2. 마커 추적용 카메라와 사용자의 시점에 위치한 카메라 사이의 관계

### 3. 실험 결과

제안된 시스템은 유리 테이블, 마커 추적용 IR 카메라, IR 마커 및 가상 객체 증강용 카메라로 구성된다. 카메라는 IEEE1394 인터페이스를 갖는 Fire-i400 을 사용하였고 소프트웨어로는 ARToolkit [6]을 사용하였다. 유리 테이블의 면적은 140cm × 65cm 이다. IR 카메라는 IR emitter, IR 필터 및 카메라로 이루어져 있으며, 마커 추적용 카메라의 렌즈 앞에 장착된다. 카메라의 렌즈로부터 유리 테이블까지의 거리는 그림 3 은 제안된 시스템을

구현하기 위해 사용된 구성 요소들을 보인 것이다.

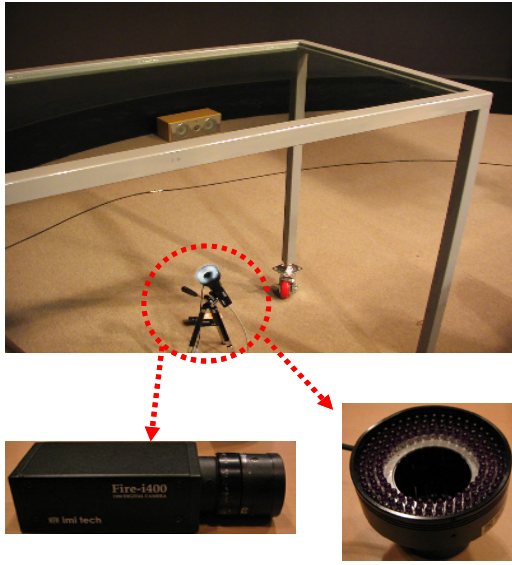


그림 3. 시스템 구성 요소

그림 4는 IR 마커를 이용한 증강의 결과를 보인 것이다. 그림 4(a)와 그림 4(b)는 각각 IR 반사체가 아닌 종이로 만들어진 마커에 대해 IR 필터가 있는 경우와 없는 경우의 영상이다. 주변 환경이 적외선을 적외선을 반사하지 않기 때문에 필터를 통과한 영상은 원 영상보다 어두운 것을 알 수 있다. 마커 역시 거의 보이지 않음을 알 수 있다. 그림 4(c)는 IR 마커가 IR 카메라의 영상에 나타난 것을 보인 것이다. 그림 4(b)에 비해 마커가 보다 명확하게 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 4(d)는 IR 마커 위에 가상 객체를 증강한 결과이다.

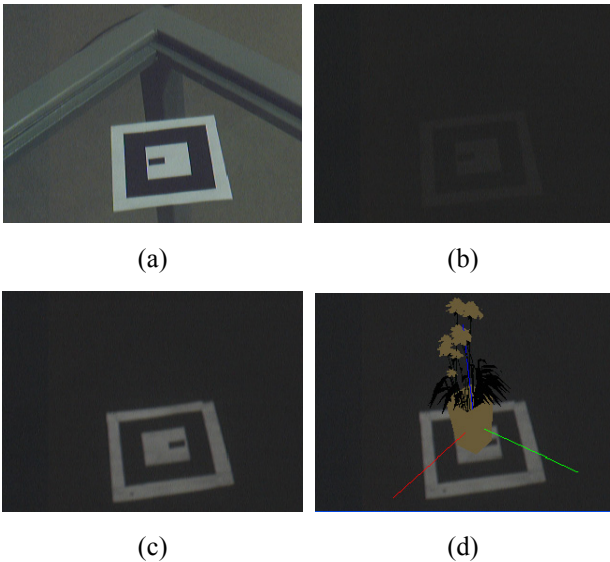


그림 4. IR 카메라를 이용한 IR 마커 인식 (a) IR 필터를 제거한 일반 영상 (b) IR 필터를 적용한 영상 (c) IR 마커의 영상 (d) IR 마커 위에 증강된 가상 객체

IR 카메라와 IR 마커를 이용하는 경우 조명의 변화에도 강건하다는 것을 알아보기 위해 주변 환경의 조명을 변화시켜 가면서 IR 마커의 인식에 대한 실험을 하였다. 그림 5는 그 결과를 보인 것이다. 그림 5(a)는 조명이 전혀 없는 조건에서의 증강 결과이고, 그림 5(b)는 충분한 조명이 있는 상태에서의 증강 결과이다. 조명의 극단적인 변화에도 마커의 인식 및 증강이 영향을 받지 않을 수 있다. 따라서 IR 카메라와 IR 마커를 이용하여 주변 환경의 조명에 강건한 증강현실 기반의 인터페이스를 만들 수 있다.

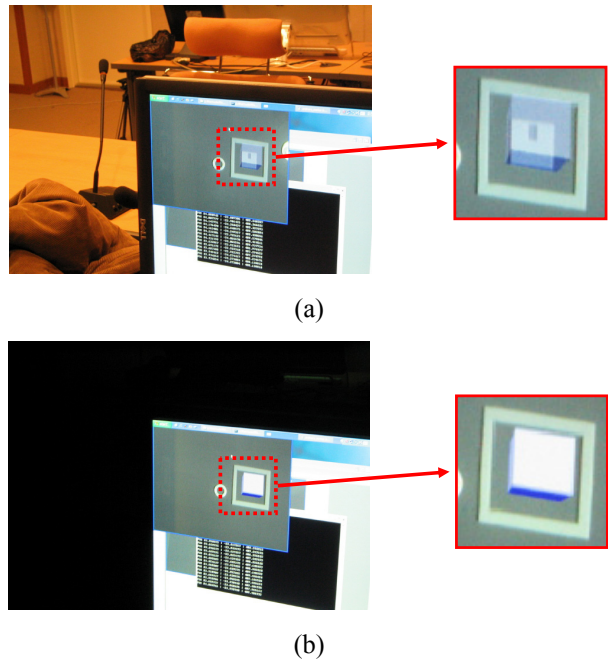


그림 5. 서로 다른 조명 조건에서의 증강 (a) 밝은 조명 조건에서의 증강 결과 (b) 어두운 조명 조건에서의 증강 결과

그림 6은 IR 마커를 감각형 사용자 인터페이스로 사용될 객체 밑에 부착한 후 테이블 위에서 가상 객체를 증강한 결과이다. 실생활에 사용되는 용기와 PDA의 밑면에 IR 마커를 부착하고 각각의 객체 위에 가상 객체를 증강하였다. 마커가 사용자의 시야에 보이지 않더라도 테이블 아래에 있

는 카메라를 통해 가상 객체가 증강되는 것을 볼 수 있다.

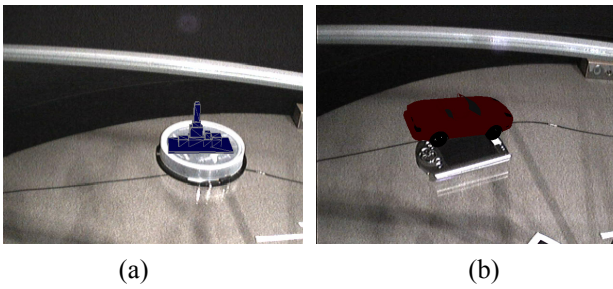


그림 6. 일반적인 객체를 이용한 증강 (a) 용기 위의 증강 (b) PDA 위의 증강

그림 7은 사용자가 테이블 위에서 활용할 수 있는 작업 공간을 나타낸 것이다. 유리 테이블 위에서의 공간은 테이블 아래에 위치한 카메라의 화각과 카메라와 테이블과의 거리에 따라 달라지게 된다. 현재 구현된 시스템은 유리 테이블 위에서  $30 \times 18 \times 20 \text{ cm}^3$ 의 작업 영역을 갖는다.

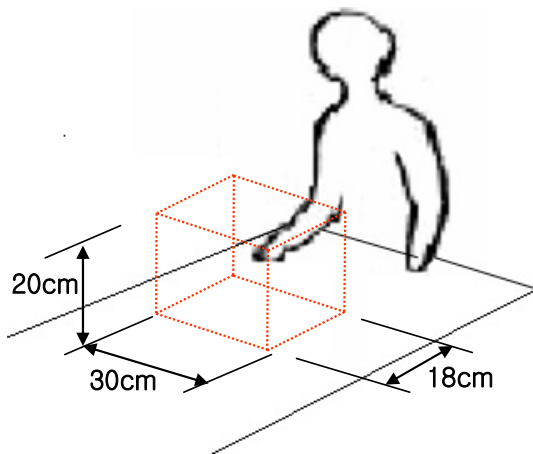


그림 7. 유리 테이블 위에서 사용자가 활용할 수 있는 작업 공간

#### 4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 일반적인 형태의 객체를 인터페이스로 사용할 수 있는 Table-top 증강현실 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 사용자의 시야로부터 마커를 감춤으로써 마커의 부착이 갖는 부자연스러움을 줄이고, 일반적인 객체를 감각형 사용자 인터페이스로 활용할 수 있도록 한다. 또한

IR 카메라와 IR 마커를 사용함으로써 주변 조명 조건의 변화에 강건한 인터페이스를 제공한다. 제안된 시스템은 Table-top 환경에서의 교육, 엔터테인먼트, 협업 등의 다양한 분야에 응용할 수 있다. 향후에는 tracker 를 통해 사용자를 추적하여 임의의 시점에서 증강을 할 수 있도록 하는 것과 다수의 카메라를 이용하여 작업 영역을 넓히는 것에 대한 연구를 진행할 예정이다.

#### 참고문헌

- [1] Ishii, H., Ullmer, B., "Tangible Bits: Toward Seamless Interfaces between People, Bits, and Atoms", *In Proc. Of CHI'97*, pp. 173-179, 1997
- [2] I. Poupyrev, "Augmented Groove : Collaborative Jamming in Augmented Reality", *ACM SIGGRAPH 2000 Conference Abstracts and Applications*, p. 77, 2000
- [3] Morten Fjeld and Benedikt M. Voegtli, "Augmented Chemistry: An Interactive Educational Workbench", *Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2002)*, 2002.
- [4] H.Kato, K.Tachibana, M.Tanabe, T.Nakajima, and Y.Fukuda, "MagicCup: A Tangible Interface for Virtual Objects Manipulation in Table-Top Augmented Reality", *Augmented Reality Toolkit Workshop, IEEE International*, pp. 75-76, 2003.
- [5] J.Y.Park and J.W.Lee, "Tangible Augmented Reality Modeling", *International Conference/Workshop on Entertainment Computing*, pp. 254-259, 2004.
- [6] ARToolkit, <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>