

ARTable: 감각형 오브젝트를 이용한 증강현실 기반 상호작용 시스템*

박영민⁰ 우운택
광주과학기술원 U-VR 연구실
{ypark⁰, wwoo}@gist.ac.kr

ARTable: AR based Interaction System using Tangible Objects

Youngmin Park⁰ and Woontack Woo
GIST U-VR Lab.

요 약

본 논문에서는 감각형 오브젝트, 사용자의 컨텍스트를 이용한 테이블 기반 증강현실 상호작용 시스템을 제안한다. 기존의 테이블 기반 상호작용 시스템들은 2차원 GUI기반의 인터페이스를 사용하여 상호작용 직관성이 결여되었고, 고립된 시스템으로 동작하여 시스템의 활용성 측면에서 제한적이다. 제안된 시스템은 테이블 표면에 관련된 정보를 투영시키고, 일반적인 오브젝트에 마커를 부착하여 카메라를 통해 추적함으로써 일상생활의 오브젝트를 상호작용 도구로 활용한다. 동시에 측면의 디스플레이를 통해 테이블 위에 그래픽 객체를 증강시켜 상호작용의 직관성을 향상시킨다. 또한, vr-UCAM을 통해 사용자의 컨텍스트를 상호작용에 반영하고 [6], 칼만 필터의 예측 기법에 기반하여 보정된 오브젝트의 추적 정보를 컨텍스트로써 공유하여 제안된 시스템이 범용적인 인터페이스로 활용될 수 있도록 한다. 실험에서는 제안된 시스템을 가상환경 네비게이션 시스템과 연동하여 유용성을 평가하였다. 제안된 인터페이스는 다양한 형태의 콘텐츠에 대한 사용자의 접근성을 향상시킴으로써 가상현실 및 증강현실 등 다양한 분야의 직관적인 사용자 인터페이스로 사용될 수 있다.

1. 서론

시각 기반 증강현실 (Vision-based Augmented Reality)은 사용자가 직접적으로 인식할 수 없는 정보를 현실공간에 증강시킴으로써 사용자의 직관력을 확장한다 [1]. 감각형 사용자 인터페이스 (Tangible User Interface)는 일상생활의 오브젝트를 조작함으로써 디지털 정보를 제어하는 직관적인 상호작용을 지원한다 [2]. 이러한 기술은 작업 진행에 있어 상호작용에 소요되는 노력을 줄일 수 있다. 그리고 최근에는 이러한 두 분야를 결합하여 사람과 컴퓨터 간의 직관적인 상호작용을 가능하게 하고 작업의 능률을 향상시키기 위한 연구도 진행되고 있다 [4].

Ishii 등은 일상생활의 오브젝트를 이용하여 디지털 정보에 접근하고 직관적으로 제어할 수 있는 Tangible Bits을 제안하였다 [2]. Rekimoto 등은 증강현실에 기반하여 마커 추적과 프로젝터를 활용하여 컴퓨터의 정보를 테이블로 꺼내고 다른 컴퓨터로 이동할 수 있는 연구를 수행하였다 [3]. Poupyrev 등은 레코드판을 움직여 음악을 제어하고, 동시에 레코드 판 위에 증강된 가상 객체로부터 상태정보를 확인할 수 있는 ARGroove를 제안하였다 [4]. TMCS는 감각형 오브젝트를 이용하고 사용자의 컨텍스트를 고려하여 멀티미디어 정보를 제어하였다 [5]. 그러나, 기존의 시스템들은 다양한 목적으로 활용하기 위한 요소가 고려되지 않았거나 [2][3][4], 상호작용에 대한 피드백 제공 측면에서 한계가 있다 [5]. 그리고, GUI 기반의 인터페이스를 유지하고 있어서 직관적인 인터페이스를 제공하지 못한다 [3].

이러한 한계를 보완하고자, 본 논문에서는 직관적인 상호작용을 지원하고 범용적으로 사용될 수 있는 ARTable을 제안한다. ARTable은 일상생활의 실제 오브젝트를 상호작용의 도구로 활용한다. 그리고

오브젝트와 오브젝트의 주변에 그래픽 객체를 증강함으로써 상호작용 공간의 상태를 보여준다. 또한, ARTable은 vr-UCAM을 기반으로 한다 [6]. 이것은 사용자의 컨텍스트를 상호작용에 활용하고, ARTable에서 획득한 오브젝트의 추적 정보를 컨텍스트로 표현하여 주변의 장치들과 공유할 수 있도록 한다. 주변 장치와 공유되는 오브젝트의 추적 정보는 추적 예측 기법에 기반하여 해상도를 보정한다.

제안된 시스템은 다음과 같은 장점을 가진다. 먼저, 감각형 오브젝트와 증강현실 기술을 결합하여 직관적인 상호작용을 가능하게 한다. 또한, 사용자의 컨텍스트에 기반하여 사용자에게 따라 개인화 된 사용자 인터페이스를 제공할 수 있다. 뿐만 아니라, 오브젝트의 보정된 추적 정보를 컨텍스트로써 환경과 공유함으로써 ARTable을 범용적인 인터페이스로 활용할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 ARTable의 구성 및 구현사항에 대해 설명하고, 3장에서는 가상환경 네비게이션에 적용한 실험 결과를 보인다. 4장에서는 결론 및 추후 연구과제에 대해 언급한다.

2. ARTable

제안된 ARTable은, 그림 1과 같이, 감각형 오브젝트의 추적, 테이블 디스플레이 및 증강 디스플레이, 그리고 캘리브레이션으로 구성된다. 각각의 컴포넌트는 vr-UCAM의 vr-Sensor와 vr-Service을 기반으로 한다. 따라서 주변 장치로부터 획득한 사용자의 컨텍스트를 ARTable에서 활용하고, ARTable에서 획득한 오브젝트의 추적 정보를 컨텍스트로 표현하여 주변의 장치들과 공유한다.

* 본 연구는 광주과학기술원 실감콘텐츠연구센터(ICRC)와 광주과학기술원 기관고유사업의 지원에 의해 수행되었음

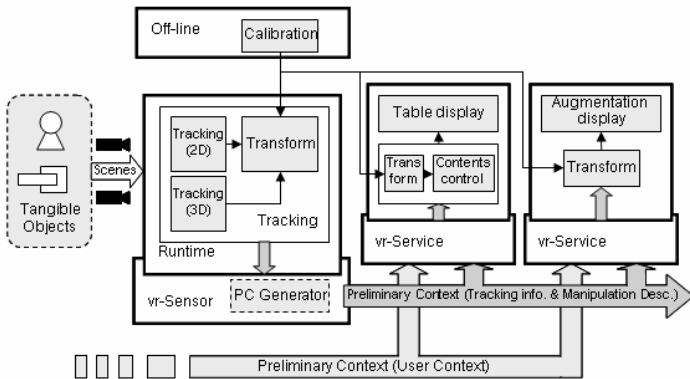


그림 1 컴포넌트 구성도

그림 2는 시스템의 구성을 나타낸다. 테이블 하단의 프로젝터는 테이블 표면에 정보를 투영시킨다. 테이블의 상단과 하단의 두 카메라를 통해 감각형 오브젝트를 추적한다. 측면의 증강 디스플레이는 상단 카메라의 영상에 그래픽 객체를 정합하여 보여준다.

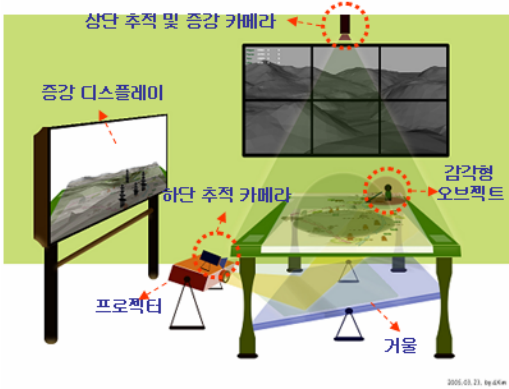


그림 2 시스템 구성

2.1 캘리브레이션

캘리브레이션 과정은 두 카메라 간의 변환 정보와 카메라-테이블 간의 변환 정보를 구하고, 추적 정보를 주변 장치들과 공유하기 위하여 정규화(normalize)된 좌표계로 맵핑시키는 변환을 정의한다. 이러한 과정은 오프라인(off-line)으로 수행된다.

캘리브레이션은 다음과 같은 순서로 진행된다. 먼저, 동일한 패턴이 양면에 좌우 반대로 인쇄되어 있는 마커를 준비한다. 마커를 테이블의 좌측 상단 모서리에 놓은 후, 각 카메라와 캘리브레이션 마커의 변환 T_{AC} 와 T_{BC} 를 구한다. 다음은 마커를 우측 하단으로 옮겨 변환 $T_{AC'}$ 와 $T_{BC'}$ 를 획득한다. 따라서, 오브젝트 추적 과정에서 상단 카메라로부터 오브젝트로의 변환 T_{AO} 는 다음과 같이 테이블 좌측 상단을 기준으로 하는 좌표계에서의 변환이 된다.

$$T_{AC}^{-1}T_{AO} = T'_{AO}$$

마찬가지로, 하단 카메라로부터 오브젝트의 변환 T_{BO} 는 다음과 같이 구할 수 있으며, 여기에서 T'_{BO} 는 T'_{AO} 과 같다.

$$T_{BC}^{-1}T_{BO} = T'_{BO}$$

이렇게 계산한 T'_{AO} 는 오브젝트의 방위와 위치 정보를 포함한다. 이로부터 6DOF의 3D 좌표와 방위 값을 추출하고, T_{AC} 를 이용하여 정규화한다.

2.2 감각형 오브젝트 추적

감각형 오브젝트는 추적을 위한 ARToolKit 마커가 부착되어 있다. 이 마커는 테이블의 상단과 하단의 두 대의 카메라를 통해 추적된다. 그림

3는 감각형 오브젝트의 예를 보여준다 [8]. 그림 3(a)는 오브젝트의 바닥에만 마커를 부착하는 경우로, 오브젝트의 2D 정보만을 추적할 수 있는 반면에 오브젝트의 외형을 자유롭게 제작할 수 있고 손의 가림에 의한 추적 실패를 방지한다. 그림 3(b)의 경우는, 사용자의 시야에 마커가 드러나는 반면에 오브젝트의 3D 정보를 추출할 수 있다.

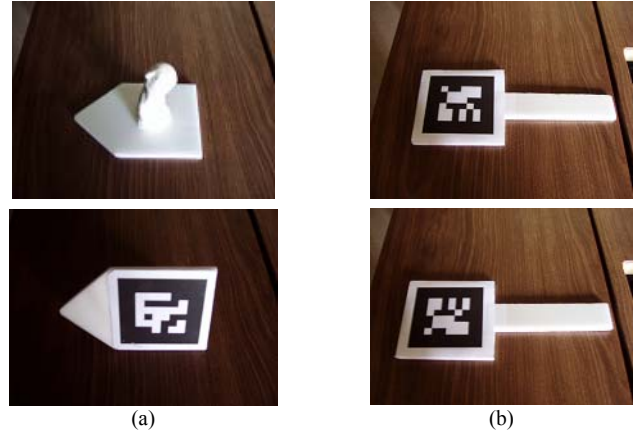


그림 3 감각형 오브젝트의 예 - 윗면과 바닥면 (a) 2D 추적 오브젝트 (b) 3D 추적 오브젝트

오브젝트의 추적 정보는 주변 장치와 공유되기 전에 보정되어야 한다. 추적 정보의 해상도는 카메라 영상의 해상도에 따라 제한되어 있다. 반면에, 주변의 장치들이 필요로 하는 해상도가 더 높을 경우, 추적 정보의 오차가 증폭되기 때문이다. 이것은 적절한 서비스를 방해하는 요인이 될 수 있다.

본 논문에서는 다음과 같은 방법으로 추적 정보를 보정한다. 먼저, 떨림 문제를 해결하기 위해 임계값(threshold)을 적용하여, 오브젝트의 움직임이 임계값 T 를 넘지 않을 경우 오브젝트가 정지된 상태에 있는 것으로 간주한다. 다음은, 오브젝트의 움직임을 예측하기 위해 칼만 필터(Kalman Filter)를 적용한다 [7]. 칼만 필터에서는 오브젝트의 움직임을 등가속도로 가정하여, 특정 시점 t 의 상태 벡터를 다음과 같이 정의하였다.

$$x_t = \left[\begin{matrix} \tau_t & \rho_t & \frac{d\tau_t}{dt_t} & \frac{d\rho_t}{dt_t} & \left(\frac{d\tau_t}{dt_t} - \frac{d\tau_{t-1}}{dt_{t-1}} \right) & \left(\frac{d\rho_t}{dt_t} - \frac{d\rho_{t-1}}{dt_{t-1}} \right) \end{matrix} \right]^T$$

여기에서 t 는 추적에 사용된 영상이 캡처된 시간, τ 와 ρ 는 오브젝트의 3D 좌표와 방위를 나타낸다. 오브젝트의 좌표와 방위를 예측한 후에는 현재 추적 정보와의 차이를 다음과 같이 선형 보간(linear interpolation)하였다. 이것은 오브젝트의 추적 정보를 N 배 확장한 효과를 낸다.

$$x_{t+\frac{n}{N}dt} = x_t + (x_{t+dt} - x_t) \frac{n}{N}$$

2.3 테이블 및 증강 디스플레이

테이블 디스플레이는 상호작용 공간의 범위 및 해당 공간의 상태 정보를 사용자에게 제공한다. 예를 들어, ARTable을 가상공간 네비게이션에 사용할 경우, 테이블 표면에는 가상공간의 2D 지도가 투영된다. 사용자는 전체 가상공간에서 현재 탐험중인 위치를 쉽게 파악할 수 있으며, 이동에 따라 적절한 피드백을 제공 받을 수 있다. 이것은 테이블 하단에 부착된 프로젝터를 통해 테이블 표면에 투영된다.

테이블은 프로젝터의 영상이 투영되는 물론, 테이블 하단의 카메라를 통해 테이블 위의 오브젝트를 추적할 수 있어야 한다. 이것을 지원하기 위해 테이블 표면은 반투명 재질을 사용하여 제작되었다. 그림 4은

테이블에 투영된 영상과, 테이블 위에 놓여있는 물체를 하단의 카메라를 통해 촬영한 영상을 보여준다.

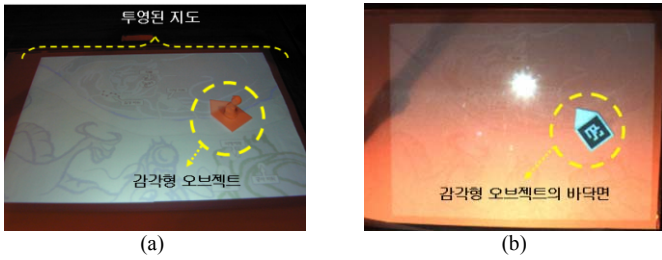


그림 4 테이블 디스플레이 (a) 테이블 위에서 본 테이블 표면 (b) 테이블 하단 카메라를 통해 보이는 테이블 위의 감각형 오브젝트

증강 디스플레이는 가상으로 존재하는 상호작용 공간을 현실공간의 테이블 표면으로 끌어낸 모습을 보여준다. 이것은 사용자가 조작하는 오브젝트와 상호작용 공간의 연관성을 쉽게 파악할 수 있도록 한다. 한 예로, ARTable을 가상환경 네비게이션에 사용할 경우, 가상환경의 지형을 테이블 위에 정합하여 보여줄 수 있다.

증강에 필요한 카메라의 자세 정보는 오프라인으로 구한다. 따라서, 동작 중에는 증강을 위한 마커를 필요로 하지 않는다. 증강 결과는 테이블의 측면에 위치한 디스플레이 장치에 보여진다. 그림 5는 테이블에 증강된 지형을 보여준다.

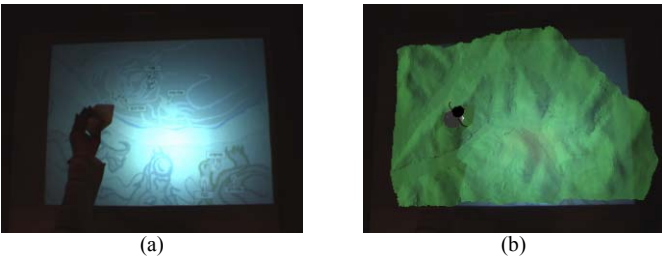


그림 5 증강 디스플레이 (a) 상단 카메라 영상 (b) 영상에 증강된 지형과 케릭터

3. 구현 및 실험 결과

제안된 시스템의 유용성을 검증하기 위해 가상환경 네비게이션과 연동시켜 보았다. 증강 디스플레이에는 사용자에 따라 서로 다른 그래픽 모델을 증강하였다. ARTable에서 생성된 컨텍스트는 감각형 오브젝트의 종류, 트래킹 정보, 조작 정보를 포함한다. 이러한 컨텍스트는 가상환경 내 사용자의 위치 정보, 가상환경에 존재하는 물체와의 상호작용에 사용되었다.



그림 6 구현된 시스템

구현된 시스템을 기반으로 가상공간 네비게이션에 사용된 ARTable과 조이스틱을 다음과 같은 조건에서 실험하여 비교 평가하였다. 먼저, 실험 대상자는 가상환경을 접한 적이 있지만 조이스틱을 사용한 경험이 없는

10명으로 한정시켰다. 시스템의 직관성을 평가하기 위해 각 사용자에 대해 ARTable과 조이스틱의 사용법을 습득하는데 걸린 시간을 측정하였다. 다음으로, 사용자가 가상환경 내에서 특정 위치와 방위로 이동하는데 걸리는 시간을 5회 반복하여 측정하였고, 전체적인 만족도에 대한 설문을 수행하였다. 다음 표는 평가 결과를 보여준다. 각 측정값은 평균과 표준편차로 나타내었다.

표 1 가상환경에 사용된 ARTable과 조이스틱 비교 - 평균(표준편차)

	ARTable	조이스틱
학습시간	32.4초 (8.8초)	84.7초 (24.7초)
이동시간	10.4초 (7.1초)	35초 (18.6초)
만족도	76% (19.1%)	54% (11.4%)

실험결과 대부분의 사용자들은 설명 없이도 ARTable의 사용법을 쉽게 익히고 조작하였다. 조이스틱의 경우, 버튼의 역할과 조작방법을 익히는데 상대적으로 많은 시간이 걸렸다. ARTable을 사용한 경우 테이블에 투영된 지도를 통해 목적지를 쉽게 파악하고 이동할 수 있었다. 반면에, 조이스틱은 대부분의 피실험자가 방위를 조작하는데 어려움을 겪었고, 총 50회의 실험에서 12회는 길을 잃고 이동시간이 120초를 초과하여 통계에서 제외시켰다. 하지만, ARTable은 조작의 세밀함에 있어서는 사용자들의 만족도를 충족시키지 못했고, 현재로서는 2차원 네비게이션만 가능하다는 지적을 받았다.

4. 결론

제안된 ARTable은 일상생활의 오브젝트를 이용하고, 상호작용과 관련된 정보를 테이블과 증강 디스플레이를 통해 제공함으로써 직관적인 인터페이스를 제공한다. 그리고, ARTable은 vr-UCAM을 통해 사용자의 컨텍스트를 상호작용에 활용하고, 오브젝트의 컨텍스트를 주변 장치와 공유함으로써 시스템의 활용성을 향상시킨다. 따라서 제안된 시스템은 가상환경 네비게이션을 비롯하여 디지털 콘텐츠 제어 및 스마트 홈 환경에서의 환경 제어와 같은 다양한 분야에 응용될 수 있다. 추후에는 사용자에게 좀 더 직관적이고 자연스러운 인터페이스를 제공할 수 있는 시스템 구성 및 오브젝트 추적의 정확도를 향상시키기 위한 연구가 절 예정이다. 또한, 감각형 오브젝트의 디자인에 대한 연구와 함께 제안된 시스템을 효과적으로 활용하기 위한 어플리케이션 개발이 필요하다.

참고 문헌

- [1] R. Azuma, "A Survey of Augmented Reality", Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, 4, pp.355-385, 1997
- [2] H. Ishii, B. Ullmer, "Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms", in Proceedings of ACM CHI '97, pp. 234-241, Mar. 1997
- [3] J. Rekimoto and M. Saitoh, "Augmented Surfaces: A Spatially Continuous Work Space for Hybrid Computing Environments", In Proceedings of CHI 1999, ACM Press, pp. 378-385, 1999
- [4] I. Poupyrev, "Augmented Groove : Collaborative Jamming in Augmented Reality", ACM SIGGRAPH 2000 Conference Abstracts and Applications, pp. 77, 2000
- [5] S.J. Oh and W. Woo, "Manipulating Multimedia Contents with Tangible Media Control System", International Conference on Entertainment Computin, Vol.3166, pp. 57-67, 2004
- [6] Y. Lee, S.J. Oh, Y. Suh and W. Woo, "Developing vr-UCAM for Interaction on Distributed Virtual Environments", KHCI2005, pp. 507-512, 2005
- [7] G. Welch and G. Bishop, "An introduction to the kalman filter". CS TR 95-041, UNC, 1995
- [8] ARToolkit http://www.hitl.washington.edu/research/shared_space/download