

프로젝터-카메라와 스마트폰을 활용한 인터랙티브 증강현실 시스템

임창민^o, 최준영, 백용환, 박종일

한양대학교 컴퓨터·소프트웨어학과

cmlim@mr.hanyang.ac.kr, hooeh@mr.hanyang.ac.kr, yhbaek@mr.hanyang.ac.kr, jipark@hanyang.ac.kr

요약

본 논문에서는 프로젝터-카메라 기반 공간 증강현실 기술과 모바일 증강현실 기술, 그리고 손동작 인식 기반 사용자 친화적 인터페이스를 활용한 사용자 몰입형 증강현실 시스템을 제안한다. 프로젝터-카메라 기반 증강현실 기술을 통해 테이블 위에 콘텐츠가 제공되는 환경에서, 사용자는 스마트폰을 통해 제어 가능한 물리 객체와 손동작 인식을 이용해서 증강된 콘텐츠와 상호작용 할 수 있다. 또한, 모바일 증강현실 기술을 활용함으로써 더욱 몰입감있는 증강현실 콘텐츠를 제공한다. 본 논문에서는 제안한 증강현실 시스템의 유용성을 검증하기 위해서 자동차 주행 어플리케이션을 구현하였다.

1. 서론

근래에 프로젝터가 소형화되어 휴대가 편리해짐에 따라 프로젝터와 카메라를 사용하여 특정 공간 상에 가상 콘텐츠를 증강시키는 프로젝터-카메라 기반 공간 증강현실에 대한 관심이 증가하고 있다. 프로젝터-카메라 기반 증강현실 기술을 활용한 시스템의 예로, [3]은 프로젝터를 사용하여 평평한 보드 위에 콘텐츠를 증강시키는데, RGB 카메라로 보드 위의 마커를 인식함으로써 보드의 자세를 구하고 콘텐츠를 증강시킨다. 이때 사용자는 보드를 여러 자세로 변경함으로써 콘텐츠와 상호작용할 수 있다. 그리고 [2]에서는 프로젝터를 이용해서 게임영상이나 그래픽 효과를 디스플레이 주변으로 확장시켜줌으로써, 게임의 몰입감을 높이는 시스템을 제안하였다.

최근 프로젝터-카메라 기반 공간 증강현실에서는 프로젝터 콘텐츠와의 자연스러운 상호작용을 제공하는 사용자 동작 기반 인터페이스를 도입함으로써 사용자의 몰입을 증대시키고 있다. 그 예로, [1]은 여러 대의 프로젝터를 사용하여 방 공간 전체에 가상 콘텐츠를 증강시키고, RGB-D 카메라를 사용하여 사용자의 움직임을 인식함으로써 가상 콘텐츠와의 자연스러운 상호작용을 제공하였다. 그리고 [5]는 모바일 프로젝터를 사용하여 손이나 벽 등에 콘텐츠를 증강시키고, RGB-D 카메라를 사용한 손동작 인식을 통해 증강된 콘텐츠와의 상호작용을 제공하는 시스템을 제안하였다.

본 논문에서 제안하는 프로젝터-카메라 기반 공간 증강현실 시스템은 사용자 동작 기반 자연스러운 상호작용을 제공할 뿐만 아니라, 스마트폰 기반 증

강현실 기술을 도입함으로써 새로운 형태의 몰입형 상호작용을 제공한다. 제안하는 시스템은 테이블 위에 프로젝터를 이용해서 가상 콘텐츠를 증강시키고, 증강된 콘텐츠는 물리 객체의 움직임에 따라 반응한다. 이때 물리 객체는 사용자가 스마트폰을 이용해서 조종할 수 있으며, 스마트폰의 카메라를 통해 물리 객체를 바라볼 때 3 차원 가상 콘텐츠가 물리 객체 위에 증강됨으로써 사용자의 몰입감을 더욱 증대시킨다. 또한, 사용자는 손동작을 이용해서 증강된 콘텐츠와 상호작용할 수도 있다. 본 논문에서는 자동차 주행 어플리케이션을 구현함으로써 제안하는 시스템의 유용성을 검증한다.

2. 인터랙티브 증강현실 시스템

이 장에서는 제안한 증강현실 시스템에 대해 설명한다. 먼저 제안한 시스템의 구성에 대해 설명하고 주요 기술인 프로젝터-카메라 기반 공간 증강현실에 대해서 설명한다. 그리고 손동작 기반 상호작용에 대해서 설명한 뒤, 마지막으로 모바일 증강현실에 대해 설명한다.

2.1 시스템 구성

본 시스템에선 2 세대 키넥트 센서([4])의 시야에 프로젝터 콘텐츠가 증강되는 공간이 모두 포함되도록 하기 위해서, 그림 1 과 같이 키넥트 센서를 프로젝터와 나란히 위치시켰다. 전체 시스템은 그림 2 와 같이 데스크탑 PC, 스마트폰, 물리 객체로 나눌 수 있다. 데스크탑 PC 에서는 프로젝터-카메라 기반

공간 증강현실과 손동작 기반 상호작용을 제공하며, 모바일 증강현실은 스마트폰과 물리 객체를 통해서 구현된다.

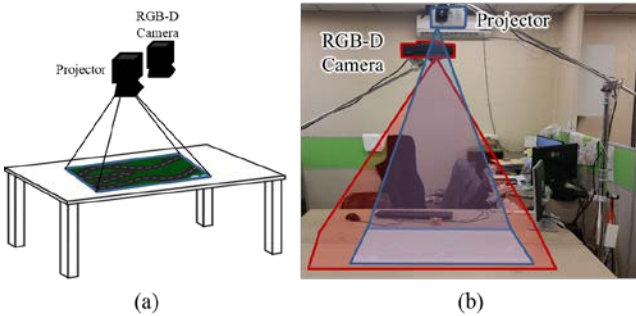


그림 1. 구현된 시스템 환경. (a) 프로젝터-카메라 환경, (b) 구현된 환경.

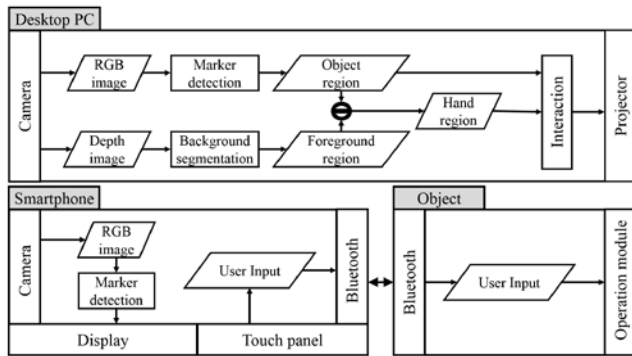


그림 2. 시스템 흐름도.

2.2 프로젝터-카메라 기반 공간 증강현실

콘텐츠를 정확한 위치에 증강시키고, 물리 객체의 움직임에 맞춰 변형시키기 위해선, 프로젝터의 좌표와 카메라 영상 좌표를 일치시키는 프로젝터-카메라 캘리브레이션이 우선적으로 수행되어야 한다. 본 논문에서는 그림 3-(a)와 같이 프로젝터를 이용해서 체스 패턴을 상호작용 공간(테이블)에 투사하고, 카메라를 이용해서 체스 패턴을 인식한다. 그리고 체스 패턴의 좌표 값과 카메라에서 인식한 패턴의 좌표 값을 기반으로 프로젝터 좌표계와 카메라 영상 좌표계 사이의 기하 관계를 구한다. 프로젝터와 카메라간의 기하 관계를 이용해서 카메라 영상을 맵핑하면 그림 3-(b)와 같이 프로젝터 좌표계와 일치하는 좌표계를 가진 영상을 획득할 수 있다.

캘리브레이션 과정을 수행 한 뒤 초기화 과정으로 배경 모델을 생성한다. 우선 테이블 위에 아무 것도 놓여져 있지 않을 때의 깊이 영상을 여러 장 획득한 뒤, 획득한 영상에 여러 개의 가우시안 확률 밀도 함수를 적용하여 배경 모델을 생성한다. 배경 모델 획득을 위한 방법은 [6]에 자세히 설명되어 있다.

2 세대 키넥트 센서를 통해서 컬러 영상과 깊이 영상을 획득한 후, 이로부터 물체 영역과 손 영역을

분리한다. 제안하는 시스템에서 상호작용을 위해 사용되는 물리 객체는 그림 3-(c)와 같이 상단에 마커를 부착하고 있다. 따라서 ARToolkit [7]의 마커 인식을 이용해서 입력 컬러 영상(그림 4-(a))으로부터 상단의 마커를 검출함으로써, 물체 영역을 획득한다(그림 4-(d)). 그리고 손 영역 검출은 다음과 같다. 우선 초기화 과정을 통해 생성된 배경 모델(그림 4-(c))과 입력 깊이 영상(그림 4-(b))간의 차영상을 구함으로써 전경 영역(그림 4-(e))이 추출된다. 전경 영역 추출에 관해서 [8]에 자세히 설명되어 있다. 그 다음으로 전경 영역에서 물체 영역을 포함한 영역을 제거함으로써 손 영역이 분리된다(그림 4-(f)). 분리된 손 영역으로부터 다음 장에서 설명될 손동작 인식 방법을 이용해서 손동작을 인식한다. 인식된 물체 영역과 손동작 정보를 기반으로 프로젝터-콘텐츠를 생성하고 상호작용을 제공한다.

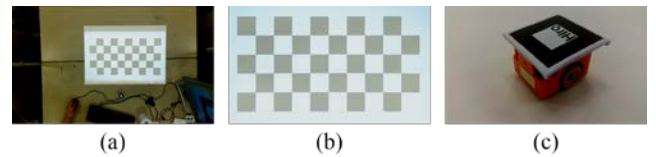


그림 3. 프로젝터-카메라 구현환경. (a) 캘리브레이션을 위한 체스 패턴 투사, (b) 좌표계가 일치된 영상, (c) 제안하는 시스템에서 사용하는 물리 객체.

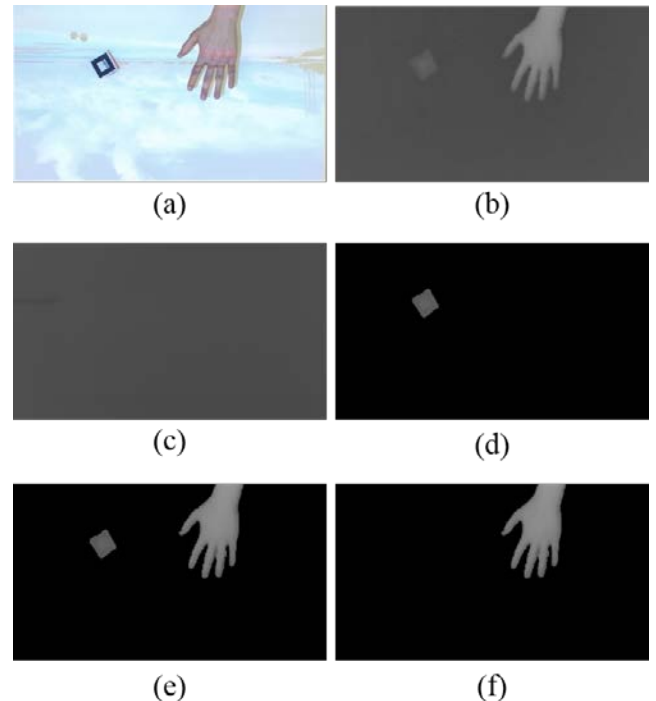


그림 4. 컬러 영상과 깊이 영상을 이용한 물체 영역, 손 영역 분리 과정. (a) 입력 컬러 영상, (b) 입력 깊이 영상, (c) 배경 영상, (d) 물체 영역, (e) 전경 영역, (f) 손 영역.

2.3 손동작 기반 상호작용

손동작 기반 상호작용을 제공하기 위한 손동작 인식 방법은 다음과 같이 수행된다. 우선, 그림 5-(a)와 같이 손 영역이 검출되면, 손 영역의 외곽선을 검출한 다음 외곽선의 기울기가 급격하게 변하는 외곽선 상의 점을 찾아서 손가락 끝 후보라고 정의한다(그림 5-(b)). 손가락 끝 후보 중에서 가까운 점끼리 묶어서 중심 후보를 구한 다음, 중심 후보에서부터 손 영역의 중심까지 손 영역의 너비를 구한다(그림 5-(c)). 손 영역의 너비를 분석해서 가늘고 긴 부분이 존재하면 해당 중심 후보를 손가락 끝이라고 정의한다. 이와 같은 과정을 통해서 검출한 손 모양은 그림 5-(d)와 같으며, 이에 관한 자세한 설명은 [9]에 나와있다. 마지막으로 인식한 손 모양과 손의 위치 정보를 기반으로 사용자의 손동작을 인식한다.

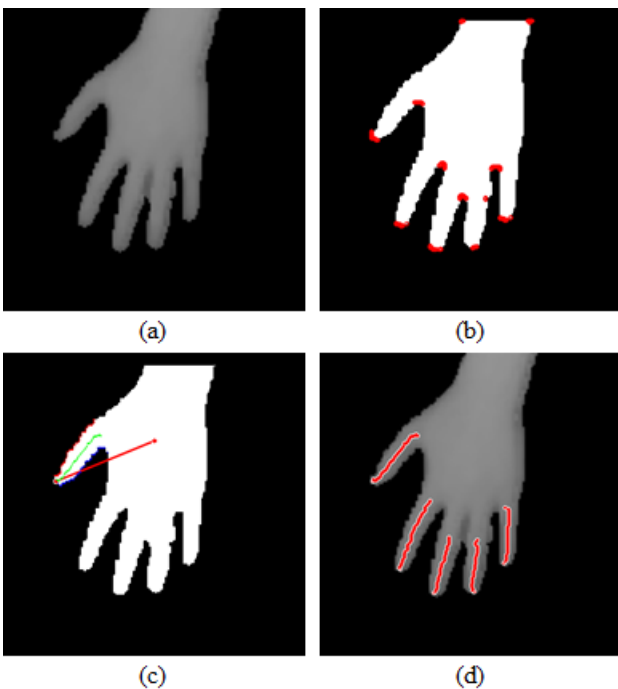


그림 5. 손동작 인식 방법. (a) 손 영역, (b) 손가락 끝 후보 검출, (c) 손가락 너비 분석, (d) 손 모양 인식 결과.

2.4 모바일 증강현실

제안하는 시스템에서 사용한 모바일 증강현실 환경은 다음과 같다. 그림 6 과 같이 삼성 Galaxy S3 스마트폰을 사용하였고 제어 가능한 물리 객체는 스마트폰과의 통신을 위한 블루투스 모듈과 이동을 위한 바퀴 모듈로 구성되어 있다. 또한 물리 객체의 모든 모듈을 Micro Controller Unit (MCU)을 통하여 제어된다.



그림 6. 모바일 증강현실 환경. (a) 제안하는 시스템에서 사용된 스마트폰, (b) 물리 객체.

모바일 증강현실 구현을 위한 과정은 다음과 같다. 우선, ARToolkit 을 안드로이드 OS 에 포팅하여 스마트폰에서도 ARToolkit 명령어를 사용할 수 있도록 하였다. 스마트폰에서 카메라를 통해 컬러 영상을 획득한 후, ARToolkit 의 마커 인식을 이용해 물리 객체 상단에 부착된 마커의 자세 정보를 가져온다. 그리고 OpenGL embedded system (ES)을 사용하여 3 차원 모델을 마커의 자세에 맞춰서 증강시킨다. 또한 물리 객체와는 블루투스를 사용하여 연결하고, 스마트폰의 터치패널을 통해 사용자 입력이 들어오면 블루투스 통신을 통해서 물리 객체에 사용자 입력을 전달한다. 물리 객체는 블루투스를 통해 스마트폰으로부터 사용자 입력을 전달 받고 입력에 따라 가동 모듈을 움직이도록 구현하였다.

위에서 설명한 방법을 통해 사용자는 그림 7-(a), (b)와 같이 다양한 각도에서 증강된 3 차원 모델을 볼 수 있다. 또한, 그림 7-(c), (d)와 같이 사용자는 오른쪽 하단에 그려진 버튼을 터치함으로써 자동차를 자유롭게 조종할 수 있다.

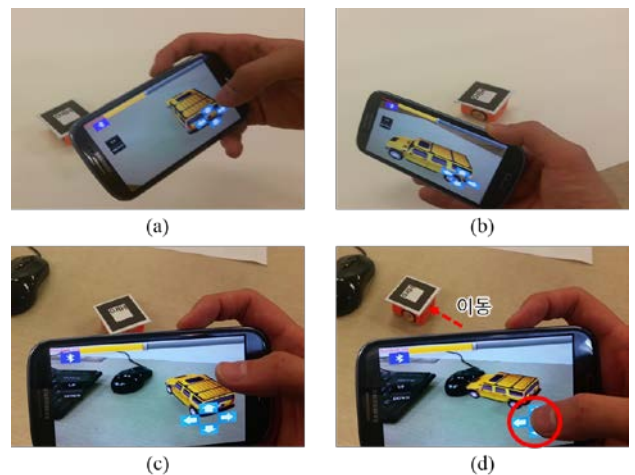


그림 7. 모바일 증강현실 및 물리 객체 제어. (a), (b) 다양한 각도에서 3 차원 모델 증강 (c), (d) 물리 객체 제어.

3. 자동차 주행 어플리케이션

이장에서는 제안하는 인터랙티브 증강현실 시스템의 유용성을 검증하기 위해 자동차 주행 어플리케이션을 구현하였다. 구현된 어플리케이션은 다음과 같다. 먼저 그림 8-(a)와 같이 프로젝터를 사용하여 테이블 위에 자동차 주행을 위한 트랙을 투사시

키고, 사용자가 선택한 자동차의 3차원 모델을 그림 8-(b)와 같이 물리 객체 위에 증강시킨다. 그림 8-(c)와 같이 스마트폰을 이용해서 원하는 모델의 자동차를 사용자가 조종하는 경험할 수 있게 하여 사용자의 몰입감을 증대시켰다. 트랙 위의 물체는 자동차와 충돌하면 부서지는 등의 다양한 상호작용을 제공한다(그림 8-(d)).

구현된 어플리케이션은 초보자용, 숙련자용 자동차 트랙을 제공한다. 그림 9-(a)와 같이 손동작 기반 상호작용을 이용해서 사용자가 트랙 위에 손을 올리면 트랙 선택 창이 보여진다. 사용자는 그림 9-(b)와 같이 손을 움직임으로써, 원하는 트랙을 선택할 수 있다.

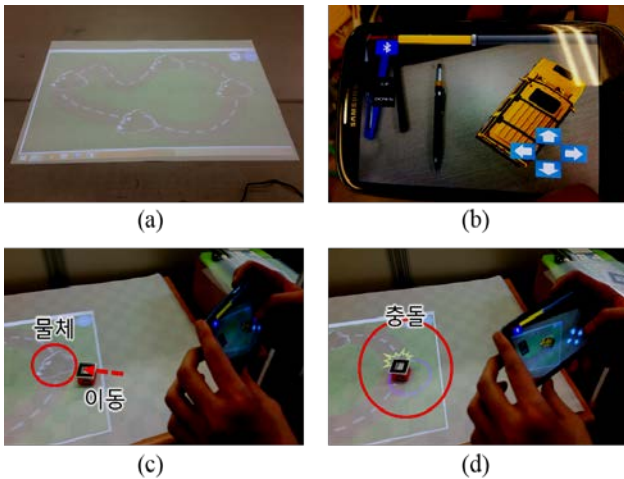


그림 8. 자동차 주행 어플리케이션. (a) 테이블 위에 트랙을 투사, (b) 스마트폰 어플리케이션, (c) 트랙 위 물리 객체 제어, (d) 콘텐츠와 충돌 시 애니메이션 효과.

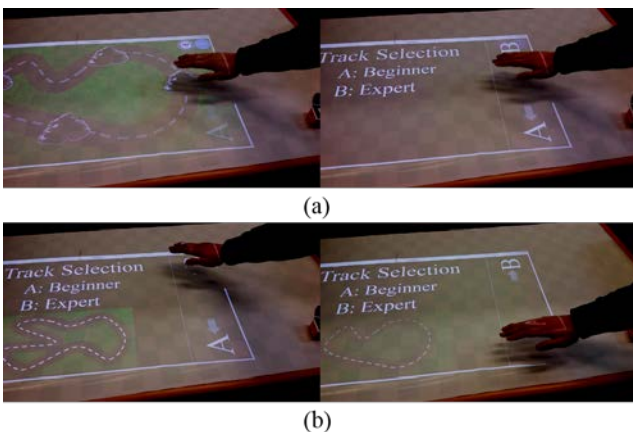


그림 9. 트랙 선택. (a) 트랙 선택 프레임, (b) 트랙 선택.

4. 결론

본 논문에서는 프로젝터-카메라 기반 공간 증강현실 기술과 모바일 증강현실 기술을 활용한 인터랙티브 증강현실 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템

은 스마트폰을 사용한 물리 객체 제어 및 3차원 모델 증강을 통해서 사용자의 몰입감을 증대시켰을 뿐만 아니라, 손동작 인식을 통한 사용자 친화적인 터페이스를 제공하였다. 또한, 자동차 주행 어플리케이션을 구현하여 제안한 시스템의 유용성을 검증했다.

구현한 시스템에서는 마커를 사용해서 물리 객체의 자세를 계산하는데, 마커는 사용자의 몰입감을 방해하는 요소가 될 수 있다. 이를 해결하기 위해서, 현재 사용자의 눈에는 보이지 않는 적외선 마커를 이용한 자세 인식 방법에 대해서 연구 중에 있다.

5. 감사의 글

본 과제는 서울시 지원으로 수행한 「서울시 창조 전문인력 양성사업 (HM120006)」의 결과입니다.

*교신저자: 박종일 (jipark@hanyang.ac.kr).

참고문헌

- [1] B. Jones, R. Sodhi, M. Murdock, R. Mehra, H. Benko, A. Wilson, E. Ofek, B. MacIntyre, N. Raghuvanshi, and L. Shapira, "RoomAlive: Magical Experiences Enabled by Scalable, Adaptive Projector-Camera Units," *Proceedings of ACM UIST*, pp. 637-644, 2014.
- [2] B. Jones H. Benko, E. Ofek, and A. Wilson, "IllumiRoom: Peripheral Projected Illusions for Interactive Experiences," *Proceedings of ACM CHI*, pp. 569-787, 2013.
- [3] P. Song, S. Winkler, and J. Tedjokusumo, "A Tangible Game Interface Using Projector-Camera Systems," *Proceedings of HCI*, pp. 956-965, 2007.
- [4] Kinect for Windows. [Online]. Available: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>.
- [5] C. Harrison, H. Benko, and A. Wilson, "OmniTouch: Wearable Multitouch Interaction Everywhere," *Proceedings of ACM UIST*, pp. 441-450, 2011.
- [6] P. Kaewtrakulpong and R. Bowden, "An Improved Adaptive Background Mixture Model for Real-time Tracking with Shadow Detection," *Proceedings of AVBS*, pp. 149-158, 2001.
- [7] H. Kato and M. Billinghurst, "Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System," *Proceedings of IWAR*, pp. 85-94, 1999.
- [8] Y-H Baek, J. Choi, H. Park, and J-I Park, "Tabletop Human-Object Interaction Using Depth Layering," *Proceedings of 3DSA*, 2014
- [9] J. Choi, B.-K. Seo, D. Lee, H. Park, and J.-I. Park, "RGB-D Camera-based Hand Shape Recognition for Human-robot Interaction," *Proceedings of ISR*, 2013.