

빔 프로젝터를 이용한 혼합현실 확장 시스템 : Beyond the Sight

김종용^{○1} 송종훈¹ 박정호² 남재승² 윤승현² 박상훈^{*1}

동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과¹ 동국대학교 멀티미디어공학과²

{khj8499, whdrktsk1218, 2019120260, skawotmd3, shyun, mshpark}@dongguk.edu

Mixed Reality Extension System Using Beam Projectors : Beyond the Sight

Jongyong Kim^{○1} J.-H Song¹ J.-H. Park² J. Nam² Seung-Hyun Yoon² Sanghun Park^{*1}

Dept. of Multimedia, Dongguk University¹

Dept. of Multimedia Engineering, Dongguk University²

요약

최근 혼합현실 디바이스의 상용화로 다양한 혼합현실 콘텐츠들이 제작되고 있지만, 하드웨어 기술적 한계로 나타나는 좁은 시야각은 몰입감을 저해하고 활용범위를 제한하는 중요한 원인으로 언급되고 있다. 본 논문에서는 복수의 빔 프로젝터와 다수의 혼합현실 디바이스를 연동시키는 새롭고 혁신적인 시스템을 제안한다. 이를 이용하면 대형 2D 화면을 배경으로 3D 객체 렌더링을 통해 체험자의 몰입감을 극대화 하고 좁은 시야각의 답답함을 최소화 할 수 있다. BtS라는 이름의 본 시스템은 클라이언트-서버 기반으로 구현되었으며, 핵심 모듈로 장치간 캘리브레이션, 공간 좌표계 공유, 실시간 렌더링 동기화 기능 등을 포함한다. 본 논문에서는 각 구성 모듈에 대해 자세히 설명하고, BtS 시스템을 이용해 제작된 혼합현실 콘텐츠 사례 소개를 통해 성능과 응용 가능성을 보이고자 한다.

Abstract

Recently commercial mixed-reality devices have been launched and a variety of mixed-reality content has been produced, but narrow field of view, which appear to be hardware technical limitations, are mentioned as an important issue for hindering immersion and limiting the scope of use. We propose a new innovative system that cooperates multiple beam projectors and a number of mixed reality devices. Using this technology, users can maximize immersion and minimize frustration of narrow viewing angles through 3D object rendering on background of large 2D screens. This system, named BtS (Beyond the Sight), is implemented on a client-server basis and includes the ability to calibrate between devices, share spatial coordinate systems, and synchronize real-time renderings as core modules. In this paper, each configuration module is described in detail and the possibility of its performance and application is shown through the introduction of mixed reality content case created using BtS system.

키워드: 혼합 현실, 프로젝션 매핑, 캘리브레이션, 좌표계 공유

Keywords: Mixed reality, Projection mapping, Calibration, Sharing coordinate systems

1. 서론

이미 많은 연구개발이 진행된 가상현실 (VR: virtual reality), 증강현실 (AR: augmented reality)과 함께 혼합현실 (MR: mixed reality)을 위한 상용 디바이스들이 출시되고 있다 [1, 2]. VR은 현실공간과 차폐된 HMD (Head-mounted Display)를 착용하고 완전 가상공간을 사용자가 체험하는 시스템이고, AR은 카메라로 촬영된 실사 영상 위에 3D 렌더링 이미지 합성하여 디스플레이 하는

시스템이다. 반면 MR은 현실세계의 스캔 정보를 기반으로 작동하기 때문에 가상 물체와 실제 물체 간의 상호작용이 가능하다는 점이 큰 특징이다 [3, 4]. 따라서 현실세계에 존재하는 물체에 의해 가상 물체가 가려지거나 충돌하는 등의 현상을 사실적으로 표현할 수 있다 (실제로 이러한 기능은 최신 AR 디바이스들도 지원하기 시작했다). 또한 실세계를 볼 수 있는 반투명 디스플레이를 사용하기 때문에 VR 콘텐츠 체험과정에서 나타나는 매

*corresponding author: Sanghun Park/Dongguk University(mshpark@dongguk.edu)

스꺼움, 두통 등의 문제가 거의 없다는 장점이 있다. 하지만 MR HMD에서 영상이 출력되는 디스플레이 영역이 VR HMD에 비해 상대적으로 작기 때문에 체험자의 시야각 (FOV: field of view)이 매우 좁다는 심각한 한계를 갖는다. 실제로, MR HMD 제품 가운데 2018년에 발표된 Magic Leap사의 Magic Leap One은 가로 40도, 세로 30도로 4:3 비율의 해상도를 지니고 있다 [5]. 이처럼 비교적 최신 HMD도 만족할만한 시야각을 충족시키지 못하고 있는데, 이는 일반 VR HMD의 100도가 넘는 시야각에 비해 턱없이 부족하다. 이러한 제약으로 인해 일반 사용자들은 MR 콘텐츠에 대한 체험에서 몰입감을 느끼지 못하고, MR 응용 분야 확대 속도도 매우 더딘 상황이다.

본 논문은 앞서 설명한 좁은 시야각 문제를 완화하고 사용자들에게 높은 몰입감을 제공하기 위한 새로운 시스템인 Beyond the Sight (BtS)에 대해 설명한다. 시스템 구현과 실험 과정에서 마이크로소프트 (Microsoft)사의 홀로렌즈 (HoloLens) 개발자 버전 [6]을 사용하였으나 그 이외의 MR HMD를 활용하는 것도 가능하다. 참고로 홀로렌즈의 하드웨어 사양은 표 1과 같다. 대부분의 MR HMD 시야각은 상당히 좁기 때문에 가까운 거리의 가상 물체를 보았을 때 전체적인 형태를 볼 수 없고 양쪽 눈의 시차를 활용하여 원근감을 표현하므로 최소한의 거리가 필요하다. 그림 1은 HoloLens, Magic Leap One을 통해 보이는 영역이 매우 좁다는 사실을 직관적으로 보여주고 있다.

Table 1: HoloLens specification

| | |
|----------------|--------------------------------|
| FOV | 30 (horizontal), 17 (vertical) |
| Resolution | 720 p (16:9) |
| Max frame rate | 60 fps |
| Interface | gesture, voice |
| IDE | Unity3d [7] |



Figure 1: FOV (field of view) of MR HMD

본 논문에서는 M 대의 MR HMD를 N 대의 빔 프로젝터와 연동시켰다. HMD에서 표현 불가능한 바깥 쪽 부분을 프로젝션 이미지를 배경으로 채우고, HMD에서 보이는 객체들과 동기화하는 방식으로 좁은 시야각 문제를 완화하려고 하였다 [8]. N 대의 프로젝터를 연속적으로 연결하여 넓은 범위를 디스플레이할 수 있으므로 더욱 몰입감있고 압도적인 장면을 연출할 수 있다. 이를 위해서 프로젝션 매핑 (projection mapping) 기능을 지원하는 전용 소프트웨어를 개발하였다. 또한 M 대의 HMD와 N 대의 디스플

레이 장치를 연동하기 위한 기능도 개발하였다. 프로젝터는 고성능 PC에 연결되기 때문에 낮은 성능의 무선 연결 HMD와는 달리 고화질의 렌더링 영상 출력이 가능하다는 장점을 갖는다. 하지만 프로젝터는 2D 영상을 사영하므로 3D 영상을 출력하는 HMD와 괴리감이 생길 수밖에 없다. 이를 최소화하기 위한 해결책으로 본 논문에서는 프로젝션된 평면 영상의 2D 객체가 HMD에서 3D로 스크린에서 튀어나오는 기능을 구현함으로써 좁은 시야각을 넓히고자 하였다. 빔 프로젝터와 MR HMD의 연동을 위해서는 다음과 같은 기능의 구현이 필요하다:

- 시스템 구성: M 대의 MR HMD와 N 대의 프로젝터에 대한 설치와 각 디바이스를 구동하는 소프트웨어
- 캘리브레이션: N 대의 프로젝터에서 출력되는 영상 간의 연속적인 표출을 위한 캘리브레이션 (calibration) [9, 10]
- 렌더링 공간 분할: MR HMD와 프로젝터 각자가 렌더링 해야하는 영역이 다르기 때문에 렌더링 공간을 분리하기 위한 방법
- 좌표계 공유: 프로젝터에서 출력되는 영상과 MR HMD 좌표계를 통일시켜 빔 프로젝터에서 출력되는 3D 객체와 MR HMD의 3D 객체 사이의 위치를 맞추는 방법

2. 시스템 구성

2.1 하드웨어

본 BtS 시스템은 N 대의 빔 프로젝터와 M 대의 MR HMD로 구성된다. 물론 프로젝터는 고화질 TV나 LED 패널 어레이 (panel array) 등의 다양한 디스플레이 장치로 대체될 수 있다. 그림 2은 BtS 시스템의 디스플레이 하드웨어 구축 사례를 보여준다. 그림 2(a)은 두 대의 프로젝터 중 한 대는 바닥에 다른 하나는 벽에 영상을 출력하고 있다. 그림 2(b)는 한 대의 프로젝터는 테이블 위에 영상을 출력하고, 두 벽면에 TV를 설치한 경우이다. TV는 프로젝터에 비해 고해상도 영상을 생성하는 비용이 상대적으로 높다는 단점이 있지만, 보다 밝고 선명한 영상을 디스플레이 할 수 있다는 장점을 갖는다. 그림 2(c)는 두 대의 대형 프로젝터를 사용하여 몰입감 높은 쇼케이스 (showcase) 공간을 구축한 사례로, 실물 크기 객체의 사실적 디스플레이가 필요한 대규모 전시 행사를 위해 활용될 수 있다. 참고로, 이후 설명될 BtS 시스템은 그림 2(c)의 형태로 구축하는 경우를 가정한다.

2.2 소프트웨어

클라이언트-서버 모델 [11] 기반으로 개발된 BtS 시스템의 전체적인 수행 흐름은 그림 3과 같다. 시스템을 관리하는 System Manager, HMD와의 동기화 (synchronization)를 담당하는 Object Synchronization, 여러 대의 디스플레이 장치를 캘리브레이션 하는 Calibration Module, 최종 렌더링 영상을 저장하는 Renderer,

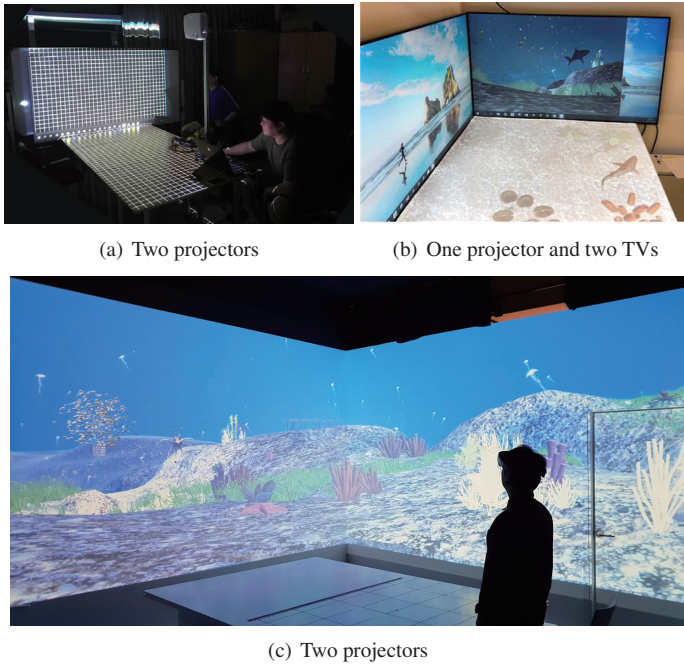


Figure 2: Various BtS system installation examples

그리고 복수의 프로젝터에 영상을 출력하는 Multiple Projection Mapping이 핵심 모듈이다.

디스플레이 영상과 서버에 연결된 HMD간의 통신 동기화를 담당하는 Server는 콘텐츠에서 각 이벤트마다 발생하는 트리거(trigger)를 연결된 모든 클라이언트들에게 브로드캐스팅(broadcasting)하는 방식으로 실시간 렌더링 장면(scene)을 동기화한다.

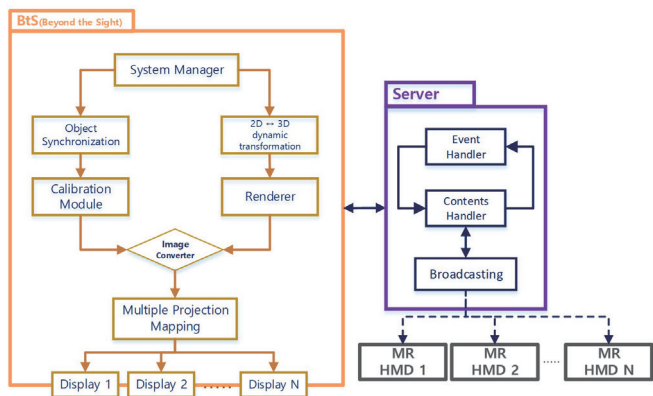


Figure 3: Client-server based BtS system control flow

3. 캘리브레이션

본 절에서는 빔 프로젝터들과 MR HMD들 사이의 캘리브레이션 방법에 대해 설명한다. 본 시스템은 다양한 분야에서 사용되는 프로젝션 매핑 (projection mapping) 기법을 사용하여 빔 프로젝터들의 영상을 캘리브레이션 한다. 추가적으로 스크린과 프로젝

션 매핑으로 인해 변화된 영상 크기를 고려하기 위한 MR HMD와 프로젝터의 캘리브레이션 방법을 소개한다.

3.1 빔 프로젝터 캘리브레이션

프로젝터가 생성하는 영상에서의 객체 크기와 MR HMD에서 보이는 객체의 크기는 동일해야 한다. MR HMD는 현실 공간에 3D 오브젝트를 배치하기 때문에 크기와 길이를 나타내는 단위가 중요하다. 실제로 HMD의 1 m 단위는 콘텐츠 개발 환경인 Unity3d의 단위 1과 동일하다. 예를 들어, 가로 세로 0.5 m 크기의 객체를 생성하려면 Unity3d에서 x, y, z 축으로 0.5 단위의 객체를 만들면 된다. 이러한 특성을 프로젝터에서 적용하기 위해서 HMD의 단위와 프로젝터에서 표출된 영상의 크기를 동일하게 조절해야 한다. 우선 개별 영상 연결을 위한 프로젝터들 간 캘리브레이션을 완료한 후, 프로젝션 된 객체의 크기에 따라 HMD에 디스플레이 되는 객체의 크기를 맞추므로써 두 디바이스가 생성하는 객체들의 크기가 일치하게 된다. 이와같은 각 장치들 간의 캘리브레이션 작업을 효율적으로 수행하기 위해 전용 소프트웨어를 개발하였다 (그림 4 참조).

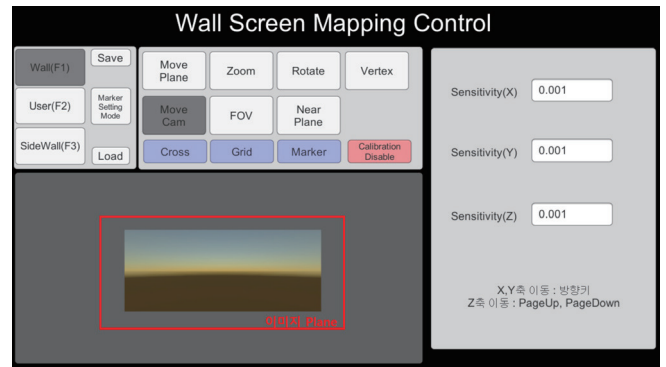


Figure 4: GUI of our calibration software

인접한 빔 프로젝터들이 생성하는 영상의 모서리 연결 부분에서 나타나는 불일치 문제는 전용 캘리브레이션 소프트웨어를 이용해 해결한다. 먼저 위치를 잡기위해 그림 4의 Grid 버튼을 선택하면 각 프로젝션 영상에 격자가 나타나게 된다. 이 격자의 연결 부분을 Move Plane, Rotate, Zoom 메뉴를 이용해 정렬할 수 있고, 프로젝터의 뒤틀림은 Vertex 기능을 이용해 그림 4의 Plane 각 꼭 지점을 이동시킴으로써 수정할 수 있다. 최종적으로 자연스럽게 연결된 격자 영상이 완성되면 Save 버튼을 눌러 현재까지 설정된 파라미터 값을 저장하고, 이 후에는 Load 기능으로 재사용할 수 있다. 그 밖의 기능으로 카메라 위치 변경, FOV 조절, NearPlane 거리 설정 등의 옵션이 제공된다. 그림 5은 세 대의 빔 프로젝터에 대해 캘리브레이션이 완료된 결과를 보여준다.

3.2 MR HMD와 프로젝터 캘리브레이션

앞서 설명했던 프로젝터 간 캘리브레이션을 진행하면 프로젝터에서 벽에 사영하는 영상의 크기가 변하게 된다. 그러면 개발 툴



Figure 5: Three projected walls after calibration

인 Unity3d에서 장면 구성 중 정의했던 맵의 크기와 객체들의 크기 또한 바뀌게 된다. 반면 MR HMD는 실제 눈에 보이는 오브젝트의 크기에 맞춰 장면을 구성한다. 이를 맞춰 주어야 MR용 HMD와 프로젝터 영상의 오브젝트 크기가 동일하게 되어 정확한 BtS 환경을 구성할 수 있다. 크기를 맞추기 위해 길이 단위를 통일해야 한다. Unity3d의 단위 1은 MR HMD에서 사용하는 현실 공간의 1 m를 의미하므로 Unity3d 프로젝트 내에서 구성했던 길이를 기준 값 1로 설정한다. 다음으로 프로젝터로 보여지는 객체의 크기를 이에 대입하여 크기의 비율을 구한다. 그림 6은 Unity3d 프로젝트 안에서 지정한 격자로 Unity3d 단위로 높이가 1인 객체이다. 이를 프로젝터를 이용해 출력하면 Unity3d 단위 1에 대한 비율을 측정할 수 있고, 이렇게 구해진 비율을 모든 HMD 맵 구성 최상위 객체에 대입하여 프로젝터와 HMD의 스케일을 통일시킬 수 있다.

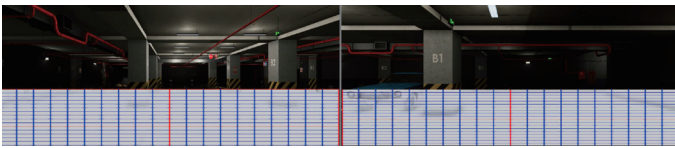


Figure 6: Grid for Calibration

4. 렌더링 공간 분할

4.1 디바이스 단위별 렌더링 공간 설정

일단 빔 프로젝터와 MR HMD 사이에 렌더링 장면에 대한 스케일 값이 결정되면, 각 디바이스 별로 렌더링을 담당할 공간을 분할하게 된다. 그림 7은 프로젝터와 HMD의 렌더링 공간을 어떻게 나누는지 보여준다. 프로젝터 영상이 사영되는 스크린을 기준으로 HMD 렌더링 공간과 프로젝터 렌더링 공간을 분리한다. 그림 7(a)에서 스크린을 기준으로 HMD를 착용한 사용자가 위치하는 공간을 MR 디스플레이 영역이라 부르고, 그 반대 부분인 스크린 뒤쪽 공간은 프로젝터 디스플레이 영역이라고 말할 수 있다. 다시말해 프로젝터가 스크린에 영상을 표출하기 때문에 HMD를 착용한 사람의 입장에서 보면 스크린에 투사된 프로젝터 영상은 스크린을 넘어서(beyond the screen) 세계를 볼 수 있는 창으로 생각할 수 있다. 결국 프로젝터의 큰 영상을 배경으로 MR HMD를 통해 객체를 정합하게 되므로 좁은 시야각으로 인해 볼 수 없는 영역을 프로젝션 영상으로 보완하게 된다.

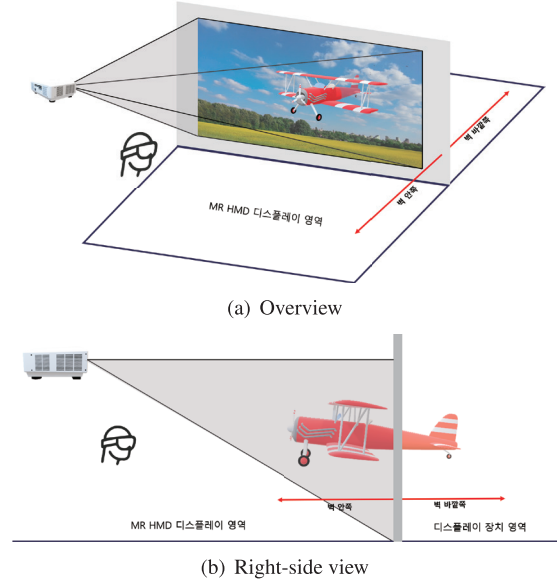


Figure 7: Partition of rendering space

4.2 클리핑 설정

프로젝터와 MR HMD 디바이스의 렌더링 공간을 분리하기 위해 프로젝터의 영상이 사영되는 스크린을 기준으로 두 디바이스의 객체를 잘라(clipping) 주어야 한다 [12]. 먼저 프로젝터에서 디스플레이 장치 영역의 객체를 잘라주기 위해 프로젝터 가상 렌더링 카메라 속성 중 near clipping의 거리를 변경해주어야 한다. 이것은 카메라의 위치에서 어느 정도 거리 이상부터 렌더링을 할지 결정하는 속성으로 이를 조절하여 스크린 안쪽을 잘라준다. 그림 8(a)은 카메라 속성을 변경하여 렌더링된 최종 이미지를 보여준다. MR HMD에서는 프로젝터와는 반대로 MR HMD 디스플레이 영역의 렌더링 결과만 보여주어야 한다. 하지만 MR HMD는 착용자의 시점이 실시간으로 변경되기 때문에 프로젝터처럼 가상 카메라 속성을 조절하여 설정할 수가 없다. 그래서 스크린 위치에 클리핑 평면을 셰이더(Shader)로 구현 및 배치하여 디스플레이 장치 영역의 렌더링 영상을 볼 수 없도록 하였다 [13]. 그림 8(b)를 보면 자동차 뒷 부분이 잘린걸 볼 수 있다.

프로젝터와 MR HMD의 클리핑 설정을 통해 두 디바이스의 클리핑 평면을 통과하는 객체는 스크린에서 3D 오브젝트가 튀어나오는 효과를 줄 수 있다. 그림 8(c)는 실제 플레이 화면으로 두 클리핑 평면을 통과하여 스크린 안으로 들어가는 자동차를 보여준다.

4.3 프로젝터 카메라 중첩비 설정

그림 9는 프로젝터 영상을 렌더링하기 위한 가상 카메라를 배치한 것으로 2대의 디스플레이 장치를 사용했기 때문에 카메라 아이콘 2개가 존재한다. 그림 9에서 카메라 아이콘에서부터 뻗어나가는 삼각형의 형태는 가상 카메라의 렌더링 영역을 표현한 것이다.

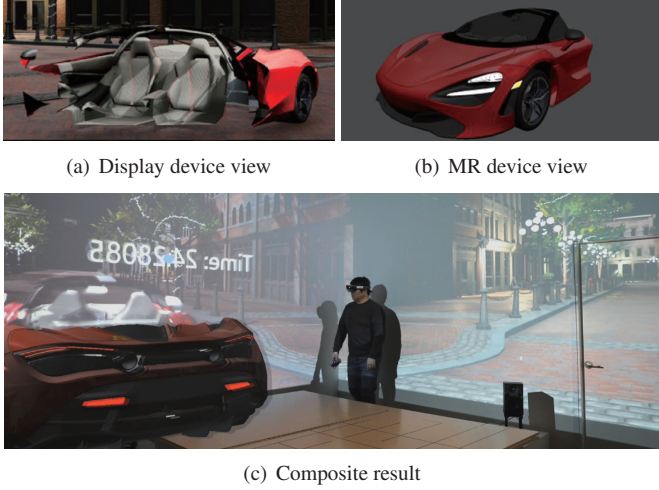


Figure 8: Comparison between devices for MR and display devices

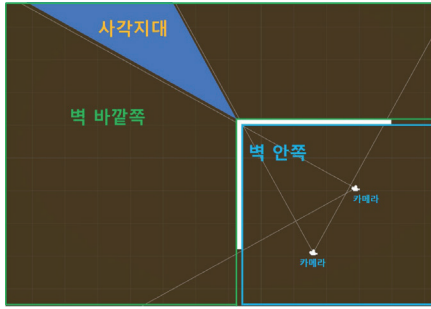


Figure 9: Camera blind spot

그런데 벽 바깥쪽 두 가상 카메라의 렌더링 영역 사이에 사각지대가 존재한다. 이 부분은 각 가상 카메라간의 렌더링 영역이 정확히 겹치지 않아 생기는 영역이다. 두 카메라의 영역을 정확히 일치시키지 않으면 프로젝터에서 사영하는 영상이 스크린에서 연결되지 않고 단락이 생기게 된다. 이러한 문제는 프로젝터 영상이 표출되는 실제 벽의 각도와 관련이 높으며 벽 사이의 각도에 따라 생기는 사각지대의 영역의 범위가 달라진다. 사각지대를 없애기 위해서는 가상 카메라들의 렌더링 영역의 경계가 일치해야 한다. 경계를 일치시키기 위해 표출되는 영상의 종횡비(aspect ratio)를 변경하여 가상 카메라의 경계를 평행하게 맞춰준다. 그림 10는 BtS 시스템 내부의 카메라 종횡비 설정이 완료된 결과이다.

5. 좌표계 공유

본 절에서는 빔 프로젝터와 MR HMD의 객체와 장면을 공유하기 위한 좌표계 설정 방법을 설명한다. 프로젝터 영상과 MR HMD의 렌더링 결과를 같은 위치에 표현하기 위한 좌표계는 다음과 같다:

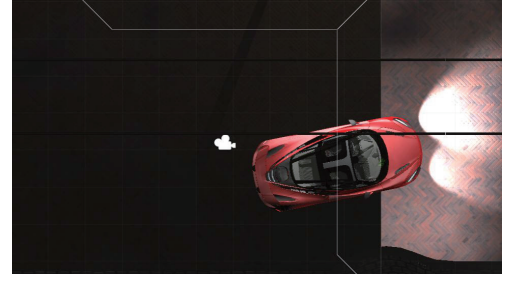


Figure 10: Set camera aspect ratio

- MR 좌표계
N대의 MR HMD들이 공유하는 좌표계
- 프로젝터 영상 좌표계
프로젝터에서 사영하는 스크린 영상과 MR HMD를 동기화하기 위한 좌표계

5.1 MR 좌표계 설정

MR HMD는 처음 어플리케이션이 실행된 위치를 월드 좌표계로 설정한다. 따라서 다수의 HMD가 개별적으로 어플리케이션을 실행하면 각자의 월드 좌표계를 설정하기 때문에 같은 좌표로 오브젝트를 위치시켜도 각각의 HMD는 다른 곳에 오브젝트를 렌더링하여 같은 장면을 공유하지 못할 것이다. 그러므로 이를 위해 모든 HMD가 공통적으로 사용할 수 있는 기준이 되는 좌표계를 생성해야 한다. 식 (1)은 MR HMD에서 사용하는 좌표계를 나타낸다. MR의 특성상 크기는 동일하므로 회전 R 과 이동 T 만을 사용한다. c 는 좌표계 상의 위치를 나타낸다.

$$FMc = F(RT)c = F'c \quad (1)$$

F' 는 처음 서버에 접속한 MR HMD의 월드 좌표계로 이후 접속하는 MR HMD의 기준 좌표계가 된다. 기준 좌표계를 모든 MR HMD가 사용하려면 자신의 월드 좌표계 F 에서 F' 로 변환할 행렬 M 을 HMD 마다 구해야 한다. 각 MR HMD의 변환 행렬 M 은 BtS에서 사용하는 MR 장비인 홀로렌즈의 Sharing Anchor 기능을 활용하여 구하였다 [14].

5.2 프로젝터 영상 좌표계 설정

이번에는 프로젝터에서 사영되는 스크린 영상의 객체와 MR HMD의 객체들의 좌표를 맞춰주기 위한 방법을 설명한다. 식 (2)는 MR HMD의 좌표인 F' 에 프로젝터 스크린 영상의 위치로 변환하는 행렬 P 를 곱해 최종적으로 산출해 내야 하는 행렬 P' 을 나타낸다. 식 (1)과 다르게 프로젝터 영상은 스크린 크기에 따라 영상 크기가 변하므로 스크린에 보이는 객체의 크기와 MR HMD에서 보이는 객체 크기를 동일하게 맞춰주기 위해 크기 조절 행렬인 S 가 존재한다. 크기인 S 를 구하는 방법은 콘텐츠 프로젝트

내부에 존재하는 객체의 크기를 기준으로 스크린에 보이는 영상 크기와 비교하여 측정한다(3.2 참조).

$$F'Pc = F'(SRT)c = P'c \quad (2)$$

회전과 이동 행렬인 R 과 T 를 구해야 한다. 그림 11처럼 프로젝터에서 마커를 출력하고 MR HMD로 인식하여 마커를 프로젝터의 영상 좌표계로 사용한다 [15]. 이렇게 생성된 P 행렬을 MR HMD에 적용하면 최종 좌표계가 완성된다. 콘텐츠 내부에서는 마커를 출력한 위치를 원점으로 하고 콘텐츠 내부 씬을 구성하여야 한다. 생성된 좌표계인 식 (2)의 F' 과 P 를 서버에 저장하여 다른 디바이스가 연결되어도 사용할 수 있도록 한다.



Figure 11: Set display coordinate system

이렇게 생성된 좌표계를 모든 MR HMD의 기준 좌표계로 사용하면 프로젝터와 N대의 HMD간의 객체 정보를 공유할 수 있다. 그림 12는 본 BTS에서 사용되는 MR HMD간의 좌표계 공유와 프로젝터 영상 좌표계 설정 방법을 순서대로 설명하는 그림이다.

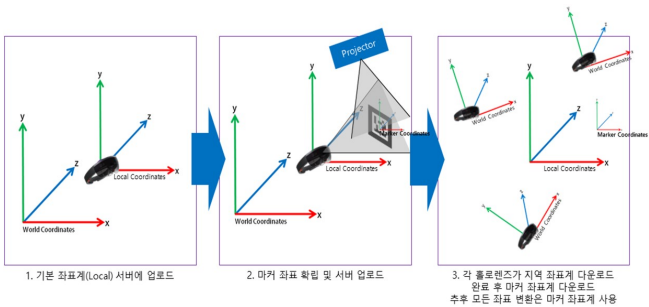


Figure 12: Sharing coordinates

다음은 그림 12의 MR용 HMD와 디스플레이 장치의 좌표계 공유 순서에 따른 방법에 대해 설명한다.

• MR HMD간 좌표계

그림 12의 첫 번째 단계로, 처음 접속한 MR 디바이스의 월드 좌표 위치를 다른 MR 디바이스에서 기준 좌표계로 사용하기 위해 좌표 정보를 서버에 업로드한다. 이후 접속한 다른 MR 디바이스 장치들은 기준 좌표계를 서버로부터 내려받아 좌표계로 사용한다. 이 상태에서는 모든 MR 디바이스는 좌표계를 공유하므로 같은 씬을 공유한다.

• 디스플레이 장치 좌표계

그림 12의 두 번째 상태이다. 프로젝터에서는 그림 11와 같이 프로젝터에서 마커를 출력하고 이를 MR 디바이스로 인식하여 마커를 기준으로 새로운 좌표계를 만든다. 이렇게 되면 MR HMD의 마커 좌표계와 프로젝터에서 출력하는 영상의 원점이 동일하게 된다. 그리고 생성된 좌표계를 서버에 저장한다.

• 프로젝터와 MR HMD 좌표계

1단계와 2단계가 종료되면 모든 행렬은 서버에 저장되게 된다. 그 후 새로운 MR 디바이스 사용자가 서버에 접속하면 MR HMD는 서버에 업로드 되어 있는 기준 좌표계를 다운로드 하고 MR HMD 간의 좌표계가 설정된다. 그 디스플레이 좌표계를 서버로부터 식 2의 P 행렬을 다운로드 받아 자신의 좌표계로 사용하면 매번 마커를 볼 필요 없이 모든 MR용 HMD와 디스플레이 장치의 좌표계와 객체들의 위치가 동일하게 설정된다.

그림 13은 위의 단계를 흐름도로 만든 것이다.

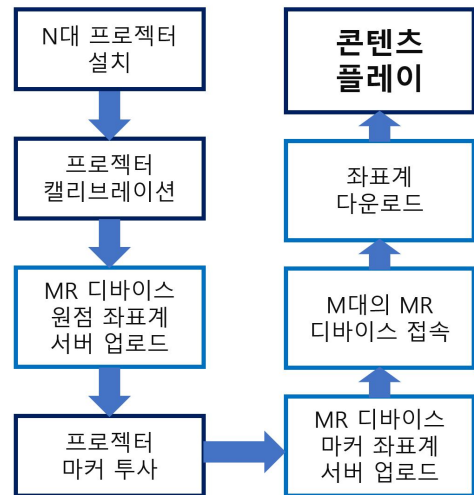


Figure 13: Coordinate system sharing method flowchart

6. 콘텐츠 활용 예

이 절에서는 지금까지 설명한 BTS 기능을 활용하여 제작된 세 종류의 콘텐츠를 소개한다.

6.1 Under the Sea

콘텐츠 Under the Sea는 그림 2(c)와 같이 두 대의 빔 프로젝터를 활용한 대화면 콘텐츠이다 (그림 14 참조). 이것은 두 개의 프로젝션 매핑 벽면 앞에 위치한 체험자에게 심해로 들어온 것 같은 몰입감을 제공한다. MR HMD를 착용한 체험자는 바다 밑을 헤엄치는 물고기와 상어들을 보며 콘텐츠를 체험한다.



(a) Wandering sharks

(b) Dynamic Transportation from 2D to 3D

Figure 14: Under the Sea

6.2 Mr. Dino

그림 15는 그림 2(a)처럼 2개의 빔 프로젝터를 사용하여 책상과 벽에 영상을 사영한 신개념 게임 콘텐츠이다. MR용 HMD의 불편한 인터페이스를 개선하고 사용자 조작감을 높이기 위해 테이블릿을 활용하여 인터페이스를 대체하였고 최대 4명의 플레이어가 동시에 참가하는 멀티플레이 게임이다. 게임은 공룡들을 주인공으로 하며 평화롭게 살고 있는 공룡 마을에 나쁜 공룡들이 침입하는 것을 방어한다는 내용으로 이벤트 발생시 불타는 운석이 벽쪽 스크린에서 책상위로 날아오거나(그림 15(a) 참조) 적공룡이 튀어나오는 등의 내용이 포함되었다.



(a) 3D models on the table

(b) Contiguous scenes

Figure 15: Mr. Dino

6.3 Mr. Showcase

콘텐츠 Mr. Showcase는 실측 사이즈 객체의 쇼케이스 룸 구축을 위한 콘텐츠이다. 자동차 소개 목적으로 개발되었으며, 그림 16에서 실제 크기의 자동차가 2D 프로젝터 영역과 3D MR HMD 영역을 넘나들며 이동하는 것을 관찰할 수 있다. 또한 자동차를 정지시켜놓고 실내 디자인과 외부 프레임등을 자세히 확인할 수 있다.



(a) Real sized car object

(b) Driving into the screen

Figure 16: Mr. Showcase

소개한 콘텐츠들은 자체 제작된 SpectatorView [16] 시스템과 연동 가능하므로 MR HMD를 착용하지 않은 주변 관찰자들이 보는 제3자 시점의 합성 영상도 디스플레이 할 수 있다. 참고로, 그림 14, 16들은 SpectatorView를 이용해 촬영한 것이다

7. 결론 및 향후 연구

최근 다양한 MR용 HMD가 출시되고 있으며 본 논문에서 사용한 MR 디바이스인 홀로렌즈도 2019년 초에 새로운 버전인 홀로렌즈 2로 업그레이드 되었다. 하지만 홀로렌즈 2도 기존 홀로렌즈에 비해 약 2배 이상 영상 면적이 넓어졌지만 VR HMD에 비해 시야각은 좁다. 새로운 디바이스에 대한 기대감이 높았지만 아직 부족한 디바이스의 문제를 해결하기 위해 BtS 시스템은 하나의 대안이 될 수 있다. 디스플레이 장치와 MR용 HMD를 연동하여 MR 디바이스들의 시야각 문제를 해결하고 디스플레이 장치와 MR 디바이스간 표현 영역의 분리를 통해서 2D 영상에서 3D 오브젝트가 튀어나오는 효과를 제작할 수 있다. 이를 통해 보다 다양한 MR 콘텐츠 제작과 활용 영역의 확대를 목표로 했다. 대단위의 쇼케이스를 위한 대형 프로젝터부터 소규모 콘텐츠를 위한 TV나 모니터까지 지원하는 캘리브레이션 소프트웨어를 제작하여 누구든지 쉽게 BtS 기능을 사용할 수 있는 기반을 마련하였다.

BtS 시스템은 현재 디스플레이 장치의 영상이 출력되는 영역이 평탄해야만 하는 단점이 존재한다. 가령 다각형 벽면을 하나의 프로젝터로 영상을 출력하면 다각형에 의한 영상 왜곡이 생기게 되고 MR용 HMD와 연동시에 원하지 않았던 위치에 오브젝트가 나타나게 되거나 크기 및 형태가 맞지 않게 된다. 그리고 여러대의 빔 프로젝터를 사용할 때에도 프로젝터들이 유효한 각도를 이루도록 설치되어야 한다. 이러한 제약을 극복하기 위해 향후 연구에서는 다각형 벽면에도 영상이 제대로 출력되는 캘리브레이션 기능을 추가할 계획이다 [17, 18]. 또한 MR HMD는 1인칭 시점으로 자유롭게 이동하면서 콘텐츠를 체험하지만 프로젝터에서는 고정된 가상 카메라 위치에서 렌더링 되는 영상이 출력된다. 이 상황에서 체험자의 시점 변화로 생기는 2D와 3D 사이 변환 오차를 최소화하기 위해 프로젝터의 가상 카메라에 대한 최적 위치를 찾는 알고리즘을 개발이 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2016R1D1A1B03931641)과, 2018년 과학기술정보통신부 방송통신발전기금으로 한국전파진흥협회의 지원을 받아 수행된 연구임

References

- [1] P. Milgram and F. Kishino, "A taxonomy of mixed reality visual displays," *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, vol. 77, no. 12, pp. 1321–1329, 1994.
- [2] Y. Ohta and H. Tamura, *Mixed reality: merging real and virtual worlds*. Springer Publishing Company, Incorporated, 2014.
- [3] H. Chen, A. S. Lee, M. Swift, and J. C. Tang, "3d collaboration method over hololensTM and skypeTM end points," in *Proceedings of the 3rd International Workshop on Immersive Media Experiences*, ser. ImmersiveME '15. New York, NY, USA: ACM, 2015, pp. 27–30. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2814347.2814350>
- [4] Y.-T. Yue, Y.-L. Yang, G. Ren, and W. Wang, "Scenectrl: Mixed reality enhancement via efficient scene editing," in *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, ser. UIST '17. New York, NY, USA: ACM, 2017, pp. 427–436. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/3126594.3126601>
- [5] MagicLeap, <https://www.magicleap.com/>, 2019.
- [6] Microsoft, <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>, 2019.
- [7] UnityTechnologies, <https://unity.com/kr>, 2019.
- [8] B. R. Jones, H. Benko, E. Ofek, and A. D. Wilson, "Illumiroom: Peripheral projected illusions for interactive experiences," in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ser. CHI '13. New York, NY, USA: ACM, 2013, pp. 869–878. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2470654.2466112>
- [9] T. Okatani and K. Deguchi, "Easy calibration of a multi-projector display system," *International journal of computer vision*, vol. 85, no. 1, pp. 1–18, 2009.
- [10] J. Zhou, L. Wang, A. Akbarzadeh, and R. Yang, "Multi-projector display with continuous self-calibration," in *Proceedings of the 5th ACM/IEEE International Workshop on Projector Camera Systems*, ser. PROCAMS '08. New York, NY, USA: ACM, 2008, pp. 3:1–3:7. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1394622.1394626>
- [11] H. S. Oluwatosin, "Client-server model," *IOSRJ Comput. Eng*, vol. 16, no. 1, pp. 2278–8727, 2014.
- [12] M. Bailey and S. Cunningham, *Graphics shaders: theory and practice*. AK Peters/CRC Press, 2016.
- [13] A. Zucconi and K. Lammers, *Unity 5. x Shaders and Effects Cookbook*. Packt Publishing Ltd, 2016.
- [14] Microsoft, <https://github.com/microsoft/MixedRealityToolkit-Unity>, 2019.
- [15] T. Frantz, B. Jansen, J. Duerinck, and J. Vandemeulebroucke, "Augmenting microsoft's hololens with vuforia tracking for neuronavigation," *Healthcare technology letters*, vol. 5, no. 5, pp. 221–225, 2018.
- [16] HoloLens, <https://docs.microsoft.com/ko-kr/windows/mixed-reality/spectator-view>, 2019.
- [17] S. Willi and A. Grundhöfer, "Robust geometric self-calibration of generic multi-projector camera systems," in *2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*. IEEE, 2017, pp. 42–51.
- [18] 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," in *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, ser. UIST '14. New York, NY, USA: ACM, 2014, pp. 637–644. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2642918.2647383>

〈 저 자 소 개 〉



김 중 용

- 2014 청운대학교 컴퓨터학과 학사
- 2016 동국대학교 멀티미디어학과 석사
- 2016 ~ 현재 동국대학교 멀티미디어학과 박사과정
- 관심분야 : 혼합현실, 가상현실, 컴퓨터 그래픽스
- <https://orcid.org/0000-0001-8062-3678>



박 상 훈

- 1993 서강대학교 수학과 학사
- 1995 서강대학교 컴퓨터학과 석사
- 2000 서강대학교 컴퓨터학과 박사
- 2002 ~ 2005 대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부조교수
- 2001 University of California, Davis 방문 연구원
- 2005 ~ 현재 동국대학교 멀티미디어학과 교수
- 관심분야: 실시간 렌더링, 사실적 렌더링, 과학적 가시화, 고성능 컴퓨팅 등
- <https://orcid.org/0000-0001-5383-7005>



송 중 훈

- 2018 동국대학교 멀티미디어공학과 학사
- 2018 ~ 현재 동국대학교 멀티미디어학과 석사과정
- 관심분야 : 혼합현실, 가상현실, 실시간 렌더링
- <https://orcid.org/0000-0003-1384-0466>



박 정 호

- 2019 동국대학교 멀티미디어공학과 학사
- 2019 ~ 현재 동국대학교 멀티미디어공학전공 석사과정
- 관심분야 : 기하 모델링, 가상현실, 컴퓨터 그래픽스
- <https://orcid.org/0000-0002-6708-6692>



남 재 승

- 2013 ~ 현재 동국대학교 멀티미디어공학과 학사과정
- 관심분야 : 혼합현실, 가상현실, 컴퓨터 그래픽스
- <https://orcid.org/0000-0002-2050-3794>



윤 승 현

- 2001 한양대학교 수학과 학사
- 2007 서울대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2007 ~ 현재 동국대학교 멀티미디어공학과 조교수/부교수/교수
- 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 기하모델링, 가상/증강/혼합현실
- <https://orcid.org/0000-0002-0015-8305>