

모바일 가상현실 기술과 응용*

최수미·박우찬·김용국·이종원·장 윤 (세종대학교), 박 준 (홍익대학교),
이성길 (성균관대학교), 이명원 (수원대학교)

목 차

1. 서 론
2. 모바일 가상현실 콘텐츠 생성 기술
3. 모바일 가상현실 시청각 재생 기술
4. 모바일 가상현실 인터랙션 기술
5. 가상현실을 위한 드론 기술
6. 결 론

1. 서 론

가상현실(Virtual Reality; VR) 분야는 ‘디바이스-SW플랫폼-콘텐츠’로 연결되는 산업 생태계가 형성되고 있으며 4차 산업혁명을 주도할 핵심기술로 주목을 받고 있다. KZERO Worldwide에 따르면, 전 세계 VR 시장 규모는 2018년에 이르러 약 52억 달러를 기록할 것으로 예상되고, 사용자 수도 1억 8천만 명에 육박할 것으로 예측된다. VR 디바이스 중에서 핵심인 HMD(Head Mounted Display)는 첫째, 페이스북의 오클러스 리프트, HTC의 바이브와 같은 PC 연동형 VR 방식, 둘째 소니의 PlayStation VR처럼 고사양 콘솔 게임기를 사용하는 방식, 셋째 삼성의 기어 VR, 구글의 데이드림 뷰와 같이 스마트폰을 장

착하거나 일체형 모바일 헤드셋을 사용하는 모바일 VR 방식이 있다.

모바일 VR 환경에서는 360° 영상을 이용한 콘텐츠들이 보편적으로 사용되며, 콘텐츠 제작을 위한 다양한 360° 카메라도 출시되고 있다. 구글은 360° 동영상을 유튜브(YouTube)를 통해 시청할 수 있게 할 뿐만 아니라 고수준의 VR 경험을 위한 데이드림 VR 플랫폼도 2016년에 출시하였다. PC 기반 VR 생태계는 고성능 게임이 킬러 콘텐츠로 1억명 이상의 고객을 확보한 게임 플랫폼 스팀(Steam)을 파트너로 페이스북의 오클러스와 HTC의 바이브가 헤드셋 경쟁을 하고 있다. 가상세계와의 인터랙션을 위한 입력장치로는 블루투스 게임패드, 손과 몸의 동작을 인식하는 컨트롤러, 걸음걸이를 인식하는 컨트롤러 등이 개발되고 있다. 또한 VR 전용 오디오 솔루션 개발도 활발히 이루어지고 있다.

본 논문에서는 세종대학교 모바일 가상현실

* 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2018-2016-0-00312)

연구센터에서 최근에 진행하고 있는 연구들을 중심으로 모바일 VR 기술 동향을 소개하고자 한다. 먼저 2장에서는 모바일 VR 콘텐츠 생성 기술을 소개하고, 3장에서는 시청각 재생기술을 설명한다. 4장에서는 모바일 VR 환경에서 고려할 인터랙션 기술을 살펴보고, 5장에서는 VR 드론의 활용 방안을 소개한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

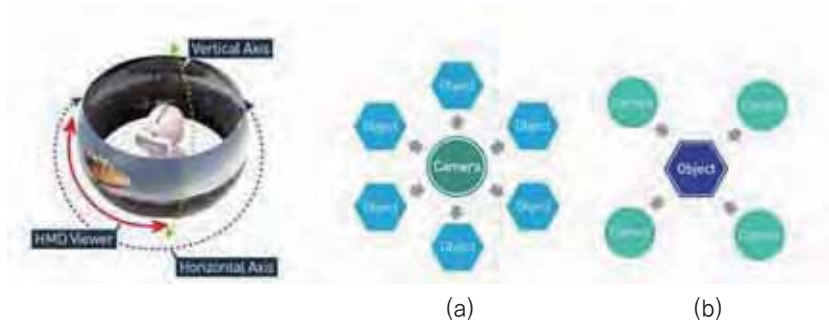
2. 모바일 가상현실 콘텐츠 생성 기술

2.1 인터랙티브 360° VR 콘텐츠 표현 기술

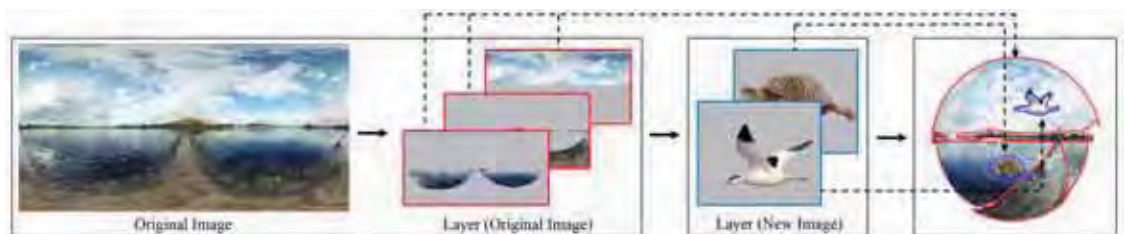
최근 360° 카메라가 대중화되면서 고가의 촬영장비 없이도 개인화된 VR 콘텐츠를 쉽게 제작할 수 있게 되었다. 360° 파노라마 콘텐츠는 일반 사진이나 동영상과 달리, VR 헤드셋을 사용

하여 관람자가 360° 장면 중 어느 부분을 볼 것인가를 결정할 수 있다 (그림 1 (a)). 이러한 장면은 주로 카메라의 주위를 캡처하는 outward 방식으로 획득되지만, 특정 물체의 주위를 여러 각도에서 촬영하는 inward 방식으로도 캡처할 수 있다 (그림 1 (b)). 360° VR 콘텐츠는 마치 그 공간에 있는 듯한 느낌을 줌으로써 사용자에게 몰입감을 주지만 기본적으로 영상기반 콘텐츠이기 때문에 사용자와의 인터랙션을 추가하기가 쉽지 않다.

본 연구에서는 360° VR 콘텐츠에 보다 흥미로운 요소를 제공하기 위해 (그림 2)와 같은 다중레이어(multi-layer)를 갖는 인터랙티브 360° VR 콘텐츠 표현 방법을 제안한다^[1]. 다중 레이어는 서로 다른 유형의 인터랙션을 추가하거나 세부적인 스토리를 생성하는데 매우 유용하다. 이러한 레이어는 원 영상으로부터 생성되거나 새로운 영상으로부터 추가될 수 있다. 최종적으로 모든 레



(그림 1) (a) 360° 장면 내비게이션, (b) 360° 장면 캡처 ((좌) outward, (우) inward)



(그림 2) 다중 레이어를 갖는 인터랙티브 360° VR 콘텐츠

이러한 것들은 동일한 구로 맵핑되어진다. 예를 들어 (그림 2)의 원 영상에서 하늘, 물, 땅을 다른 레이어로 분리하고, 사용자가 원하는 물체의 영상 또는 동영상상을 새로운 레이어로 추가할 수 있다.

스마트 폰과 같은 모바일 플랫폼에서 실시간으로 구동 가능하면서도 사실적인 인터랙션을 제공하기 위해, 본 연구에서는 각 레이어의 의미에 적합한 물리 기반 인터랙션 방법들을 채택하여 레이어별 인터랙션을 달리 적용하였다. (그림 3)은 제안하는 다중 레이어 기반 인터랙션 방법을 해양생물 교육에 응용한 예로, 낚시놀이를 통해 해양 물고기의 종류 및 특징을 학습할 수 있게 하였다. 전체적인 가상환경을 360° 영상 또는 동영상상을 이용하여 구축함으로써, 전문적인 3D 그래픽 제작 능력이 없는 일반 사용자도 원하는 콘텐츠를 직접 제작할 수 있다는 장점이 있다. 또한 실사 영상 및 동영상상을 사용함으로써 연산량의 제약이 있는 모바일 플랫폼에서도 지연시간 없이 사실적인 가상환경을 구축할 수 있다. (그림 3)에서 (a)는 가재와 같은 해양생물을 선택할 때 힘 기반 매쉬 변형 방법을 적용하여 해당

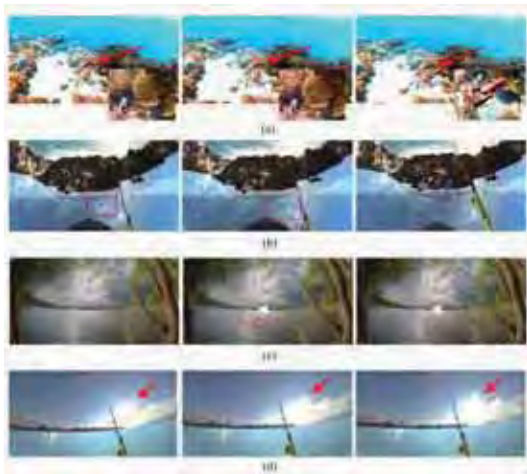
물체를 움직일 수 있도록 하였다. (b)는 낚시대를 던질 때 물리 기반 2D 물결 방정식을 사용하여 물 표면의 움직임을 사실적으로 시뮬레이션 하였다. (c)는 낚시대를 던지는 위치에 따라 3D 사운드 효과를 달리 주어 사실감을 높였고, (d)는 하늘 영역에 동영상 레이어를 적용하여 움직이는 구름을 표현하였다.

2.2 스테레오 3D 기반 VR 내비게이션 기술

모바일 VR은 스마트폰과 같은 모바일 디바이스를 사용하기 때문에 휴대성과 이동이 자유롭다는 장점이 있다. 반면에 기존 데스크탑 컴퓨터에서 수행하던 렌더링 및 연산이 모두 모바일 디바이스에서 이루어지기 때문에 고품질의 장면을 구성하기 위해서는 하드웨어적 성능을 높여야 할 뿐만 아니라 연산량 제약으로 인한 렌더링 품질 저하, 지연시간 등을 해결하는 것이 필요하다.

이 중에서도 지연시간의 문제는 VR 콘텐츠의 시각적 피로와 밀접한 관계가 있는데, 이로 인한 증상들로는 어지러움, 메스꺼움, 두통, 구토 등이 있다. 시각적 불편함은 안구의 긴장, 모션, 좌우 장면의 초점 불일치 등 여러 요인으로 인해 나타나기 때문에 VR 콘텐츠의 몰입감을 방해하게 되어 지속적인 콘텐츠 관람을 저해한다. 특히 입체 3D 내비게이션은 가상 카메라가 정해진 경로를 따라 움직이기 때문에 사용자는 실시간으로 변화하는 깊이에 적응하지 못해 시각적 불편함을 더 느끼게 된다.

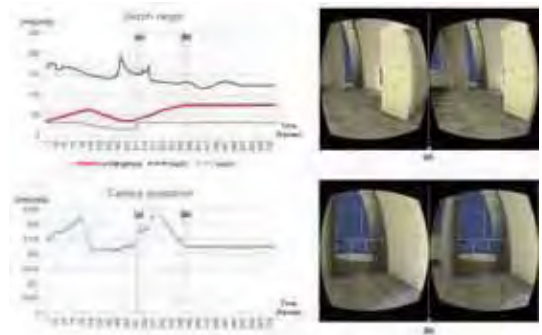
최근 스테레오 환경에서의 시각적 불편함을 해소하기 위한 방법으로는 HMD 기반의 입체 렌더링 시 DoF(Depth-of-Field)주변에 블러 효과를 적용하는 방법^[2]이나, 가상 카메라의 파라미터와 물리공간의 파라미터를 일치시켜 시각적 피로를



(그림 3) 움직이는 물체, 물 시뮬레이션, 3D 사운드, 동영상 레이어를 사용한 콘텐츠 표현

감소시키는 방법^[3]이 제안되었다. 하지만 모바일 환경에서 시각적으로 편안한 입체 3D 장면을 표현하기 위해서는 적은 연산량, 지연시간, 좌, 우 광학 렌즈의 확대율 등 기존 데스크탑에서 고려되지 않던 요소들도 함께 고려되어야 한다.

본 연구에서 스테레오 3D 내비게이션 장면에서 모바일 HMD 기반 환경에 맞도록 실시간으로 가상 카메라의 파라미터를 조절하여 시각적 불편함을 감소시키고자 한다. 제안하는 방법은 (그림 4)와 같이 세 단계로 진행된다. 먼저 (a)와 같이 3D 모델, HMD의 광학 렌즈 확대율, 미리 정의된 내비게이션 경로를 입력받는다. 그 후에 (b)와 같이 가상 카메라 파라미터를 조절한다. 먼저 카메라 프러스텀 공간 내에 들어온 3D 모델의 최소, 최대 깊이 값을 측정하고 이 이미지 시차(image disparity)를 계산한다. 그 후에 광학 렌즈의 확대율을 고려해 스크린 시차(screen parallax)를 계산한 뒤, 가상 카메라 간격(separation)과 가상 스크린 깊이(convergence)를 조절하여 가상 카메라 파라미터를 조절한다. 조절이 완료되면 자동 내비게이션의 경로를 따라 (c)와 같이 스테레오 렌더링을 수행하게 되는데 카메라의 위치가 내비게이션 경로에 따라 매 프레임마다 변경될 때, 변경된 장면 깊이를 다시

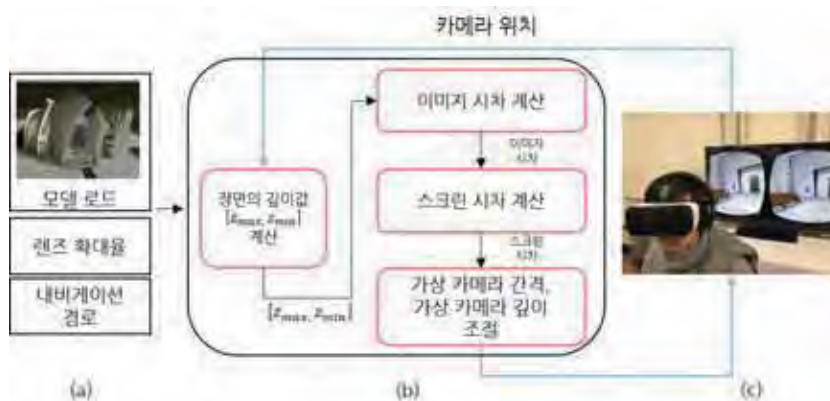


(그림 5) 가상 카메라 파라미터 조절 결과

계산하여 그림 (b)와 (c)를 반복하여 수행한다. 제시한 방법을 건물 안의 내비게이션에 적용한 실험 결과는 (그림 5)와 같다. (a)는 내비게이션 과정에서 기둥과 같은 장애물을 만나 물체와 가상 카메라의 거리가 가까워졌을 때를 나타내며, (b)는 장애물을 지나 가상 카메라 가까이 장애물이 존재하지 않을 때를 보여준다. 가상 카메라 파라미터를 조절함으로써 시각적으로 보다 편안한 장면을 연출할 수 있다.

2.3 VR 콘텐츠 저작 기술

최근 VR 기술에 대한 관심은 VR 콘텐츠 시장의 확장으로도 이어져 VR 콘텐츠 저작 기술에 대한 제품 출시 및 연구도 활발하게 이루어지고 있다^[4,5,6].

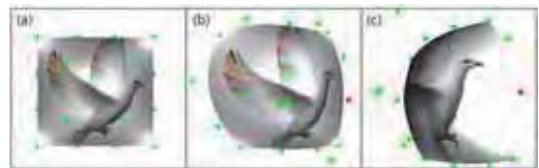


(그림 4) 모바일 HMD를 위한 실시간 카메라 파라미터 조절 방법

하지만 많은 제품과 연구들이 있음에도 대중들의 VR 콘텐츠 제작 및 배포는 여전히 소극적이다. 그 이유는 대부분의 VR 콘텐츠 제작도구는 전문가를 대상으로 설계되어 비전문가인 일반인이 시스템에 적용해 VR 콘텐츠를 제작하기에는 진입장벽이 높기 때문이다. 따라서 본 절에서는 대중들의 VR 콘텐츠 제작 참여를 통한 시장의 확장을 기대하기 위해 비전문가도 쉽게 제작할 수 있는 VR 콘텐츠 제작 시스템을 제안한다.

(그림 6)은 제안하는 VR 콘텐츠 제작도구로 (a) Controller, (b) Object View, (c) Video Player, (d) Object Editor로 구성되어 있다. (a) Controller는 제작을 위한 기능들이 모여 있어 VR 콘텐츠 제작에서 필요한 기능들을 선택하여 사용할 수 있고, (b) Object View는 콘텐츠에 입력할 object를 관리할 수 있으며 Drag & Drop 방식을 사용하기 때문에 사용자들이 쉽게 영상에 object를 삽입할 수 있다. 또한, 사용자가 쉽게 접할 수 있는 2D 이미지를 object로 활용할 수 있게 함으로써 어려운 object 모델링 과정으로 인한 장벽을 없앴다. (c) Video Player는 제작 중인 영상을 실시간으로 검토할 수 있어 삽입한 object가 콘텐츠 내에서 어떻게 표현되는지 바로 확인 가능하다. 영상에서 object를 삽입하는 방식은 두 가지로 사용자 지정 방식과 video object detection 방식이 있다. 사용자 지정방식은

삽입하고자 하는 object를 삽입 위치, 시간을 제작자가 직접 설정하여 삽입하는 방식으로 원하는 위치에 드래그하여 크기를 지정하면 된다. video object detection 방식은 삽입하고자 하는 object가 비디오 내의 물체를 따라 다닐 수 있게 추적하는 방식이다. 마지막으로 (d) Object Editor는 2D 이미지인 object를 편집할 수 있게 도와준다. 2D 이미지를 그대로 영상에 삽입하는 경우 영상과 삽입한 이미지와의 괴리감 때문에 몰입감이 떨어져 영상이 자연스럽지 않게 된다. 따라서 좀 더 몰입감이 높은 영상을 만들기 위해 이 기능을 사용할 수 있다. 제안하는 시스템의 object editor는 (그림 7)에서 제시하는 세 가지 방법을 통해 이미지를 수정할 수 있다. (a) OpenGL의 Shader를 적용해 명암을 주어 입체감을 부여하는 방식, (b)OpenGL의 Nurb 알고리즘을 적용하여 총 16개의 포인트를 조절함으로써 오브젝트를 수정하는 방식, (c) x, y축을 회전함으로써 2.5D의 효과를 주는 방식이다.



(그림 7) Object Editor 결과 (a) Shader 적용, (b) 포인트 이동, (c) 회전



(그림 6) VR 콘텐츠 제작도구 (a) Controller, (b) Object View, (c) Video Player, (d) Object Editor

(그림 8)은 위의 기술들을 적용한 저작도구 시스템으로 제작한 VR 콘텐츠 결과물이다. (그림 8)의 좌, 우 콘텐츠는 모두 사용자가 직접 만든 것으로 구하기 쉬운 인기 영화나 애니메이션의 캐릭터 이미지를 활용했다. 특히 우측의 애니메이션 캐릭터의 경우 체험자의 흥미를 끌 수 있었기 때문에 몰입도와 흥미도를 동시에 향상시키는 결과를 볼 수 있었다.

이 외에도 VR 콘텐츠 시장의 확장을 막는 또 다른 어려움으로 VR Sickness를 들 수 있다. 이러한 VR Sickness 현상을 콘텐츠 저작과정에서 해결하기 위하여 뇌파 분석을 통해 원인 분석을 시도한다. 뇌파 이상신호를 분석하면 VR Sickness가 발생할 때 멀미현상을 야기하는 환경적 원인을 파악할 수 있어 저작하는 단계에서 해결할 수 있게 된다. (그림 9)는 뇌파를 통해 VR Sickness를 분석하기 위한 시스템이다. 해당 시스템은 EEG 측정장치와 VR HMD를 착용하고 VR 콘텐츠를 체험할 때 수집한 뇌파 데이터를 분석할 수 있다. (a)는 VR Sickness 측정에 사용된 콘텐츠에서 멀미를 느낀 프레임 수를 기록한 것으로 (b)에서 전체 비율을 비교할 수 있



(그림 8) 제안 저작도구로 만든 VR 콘텐츠



(그림 9) 뇌파 분석을 위한 시스템

다. 또한 (c)에서는 멀미를 느낄 때 활성화 될 수 있는 Beta 파형의 F4, AF3, T7 채널 데이터 평균값을 분석할 수 있게 해준다. (c)를 통해 다양한 파형의 채널들과 멀미와의 연관성을 찾아 원인을 분석할 수 있다. 뇌파 데이터 분석으로 VR 콘텐츠 저작과정에서 VR Sickness가 증가하는 상황을 제어함으로써 VR Sickness를 감소시킬 수 있도록 하고자 한다.

2.4 가상현실 서비스를 위한 3D 그래픽스 표준화 현황

모바일 컴퓨팅과 네트워크 환경의 발전으로 가상현실 서비스에 필요한 3D 데이터 구성이나 장면 정보 표현에 대한 요구가 광범위하게 확대되어 가고 있고 이와 관련된 표준화 및 표준 개발에 대한 필요성도 갈수록 커지고 있다. 본 절에서는 가상현실 서비스 개발과 관련 국제 표준 현황을 소개한다.

ISO/IEC JTC 1/SC 24 표준화 그룹에서는 컴퓨터 그래픽스와 가상현실 분야 국제표준화를 진행하고 있으며 대표적인 국제표준으로 VRML (Virtual Reality Modeling Language), X3D (Extensible 3D), H-Anim (Humanoid Animation), SEDRIS (Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification)가 있으며 3차원 가상현실과 가상환경 분야의 대표적인 ISO/IEC 표준들이다.

VRML 표준은 1997년에 개발되어 2006년 개정된 이래 다양한 분야에서 3차원 장면 생성 및 관련 정보를 교환하는 형식으로 사용되어 왔으며 일반 웹브라우저에서 사용할 수 있도록 3D 가상환경 표현을 위한 대표적인 파일 형식을 제공해왔다. VRML은 웹 문서인 HTML 기반으로 개발되었으며 이를 XML 문법으로 정비하고 그래픽스 발전에 따라 추가적인 기능으로 향상

시킨 것이 X3D 이다. 즉, X3D 는 웹브라우저에서 사용할 수 있도록 3D 장면을 생성하고 정보를 교환하는 파일 형식이다. H-Anim 은 인체 애니메이션을 위해 인체 골격의 계층구조를 정의하고 인체 모델을 완성할 수 있도록 조인트, 세그먼트, 피부 등을 기술할 수 있는 데이터 구조를 정의한다. 인체 애니메이션을 위한 모델링 구조를 정의하는 H-Anim 1.0 버전은 2006년에 개발되었고 현재는 H-Anim 2.0 표준이 개발 중이다. H-Anim 2.0 은 파트 1에서 인체 모델링, 파트 2에서 인체 애니메이션 데이터를 정의한다. SEDRIS 는 국방 분야에서 광범위하게 활용되고 있는 가상환경 국제 표준으로서 실세계 모든 환경 정보를 정의하고 있다. SEDRIS 는 지구상의 모든 실세계 자연 환경과 물체를 가상환경 안에서 의미 있는 객체로 매핑 및 표현될 수 있도록 환경 데이터 표현, 환경 데이터 코딩, 공간 참조 모델에 관한 명세들로 구성되어 있다.

가상현실 서비스 개발을 위해서 X3D 언어 바인딩 표준 개발이 진행 중이며 장면 인터페이스 표준 API 가 개발되었으며 범용의 프로그래밍 언어를 이용하여 표준화된 방법으로 어플리케이션 개발을 할 수 있도록 지원한다. 이러한 언어 바인딩으로 자바스크립트, C, C++, C# 언어바인딩 개발이 진행 중이다. 또한 웹브라우저에서 웹 문서와 동일한 방법으로 구동할 수 있도록 자바스크립트 기반 X3D 가 개발되고 있다. VRML, X3D, H-Anim 은 SC24 와 공동으로 Web3D Consortium 이 표준 개발을 주도하고 있다. SEDRIS 표준 개발은 SC24 와 SEDRIS Organization 이 공동으로 개발하고 있다.

또한 ISO/IEC JTC 1/SC 24 에서는 증강현실과 혼합현실 분야 표준 개발이 진행 중이다. 한국에서 제안하여 SC24 와 SC29 가 공동으로 개발한 혼합 증강 현실 참조 모델 (MAR Reference

Model) 이 IS (International Standard) 출간을 기다리고 있다. MAR 센서 표현 (Sensor Representation in MAR) 는 CD (Committee Draft) 단계에 있으며 MAR 라이브 액터 및 엔티티 표현 (Live Actor and Entity Representation in MAR) 는 DIS (Draft International Standard) 단계에 있다. 그 외에도 증강 혼합현실 분야에서 벤치마킹, MAR 정보 모델 등이 표준안이 제안되어 개발이 진행되고 있다.

3. 모바일 가상현실 시청각 재생 기술

3.1 시각 재생 기술

모바일 환경에서의 VR 콘텐츠는 미리 촬영된 영상 미디어를 재생해주는 방식부터 모바일용 컨트롤러 장비, 자이로 센서 등을 활용해 인터랙티브한 장면을 렌더링하며 재생하는 방식, 이를 혼합해 사용자 입력에 맞추어 미디어를 재생해주는 복합적인 방식까지 다양한 형태로 생산되고 있다. 그러나 모바일 환경은 고화질 및 고품질의 콘텐츠를 재생하기에는 많은 제약을 가지고 있다. 항상 전원이 공급되는 상태가 아니기에 전력 소비를 최소화해야 하고, 휴대가 간편해야 하는 특성 상 칩셋의 소형화가 필요하다. 또한 마찬가지로 휴대성 때문에 별도의 냉각장치를 탑재하기 어려워 발열도 최대한 억제시켜야 하는 등 모바일 환경에서 가지는 많은 이슈가 있다. 이를 충족시키며 설계되어야 하는 모바일 그래픽 하드웨어는 태생적으로 데스크톱에 비하여 턱없이 낮은 성능을 가질 수밖에 없다. 이와 같은 성능의 제약으로 데스크톱 환경의 VR 콘텐츠에서 사실감 향상을 위해 사용되는 다양한 렌더링 기법들이 모바일 환경에서는 연산 부하를 감당할 수 없으며, 특히 물체 표면 사이의 모든 빛



(그림 10) VR 콘텐츠 시청 장면

의 상호작용을 표현한 전역 조명 기술은 모바일 환경에서 사용하기에 어려움이 있다.

이에 따라 본 연구에서는 모바일 환경에서의 시각 재생 자원 부족 문제를 해결하기 위해 데스크탑 기반 고속 전역조명 기법인 ISM(imperfect shadow maps)^[7]의 성능 개선을 시도하고 있다. ISM은 가상점광원 기반 전역 조명 근사 기법의 한 종류로 크게 가상점광원 생성, 그림자맵 렌더링, 그림자맵 테스트의 세 단계로 나누어져 있다. 고정된 광원에서 광선 추적을 이용하여 기하 표면에 가상점광원을 생성한다. 생성한 가상점광원들에서 점 구름의 형태로 변환된 기하정보를 이용하여 저해상도에서 그림자맵을 렌더링한다. 점 구름을 사용하기 때문에 그림자맵에 존재하는 빈 공간을 제거하기 위해 pull-push 보간법을 적용한다. 생성된 그림자맵의 정보와 깊이를 비교해 조명효과를 적용한다. 이를 모바일 환경에서 적용할 수 있게 개선함으로써, 사용자의 몰입감을 증대시키고 기존 엔터테인먼트 산업에서 시

도하지 못한 새로운 관점의 콘텐츠를 모바일 VR 장비를 통해 가시화할 수 있도록 하는 것을 목표로 한다.

그림자맵 기반 그림자 렌더링, SSAO(screen space ambient occlusion)^[8], 모션 블러, 심도 효과, 블룸 등 영상, 게임 등의 콘텐츠에서 사실감을 크게 높이는 많은 시각 효과의 렌더링이 픽셀 기반 후처리 기법을 통해 수행된다. 이러한 후처리 기법들은 모델의 기하 표면과 빛의 상호작용을 모두 계산하는 대신 스크린 해상도를 갖는 버퍼에 미리 저장된 값만을 사용하므로 기하 기반의 기법들에 비해 연산량이 적은 편이나 자원이 한정된 모바일 환경에서 수행하기에는 여전히 어려움이 있다.

이에 본 연구에서는 후처리 기법의 연산량이 스크린의 해상도가 높아질수록 증가한다는 점에 착안하여 저해상도에서 연산을 수행하고 고해상도로 업스케일링을 수행하는 업샘플링 기반 후처리 기법을 연구하였다^[9]. FHD 이하의 해상도 환경에서 후처리 기법을 수행한 후 QHD 해상도로 업스케일링 했을 때의 결과와 QHD 환경에서 후처리 기법을 직접 수행했을 때의 결과를 비교하는 실험을 통해 본 기법이 충분히 높은 성능과 납득할만한 수준의 품질을 달성했음을 확인할 수 있었다.



(그림 11) 후처리 기법으로 표현 가능한 실세계의 시각 효과 (왼쪽부터 블룸, 모션 블러, 심도효과)

3.2 청각 재생 기술

청각적인 공간감 재현은 현실감 있는 가상현실의 환경을 구현하는데 중요한 요소 중 하나이다. 일반적으로 가상현실은 실제 존재하지 않는 가상의 공간을 인간의 여러 가지 감각 기관을 통해 재현함으로써 몰입감을 극대화 시킨다. 그러나 청각적인 공간감 재현에서 현실세계의 물리적 효과를 충분히 반영하지 않으면 가상현실의 몰입도는 떨어진다. 따라서 현실감 있는 가상현실의 환경을 구현하기 위해서는 현실감 있는 청각적인 공간감 재현은 필수적 요소이다.

현재 VR시장에서 사용 중인 VR 청각 재생 기술은 크게 멀티채널 오디오(Multichannel Audio) 방식^[10]과 머리기반함수(Head-Related Transfer Function) 방식^[11]으로 나눌 수 있다. 멀티채널 오디오 방식은 여러 개의 채널을 가진 오디오 시스템을 사용하여 청각적인 공간감을 재현하는 방식이다. 반면, 머리기반함수 방식은 인간의 청각 시스템에서 음원의 방향을 지각할 수 있는 요인에 대한 모델링을 적용하여 청각적인 공간감을 재현하는 방식이다.

현재 사용되고 있는 청각 재생 기술들은 반사, 회절, 흡수, 투과등과 같은 소리의 물리적 효과를 필터를 사용하여 제한적으로 재현하고 있어 인공적인 느낌의 표현능력을 가진다. 또한 기존 스피커 시스템과의 호환성 여부도 전용시스템이 필요하거나 일부 제품들에 대해서만 호환이 가능하다. 따라서 모바일 상에서 현실감 있는 청각적인 공간감 재현을 달성하기 위해서는 물리적인 시뮬레이션을 적

용하여 기존 방식들의 인공적인 느낌의 표현능력과 시스템 구축 제약조건을 개선할 수 있는 알고리즘이 필요하다.

일반적으로 소리는 음원으로부터 발생되어, 주변 환경에 영향을 받아 청취자에게 전달되는 과정을 거치는데, 주변 환경에 영향을 받는 요소로 반사, 투과, 회절, 흡수의 특성을 가진다. 가상현실 속에서 시뮬레이션을 통해 반사, 투과, 회절 흡수와 같은 물리적 특성을 계산하여 이를 반영한다면, 현실감 있는 소리를 얻어 낼 수 있다. 즉, 현실감 있는 사운드 효과를 재현하기 위해서는 이러한 소리의 특성을 모델링하여 가상현실 속에서 시뮬레이션을 통해 재현해야 한다.

사운드 추적 기법(sound tracing)이란, 소리의 물리적 특성을 파악하여 소리의 물리적 전파경로를 계산하는 알고리즘이다. 사운드 추적 기법은 크게 소리 합성(sound synthesis), 소리 전파(sound propagation), 소리 생성(sound generation)의 처리 단계를 거친다. (그림 12)는 사운드 추적 알고리즘의 파이프라인을 나타낸다.

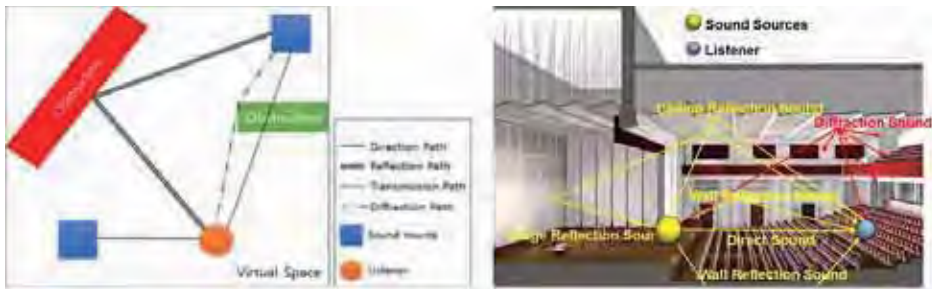
소리 합성 단계는 사용자의 상호작용에 따른 사운드 효과의 생성하는 단계이다. 사용자가 문을 두드리거나, 물건을 떨어뜨려 발생하는 소리의 처리를 하며, 기존 게임, UI등에서 일반적으로 사용되는 기술과 다르지 않다.

소리 전파 단계는 가상현실내의 청취자에게 사운드가 전달되는 과정을 시뮬레이션을 통하여 계산하는 단계이다. 이 단계에서는 광선 추적 알고리즘^[12]을 이용하여 소리의 전파 경로를 3차원 공간상에서 추적하여 반사, 투과, 회절과 같은 소리의 물리적 전파경로를 계산한다. (그림 13)은 소리 전파 알고리즘의 동작 예와 전파 경로의 예를 나타낸다.

소리 생성 단계는 음향 추적 알고리즘의 마지막 단계로 사용자의 헤드폰이나 스피커를 통해 오디오 출력을 생성하는 처리를 한다. 소리 전파 처리를



(그림 12) 사운드 추적 파이프라인



(그림 13) 소리 전파 알고리즘의 동작 예(좌)와 전파 경로의 예(우)

통해 소리 전파 경로가 계산되고, 입력 소리가 환경에 의하여 어떻게 변화되는지는 표현하는 임펄스 응답(impulse response)이 계산된다. 이때, 예측된 임펄스응답을 이용하여 입력 사운드 신호를 변조하여 출력 오디오 신호를 생성한다.

4. 모바일 VR 인터랙션 기술

대부분의 모바일 VR용 HMD(Head Mounted Display) 기기들은 스마트폰에 내장되어 있는 모션 센서(motion sensor)와 HMD 기기에 부착되어 있는 버튼 및 터치 패드를 사용하여 포인팅, 클릭 등 단순한 인터랙션 기능들을 제공한다. 그러나 이러한 방식의 인터랙션 기능들은 가상환경에 부합하지 않을 뿐 아니라, 사용자의 가상환경에 대한 몰입감을 저하시키는 문제를 발생시킨다.

이러한 문제점들을 완화하고 좀 더 다양한 인터랙션 기능들을 제공하기 위해서 구글 데이드림 뷰(Daydream View)와 삼성 기어(Gear) VR은 손에 쥐고 사용하는 모션 컨트롤러를 별도로 제공하며 이 외에도 다수 개발사에서는 다양한 웨어러블 컨트롤러들을 개발하였다. 이러한 인터랙션 장치들은 장치 내에 내장되어 있는 모션 센서, 플렉시블 센서 등 다양한 센서들을 이용하여 VR 체험자의 간단한 제스처를 인식하는 것을 통

해서 추가적인 인터랙션 기능을 제공한다.

최근에 각광받고 있는 모바일 VR 인터랙션 기술 중 하나는 사용자의 손 제스처나 음성인식 등을 기반으로 하는 NUI(Natural User Interface) 인터랙션 기술이다. NUI 기반 인터랙션 기술은 기존 인터랙션 기술들 보다 좀 더 직관적이고 쉽게 사용할 수 있으며 VR 몰입도를 향상시킨다. 예를 들어, PC 기반의 VR HMD 기기인 오쿨러스 리프트(Oculus Rift)와 뎁스 센싱 장치인 림모션(Leap motion)을 결합하는 것을 통해서 VR 환경 내의 사용자의 손을 3차원 모델화하여 시각화하고 손의 모양 및 제스처를 인식함으로써 NUI 기반 인터랙션 기술의 적절성 및 효율성을 확인할 수 있었다.

4.1 컨트롤러 기반 인터랙션 기술

컨트롤러 기반의 VR 인터랙션 기술은 터치 패드, 버튼, 모션 센서를 통한 인터랙션 등으로 구분하여 볼 수 있다. 이 중에서 구글 데이드림 뷰(Daydream View)와 같은 모션 센싱(motion sensing) 기반 컨트롤러는 모션 센서를 통한 방향 트래킹 및 제한된 범위 내에서의 상대적인 위치 트래킹 기능을 제공하여 사용자가 VR 환경 내에서 모션을 통해 네비게이션이 가능하게 한다^[13].

사용자의 머리 회전/이동에만 의존하는 모션 센싱 기반 컨트롤러의 단점을 보완하기 위한 컨트롤러로는 착용형 컨트롤러들이 있다. Gest는

손에 착용하는 웨어러블 컨트롤러로써, 9축 모션 센서(IMUs)를 통한 손바닥의 모션 및 각 손가락의 모션을 트래킹하는 기능을 제공한다^[14]. Manus VR은 장갑 형태의 웨어러블 컨트롤러로써, 9축 모션 센서, 플렉시블 센서, 진동 센서 등을 통한 모션 트래킹 및 촉감 피드백을 제공한다^[15]. CES 2016에서 프로토타입이 소개된 C랩의 Rink는 손바닥에 끼워서 사용하는 두 개의 인터랙션 장치로 인터랙션 장치의 위치를 트래킹하기 위한 베이스 유닛이 HMD에 부착되어 있다. 손바닥에 착용하는 두 개의 인터랙션 장치에서는 탭스 센싱이 가능하며 이에 따라 손가락의 움직임을 트래킹 할 수 있다^[16].

컨트롤러 기반 인터랙션 기술은 모션 센서 기반으로 모션을 측정하기 때문에 높은 정확도와 정밀도를 제공한다. 하지만 제한된 모션 센싱으로 인하여 높은 자유도를 제공하지 않으며 촉각적 피드백에만 의존해야 하는 이러한 인터랙션 장치들은 HMD로 인하여 외부에 대한 시야가 완전히 차단되는 가상현실에는 부합하지 않는 면이 있다.



(그림 14) Manus VR(좌)와 Gest(우)

4.2 NUI 기반 인터랙션 기술

VR 환경에서 주로 사용되는 NUI 인터랙션에는 바디 인식, 핸드 제스처 인식, 음성 인식, 시선 인식 등이 있다. 모바일 MR/AR HMD 기기인 마이크로소프트 홀로렌즈(HoloLens)는 NUI 기반 인터랙션 기술을 적용하여 성공한 사례이다. 홀로렌즈에서는 핸드 제스처 인식을 통한 인터랙션 기능과 음성 인식을 통한 인터랙션 기능을 제공한다.

또한, 최근 스마트폰에는 다양한 종류 센서들이 내장되어 있으며 이러한 센서들을 이용하여 얼굴 인식, 음성 인식, 제스처 인식 등 다양한 NUI 인터랙션을 제공한다. 예를 들어, Manomotion과 Caly는 RGB 센서를 통한 핸드 제스처 인식 솔루션 제공하고 있다^[17,18]. 아울러, 탭스 센싱(depth sensing) 기술의 발전으로 인하여 좀 더 정확하면서도 높은 해상도의 소형 탭스 센서들이 개발되고 있으며 이에 따라 스마트폰에도 이러한 탭스 센서들이 내장되고 있다. 레노버 Phab2 pro에는 Infineon 사의 REAL3 ToF(Time of Flight) 탭스 센서가 내장되어 출시되었으며 이 센서를 통하여 근거리 주변 환경에 대한 구조적인 정보를 습득하는 것이 가능하다. 탭스 센싱을 통한 손의 자세(pose) 추출과정은 다음과 같은 세 단계로 구분해 볼 수 있다: (a) 탭스 센서로부터 핸드에 대한 실루엣이 포함된 깊이 영상을 입력 (b) 깊이 영상에서 핸드 실루엣을 추출한 후 핸드의 각 파트에 대한 분류 (c) 분류된 파트들에 대한 joint 위치를 추론한 후 핸드 포즈를 유추. 기술의 발전에 따라 근래에 제안되는 학습 기반 hand pose estimator는 매우 정확한 성능을 보여준다^[19]. Randomized decision forests (RDFs) 기반 hand part classification은 depth image와 labeled image의 pair로 구성된 데이터 셋으로 학습하여 Mean-shift 기반 joint 위치 추정

을 통해서 핸드의 각 joint들의 위치를 추정하는 것을 통해 핸드의 포즈를 유추하는데 정확도가 99.9%에까지 도달하는 것으로 알려져 있다²⁰⁾.

대부분의 이러한 연구들은 높은 정확도와 빠른 속도를 보이지만 PC 기반 리소스에 맞춰져 설계되었으며 모바일의 제한된 리소스에 맞는 핸드 제스처 인식 기술을 필요로 한다. 음성인식의 경우, 구글 등에서 제공하는 API를 통해 어렵지 않게 구현이 가능하지만 주변 소음등의 영향을 피할 수는 없는 것이 현실이다. 따라서, 모바일 VR 환경에서는 하나의 기술에만 의존하지 않는 멀티모달(multimodal) NUI 인터랙션 기술이 필요하다고 볼 수 있다.



(그림 15) 마이크로소프트 홀로렌즈(좌)와 Manomotion (우)

5. 가상현실을 위한 드론 기술

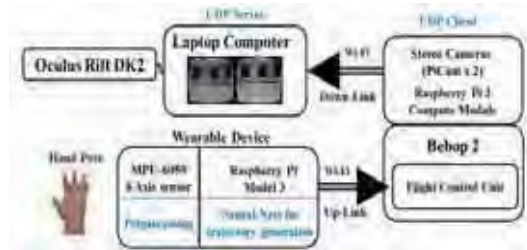
5.1 가상현실 드론 및 드론 제어기

현재 거의 모든 드론의 비행제어에는 Radio Controller(RC)를 사용하고 있다. 하지만 RC 조종은 많은 훈련시간이 소요되며, 초보자는 사용이 매우 어렵다는 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 손으로 잡을 수 있는 소형 웨어러블 형

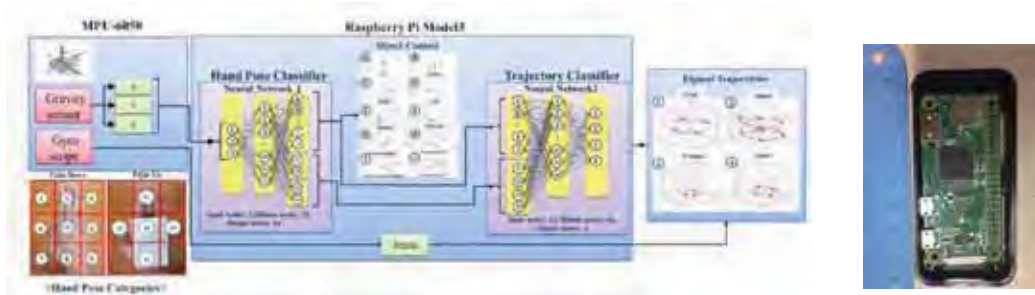
태의 컨트롤러를 이용하여 직관적으로 드론을 제어할 수 있는 하드웨어와 그에 필요한 알고리즘을 개발하고 있다 (그림 16).

작동모드는 직접제어방식과 기하형태 제어방식으로 나누어지며, 제어기를 이용하여 모드를 정한 후, 각 모드에 따라 제어하도록 설계되었다. 직접제어에서는 전후좌우 상하를 제어할 수 있으며, 기하형태 제어에서는 원, 사각형, 세모, 스파이럴 등 다양한 기하형태로 제어를 시행할 수 있으며, 그 스케일 제스처의 크기에 의해 정할 수 있다 (그림 17).

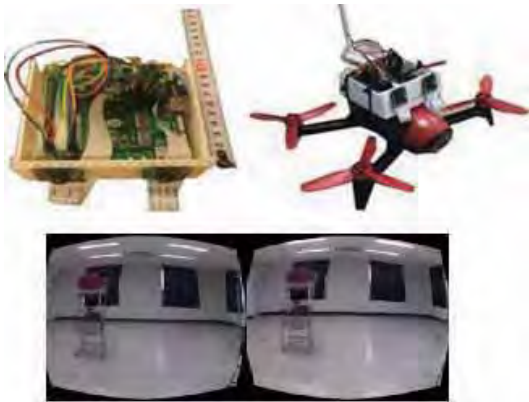
(그림 16)에서 제시한 개념도에 표시한바와 같이 사용자는 HMD장치를 착용한 상태에서 드론에서 획득되는 스테레오 영상을 수신 받아 VR 체험을 할 수 있는 환경을 만들고자한다. 현재 임베디드 장치를 이용하여 스테레오 모듈이 장착된 드론을 개발하고 있다 (그림 18). 이 모듈은 드론의 자율주행 센서로도 사용될 예정이다.



(그림 16) 개념도(좌) 및 구성도(우)



(그림 17) 제어기 내부구조 및 알고리즘(좌), 제어기 실체(우)



(그림 18) 스테레오 모듈이 장착된 드론 및 스테레오 영상

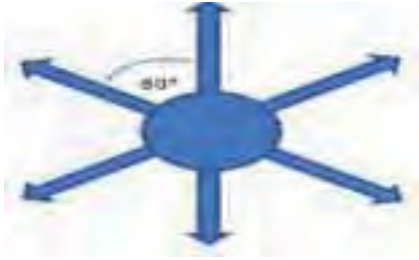
5.2 드론을 활용한 콘텐츠 제작

가상현실분야 활성화를 위해서는 소비자들의 흥미를 유발시키고 지속적으로 사용을 유도할 수 있는 다양한 콘텐츠가 필요하나, 기술적 한계 등의 이유로 인하여 아직은 게임 등의 제한적 분야에서만 콘텐츠 개발이 이루어지고 있다. 완벽한 가상현실 콘텐츠는 아니지만 비교적 안정적으로 제공이 가능한 360° 영상기반 가상현실 콘텐츠 개발을 통해 가상현실 콘텐츠 부족현상을 완화시켜 소비자의 가상현실에 대한 관심을 지속시키고 해당 산업분야의 발전을 가져올 수 있다. 실사영상을 기반으로 시점을 자유롭게 변경하며 가상현실을 체험할 수 있는 가상현실 콘텐

츠 개발이 활성화되고 있으며 뉴스, 공연, 운동, 체험 등의 분야에서 다양한 실사영상 기반 가상현실 콘텐츠가 개발되고 있다. 하지만 아직은 360° 촬영장비의 특징을 반영한 역동적인 가상현실 콘텐츠 제작에 어려움을 갖고 있다. 이번 절에서는 역동적인 가상현실 콘텐츠 생성을 위해 드론을 활용한 영상 콘텐츠 제작 방법과 이와 관련된 응용서비스를 소개한다.

역동적인 360° 영상기반 가상현실 콘텐츠를 제작하기 위해서는 드론의 활용도가 높아지고 있는 추세이나 드론을 활용하여 360° 가상현실 콘텐츠를 제작하기 위해서는 해결해야 될 여러 기술적인 문제가 존재한다. 드론에 360° 촬영장비를 장착하여 가상현실 콘텐츠를 촬영할 경우 드론이 노출되는 문제가 발생하며 360° 촬영 장비에 적합한 짐벌(gimbal) 장치가 없어 안정적인 가상현실 콘텐츠 생성에 어려움이 있다. 움직이는 카메라를 통해 획득한 이미지에서는 모션 블러(motion blur)와 시차 오차(parallax error) 등과 인접 카메라에서 획득한 이미지 사이의 정렬 오류를 발생시킨다^[21,22]. 이러한 문제를 최소화하기 위해서는 사용하는 드론에 최적화된 카메라 리그 개발 및 리그에 적합한 스티칭 소프트웨어 개발이 필수적이다.

드론에 최적화된 360° 촬영 시스템 개발을 위해서는 다양한 요소가 고려될 수 있으나 본 연구



(a) 카메라 리그 세팅



(b) 360° VR 촬영 전용 드론

(그림 19) 360° 가상현실 콘텐츠 촬영 시스템

에서는 다음 요소를 중점적으로 고려하여 (주)서틴플로어 연구진과 함께 개발을 진행하였다.

- 360도 시야각 확보
- 데드존 최소화
- 드론 무게중심 분산을 통한 드론 컨트롤 문제 해결
- 상하좌우 이동 원활

- 후반작업 시간 최소화

개발된 시스템에는 카메라(HFOV = 220도, VFOV = 195도) 6개를 60도 간격으로 배치하여 360° 이미지를 획득할 수 있게 하였다. 구현된 시스템 리그 세팅과 구현된 예는 (그림 19)에서 확인할 수 있다.

개발된 시스템을 통해 획득한 6장의 이미지는 스티칭 과정을 통해 360° 콘텐츠로 생성된다. 기존의 상업용 스티칭 소프트웨어를 사용하는 대신 개발된 카메라 세팅에 적합한 이미지 스티칭 소프트웨어를 엔비디아 VR Works 360 SDK^[23]를 기반으로 개발하였다. 이미지 스티칭 과정의 첫 번째 단계는 고정된 카메라 세팅에 맞추어 칼리브레이션 작업을 진행 한다. 추정된 칼리브레이션 값을 기반으로 이미지를 보정한 후 블렌딩하는 과정을 통해 360° 이미지를 생성한다. 개발된 스티칭 소프트웨어를 통해 생성된 360° 이미지 예는 (그림 20)에서 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 모바일 가상현실 콘텐츠 생성 기술로 다중 레이어를 갖는 인터랙티브 360° VR



(그림 20) 드론에서 촬영된 이미지에 개발된 스티칭 기법을 적용하여 생성한 이미지 예

콘텐츠 표현을 제안하였다. 모바일 기반 HMD 상에서 구동 결과 지연시간 없이 실시간으로 인터랙션이 가능함을 확인할 수 있었다. 향후, 기계 학습을 이용한 보다 복잡한 360° 영상의 사전 레이어 구성 방법에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 물 표면 시뮬레이션과 물체를 변형하기 위한 힘 기반 인터랙션에 대한 실험결과를 제시하였지만, 영상의 시멘틱에 따라 다양한 속성을 지닌 인터랙션으로 확장될 수 있다. 이러한 방법은 360° 영상을 배경으로 하는 게임 또는 3D 모델을 합성한 혼합현실 콘텐츠로도 쉽게 확장될 수 있다. 영상기반 VR 콘텐츠 저작 기술로는 비전문가도 쉽게 사용할 수 있는 콘텐츠 저작 도구를 개발하였다. 이때 저작 단계에서부터 VR Sickness를 줄이기 위해 뇌파 데이터를 분석하는 방법을 개발하였다. 이외에도 가상현실 서비스를 위한 3D 그래픽스 표준화 동향에 대해 살펴보았다.

모바일 가상현실 시각 재생 기술로는 데스크탑에서 사용되는 고속 전역조명 기법을 모바일 환경으로 이식하는 방법에 대해 설명하였다. 또한, VR 시각 재생에 있어 사실감을 높일 수 있는 다양한 시각효과를 모바일 환경에서 고성능으로 수행할 수 있도록 엡샘플링 기반 후처리 기법을 개발하였다. 이러한 연구를 통해 데스크탑에 비해 연산 자원이 부족한 모바일 환경에서도 사실감 있는 다양한 시각 재생 기술을 실시간으로 수행하여 VR 환경에 대한 사용자의 몰입도를 크게 높일 수 있을 것이다. 가상현실 청각 재생 기술과 관련하여서는 여러 제품이 출시되고 있지만 아직 현실적인 체험 수준까지는 이르지 못하고 있다. 고품질 체감 수준의 가상현실을 위한 청각 재생 기술에는 가상공간의 생성과정부터 자연현상을 빠르고 정확히 반영해야하기 때문에 시장성이 매우 큰 분야로 기대된다.

모바일 가상현실 환경에서의 인터랙션은 크게

컨트롤러 기반, NUI 기반으로 나누어 볼 수 있다. 컨트롤러 기반의 인터랙션은 HMD로 인하여 외부에 대한 시야가 완전히 차단되는 가상현실에는 부합하지 않는 면이 있어, NUI 기반 인터랙션 기술 개발이 필요하다. NUI 기반 인터랙션으로는 바디 인식, 핸드 제스처 인식, 음성 인식, 시선 인식 등이 있는데, 대부분의 기술들은 PC 기반 리소스에 맞춰져 설계되었으며 모바일의 제한된 리소스에 맞는 핸드 제스처 인식 기술을 필요로 한다. 모바일 VR HMD의 보급과 콘텐츠의 다양성과 함께 사용자의 시선이 전적으로 차단되는 VR 환경에 맞는 인터랙션 기술의 개발이 필요하며, 이러한 인터랙션 기술들이 VR 콘텐츠 및 사용자의 경험에 맞추어 제공된다면 모바일 가상현실의 확산에 크게 도움이 될 것으로 판단된다.

역동적인 360° VR 콘텐츠 제작을 위해서는 드론을 활용한 촬영 시스템이 필수적이다. 드론 기반 VR 콘텐츠는 관광, 테마파크 등 실외 콘텐츠 개발에 주로 활용되고 있다. 실내 콘텐츠 개발로 활용범위를 확장하기 위해서는 드론의 안정성 향상과 소형 드론에 장착 가능한 리그 개발이 필수적이다. 소형 드론에 장착된 카메라를 기반으로 하는 VR 콘텐츠 제작 시스템을 활용하면, 실내외 환경에서 지금보다 다양한 VR 콘텐츠 개발 및 제공이 가능하게 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Choi, K, Yoon, Y.J. and Choi, S.M., "Interactive 360 VR contents with multiple layers for mobile devices", SMA 2018, Salamanca, Spain (2018).
- [2] Carnegie, K. and Rhee, T., "Reducing Visual Discomfort with HMDs Using Dynamic Depth of Field", IEEE Computer Graphics and

- Applications 35, 5 (2015), 34-41.
- [3] Yoon, Y.J., Shin, I.K., Jang, Y. and Choi, S.M., "Stereoscopic 3D Exploration of Freeform Architecture", Automation in Construction 46 (2014), 1-10.
- [4] Skybox 360/VR Tools, Mettler, <https://www.mettler.com/product/skybox-360vr-tools/>
- [5] 정대교, 유상봉, 홍순서, 장윤, "사용자 친화적인 VR 콘텐츠 제작도구", 한국 컴퓨터 그래픽스 학회 (2016).
- [6] Ty, J.F., Rodrigo, M.T. and Santos, M.C., "A Mobile Authoring Tool for AR Content Generation Using Images as Annotations", Philippine Information Technology Journal 7.1 (2016), 61-70.
- [7] Ritschel, T., et al., "Imperfect shadow maps for efficient computation of indirect illumination", ACM Trans. Graph. 27 (2008), 129:1-129:8.
- [8] Ritschel, T., et al., "Approximating dynamic global illumination in image space", SIGGRAPH (2009).
- [9] 노유리, 정유나, 이성길, "GPU 기반 후처리 알고리즘의 해상도 업스케일링 실험", KHCI (2018), 300-303.
- [10] Sergi, G., "Knocking at the door of cinematic artifice: Dolby Atmos, challenges and opportunities", The New Soundtrack, 3 (2013), 107-121.
- [11] <https://www.khronos.org/opensles/>
- [12] Nah, J.H., Kwon, H.J., Kim, D.S., Jeong, C.H., Park, J.H., Han, T.D., Manocha, D. and Park W.C., "RayCore: A ray-tracing hardware architecture for mobile devices", ACM Trans. Graph. 33 (2014).
- [13] <https://uploadvr.com/everything-need-know-google-daydream-vr-controller/>
- [14] <https://gest.co/technology>
- [15] <https://manus-vr.com/#product-anchor>
- [16] <https://vrscout.com/news/demo-samsung-gear-vr-rink-controllers/#>
- [17] <https://www.manomotion.com/>
- [18] <http://clayair.io/>
- [19] Keskin, C., Kirac, F., Kara, Y.E., Akarun, L., "Real-time hand pose estimation using depth sensors", Proceedings of Thirteenth IEEE International Conference on Computer Vision Workshops, ICCV (2011), 1228-1234.
- [20] Sridhar, S., Mueller, F., Oulasvirta, A. and Theobalt, C., "Fast and robust hand tracking using detection-guided optimization", CVPR (2015).
- [21] Brown, M. and Lowe, D.G., "Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features", International Journal of Computer Vision (2007).
- [22] Davis, J., "Mosaics of Screen with Moving Objects", International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (1998).
- [23] "VR Works - 360 Video," <http://developer.nvidia.com/vrworks/vrworks-360video>

저 자 약 력



최 수 미

이메일 : smchoi@sejong.ac.kr

- 1993년 이화여자대학교 전자계산학과 (학사)
- 1995년 이화여자대학교 전자계산학과 (석사)
- 2001년 이화여자대학교 컴퓨터학과 (박사)
- 2001년~2002년 이화여자대학교 컴퓨터그래픽스 가상현실 연구센터 연구교수
- 2008년~2009년 스위스 취리히연방공대 방문교수
- 2002년~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 정교수, 모바일 가상현실 연구센터(ITRC) 센터장
- 관심분야: 컴퓨터그래픽스, 가상현실, HCI



박 우 찬

이메일 : pwchan@sejong.ac.kr

- 1993년 연세대학교 컴퓨터과학과 (학사)
- 1995년 연세대학교 컴퓨터과학과 (석사)
- 2000년 연세대학교 컴퓨터과학과 (박사)
- 2000년~2001년 연세대학교 아식공동설계연구소 연구원
- 2001년~2003년 연세대학교 컴퓨터과학과 연구교수
- 2003년~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 교수
- 관심분야: 3D 렌더링 프로세서, 레이트레이싱, 병렬 처리 렌더링, 하드웨어 구조, ASIC 설계



이 종 원

이메일 : jwlee@sejong.ac.kr

- 1989년 Ohio University, Electrical and Computer Engineering (학사)
- 1991년 University of Wisconsin Madison, Electrical and Computer Engineering (석사)
- 2002년 University of Southern California, Computer Science (박사)
- 2002년~2017년 세종대학교 디지털콘텐츠학과 교수
- 2017년~현재 세종대학교 소프트웨어학과 교수
- 관심분야: 증강현실, 가상현실, HCI, 융합연구



김 용 국

이메일 : ykim@sejong.ac.kr

- 1982년 고려대학교 전기공학과(학사)
- 1984년 고려대학교 제어공학전공(석사)
- 1998년 캠브리지대학 컴퓨터비전전공(박사)
- 1984년~1984년 LG전자 중앙연구소 연구원
- 1984년~1989년 KT 전임연구원
- 1998년~2001년 미국 Smith-Kettlewell Vision Institute 연구원
- 2001년~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 정교수
- 관심분야: 컴퓨터 비전, 표정인식, 줄음운전인식, 드론 자율주행, 강화학습



장 윤

이메일 : jangy@sejong.ac.kr

- 2000년 서울대학교 전기공학부 (학사)
- 2002년 미국 Purdue University ECE (석사)
- 2007년 미국 Purdue University ECE (박사)
- 2007년~2009년 Swiss National Supercomputing Center 박사후 연구원
- 2009년~2011년 Swiss ETH Zurich 박사후연구원
- 2012년~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 부교수
- 관심분야: Visual Analytics, 빅데이터 분석 및 시각화, 컴퓨터 그래픽스



박 준

이메일 : jpark@hongik.ac.kr

- 1993년 서울대학교 계산통계학과 (학사)
- 2000년 University of Southern California, Computer Science (박사)
- 2001년~2002년 Rockwell Science Center / Post-doc Researcher
- 2002년~현재 홍익대학교 컴퓨터공학과 교수
- 관심분야: 가상/증강현실, HCI, 자연어처리



이 명 원

이메일 : mwlee@suwon.ac.kr

- 1981년 서울대학교 졸업 (학사)
- 1984년 서울대학교 대학원 계산통계학과 전산전공 졸업 (석사)
- 1990년 일본 동경대학 (The U. of Tokyo) 대학원 정보과학과 졸업(박사)
- 1990년~1993년 일본 Kubota Corp. 및 동경대학 (The U. of Tokyo) 연구원
- 1984년~1986년 데이콤연구소 연구원
- 1993년~1996년 KT 멀티미디어 연구소 선임연구원
- 1996년~현재 수원대학교 컴퓨터학부 교수
- 관심분야: 컴퓨터그래픽스, 가상현실, 애니메이션, 웹3D



이 성 길

이메일 : sungkil@skku.edu

- 2002년 포항공과대학교 신소재공학과 (학사)
- 2009년 포항공과대학교 컴퓨터공학과 (박사)
- 2009년~2011년 독일 Max-Planck-Institut Informatik 박사후연구원
- 2011년~2015년 성균관대학교 소프트웨어학과 조교수
- 2017년 네덜란드 Delft University of Technology 방문 교수
- 2015년~현재 성균관대학교 소프트웨어학과 부교수
- 관심분야: 컴퓨터그래픽스, 실시간 렌더링, VR, 고성능 GPU 컴퓨팅