

2022년 이브와 ICT멘토링 프로젝트 결과보고서

프로젝트명

haptic을 활용한 메타버스 실감교육 플랫폼 '메타블록'

요 약 본

프로젝트 정보	
주제영역	<input checked="" type="checkbox"/> 생활 <input type="checkbox"/> 업무 <input type="checkbox"/> 공공/교통 <input type="checkbox"/> 금융/핀테크 <input type="checkbox"/> 의료 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 <input type="checkbox"/> 유통/쇼핑 <input checked="" type="checkbox"/> 엔터테인먼트
기술분야	<input type="checkbox"/> IoT <input type="checkbox"/> 모바일 <input checked="" type="checkbox"/> 데스크톱 SW <input type="checkbox"/> 인공지능 <input type="checkbox"/> 보안 <input checked="" type="checkbox"/> 가상현실 <input type="checkbox"/> 빅데이터 <input type="checkbox"/> 자동제어기술 <input type="checkbox"/> 블록체인 <input type="checkbox"/> 영상처리
달성성과	<input type="checkbox"/> 논문게재 및 포스터발표 <input type="checkbox"/> 앱등록 <input type="checkbox"/> 프로그램등록 <input type="checkbox"/> 특허 <input type="checkbox"/> 기술이전 <input type="checkbox"/> 실용화 <input checked="" type="checkbox"/> 공모전(이브와 공모전 “동상” 수상) <input checked="" type="checkbox"/> 기타(IT 여성 기업인 협회 영남지회 “지역 이공계 우수 인재 표창” 수상)
프로젝트명	haptic을 활용한 메타버스 실감교육 플랫폼 '메타블록'
프로젝트 소개	<p>비대면 시대를 맞아 급성장하고 있는 메타버스의 실감기술을 바탕으로 하드웨어와 소프트웨어의 융합 플랫폼을 개발하여 인간의 감각기관과 인지 능력을 자극하고 실제와 유사한 경험을 할 수 있도록 한다. 블록 쌓기는 하나의 블록이 모여 보다 복잡한 사물이 탄생한다. 그 과정에서 사람들은 자신만의 개성을 표현하며 작품을 만들어낼 수 있다. 이를 통해 상상력과 창의력을 기를 수 있으며 스스로 무언가를 만들어내며 성취감을 얻을 수 있다. 따라서 촉감을 느낄 수 있는 햅틱 디바이스를 함께 제작하며 이를 활용한 실감 플랫폼 '메타블록'을 통해 더 생동감 있는 블록쌓기 놀이 및 교육을 실현하고자 한다.</p>
개발배경 및 필요성	<p>메타버스는 최근들어 많은 사람들에게 주목을 받고 있다. 하지만 현재 메타버스 시장은 3D게임 정도로만 구현되어 있다. 사람의 오감중 촉감을 만족하는 초실감 메타버스는 아직 찾아보기 힘들다. “메타블록”은 촉감을 더해 그 한계에 도전하고자 한다. 메타블록은 공간의 제약을 받지 않고 사용자의 두 손의 감각을 이용해 실제 블록놀이를 하는 듯한 경험을 할 수 있다. 블록을 쌓아 작품을 만들며 공간지각 능력 발달과 수학적 경험을 유도한다. 사용자의 창의성을 발휘해 자신만의 개성을 표현할 수 있도록 메타블록을 기획하였다.</p>
프로젝트 주요기능	<p>사용자의 손에 직접 착용할 수 있는 햅틱 디바이스 제공, 다양한 블록을 쌓을 수 있는 메타버스 가상 공간 제공, 사용자가 선택한 색상으로 블록 커스텀, 자유로운 블록 놀이 활동으로 자신만의 특별한 작품제작, 햅틱 디바이스의 다양하고 즉각적인 촉각 피드백을 통해 가상현실에서도 실제 블록을 만지는 듯한 경험을 제공한다.</p>
작품의 기대효과 및 활용분야	<p>메타블록을 통해 논리적 사고력, 특히 디지털적 사고방식과 문제 해결 능력 향상을 기대할 수 있다. 촉감요소를 첨가한 신개념 블록쌓기라는 점을 통해 창의성과 논리력을 기르고 뇌를 활성화시킨다. 더 나아가 촉각을 분석할 수 있는 인공지능 등 다양한 분야와 연계할 가능성이 높다. 또한 사용자들이 함께하는 블록도감 창작과 공유 등 무궁무진한 서비스확장이 가능하다. 메타버스와 햅틱 디바이스 기술의 연결을 통해 산업적으로 상품화가 가능하고 다양한 산업군에 적용하여 메타버스 산업을 성장시킬 수 있다.</p>

(본문) 프로젝트 결과보고서

I. 프로젝트 개요

가. 프로젝트 소개

- 비대면 시대를 맞아 급성장하고 있는 메타버스의 실감기술을 바탕으로 하드웨어와 소프트웨어의 융합 플랫폼을 개발한다.
- 인간의 감각기관과 인지 능력을 자극하고 실제와 유사한 경험을 할 수 있도록 한다. 블록 쌓기는 하나의 블록이 모여 보다 복잡한 사물이 탄생한다. 그 과정에서 사람들은 자신만의 개성을 표현하며 작품을 만들어나갈 수 있다.
- 이를 통해 상상력과 창의력을 기를 수 있으며 스스로 무언가를 만들어내며 성취감을 얻을 수 있다. 따라서 촉감을 느낄 수 있는 햅틱 디바이스를 함께 제작하며 이를 활용한 실감 플랫폼 ‘메타블록’을 통해 더 생동감 있는 블록쌓기 놀이 및 교육을 실현하고자 한다.

나. 개발배경 및 필요성

- 메타버스는 최근들어 많은 사람들에게 주목을 받고 있다. 하지만 현재 메타버스 시장은 3D게임 정도로만 구현되어 있다. 사람의 오감중 촉감을 만족하는 초실감 메타버스는 아직 찾아보기 힘들다. “메타블록”은 촉감을 더해 그 한계에 도전하고자 한다.
- 메타블록은 공간의 제약을 받지 않고 사용자의 두 손의 감각을 이용해 실제 블록 놀이를 하는 듯한 경험을 할 수 있다. 블록을 쌓아 작품을 만들며 공간지각 능력 발달과 수학적 경험을 유도한다. 사용자의 창의성을 발휘해 자신만의 개성을 표현할 수 있도록 메타블록을 기획하였다.

다. 작품 구성도

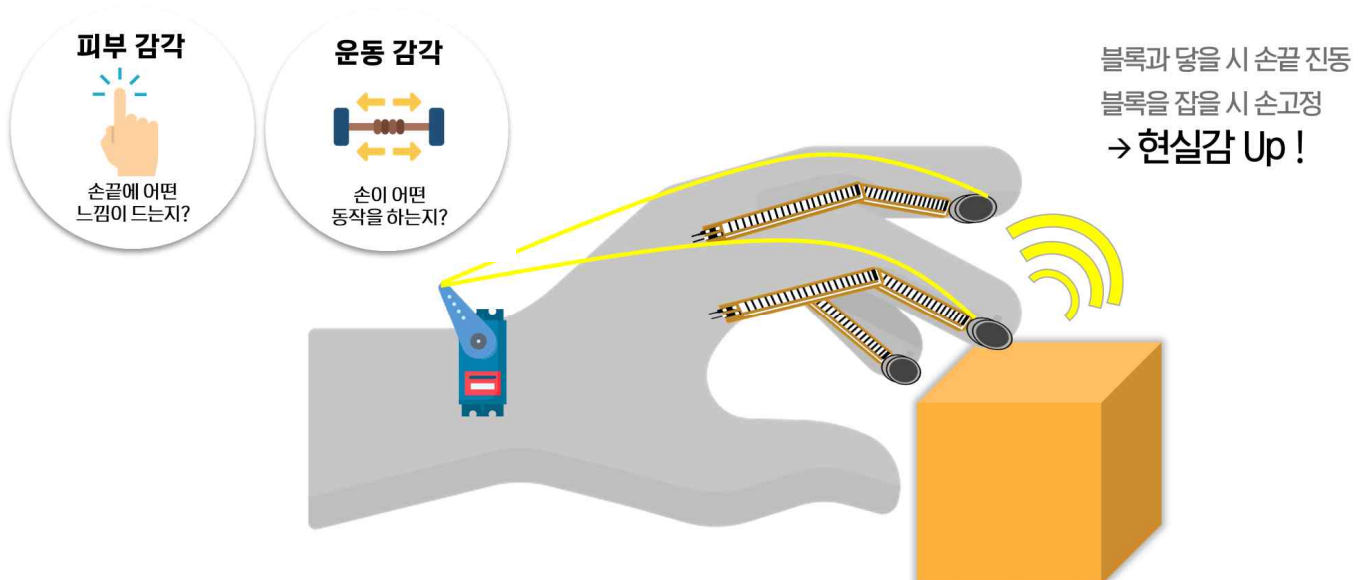
- 메타블록은 크게 메타버스와 아두이노로 구성된다. 메타버스에서 립모션을 이용해 사용자의 손을 시각화한다. 그 손으로 블록을 선택하고 생성할 수 있으며 블록을 잡고 쌓을 수 있다.
- 아두이노는 햅틱디바이스와 이동컨트롤러로 나뉜다. 메타버스에서 사용자가 블록을 잡으면 햅틱디바이스로 신호가 전달되고 동시에 햅틱디바이스가 다양한 촉감피드백을 제공한다. 이동컨트롤러는 조이스틱과 스위치버튼으로 구성된다. 사용자의 조작에 따라 메타버스로 신호가 전달되고 그신호에 따라 시야와 방향을 움직일 수 있다. 이는 블루투스통신을 통해 즉각적인 반응을 보여주기 때문에 불편함이 없고 어려운 조작방법 대신 하드웨어를 이용하여 사용성을 높였다.

메타블록의 구성도



라. 작품의 특징 및 장점

- 기존 3D 블록게임과 차별성: “마인크래프트”, ‘BlockStack3D’ 등 다양한 블록 게임이 존재하지만, 해당 제품은 터치스크린이나 마우스를 이용해 블록을 쌓는다. 하지만, ‘메타블록’은 단순한 터치나 클릭이 아닌 햅틱 디바이스를 착용하여 손으로 블록놀이를 할 수 있다. 실제 블록을 잡고 만지는 것처럼 생동감을 느끼고 공간의 제약없이 넓은 환경에서 블록 놀이를 할 수 있다.
- 촉각자극을 통해 몰입감, 현실감 극대화: 햅틱 디바이스를 제작해 손 끝에 어떤 느낌이 드는지와 같은 피부감각과 손이 어떤 동작을 하는지와 같은 운동감각을 재현하였다. 사용자의 핸드모션에 따라 다양한 햅틱피드백을 제공한다. 이를 통해 가상의 블록이지만 실제로 만지는 듯한 효과를 주어 몰입감을 극대화한다.



II. 프로젝트 수행결과

가. 주요기능

구분	기능	설명
S/W	사용자 손 모양 시각화	Leap Motion이 인식한 사용자의 손모양을 메타버스 상에서 실시간으로 시각화한다.
	블록 생성	사용자가 오른손바닥을 뒤집으면 해당 모션을 인식한 후 블록을 생성할 수 있는 팔레트가 보인다. 블록 생성시 사용자의 시야 안 랜덤한 위치로 하늘에서 블록이 떨어진다.
	블록 종류 선택	사용자가 블록 색깔 선택 팔레트에서 원하는 블록의 색상을 터치하면 선택된 색상의 블록이 생성되고 블루투스 통신을 통해 팔레트를 터치한 타이밍 정보를 Haptic device로 전송한다.
	블록 잡기	사용자가 시각화된 손을 이용하여 블록을 잡을 수 있다. 이때 블루투스 통신을 통해 블록을 완전히 잡은 정보를 Haptic device로 전송한다.
	블록 쌓기	사용자가 시각화된 손을 이용하여 블록을 집어 올려 이동을 할 수 있고 쌓을 수도 있다.
	블록 충돌 감지	시각화된 손과 블록이 충돌하는 것을 감지한다. 이때 충돌한 손가락 정보(tumb,index,middle,ring,pinky 다섯손가락)를 Haptic device로 전송한다.
	손 제스처 인식 및 상황별 인지 기능	클릭 제스처(검지 손가락만 펼치고 나머지 손가락은 접은 모션) 해당 제스처를 인식하였을 때 팔레트나 버튼들을 터치할 수 있는 모드로 전환된다. 블록잡기 제스처(모든 손가락을 다 접은 모션)을 인식시 손가락이 블록과 터치한 타이밍과 연관지어 블록을 잡았는지, 놓았는지, 잡고 이동 중인지를 상황별로 인지할수 있다.
H/W	피부 감각 재현	진동 모듈을 이용해 손가락 끝에 진동을 주어 촉감을 자극한다. 손가락별로 진동모듈이 작동된다. 사용자가 검지손가락으로 버튼을 누르거나 블록생성 동작을 할 때 진동피드백을 준다. 그리고 사용자가 블록놀이하면서 블록을 잡거나 옮기고 놓는 순간을 인지하여 접촉되는 손가락에 착각을 자극해 피부감각을 재현하였다.

	운동 감각 재현	손가락이 기울어진 정도를 수치로 계산하는 플렉스 센서를 이용해 블록을 잡는 순간을 인지한다. 그리고 서보모터를 동시에 작동시켜 강한 물리적인 힘으로 사용자의 순간 손모양을 고정한다. 블록 놀이를 할 때 햅틱 디바이스가 손 동작을 제어하여 운동 감각을 재현하였다.
	시야 이동과 방향 전환	조이스틱과 스위치버튼 2개를 이용하여 메타버스속 사용자의 시야와 방향을 움직일 수 있는 이동 컨트롤러를 제공한다. 조이스틱을 이용해 앞뒤좌우로 움직일 수 있고, 스위치 버튼을 이용해 위아래로 움직일 수 있다.

나. 프로젝트 개발환경

구분		항목	적용내역
S/W 개발환경	OS	Windows 11	Microsoft에서 개발한 운영체제로, 가장 대중적으로 널리 알려지고 가장 많이 사용되어 개발하는데 있어 불편함을 최소화한다.
	개발환경(IDE)	비주얼 스튜디오 (Visual Studio)	C#을 이용해 개발할 수 있는 환경이다.
	개발도구	Visual Studio, Unity 3D	Unity3D에서 C#을 주로 사용하여 이를 개발할 수 있는 tool로 비주얼 스튜디오를 사용하였다. 메타블록 가상공간 개발 tool로 유니티 에셋 스토어를 통한 Leap Motion과의 연동도 적용하였다.
	개발언어	객체 지향 프로그래밍 언어 C#	Unity3D 개발 언어로 Unity3D를 개발하는데 있어 가장 편리함을 준다.
H/W 구성장비	디바이스	Haptic Device, Leap Motion	사용자의 손가락 구부림의 정도 측정 및 촉감 제공을 위해 Haptic Device를 사용한다. 사용자의 손 모양을 인식하고 손 위치를 인식하기 위해 Leap Motion을 사용한다.
	센서 및 모듈	플렉서 센서, 진동 모듈, 서보모터, 조이스틱, 스위치버튼	손가락이 기울어진 정도를 수치로 계산해주는 모듈, 손가락에 진동을 주는 모듈, 물체 모양에 따른 손 모양을 고정하기 위한 모듈, 사용자 움직임을 컨트롤을 위한 모듈이다.
	통신	블루투스 통신	Unity3D와 아두이노 사이의 무선 통신을 위한 핵심요소이다.
	개발언어	C언어(아두이노)	아두이노의 소스코드는 C++언어를 기반으로 하기 때문에 C언어의 표준라이브러리 함수를 사용하기에 편리함을 준다.

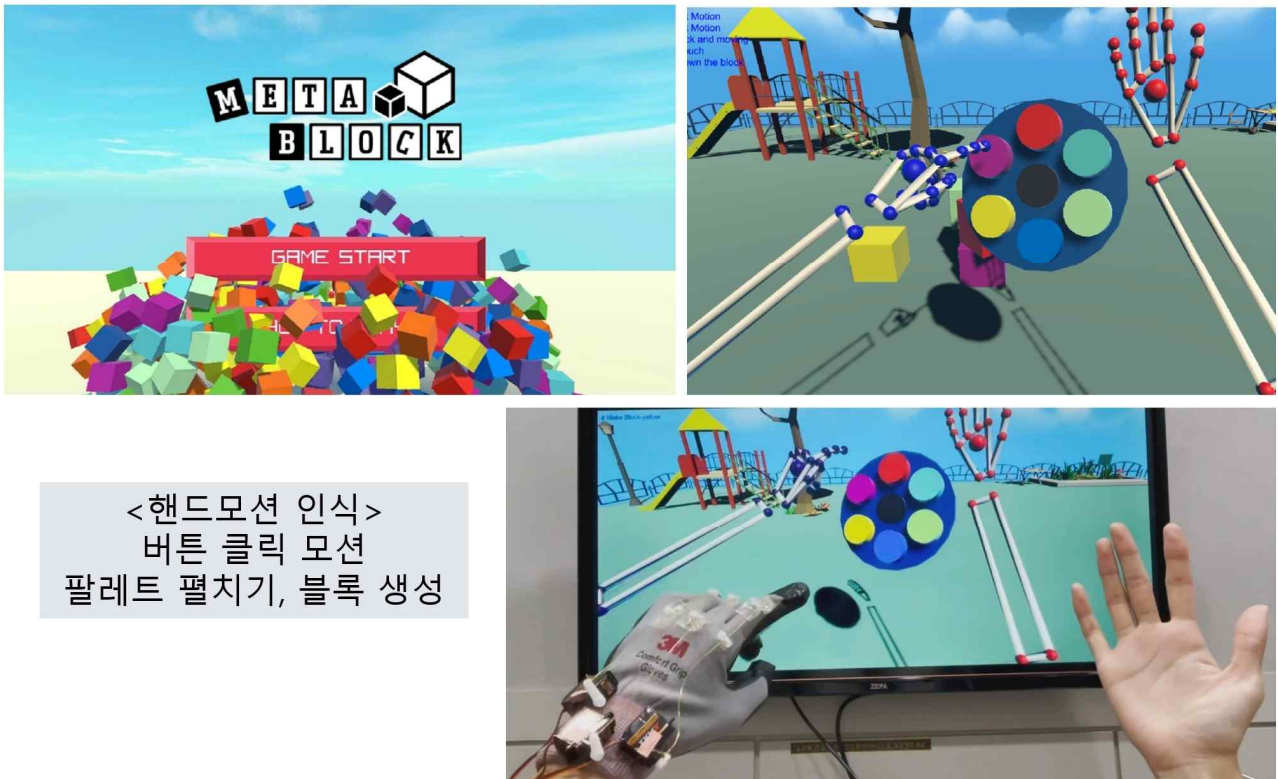
다. 장비(기자재/재료) 활용

번호	품명	작품에서의 주요기능
1	데스크탑	비주얼스튜디오, 유니티 등 메타버스 소프트웨어 프로그램 실행 및 하드웨어와의 통신 담당
2	아두이노 우노(R3)	메타버스와 통신하여 타이밍에 맞게 햅틱 장갑의 센서들을 작동시킴
3	립모션	메타버스 상에서 사용자의 손을 정밀하게 시각화 및 구현함
4	블루투스 모듈	메타버스와 Haptic device사이에서 사용자 행동에 따른 피드백 제공을 위해 타이밍 정보와 상황별 신호를 전달할 때 사용됨
5	진동 및 플렉스 센서,서보모터	햅틱 디바이스에서 사용자에게 상황에 따른 손 촉감을 자극시키고 실제로 블록을 잡은 듯한 경험을 제공함
6	조이스틱, 스위치 버튼	메타버스에 이동 타이밍 정보를 전송하여 타이밍에 맞게 메타버스 속 사용자의 시야와 방향을 움직임.
7	절연테이프, 와이어 스트리퍼	립모션의 손인식률을 높이고 사용자가 보다 편하게 햅틱 장갑을 이용할 수 있도록 햅틱 장갑에 부착된 전선을 자르거나 묶을 때 사용됨

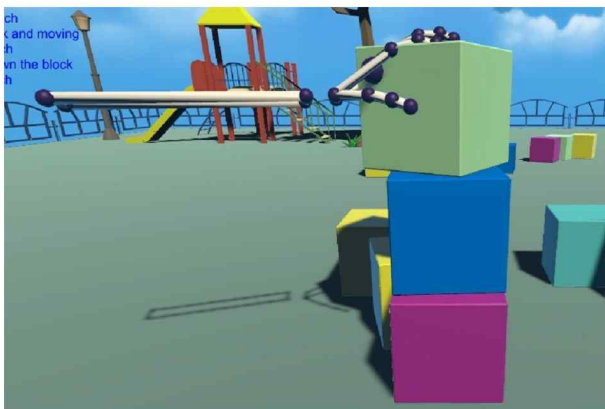
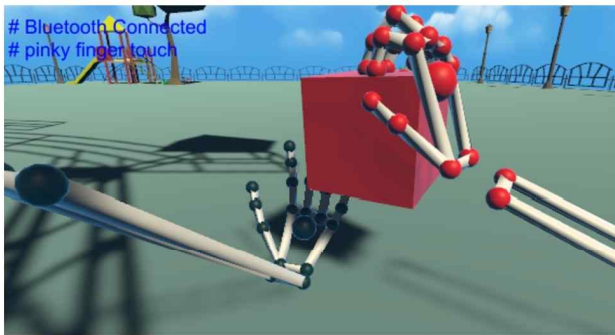
라. 프로그램 작동 동영상

- <https://www.youtube.com/watch?v=PJec90oPHjQ>

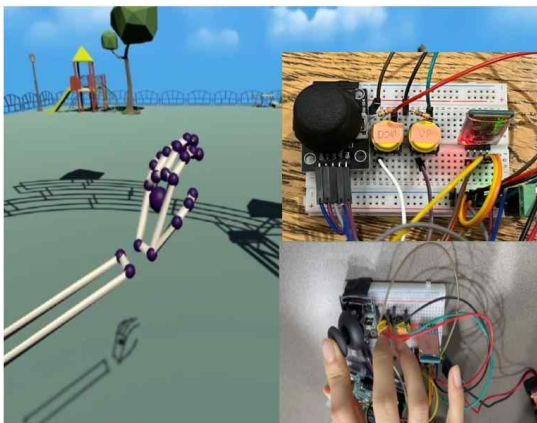
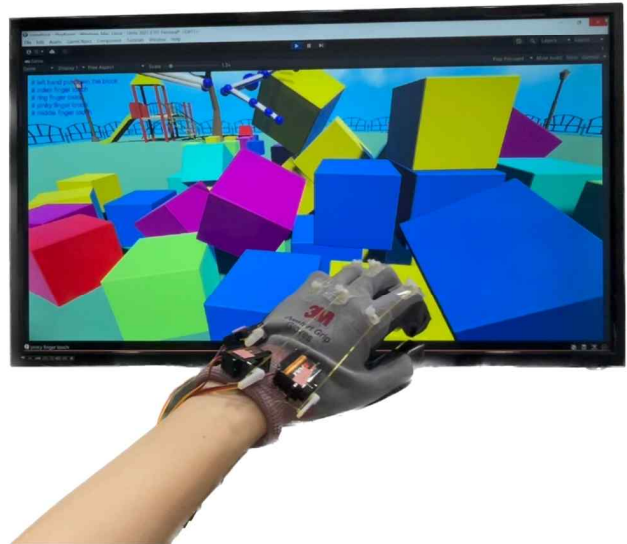
마. 결과물 상세 이미지



<핸드모션 인식>
버튼 클릭 모션
팔레트 펼치기, 블록 생성



<블록놀이>
블록 잡기, 들어올리기, 쌓기



햅틱 디바이스, 이동 컨트롤러



바. 달성성과

<input type="checkbox"/> 논문게재 및 포스터발표	게재(발표)자명	논문(포스터)명	게재(발표)처	게재(발표)일자
				2022. 00. 00.
<input type="checkbox"/> 앱(APP) 등록	등록자명	앱(APP)명	등록처	등록일자
				2022. 00. 00.
<input type="checkbox"/> 프로그램 등록	등록자명	프로그램명	등록처	등록일자
				2022. 00. 00.
<input type="checkbox"/> 특허/실용신안 출원	출원자명	특허/실용신안명	출원번호	출원일자
				2022. 00. 00.
<input type="checkbox"/> 기술이전	기술이전기업명	기술명	금액	이전일자
				2022. 00. 00.
<input type="checkbox"/> 공모전	구분(교내/대외)	공모전명	수상여부(출품/수상)	상격
	대외	2022 이브와 ICT멘토링 공모전	수상	동상
<input type="checkbox"/> 실용화	#실용화한 내용에 대한 구체적 작품설명			
<input type="checkbox"/> 기타	제14회 WIT 리더 컨퍼런스&시상식 : 2022년 지역 우수 이공계 인재 표창 - (사)IT여성기업인협회 영남지회 주최한 WIT리더 컨퍼런스&시상식에서 11월23일날 프로젝트 발표 후 박지연 외 팀원 4명 모두가 지역 우수 이공계 인재로 발탁되어 표창장을 받음.			

Ⅲ. 프로젝트 수행방법

가. 업무분장

번호	성명	역할	담당업무
1	김민희	멘 토	멘토님의 풍부한 이브와 멘토링 경험과 지식을 바탕으로 멘티들을 지도하며 조언.
2	박창현	지도교수	프로젝트 방향성 조언과 진행 검토.
3	박지연	팀 장	전반적인 소프트웨어 개발 및 프로젝트 관리
4	나유경	팀 원2	하드웨어 제작 및 보수, 메타블록 테스터
5	전인서	팀 원3	하드웨어 제작 및 보수, 메타블록 맵 구성
6	오은아	팀 원4	개발 보고서 문서 작성 및 그 외 보조
7	이경주	팀 원5	메타블록 로고 디자인 및 그 외 보조

나. 프로젝트 수행일정

구분	추진내용	수행일정									
		3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	
계획	이브와 프로젝트 개설 준비										
	이브와 프로젝트 수행계획서 제출										
	프로젝트 인원 별 역할과 계획 수립										
분석	Unity3D 이론 학습										
	haptic device 사용법 학습										
	블록쌓기 알고리즘 이해										
설계	메타버스 가상세계 prototype 설계										
	Haptic device 기능 설계										
	상세설계서 제작										
개발	블록쌓기 알고리즘 개발										
	메타버스 가상세계 제작										
	Haptic device 기능 개발										
테스트	기능 테스트										
	베타 테스트										
종료	이브와 프로젝트 완료 보고서										
오프라인 미팅	팀원 간 정기적인 오프라인 미팅										

다. 문제점 및 해결방안

○ 프로젝트 관리 측면

- 우리 팀은 Git Hub를 주로 이용하여 팀원간 unity3D프로젝트 파일을 공유했다. 하지만 커밋과 푸시를 반복하던 와중 팀원간 커밋 순서가 엇갈려 파일이 섞이는 문제가 종종 발생했다.
- ▶ Git Hub에서 자신의 파일을 푸시를 하기 전에 다른 팀원이 푸시한 파일이 있는지 확인하였고 이를 통해 커밋 순서 문제를 해결할 수 있었다. 일관성 있는 프로젝트 공유로 인하여 프로젝트 작업 효율이 증가하였다.

- Haptic Device 제작을 위한 부품들의 배송지연 및 예상치 못한 기기고장 때문에 프로젝트 관리에 차질이 있었다.

▶ 배송 지연된 부품없이 할 수 있는 일들을 우선적으로 처리하였다. 메타버스에서 블럭이동, 쌓기 및 UI버튼 만들기 등을 먼저 완성한 덕분에 부품이 배송되자마자 Haptic device 제작 작업을 수행할 수 있었다. 프로젝트 수행 도중 발생한 기기고장은 다음 실습장비 신청때 신청하거나 사비로 구입하였다. 해당 문제점은 프로젝트 관리 측면에서 치명적이었으나 저희 팀은 문제에 유연하게 대처하여 진행 속도를 계획에 맞게 끌어올릴 수 있었다.

○ 작품 개발 측면

- 립모션의 부족한 사용사례와 참고자료로 프로젝트에 필요한 부분을 찾아서 적용하는 것에 대한 어려움을 겪었다.

▶ 부족한 참고자료들을 보완하기 위해 각종 논문 자료들과 유튜브 자료들을 총 동원하였다. Leap Motion에서 제공하는 예셋의 코드를 살펴보고 직접 사용법을 익히기도 하였습니다. 팀원들과 협력하여 필요한 부분 및 문제점을 찾으면서 시행착오를 겪은 끝에 Leap Motion과 Unity3D를 연동하고 “메타블록”의 기능들을 성공적으로 구현하였다.

- 립모션의 인식 정확도의 문제로 인한 정확한 서비스 구현에 애로사항을 겪었다.

▶ 립모션 자체의 정확도를 높이는 것은 불가능했으나 Unity3D상에서 여러 설정값 및 코드변경을 통해 메타버스 상에서 보다 정확하게 사용자의 손모양을 시각화하는 것은 가능했다. 저희 팀은 기기 자체의 문제에 좌절하지 않고 실제 “메타블록”을 사용하는 공간이 메타버스임에 주목하여 사용자 입장에서 사용자의 손모양을 보다 정확하게 시각화할 수 있었다.

- 손 제스처 기반 블록생성 기능에서 매끄럽지 못한 동작 수행의 문제점을 겪었다.

▶ 우리는 블록생성의 낮은 정확성이 립모션의 Button UI clicked 함수의 낮은 인식율 때문임을 알게되었고 이를 해결하기 위해 검지손가락 끝의(index tip) 충돌 발생 함수를 활용하여 TouchDetector라는 자체적인 클래스를 생성하였다. 이를 통해 검지만 펼쳐진 클릭 제스처 상태에서 팔레트를 터치해 다양한 색상의 블록을 매끄럽게 생성할 수 있게 되었다.

- 블록잡기 동작시 햅틱 피드백을 위한 타이밍정보 인지의 문제점을 겪었다.

▶ 기존의 블록잡기 동작에서는 진동 피드백을 주기위해 블록과 손가락이 충돌한 타이밍을 단순히 활용했었다. 현실성을 높이기 위해 블록을 잡을 때 주먹을 쥐는 제스처 인식을 추가했다. 이를 통해 블록을 잡은 타이밍, 블록을 잡고 있는 상태,

블록을 놓는 타이밍을 더 현실적이고 구체적으로 감지할 수 있게 되었다.

- 햅틱기술의 정보와 기술력이 한정적이어서 정확한 촉감기능을 구현하는 것에 어려움이 있었다.
- ▶ 우리팀은 얼마되지 않는 타 햅틱장갑의 기능을 조사한 뒤 우리팀의 기술로 실현 가능할 것 같은 기능들을 골라 촉감 기능을 구현하기로 결정하였다. 손가락 촉감은 진동모듈로, 마치 블록을 잡은듯한 느낌은 서보모터로, 손의 기울임은 플렉스 센서로, 손 모양의 시각화는 립모션을 이용하였다. 그 결과 사용자에게 보다 정확하고 생동감 있는 촉감을 느끼게 하는것에 성공하였다.

IV. 기대효과 및 활용분야

- 사회학습의 기회, 수학적 경험, 공간지각 능력 발달 등 블록놀이의 교육적 효과를 기대할 수 있다. 그리고 가상의 메타블록을 통해 사용자의 논리적 사고력, 특히 디지털적 사고방식과 문제 해결 능력 향상을 기대할 수 있다.
- 촉감요소를 첨가한 신개념 블록쌓기라는 점을 통해 창의성과 논리력을 기르고 뇌를 활성화시킨다. 더 나아가 촉각을 분석할 수 있는 인공지능 등 다양한 분야와 연계할 가능성이 높다.
- 또한 사용자들이 함께하는 블록도감 창작과 공유, 미션 퀘스트맵 생성 등 무궁무진한 서비스확장이 가능하다. 메타버스와 햅틱 디바이스 기술의 연결을 통해 산업적으로 상품화가 가능하고 다양한 산업군에 적용하여 메타버스 산업을 성장시킬 수 있다.

V. 참고자료

가. 참고 및 인용자료

- 블록놀이, 게임 활용 교육 관련 논문
 - 쌓기놀이에서 나타나는 2세 영아의 비형식적 수학 경험- 임수빈 (한국교육문제연구 제 31권 제2호, 43-66, 2013)
 - 블록놀이가 뇌성마비 아동의 시공간적 기억능력과 소근육 기능 향상에 미치는 영향 -유연호 (대구미래대학교)
 - 가상현실공간게임을 활용한 수학 수업이 공간감각과 수학 정의적 영역에 미치는 영향 - 김예림, 장혜원(대한수학교육학회지 <학교수학> 제22권 제1)
 - 샌드박스형 게임을 활용한 게임기반 학습이 학생들의 창의적 문제해결력과 학습몰입도에 미치는 영향

-전인성 (정보교육학회논문지 제20권 제3호)

○ 립모션 관련 공식 사이트 및 깃허브, 활용 사례 논문

<https://www.ultraleap.com/product/leap-motion-controller/>

<https://developer.leapmotion.com/>

<https://github.com/leapmotion>

LeapMotion을 이용한 수화인식 시스템의 관한 연구(A Study on Sign Language Recognition System Using LeapMotion) -한국정보처리학회 2017년도 추계학술발표대회 2017 Nov. 01 , 2017년, pp.1041 - 1044

○ 초실감 메타버스 시장 및 햅틱 자료 조사

“오감을 만족시켜라” ... ‘초실감형’에 집중하는 메타버스

<https://www.edaily.co.kr/news/read?mediaCodeNo=257&newsId=03489926632196736>

메타버스의 미래, 초실감 기술- 오감 만족 XR 기술이 펼쳐는 새로운 세상

<http://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=29015>

코로나 거리 두기로 촉감 중요성 부각... “햅틱 응용 세계 시장 2026년 10兆 전망”

<https://biz.chosun.com/industry/company/2021/06/14/K6MRALANAJHDK3PG7NXSMDFFU/>

온도 · 향기 · 감촉까지 생생하게...차원 다른 ‘리얼 메타버스’가 온다

<https://www.mk.co.kr/news/it/9971685>

촉감을 원격으로 전달한다? 메타버스 시대의 몰입기술, ‘텔레햅틱’

<https://news.samsungdisplay.com/28193>