

프로젝트 최종 결과보고서

팀명	1조 (VRIS Brothers)				
프로젝트명	자동화된 시스템에서의 사용자 개입 가능한 VR 관제 시스템				
팀 구성원		학과	학번	이름	수행 역할
	팀장	기계공학부	2024-12538	박상원	통신 및 로봇 소프트웨어 개발
	팀원	기계공학부	2024-17482	권태영	로봇 하드웨어 개발
	팀원	기계공학부	2024-11696	김민준	카메라 및 로봇 제어 인터페이스 개발
	팀원	컴퓨터공학부	2021-13843	김준희	시뮬레이션 로봇, 소리, Event1 개발
	팀원	자유전공학부	2017-14117	노현재	일부 UI 및 Event2 개발
	팀원	컴퓨터공학부	2023-19569	현재민	Event3 개발

1. 프로젝트 요약

본 프로젝트는 물류 센터 등의 자율주행 시스템 운용 중 발생하는 예외상황을 해결하기 위한 **VR 기반 원격 개입 시스템(VR Intervention System, VRIS)** 개발을 목표로 한다. 기존 2D 관제 시스템의 한계를 극복하기 위해 몰입도 높은 VR 인터페이스를 도입하였으며, Unity 기반 시뮬레이션과 ROS2 기반 실물 로봇 하드웨어를 연동하여 시스템을 구축하였다. 이를 통해 평상시에는 로봇이 자율주행을 수행하고, 비상시에는 원격 오퍼레이터가 직관적으로 개입하는 **Human-in-the-loop** 운용 방식의 기술적 실현 가능성을 검증한다.

2. 프로젝트 목표

2.1. 프로젝트 제안 배경 및 필요성

자율주행 기술은 비정형 도로, 기상 악화, 돌발 장애물 등 예측 불가능한 상황에서 여전히 기술적 한계를 보인다. 이러한 모든 예외 상황을 알고리즘으로 처리하는 것은 비용과 복잡도를 크게 증가시키므로, 평상시의 자율주행과 비상시 원격 제어가 결합된 유연한 관제 시스템이 필수적이다. 이에 현장감을 극대화할 수 있는 VR 기술을 도입하여 직관적이고 신속한 대처가 가능한 관제 솔루션을 제안한다.

2.2. 세부수행 목표

- VR 통합 관제 인터페이스 구축:** 여러 로봇의 위치와 상태를 모니터링하고, 이상 발생 즉시 1인칭 시점으로 전환하여 제어권을 가져오는 UI 구현
- Unity 시뮬레이션 시나리오 검증:** 낙석, 시야 제한, 돌발 장애물, 어린이 보호구역 등의 돌발 상황을 가상 환경에 구현하여 개입 로직과 시나리오 검증
- 실물 로봇 하드웨어 및 통신 최적화:** ROS2 기반의 2륜 로봇 제작 및 WebRTC/TCP Socket 하이브리드 통신을 적용하여, 지연시간을 최소화하는 영상 전송 및 실시간 원격 제어 실현

3. 수행 내용

3.1. 전체 시스템 설계 및 운용 프로세스

본 시스템은 Unity 기반 가상 시뮬레이션과 ROS2 기반 실제 로봇이 유기적으로 연동되는 Human-in-the-loop 아키텍처로 설계되었다. 시스템 운용은 '모니터링(Monitoring) -> 에러 감지(Detection) -> 원격 개입(Intervention) -> 자율주행 복귀(Return)'의 순환 구조를 따른다.

- **VR 관제 스테이션:** 오퍼레이터는 통합 관제실에서 다수 로봇의 상태를 확인하고, 이상 감지 시 해당 로봇의 1인칭 제어실로 텔레포트하여 현장감을 확보 후 제어권을 인수한다.
- **로봇 제어권 전환:** 로봇은 평상시 자율주행(Auto)을 수행하지만, 비상 시 오퍼레이터의 VR 컨트롤러 입력이 감지되면 즉시 수동 조작 모드(Manual)로 전환되어 정밀 원격 제어를 수행한다.

3.2. 시뮬레이션 시나리오

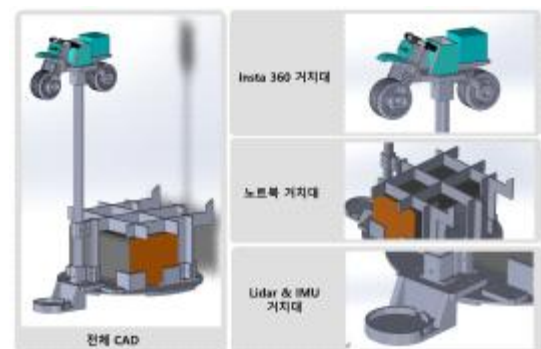
자율주행 알고리즘만으로는 해결하기 어려운 예외상황 3가지를 선정하고, VR 기반의 해결 로직을 설계하였다.

- **Event 1 (비정형 도로 및 환경 변수):** 악천후 및 센서 한계 상황에서 시각적 정보로 장애물을 인지하고 회피
 - Scenario Flow: 비정형 도로 진입 에러 발생 -> 낙석(동적 장애물) 회피 -> 안개(시야 제한) 구간 통과 -> 야생동물(돌발상황) 회피 주행 -> 목적지 도착 및 배달 완료
- **Event 2 (돌발적 경로 차단):** 기존 지도(HD Map) 폐쇄 시, 오프로드를 이용한 유연한 우회
 - Scenario Flow: 쓰러진 나무로 도로 차단 확인 -> 전진 불가 알림 -> 1인칭 진입 후 잔디밭(Off-road)으로 우회 주행 -> 도로 복귀 및 배달 완료
- **Event 3 (어린이 보호구역):** 예측하기 어렵고 돌발 행동이 빈번한 고위험 구역에서 오퍼레이터가 직접 서행 통과
 - Scenario Flow: 스쿨존 진입 알림 -> 자동 정지 및 개입 요청 -> 아동의 돌발 행동(무단횡단 등)을 주시하며 서행 통과 -> 스쿨존을 벗어나면 자율주행 복귀

3.3. 실제 로봇 하드웨어 및 시스템 구축

3.3.1. 하드웨어 플랫폼 설계

- **이동 플랫폼:** 평면 기동성이 우수한 이륜구동 방식을 선택하였으며, 제작 효율성을 위해 로봇 청소기 프레임을 개조하고 후면 지지대를 부착하여 주행 밸런싱을 확보하였다.
- **센서 배치:** 제어용 노트북을 차체 중앙에 배치하여 무게중심을 잡았고, SLAM 정밀도를 위해 2D LiDAR와 IMU를 전면에 배치하였다. 특히 VR 오퍼레이터의 시야 간섭을 최소화하기 위해 Insta360 카메라를 전용 마운트를 통해 최상단에 배치하였다.

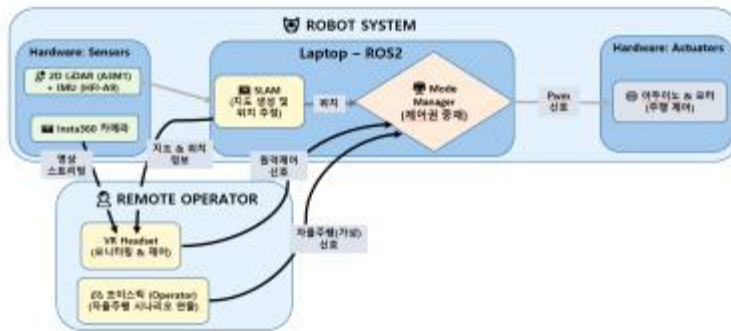


로봇 CAD

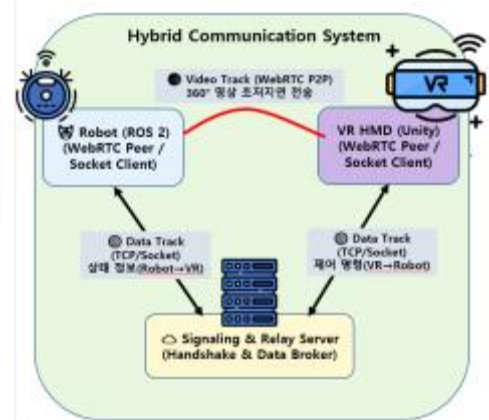
• Specifications

- Computing: Laptop (RTX 3070, Ubuntu 22.04, ROS2 Humble)
- MCU & Sensors: Arduino UNO(Motor), RPLidar A3M1, HFI-A9 IMU, Insta360 3

3.3.2. 시스템 아키텍처 및 통신



로봇 시스템 다이어그램



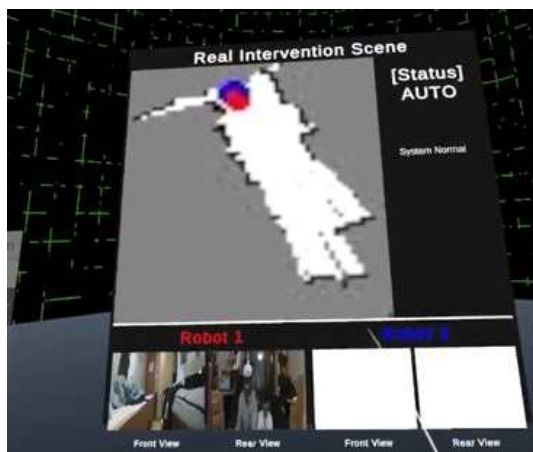
통신 시스템 다이어그램

- **제어 아키텍처:** ROS2 환경에서 SLAM을 통해 실시간 지도를 작성하여, 자체 개발한 Mode Manager 노드를 통해 자율주행 신호와 VR 개입 신호를 안전하게 중재하는 통합 제어 구조를 구축하였다.
- **하이브리드 통신:** 원격 관제의 핵심인 실시간성과 데이터 신뢰성을 동시에 확보하기 위해 통신 채널을 이원화하였다.
 - ♦ **Video Track:** 중계 서버를 거치지 않는 WebRTC P2P 방식을 적용하여 지연시간을 200ms 미만으로 단축, 오퍼레이터의 멀미를 최소화하였다.
 - ♦ **Data Track:** 제어 신호와 로봇 상태 정보는 TCP 소켓을 통해 손실 없이 동기화하여 정밀한 원격 제어를 구현하였다.

4. 수행 결과

4.1. VR 관제 시스템 구현 결과

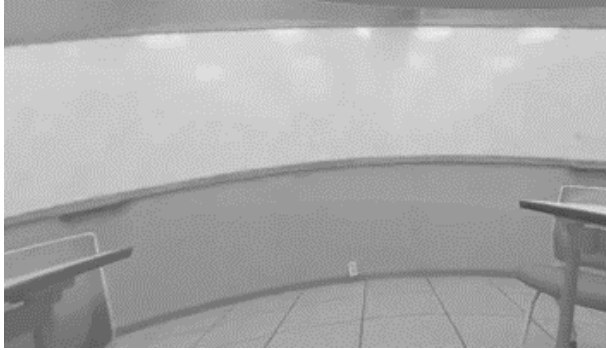
Unity 상에서 통합 관제실(Monitoring Room)과 1인칭 제어실(Control Room)을 구현하였으며, WebRTC를 통해 실시간 360도 영상이 VR에 투영되는 것을 확인하였다. 또한 로봇에서 예외상황이 발생하여 사용자 개입이 필요한 경우 사용자가 즉시 알아차릴 수 있는 것을 확인하였다. (왼쪽: 실제 로봇과 연동한 모습 / 오른쪽: 시뮬레이션 환경)



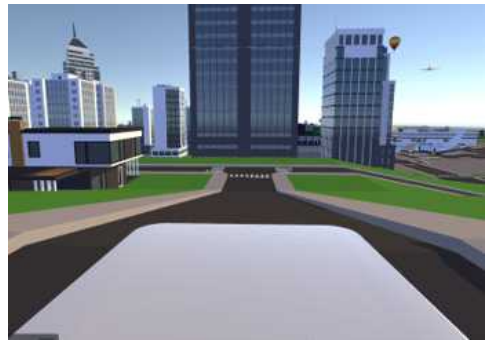
Monitoring Room 사진1.



Monitoring Room 사진2



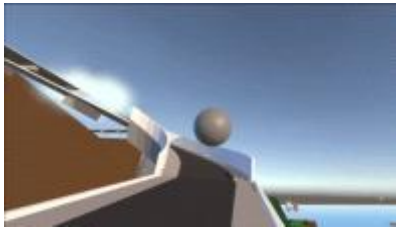
Control Room 사진 1



Control Room 사진 2

4.2. 시나리오 테스트 결과

설계한 3가지 예외 상황에서 자율주행 로봇이 한계에 봉착했을 때, VR 오퍼레이터가 개입하여 미션을 완수하는 과정을 검증하였다. (각 로봇의 예외상황은 통합 관제실에서 패널 오른쪽의 Trigger Event 버튼을 눌러서 발생시키도록 구현되어 있다.)



Event1: 낙석



Event1: 안개로 인한 시야 제한



Event1: 갑작스러운 야생동물 출현



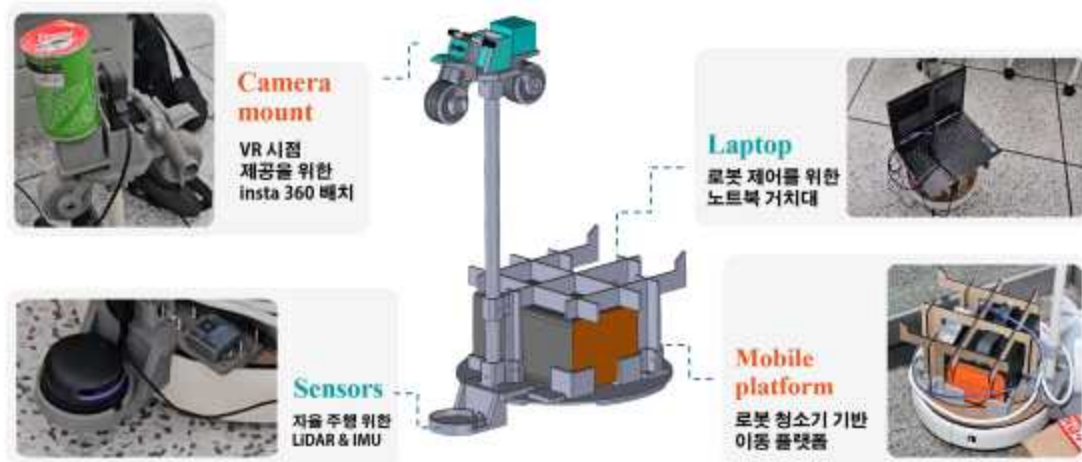
Event2: 도로를 막고있는 나무



Event3: 어린이 보호구역의 어린이들

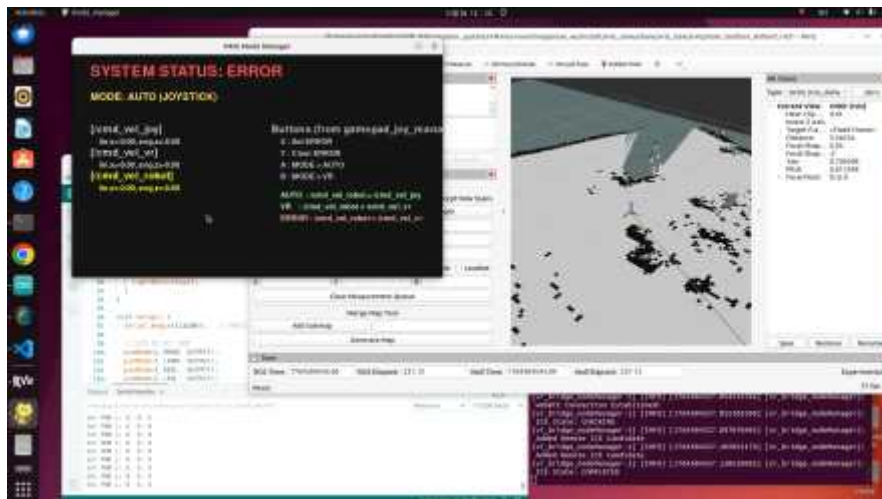
4.3. 실제 로봇 제작 및 구동 결과

- **하드웨어 제작 결과:** 요구되는 모든 부품이 정상적으로 탑재되었으며, 각 부품이 의도한 대로 제어됨을 확인하였다.



로봇 전체 CAD 및 각 부품별 실제 사진

- **통신 및 자율주행 연동 테스트:** SLAM을 이용한 실시간 매핑(Mapping) 과정과 자체 개발한 Mode Manager 인터페이스가 통합되어 작동하고 있으며, 터미널 로그를 통해 VR 관제 시스템과의 P2P 통신 연결이 안정적으로 유지됨을 확인하였다.



로봇 메인 시스템의 구동 화면 캡처

5. 기대효과 및 수행 후기

5.1. 기대효과 및 활용방안

- **운용 효율 및 안전성 극대화:** 1인 오퍼레이터가 다수 로봇을 관제하여 인력을 절감하고, 위험 지역 투입 로봇을 원격으로 제어함으로써 작업자의 안전을 확보한다.
- **확장성:** 개발된 VR 통신 모듈과 인터페이스는 배송 로봇뿐만 아니라 무인 지게차, 국방용 드론, 스마트 팜 등 다양한 무인 이동체 관제 시스템에 범용적으로 적용 가능하다.

5.2. 수행 후기

박상원	단순한 기능 구현을 넘어, 개발한 기술이 실제 현장의 문제를 해결하는 데 어떻게 적용될지 상상하며 프로젝트에 임할 수 있어 매우 뜻깊었다. 특히 Unity(C#)와 ROS2(Python/C++)라는 이질적인 시스템을 TCP/WebRTC로 직접 연동하는 풀스택 개발 과정을 통해, 하드웨어와 소프트웨어를 아우르는 시스템 통합 능력을 크게 기를 수 있었다. 비록 이번에는 로컬 네트워크 환경을 기반으로 개발했지만, 향후 광역 통신망으로 확장해보고 싶은 생각이 있다. 무엇보다 기계공학과 컴퓨터공학 팀원 간의 긴밀
-----	--

	한 협업으로 기술적 간극을 매우며 엔지니어로서의 시야를 넓히는 즐거운 경험이었다.
권태영	기존에는 VR기기 및 응용 프로그램들의 활용이 현실에서의 효용을 창출하기에 제한적이라는 생각을 가지고 살아왔었는데, 수업을 들으며 어떻게 하면 보다 유용하게 VR을 사용할 수 있을지를 고민하게 되었습니다. 이러한 고민을 프로젝트 설계와 구현 과정에 적극 반영함으로써, VR을 활용한 시스템이 단순한 실습을 넘어 실제적인 가치와 의미를 담아낼 수 있음을 확인할 수 있었습니다. 또한, 서로 다른 전공을 가진 팀원들이 각자의 강점을 살려 역할을 분배하며 프로젝트를 진행함으로써, 평소에는 시도하기 어려웠던 영역까지 함께 개발할 수 있었습니다. 이를 통해 협업의 중요성과 함께, 다양한 관점이 결합될 때 발생하는 시너지 효과를 체험할 수 있었으며, 협업의 효용과 의미를 깊이 느낄 수 있었습니다.
김민준	아직 VR 기반 응용 기술의 개발과 상용화가 산업 현장에서 충분히 채택되지 못한 상황에서, 본 프로젝트는 산업용 VR 시스템의 사례를 모델링하고 이를 프로토타입으로 구현하는 것을 목표로 했다. 그 결과, 향후 활용 필요성을 바탕으로 VR 기반 통합 제어 시스템의 가치와 필요성을 설득력 있게 설명할 수 있는 결과물을 도출했다고 생각한다. 개인적인 측면에서는 Unity 개발 환경과 실제 물리적 시스템과 연결, 그리고 사용자 중심의 제어 인터페이스와 로직을 어떻게 설계하는 것이 좋은지 고민하는 과정들이 보람있었다.
김준희	이번 프로젝트는 VR 기술이 단순히 게임이나 엔터테인먼트의 영역을 넘어, 실제 산업 시스템을 제어하는 인터페이스로 확장될 수 있음을 확인하고 프로토타입을 직접 구현해 본 매우 뜻깊은 기회였다. 시뮬레이션 환경을 구축하는 과정에서 '사용자에게 어떤 UI 요소가 필수적인가', 'VR의 몰입감이 원격 제어 효율성에 어떤 실질적 이점을 주는가'를 고민하며 사용자 중심의 설계를 경험할 수 있었다. 그리고 팀원들이 실제 로봇 하드웨어와 Insta360 카메라를 연동하는 과정을 옆에서 지켜보며 소프트웨어와 하드웨어의 결합의 가치를 실감했습니다. VR/AR 기술을 하드웨어와 융합된 통합 솔루션 관점에서 바라보게 해주었으며, 엔지니어로서의 시야를 크게 넓혀주는 경험이었습니
노현제	VR 기기의 활용법을 고민하며 시스템을 설계하는 과정이 흥미로웠다. 우리 프로젝트에서는 실제 하드웨어까지 직접 만들어서 개발했는데, 이 부분 특히 신선했으나, 깊게 참여하지 못해 아쉬움이 남는다. 또한 UX를 충분히 향상시키지 못한 것도 아쉽지만, 사용자 입장에서 생각하며 UI나 시스템을 디자인하는 것도 좋은 경험이었다.
현재민	처음에는 Unity 안에서만 작업할 생각을 하고, 현실과 연관지어서 무언가를 한다는 것은 생각하지 못했습니다. 그런데 기계공학과 분들이 '자율주행 로봇에 개입하여 수동으로 조작하는 시뮬레이션'이라는 주제를 들고 왔을 때는 상당히 놀랐습니다. 컴퓨터공학과와 시각에서는 생각하지 못한 주제였기 때문입니다. 당시에는 작업량만 많아지는 과감한 결정이었다고 생각했지만, 지금 와서 돌이켜보면 탁월한 선택이었던 것 같습니다. 프로젝트를 진행하면서 git을 이용해 분업하고, Unity의 인터페이스에 적응하다 보니 어느새 프로젝트에 애정을 가진 자신을 발견할 수 있었습니다. 화면 안에서뿐만 아니라 현실의 문제에도 직접적으로 영향을 끼칠 수 있는 프로젝트를 하면서 VR의 가능성과 의미를 느낄 수 있었습니다.

6. 최종 결과물 첨부 자료

첨부1. 발표자료 PPT 파일

첨부2. 발표영상

첨부3. 시연영상

첨부4. APK 파일