

터널 내 레일 로봇의 실시간 모니터링 및 협동을 통한 자동차 2차 사고 예방 시스템

오정 테크(OH Jeong Tec)

2024/07/17

개발 목적 및 필요성

2차 사고 피해

전방주시의 부재, VMS 정보제공의 비효율로 인한 터널 내 2차 사고

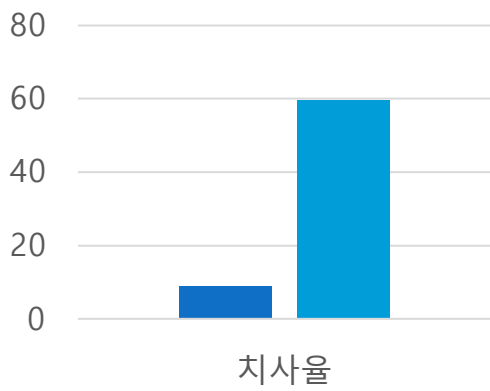


터널 내 2차 사고 관련 영상[1]

2차 사고의 위험성

터널 내 2차 사고의 높은 치사율

- 전체 교통사고 치사율: 8.4%
- 2차 사고 치사율: 54.3%
- 2차 사고의 치사율은 전체 교통사고 대비 **약 7배**[2]
- 터널 2차 사고의 치사율은 전체 터널 사고 대비 **약 4배**[3]



■ 전체 교통사고 ■ 2차 사고

전체 교통사고 대비
2차 사고의 치사율

경제 > 경제일반

고속도로 터널 2차 사고 사망률, 전체 터널 사고의 4배

등록 2022.10.07 10:39:48

민주당 최인호 의원 도로공사 터널 사고 자료 분석
"500m 미만 터널도 경보표지판 설치 확대해야"



[서울=뉴스시스] 강세훈 기자 = 최근 5년간 고속도로 터널에서 일어난 2차 사고는 전체 터널 사고보다 사망률이 4배 더 높은 것으로 나타났다.

전체 터널 사고 대비
터널 2차 사고의 치사율

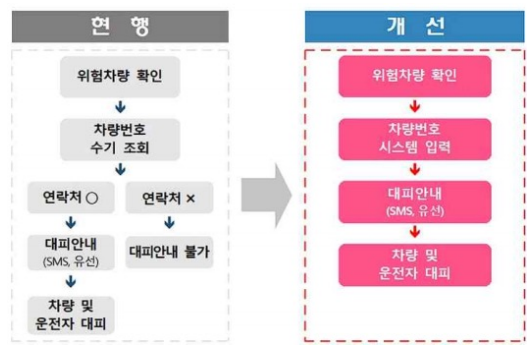
2차 사고의 위험성 대비 부족한 후속 조치

현행 사고 알림 시스템의 문제점

- 사고를 파악하는 방식은 대부분 '운전자의 신고', '모니터링'에 의존적
 - 사고지점, 규모를 파악하는 것에 시간이 소요 => 도로 전광표지(VMS)의 업데이트 지연
 - 모니터링 방식의 경우 감시 공백이 존재
- 운전자에게 친화적이지 않은 알림 시스템
 - 후방 차량 운전자가 사고 정보를 직관적으로 알 수 없음
 - 한국도로공사의 개선안은 운전 환경을 고려하지 않은 SMS, 유선을 활용[4]



사고 시에도 VMS 표지가 초록불인 사례



위험 차량 알림 개선: 운전 환경 고려는 부족

감시 공백을 최소화하고 실시간 동기화가 가능한 알림 시스템 필요!
후방 운전자가 직관적으로 사고사실을 인지할 수 있는 알림 시스템 필요!

아이디어 및 시나리오

새로운 알림 시스템 제시 및 봉천터널 정보

Rail robot

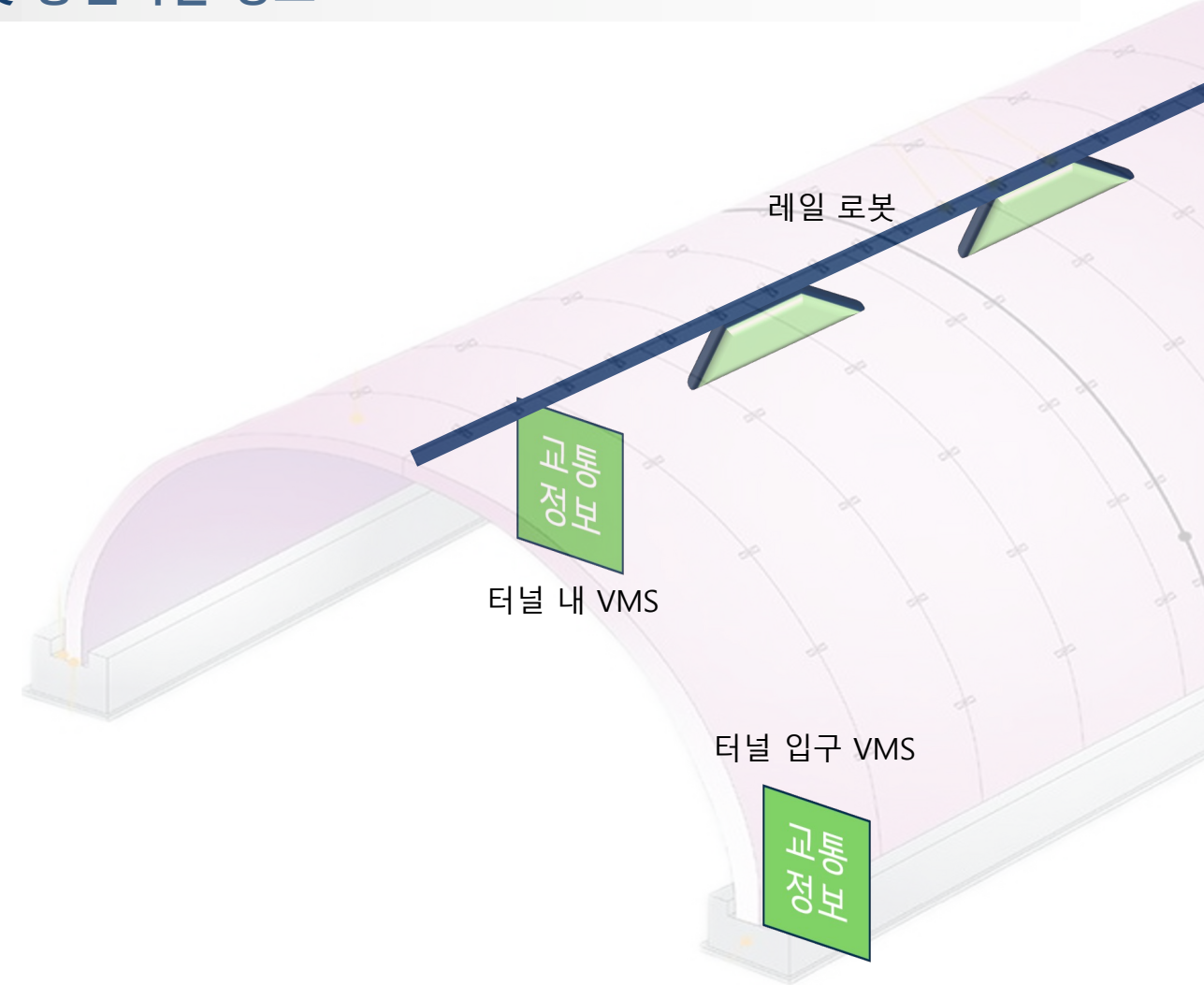
- 20km/h의 속도로 이동
- 200m의 간격으로 설치
- 30초 내 사고 탐지를 목표
- 사고 발생 시 각 로봇은
 1. 알림 위치로 이동
 2. 조명, 스피커를 통한 알림 제공

VMS

- 터널 입구와 터널 내에 설치
- 사고 발생 시 사고 정보 제공

봉천터널

- 소재지: 서울 관악구 남현동
- 길이: 3,221m
- 6중 추돌사고 발생이력



IDLE 상태의 사고 탐지중인 터널 내 레일로봇

봉천 터널 Rail robot 적용 시나리오

IDLE

- Rail robot: AI를 통한 사고 모니터링
- VMS: 교통 정보 제공

사고 발생

- Rail robot: 사고 감지 후 서버에 사고 정보 전송

기기간 사고 정보 동기화

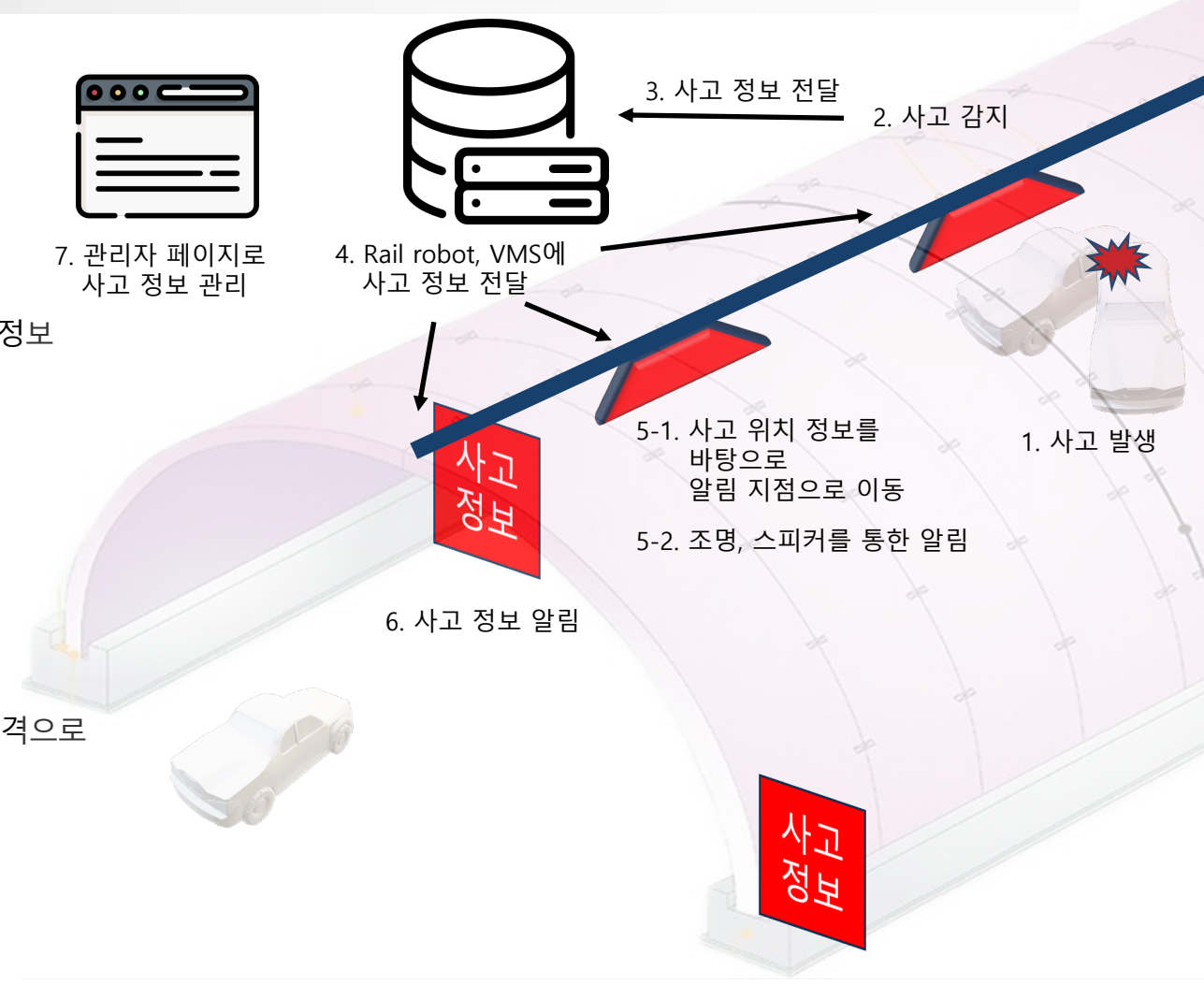
- Server: 기기에 사고 정보 전송

사고 정보 알림

- Rail robot: 사고 지점 전부터 200m 간격으로 조명, 스피커를 통한 사고 알림[5]
- VMS: 사고 정보 알림

사고 정보 관리

- 관리자 페이지: 사고 정보 관리



사고 발생 시 시나리오

차별점 및 경제적 타당성 분석

한국철도연구원 고속주행 로봇과의 비교

Rail robot, 한국철도연구원 고속주행 로봇 비교

	Rail robot	한국철도연구원 고속주행 로봇
특화된 사고 종류	터널 2차 사고	철도 사고
기기간 협동	Rail robot, VMS 간의 사고 알림을 위한 폭넓은 협동	각 로봇의 충돌 방지 협동
역할	1. 사고 감지 2. 조명, 스피커를 통한 사고 알림 3. 기기간 협동을 통한 터널 2차 사고 예방 효과 극대화	1. 사고 감지 2. 조명, 스피커를 통한 터 널 내 승객 대피 유도



한국철도연구원의 고속주행 로봇[6]

- 1. 터널 2차 사고에 특화
- 2. [Rail robot <-> Rail robot], [Rail robot <-> VMS] 간의 사고 알림을 위한 폭넓은 협동
- 3. 협동을 통한 터널 2차 사고 예방 효과 극대화
- 1, 2, 3은 Rail robot의 차별점을 드러냄

고정식 지능형 cctv와의 비교

봉천 터널 고정식 지능형 cctv 설치 비용 추산

- 조달정보개방포털에 따르면 에스원의 지능형 cctv는 개당 2,000만원
- 사각지대 없이 모니터링하기 위해서는 65대의 지능형 cctv 필요

봉천 터널 Rail Robot 설치 비용 추산

- 조달정보개방포털에 따르면 “모노레일 정비고 선로 교체 구입”은 8,019만원에 진행됨
- “터널 레일 설치 비용”을 10,000만원으로 추정
- 20km/h로 로봇이 이동하고, 30초 내 사고 탐지를 목적으로 한다면, 16대 설치 필요
- 로봇 대당 가격을 4,000만원으로 가정

Rail robot(이동식)과 지능형 cctv(고정식) 추정 예산 비교

품목(단위 천원)	Rail robot(이동식)	지능형 cctv(고정식)
지능형 cctv	0	1,300,000(65 * 20,000)
터널 레일 설치 비용	100,000	0
Rail robot	640,000(40,000 * 16)	0
인프라 비용	레일설치를 제외한 인프라 비용은 동일하다고 가정	
계(인프라 비용 제외)	740,000	1,300,000

편익 극대화 방안

로봇 순찰(사고탐지) 알고리즘의 최적화

- “Recent Trends in Robotic Patrolling”에 따르면 게임 이론적 방법, 최적화 접근법을 바탕으로 순찰 알고리즘을 최적화할 수 있음[7]
- 이러한 최적화된 알고리즘은 로봇이 동적일 경우에만 적용 가능
- Rail robot의 순찰 알고리즘을 최적화한다면, 편익을 극대화할 수 있음
- 고정식 cctv의 경우 순찰 알고리즘을 최적화할 수 없음

고정식 cctv 대비, 순찰 알고리즘 최적화를 통한
편익 극대화가 가능한 Rail robot

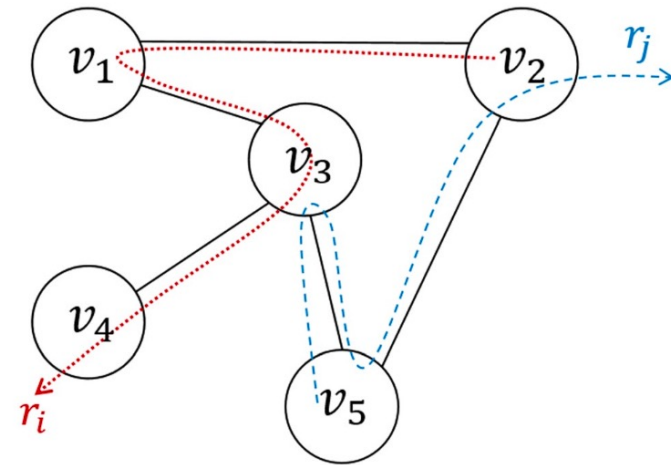


Fig.1 A graph-based patrolling setting composed of 5 targets. Assume, for simplicity, that symmetric movements are always possible, traveling costs and values are unitary, while $\delta_i = 2$ for each i . Two robots, r_i and r_j , follow two paths starting their mission at time $t = 0$ from target v_2 and v_5 , respectively. If patrolling costs are set to 0 and perception is limited to the currently occupied target, the idleness profile at $t = 4$ is (3, 1, 2, 1, 2). In this scenario, an attack to target v_2 at $t = 1$ (when r_i is at v_1 and r_j is at v_3) would be successful. An attack on v_4 at $t = 2$ would fail. If patrolling costs are set to 2, the idleness profile at $t = 4$ becomes (1, 3, 0, 5, 0), where a value of 0 indicates the presence of a robot on the corresponding vertex. If the same graph is adopted to model connectivity, robots can always exchange information except during their last visit, namely when occupying v_4 and v_2 , respectively

로봇 순찰 환경의 그래프 기반 표현

기대효과

Rail robot을 통한 터널 2차 사고 문제 완화

사고 모니터링 공백 최소화

- Rail robot이 전송하는 이미지를 통하여 AI가 모니터링을 자동화

VMS의 실시간성 확보

- Rail robot이 사고 감지 시, 서버에 데이터를 전송
- 서버는 VMS 및 Rail robot에 사고 사실을 실시간으로 전달

운전자가 사고 사실을 직관적으로 인지할 수 있는 방법 마련

- Rail robot에 조명, 스피커를 장착하여 사고 발생 지점 전부터 200m 간격으로 시각적/청각적 알림 제공

위치 유동적인 직관적 알림 제공 가능

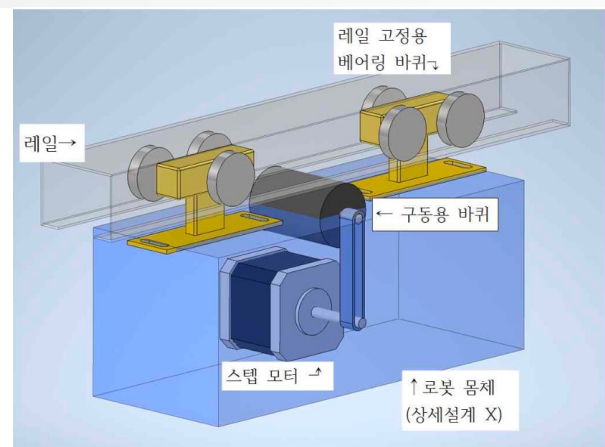
- 사고지점 “1km 전에 정보를 제공”하고 “터널 입구로부터 약 650 m 지점”에 알림을 제공할 경우 2차 사고 예방 효과[5]
 - Rail robot은 위치 유동적으로 알림 제공 가능하기에, 연구에서 제시한 위치에서 알림 제공을 가능하게 함
- 로봇 순찰 알고리즘의 최적화를 통하여, 편익 극대화 가능

설계, 세부계획 및 예산

프로토타입 Rail robot, VMS 설계

Rail robot

- 안전계수 2.5 이상을 목표
- 2m 레일, 모터를 통하여 이동가능한 로봇 제작
- 조명, 스피커 장착하여 운전자에게 사고 정보 전달
- 카메라를 장착하여 AI가 사용할 이미지 제공
- 임베디드 기기에서 http 프로토콜을 통한 서버와의 통신 구현



Rail robot 프로토타입 3D 모델링

VMS

- 높은 칸델라의 광원을 통하여 운전중에도 VMS를 쉽게 인식가능하게 함
- 터널 안에서도 회절과 간섭이 최소한으로 일어나도록 dipole antenna를 이용해 linear polarized wave를 전송
- 임베디드 기기에서 http 프로토콜을 통한 서버와의 통신 구현



높은 칸델라[cd]의 광원

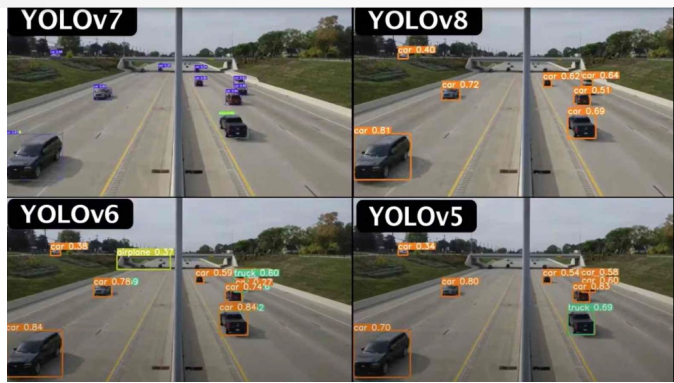


VMS 프로토타입 7-segment display

프로토타입 AI, Server 설계

AI

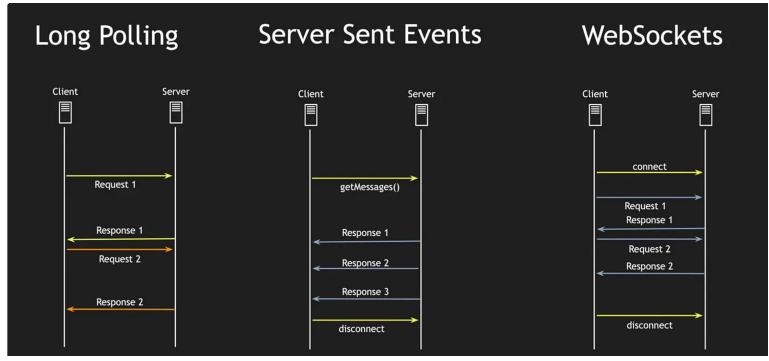
- YOLO v5 경량화 모델을 활용
- 라즈베리파이5를 이용하여 온디바이스 AI로 구현
- Roboflow를 통한 빅데이터 수집



YOLO(You Look Only Once) 활용 예시

Server

- 100ms 이내의 RTC(실시간 통신) 구현을 목표
- Express, MongoDB를 통하여 서버 기능 구현
- React를 통하여 관리자 페이지 구현
- Event 발생 시에 로봇, VMS에 정보를 제공할 수 있도록 sse, web socket 등을 적용

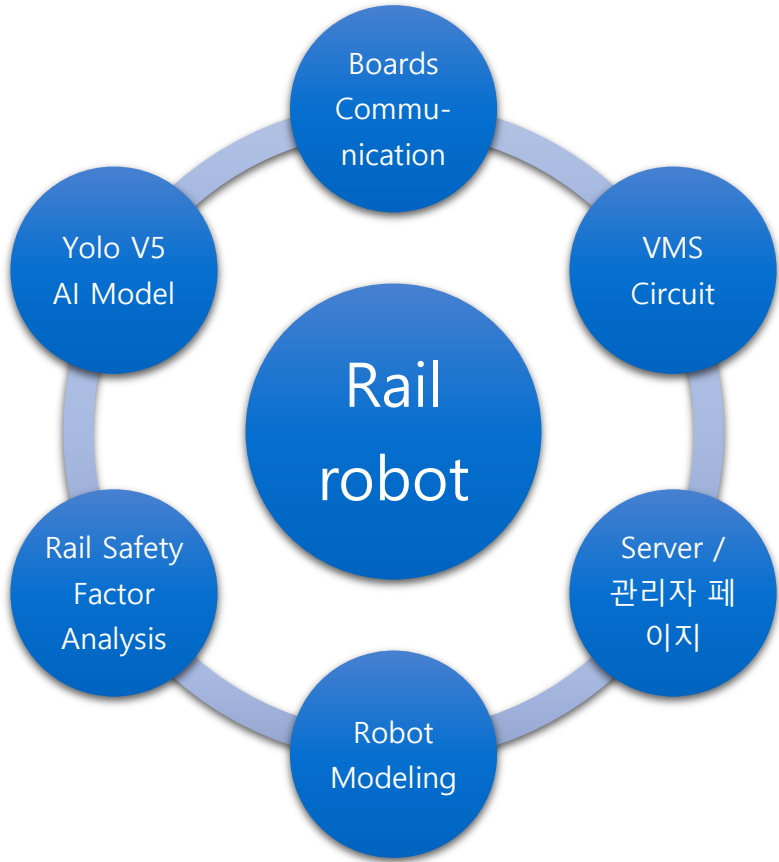


프로토타입에 적용할 RTC 통신 방식

추진체계

팀원 별 역할

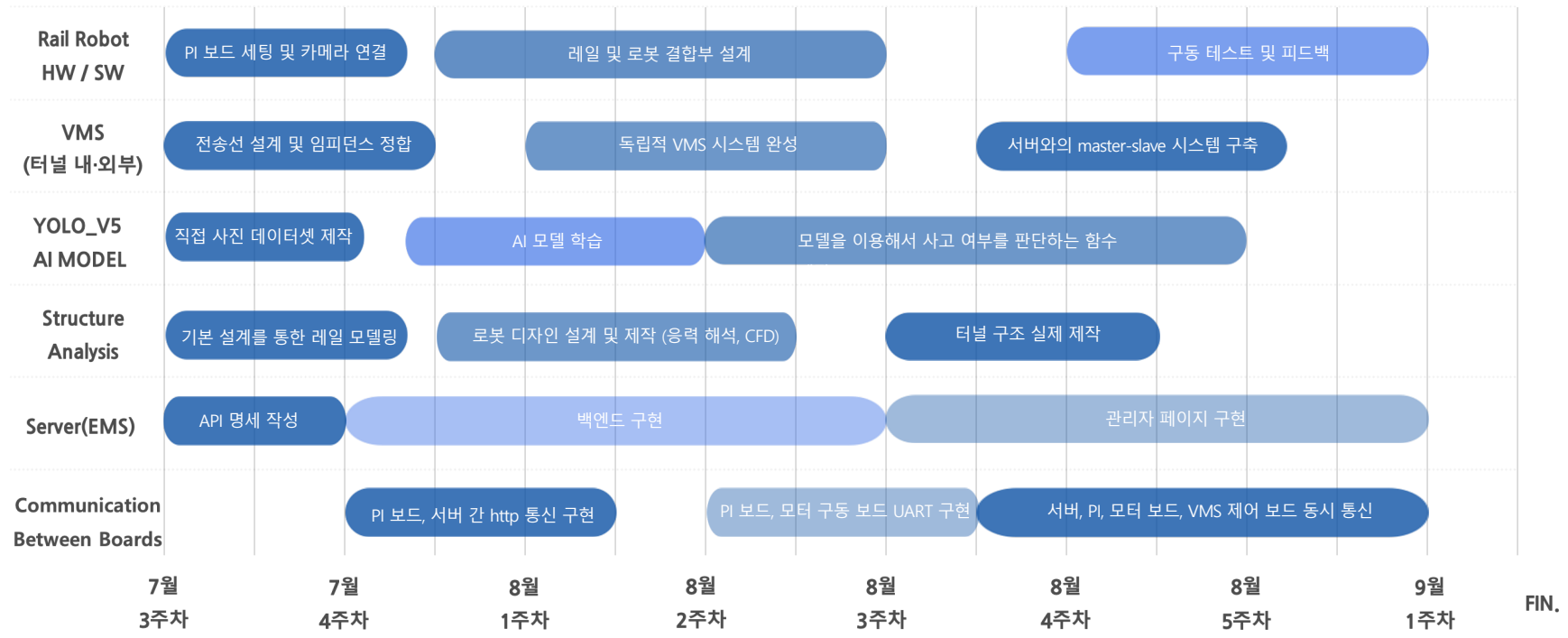
이름	역할
김도협	Rail robot, Server, VMS 전반의 보드 간 통신
박상윤	Training Data 수집 및 AI 모델 구현
오정택	Rail robot HW / SW 모델링 및 구현 Rail Safety Factor 분석 및 모델링
조경호	
정형원	VMS 구현, 구동 모터 제어, 회로 전반
정민석	Server, 관리자 페이지 구현





추진일정

Timeline



프로토타입 제작 예산

예산 항목

항목	세부항목	소요비용(단위: 원)
레일 프레임	존슨 레일/대/2M	26,000 * 1
개발보드	라즈베리파이5(8GB)	81,100 * 2
카메라	라즈베리파이 카메라모듈 3	38,000 * 1
통신보드	ESP32-WROOM-32	8,200 * 2
디스플레이	LCD 16x2 디스플레이 모듈(노란색 백라이트)	3,200 * 2
디스플레이	0.91인치 OLED 128x32 4핀(I2C제어) 모듈	8,800
STEP 모터	KH42JM2-901	27,000 * 2
안테나	아두이노 LP Antenna	6,000 * 1
드라이버	A4988 스테핑 모터 드라이버	2,080 * 3
케이블	벤션 CAT8 SFTP 랜선 초고속 인터넷 랜케이블, 블랙, 1개, 15m	25,900 * 1
계		349,940

특이 사항

- 예산의 한계로, 카메라와 AI 사고탐지까지 구현한 Rail robot은 한대만 제작
- 나머지 Rail robot은 카메라, AI 사고탐지를 제외하고 구현

- [1] 유튜브 채널 한문철의 블랙박스 리뷰, '졸음운전으로 터널에서 추돌? 아수라장 된 터널 사고 모음 30분', JTBC 221020 방송 외
- [2] 윤보람, '자칫하면 대형참사...터널 교통사고로 5년간 128명 사망', 연합뉴스, 2024.02.09., <https://www.yna.co.kr/view/AKR20240208112400004>
- [3] 강세훈, '고속도로 터널 2차 사고 사망률, 전체 터널 사고의 4배', 뉴시스-서울, 2022.10.07., https://www.newsis.com/view/NISX20221007_0002040731#
- [4] 이재영, '차량침수·고속도로 2차사고 위험 이젠 사전예방하세요', 이투데이, 2024.01.15., <https://www.etoday.co.kr/news/view/2321232>
- [5] 신소명, 이수범, 김형규, 박민재, 김경태. (2019). 동영상식 VMS로 사전정보제공시 터널 내 2차사고 감소효과에 관한 연구. 한국안전학회지, 34(2), 56-62.
- [6] 박승원, "사고현장 5분 내 도착 '고속주행 로봇' 개발", 토목신문, 2024.03.07., <http://m.cenews.co.kr/news/articleView.html?idxno=14868>
- [7] Basilico, Nicola. "Recent trends in robotic patrolling." Current Robotics Reports 3.2 (2022): 65-76

감사합니다

