

# 무인 지상 이동체 원격 순찰을 위한 웹 기반 통합 관제 시스템 구현

전지훈, 부준석, 안유선, 양회성, 신동범, 배명남, 김은주, 홍상기, 이강복\*

\*한국전자통신연구원

{jh5004, jsboo, ahnew, hsyang, sdb, mnbae, ejkim, sghong, \*kblee}@etri.re.kr

## Implementation of a Web-Based Integrated Supervisory Control System for Remote-Patrol UGVs

Jeon Ji Hun, Boo Junseok, Ahn Yusun, Yang Hoe Sung, Shin Dong Beom,

Bae Myung Nam, Kim Eun Joo, Hong Sang Gi, Lee Kang Bok\*

\*Electronics Telecommunications and Research Institute (ETRI)

### 요약

본 논문은 원격 운용자가 브라우저 기반 단일 인터페이스에서 무인 지상 이동체(Unmanned Ground Vehicle, UGV) 제어, 센서 데이터 시각화, PTZ(Pan-Tilt-Zoom) CCTV 영상 모니터링 및 제어, 양방향 오디오 통신을 동시에 수행할 수 있는 통합 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 ROS/ROSBridge를 통한 WebSocket 연결을 기반으로 UGV의 LiDAR, 배터리 상태, 위치 정보 등을 실시간으로 수집하며, AMCL(Adaptive Monte Carlo Localization) 기반 위치 인식과 2D 점유맵 및 OSM(OpenStreetMap) 기반 GPS 맵을 동시에 지원한다. 또한 Node.js와 Express 기반의 백엔드 서버는 RTSP(Real-Time Streaming Protocol) 스트림을 FFmpeg으로 변환하여 저지연 영상 스트리밍을 제공하고, ONVIF(Open Network Video Interface Forum) 프로토콜을 통해 PTZ 제어를 수행한다. 구현 결과, 제안된 시스템은 웹 브라우저를 통해 쉽게 접근할 수 있으며, 원격 보안 순찰의 효율성을 크게 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

### I. 서론

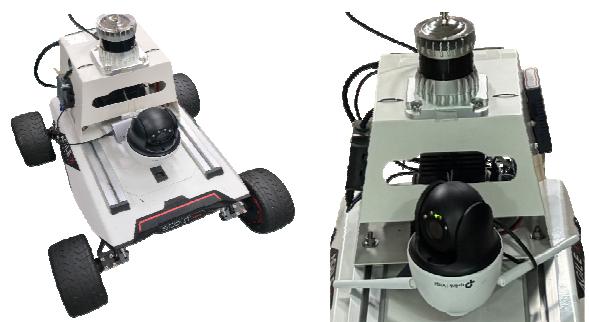
보안 및 순찰 업무의 효율성 제고와 안전 확보를 위해, 인력 부족과 위험 환경 노출 문제를 해소할 수 있는 무인 지상 이동체(Unmanned Ground Vehicle, UGV)의 중요성이 날로 높아지고 있다. 이에 따라 원격지 운용자가 실시간으로 이동체의 센서 데이터를 확인하고 상황에 대응할 수 있는 원격 순찰(Tele-patrol)은 새로운 핵심 기술 분야로 자리매김하고 있다.[1] 그러나 기존의 원격 관제 시스템은 이동체 제어, 센서 데이터 모니터링, 영상 확인 및 PTZ(Pan-Tilt-Zoom) 제어 기능이 각각 별도의 애플리케이션에 분리되어 있어 현장 운용자가 기능별로 별도의 소프트웨어를 사용해야 하는 불편함이 있었다. 또한 특정 운영체제나 플랫폼에 종속되어 접근성이 떨어지고, 다양한 로봇 및 센서와의 연동을 위한 확장성이 부족한 문제점을 안고 있었다.

이러한 한계를 극복하기 위해 본 논문은 웹 표준 기술을 통해 로봇 운영체제(Robot Operating System, ROS)[2] 기반 UGV와 탑재 영상 장치인 PTZ CCTV를 단일 페이지에서 관제할 수 있는 통합 시스템을 제안한다. 이는 ROS/RosBridge와 WebSocket[3]으로 LiDAR와 카메라 등 센서 데이터를 실시간 시각화하고, 실내에서는 2D 점유 격자맵(2D Occupancy Grid Map)과 AMCL(Adaptive Monte Carlo Localization)[4]로 UGV 위치를 정밀 추정하며 LiDAR 정보로 장애물 및 침입 여부를 판별한다. 또한 OpenStreetMap(OSM)[5] 기반 GPS 맵 표시 기능으로 실내외 확장성을 확보했다. 본 논문에서는 이 시스템의 구현을 통해 원격 순찰의 효율성, 직관성, 확장성 측면에서 기여할 수 있음을 보인다.

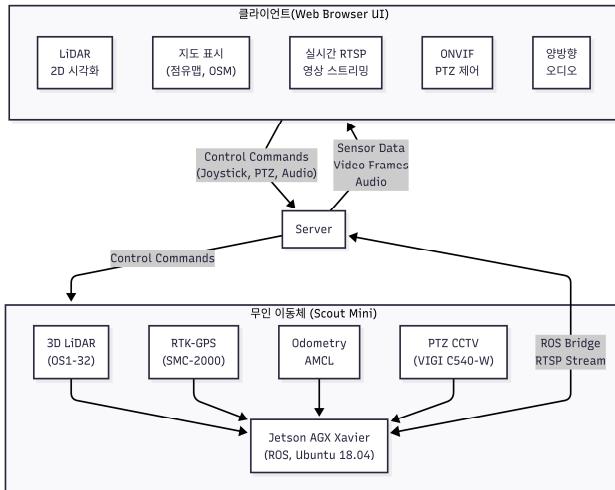
### II. 본론

#### 2.1. UGV 플랫폼 및 시스템 환경

본 연구의 웹 기반 통합 관제 시스템 검증을 위해 AgileX 사의 Scout Mini를 기반으로 UGV 플랫폼을 구성하였다. 주변 환경의 3 차원 점 군(Point Cloud) 데이터 수집을 위해 3D LiDAR(Ouster OS1-32)를, 고정밀 위치 인식을 위해 RTK-GPS(SMC-2000)를 탑재하였다. 이를 통해 실내에서는 SLAM 기반 2D 점유맵과 AMCL로, 실외에서는 cm급 오차의 GPS로 위치를 인식한다. 영상 장치로는 RTSP(Real-Time Streaming Protocol) 및 ONVIF(Open Network Video Interface Forum)를 지원하는 PTZ CCTV(VIGI C540-W) 제품을 장착하였으며, 연산 장치로 NVIDIA Xavier NX(Ubuntu 18.04, ROS1 Melodic)를 사용한다. 특히, 5G 특화망 라우터를 통해 한국전자통신연구원에 구축된 5G 특화망을 활용하여 원격지와의 안정적인 통신 및 고대역폭, 초저지연 데이터 전송 환경을 확보하였다.



<그림 1 무인 지상 이동체 시스템 및 탑재 센서>



<그림 2 제안 시스템의 전체 구조>

## 2.2. 시스템 아키텍처

제안하는 원격 관제 시스템은 **클라이언트-서버 (Client-Server) 아키텍처**를 기반으로 설계되었다. 이 구조는 복잡한 데이터 처리 및 외부 시스템 연동을 담당하는 **백엔드 서버**, 사용자 상호작용 및 데이터 시각화를 담당하는 경량 **프론트엔드 클라이언트**로 역할을 분리하여 시스템의 안정성과 확장성을 확보한다.

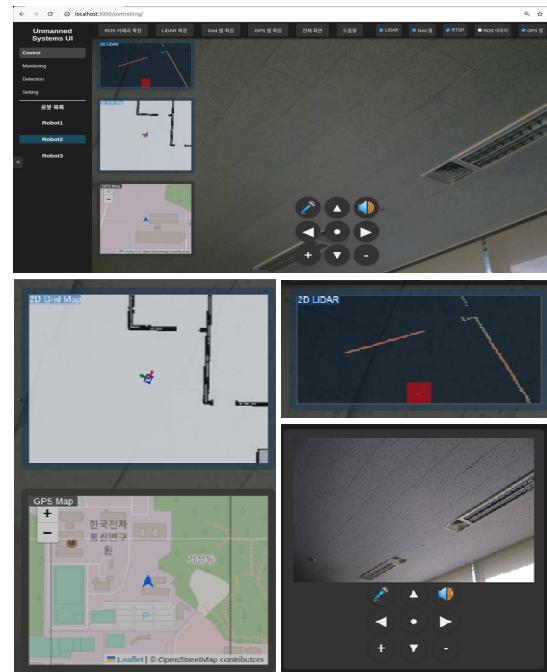
백엔드 서버는 무인 지상 이동체의 ROS, PTZ 카메라의 RTSP/ONVIF 등 이기종(heterogeneous) 프로토콜을 웹 표준 기술인 WebSocket으로 변환하여 중계하는 미들웨어 게이트웨이(Middleware Gateway) 역할을 수행한다. 프론트엔드 클라이언트는 별도의 설치가 필요 없는 웹 브라우저를 통해 구동되며, 서버로부터 전송된 데이터를 사용자에게 직관적인 단일 UI(Single User Interface)로 제공한다.

## 2.3. 백엔드 서버 구현

백엔드 서버는 Node.js, Express, Socket.IO를 기반으로 구현되었다. 서버의 핵심 기능은 ROS Bridge를 통해 UGV의 LiDAR, 위치 등 ROS 토픽 데이터를 스트리밍하고, 프론트엔드의 PTZ 제어 명령을 ONVIF 프로토콜로 변환하여 중계하는 것이다. 또한, FFmpeg을 이용해 RTSP 영상 스트리밍을 저지연 JPEG 프레임으로 실시간 변환하여 Socket.IO를 통해 전송하며, 자동 재연결 로직으로 안정성을 확보했다. 모든 설정 정보는 외부 config.json 파일로 관리되며, 변경 시 모든 클라이언트에 실시간으로 반영되어 서비스 중단 없이 유연한 장비 추가 및 확장이 가능하다.

## 2.4. 프론트엔드 인터페이스 구현

프론트엔드 클라이언트는 웹 표준 기술(HTML5, CSS, JavaScript) 기반의 단일 페이지 애플리케이션(SPA)으로 구현되었으며, 운용자의 상황 인지 능력 극대화를 목표로 설계되었다. 통합 대시보드 UI는 ROSLIB.js를 통해 수신한 LiDAR 스캔 데이터를 HTML5 Canvas에 2D 포인트 클라우드 형태로 실시간 시각화한다. Leaflet.js 기반의 지도 인터페이스는 ROS 토픽 데이터에 따라 실내에서는 2D 점유맵 위에 AMCL로 추정된 UGV의 위치를, 실외에서는 OSM 지도 위에 RTK-GPS 좌표를 표시한다. 운용자는 브라우저의 게임패드 API를 통해 연결된 물리적 조이스틱으로 UGV를 직관적으로 원격 조종할 수 있으며, 이 입력 신호는 실시간으로 ROS의 속도 제어 메시지(geometry\_msgs/Twist)로 변환되어 전송된다.



<그림 3 프론트엔드 통합 대시보드 UI>

또한, 백엔드 서버로부터 수신한 영상 프레임을 Canvas에 렌더링하여 실시간 비디오를 제공하며, UI의 제어 버튼을 통해 PTZ 조작을 수행한다. Web Audio API를 이용한 양방향 오디오 통신 기능은 현장 음향 청취와 원격 음성 송출을 가능하게 하여, 단순 모니터링을 넘어 현장 개입 및 경고 방송과 같은 능동적 대응 수단을 제공한다.

## III. 결론

본 논문은 ROS 기반 UGV 제어, 센서 시각화, PTZ CCTV 모니터링 기능을 단일 웹 인터페이스로 통합한 원격 관제 시스템을 구현하였다. 구현 결과, 과편화된 제어 환경을 일원화하여 운용자의 상황 인지 능력을 향상시키고, 원격 순찰 임무의 효율성과 직관성을 높일 수 있음을 확인하였다. 향후 AI 객체 탐지 및 자율 주행 임무 부여 기능을 추가하여 고도화할 계획이다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 대한민국 정부(산업통상자원부 및 방위사업청) 재원으로 민군협력진흥원에서 수행하는 민군기술협력사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다. (과제번호 23-CM-TC-13)

## 참 고 문 헌

- [1] Sheridan, T. B. "Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control," MIT Press, 1992.
- [2] Quigley, M., et al. "ROS: an open-source Robot Operating System," ICRA Workshop on Open Source Software, vol. 3, 2009.
- [3] Crévoisier, T., et al. "rosbridge: Ros for non-ros users," Proc. of the 6th Intl. Conf. on Human-Robot Interaction, 2012.
- [4] Thrun, S., Burgard, W., and Fox, D. "Probabilistic Robotics," MIT Press, 2005.
- [5] Haklay, M., and Weber, P. "Openstreetmap: User-generated street maps," IEEE Pervasive Computing, vol. 7, no. 4, pp. 12–18, 2008.