

무인 지상 이동체 원격 순찰을 위한 웹 기반 통합 관제 시스템 구현

전지훈, 부준석, 안유선, 양희성, 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)

요 약

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/ROSBridge 를 통한 WebSocket 연결을 기반으로 UGV 의 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.js 와 Express 기반의 백엔드 서버는 RTSP(Real-Time Streaming Protocol) 스트림을 FFmpeg 으로 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. 서 론

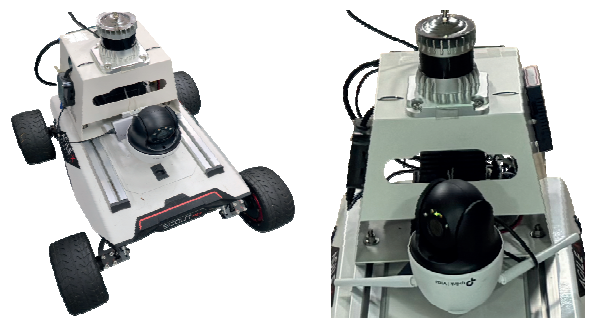
보안 및 순찰 업무의 효율성 제고와 안전 확보를 위해, 인력 부족과 위험 환경 노출 문제를 해소할 수 있는 무인 지상 이동체(Unmanned Ground Vehicle, UGV)의 중요성이 날로 높아지고 있다. 이에 따라 원격지 운용자가 실시간으로 이동체의 센서 데이터를 확인하고 상황에 대응할 수 있는 원격 순찰(Tele-patrol)은 새로운 핵심 기술 분야로 자리매김하고 있다.[1] 그러나 기존의 원격 관제 시스템은 이동체 제어, 센서 데이터 모니터링, 영상 확인 및 PTZ(Pan-Tilt-Zoom) 제어 기능이 각각 별도의 애플리케이션에 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 UGV 와 탑재 영상 장치인 PTZ CCTV 를 단일 페이지에서 관제할 수 있는 통합 시스템을 제안한다. 이는 ROS/RosBridge 와 WebSocket[3]으로 LiDAR 와 카메라 등 센서 데이터를 실시간 시각화하고, 실내에서는 2D 점유 격자맵(2D Occupancy Grid Map)와 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.

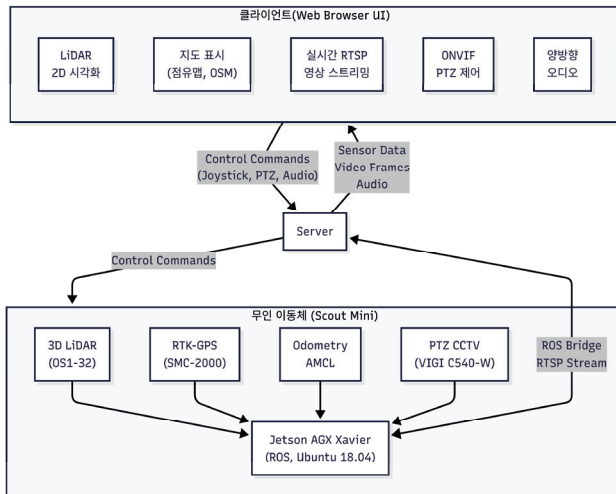
II. 본론

2.1. UGV 플랫폼 및 시스템 환경

본 연구의 웹 기반 통합 관제 시스템 검증을 위해 AgileX 사의 Scout Mini 를 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 AMCL 로, 실외에서는 cm 급 오차의 GPS 로 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 Jetson Xavier NX(Ubuntu 18.04, ROS1 Melodic)를 사용한다. 특히, 5G 특화망 라우터를 통해 한국전자통신연구원에 구축된 5G 특화망을 활용하여 원격지와 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) 아키텍처를 기반으로 설계되었다. 이 구조는 복잡한 데이터 처리 및 외부 시스템 연동을 담당하는 백엔드 서버와, 사용자 상호작용 및 데이터 시각화를 담당하는 경량 프론트엔드 클라이언트로 역할을 분리하여 시스템의 안정성과 확장성을 확보한다.

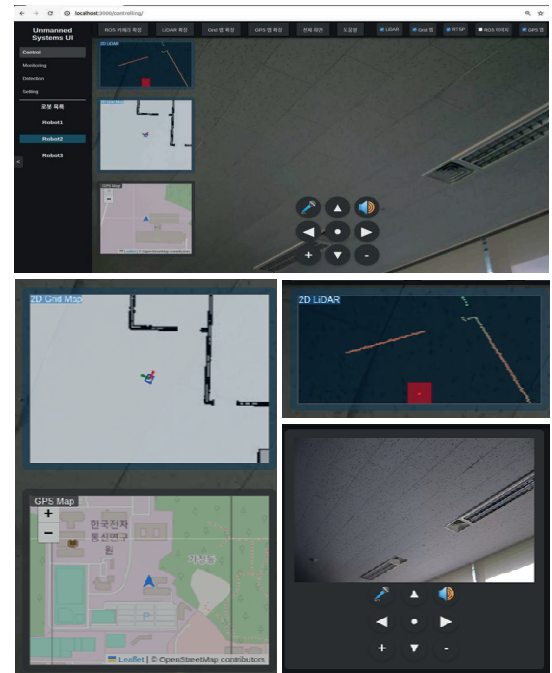
백엔드 서버는 무인 지상 이동체의 ROS, PTZ 카메라의 RTSP/ONVIF 등 이기종(heterogeneous) 프로토콜을 웹 표준 기술인 WebSocket 으로 변환하여 중계하는 미들웨어 게이트웨이(Middleware Gateway) 역할을 수행한다. 프론트엔드 클라이언트는 별도의 설치가 필요 없는 웹 브라우저를 통해 구동되며, 서버로부터 전송된 데이터를 사용자에게 직관적인 단일 UI(Single User Interface)로 제공한다.

2.3. 백엔드 서버 구현

백엔드 서버는 Node.js, Express, Socket.IO 를 기반으로 구현되었다. 서버의 핵심 기능은 ROS Bridge 를 통해 UGV 의 LiDAR, 위치 등 ROS 토픽 데이터를 스트리밍하고, 프론트엔드의 PTZ 제어 명령을 ONVIF 프로토콜로 변환하여 중계하는 것이다. 또한, FFmpeg 을 이용해 RTSP 영상 스트림을 저지연 JPEG 프레임으로 실시간 변환하여 Socket.IO 를 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 UI 는 ROSLIB.js 를 통해 수신한 LiDAR 스캔 데이터를 HTML5 Canvas 에 2D 포인트 클라우드 형태로 실시간 시각화한다. Leaflet.js 기반의 지도 인터페이스는 ROS 토픽 데이터에 따라 실내에서는 2D 점유맵 위에 AMCL 로 추정된 UGV 의 위치를, 실외에서는 OSM 지도 위에 RTK-GPS 좌표를 표시한다. 운용자는 브라우저의 게임패드 API 를 통해 연결된 물리적 조이스틱으로 UGV 를 직관적으로 원격 조종할 수 있으며, 이 입력 신호는 실시간으로 ROS 의 속도 제어 메시지(geometry_msgs/Twist)로 변환되어 전송된다.



<그림 3 프론트엔드 통합 대시보드 UI>

또한, 백엔드 서버로부터 수신한 영상 프레임을 Canvas 에 렌더링하여 실시간 비디오를 제공하며, UI 의 제어 버튼을 통해 PTZ 조작을 수행한다. Web Audio API 를 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, 파편화된 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.