

온디바이스 AI 기반 자율 이동형 감시 로봇 개발

조현준¹, 김태훈¹, 강신재¹, 차주형², 이충한³, 권용인³

¹배재대학교 전자공학과 학부생

²과학기술연합대학원대학교 인공지능학과

³한국전자통신연구원 온디바이스시스템SW연구실

(lckc9811, taehoon1740, rkddpdms10@gmail.com,
(jh.cha, chonghan.lee, yongin.kwon)@etri.re.kr

Development of an On-Device AI-Based Autonomous Surveillance Robot

Hyunjun Cho¹, Taehoon Kim¹, Shinjae Kang¹,

Joohyoung Cha², Choonghan Lee³, Yongin Kwon³

¹Dept. of Electronic Engineering, Paichai University

²Dept. of Artificial Intelligence, University of Science and Technology

³On-Device System SW Research Section, Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

본 연구는 ROS2 Humble 기반의 자율 이동형 감시 로봇을 개발하여 효율적인 실내 보안 시스템을 구현한다. 로봇은 SLAM을 통해 실내 지도를 작성하고 Nav2를 활용해 정확한 경로 탐색 및 자율 주행을 수행한다. 또한 YOLOv5 기반 객체 탐지와 얼굴 인식 기술을 융합하여 허가자와 침입자를 실시간으로 구분할 수 있도록 설계하였다. 로봇은 360도 라이다, 초음파 센서, 카메라 등 다양한 센서를 통합하여 주변 환경을 정밀하게 인지하며, 실내 환경을 효과적으로 모니터링한다. 본 연구를 통해 가정이나 시설에서 활용 가능한 효율적이며 확장 가능한 자율 보안 시스템 구축 방안을 제시한다.

1. 서론

본 논문에서는 Robot Operating System 2(ROS2)를 기반으로 자율주행 기능을 구현하고, Simultaneous Localization and Mapping(SLAM)을 통해 실내 공간 지도를 생성하며 경로 계획 및 충돌 방지 기능을 갖춘 로봇 시스템을 제안한다. 이 로봇 시스템에서는 침입자 식별 및 이상 상황 감지를 위해 컴퓨터 비전 기술인 YOLO 기반의 객체 인식 모델을 도입하였으며, 이를 헤일로(Hailo) 가속기[1]를 활용해 저전력 환경에서도 You Only Look Once(YOLO) 모델의 실시간 추론 성능을 극대화할 수 있도록 구현하였다. 특히, 카메라로 수집된 영상을 클라우드 서버로 전송하지 않고 로봇 단말기 내에서 직접 AI 연산을 수행하는 온디바이스 AI(On-device AI) 방식을 사용하여, 응답 속도 저연을 최소화하고 보안성과 실시간성을 모두 확보할 수 있도록 설계하였다. 이러한 기술을 바탕으로, 허가된 사용자와 침입자의 얼굴을 구분하고, 침입자 발생 시 관리자의 디바이스로 경고를 전달하는 자동화된 감시 기능을 제공하는 자율 이동형 감시 로봇 시스템을 구현하였다.

2. 본론

2.1 얼굴 인식 시스템

본 프로젝트에서는 자율 이동형 감시 로봇의 실시간 침입자 탐지를 위해 YOLOv5와 ArcFace 기반 얼굴 인식 모델을 결합한 얼굴 구분 시스템을 구현하였다. YOLOv5[2]는 PyTorch 기반의 대표적인 객체 탐지 알고리즘으로, 입력 이미지를 그리드 셀로 분할한 뒤 각 셀마다 객체 존재 여부와 경계 상자, 클래스 확률을 동시에 예측한다. 모델은 nano(n)부터 xlarge(x)까지 다양한 크기로 제공되며, 빠른 추론 속도와 높은 정확도로 임베디드 환경에서도 효율적으로 작동한다. 본 시스템에서는 YOLOv5를 활용해 사람의 얼굴을 감지하고, 해당 얼굴 영역을 추출하여 ArcFace 기반 얼굴 인식 모델에 입력한다.

얼굴 인식은 MobileFaceNet을 백본으로 한 ArcFace 구조를 통해 수행되며, 사전에 등록된 허가자의 얼굴 임베딩을 .pkl 파일로 저장한 후 실시간으로 수집된 얼굴 임베딩과의 비교를 통해 허가자 여부를 판단한다. ArcFace는 각도 기반 소프트맥스 손실 함수를 활용해 클래스 간 경계를 더 뚜렷하게 구분할 수 있어 인식 정확도를 향상시키며, MobileFaceNet은

경량 구조로 설계되어 라즈베리파이5 및 헤일로 가속기 기반 온디바이스 AI 환경에서도 원활한 실시간 추론이 가능하다. 이러한 구성은 감시 로봇이 침입자를 신속하게 탐지하고 허가자와 침입자를 정확히 구분하는 데 핵심적인 역할을 수행한다.

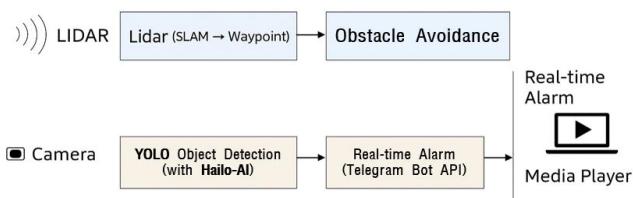
2.2 자율주행 시스템

본 시스템은 SLAM 알고리즘을 사용하여 로봇이 실시간으로 환경을 인식하고 지도를 생성한 후, 관리자가 웨이포인트를 지정해주면 로봇이 해당 웨이포인트를 순회하며 자율적으로 순찰을 수행한다. 이를 통해 로봇은 정밀한 위치 추적이 가능해지고, 복잡한 환경에서도 효과적으로 경로를 계획할 수 있다. 자율주행에는 ROS2의 내비게이션 프레임워크인 Navigation2 (Nav2) 패키지를 활용하였다. Nav2는 경로 계획, 위치 추정, 장애물 회피 등의 핵심 기능을 모듈화된 구조로 제공하며, Behavior Tree 기반의 유연한 제어가 가능해 자율주행 경비 로봇의 신뢰성과 확장성을 높여준다[3].

2.3 실시간 알림 시스템

자율 이동형 감시 로봇의 경보 시스템은 실시간성과 보안성을 모두 총족해야 한다. 본 시스템에서는 별도의 브로커 없이 ROS 2 노드와 Python 기반 Telegram Bot API를 직접 연동하는 방식을 선택하였다. 침입자 감지 시, ROS 2의 특정 토픽에서 발행된 경고 메시지를 Python 노드가 구독하고, 이를 Telegram을 통해 관리자 스마트폰으로 즉시 전달한다. 이 방식은 라즈베리파이5에서도 안정적으로 동작하며, HTTPS 기반의 통신으로 보안성이 뛰어나고, 중간 서버 없이도 실시간 메시지 전송이 가능하다. 또한 관리자는 별도의 앱 개발이나 복잡한 설정 없이 Telegram 설치만으로 알림을 수신할 수 있어 편의성이 높다.

2.4 시스템 구성도



(그림1) 감시 로봇 동작 로직

위 그림은 자율 이동형 감시 로봇이 LIDAR와 카메라를 활용하여 실내 자율주행과 침입자 감지를 수행하고, Telegram Bot API를 통해 사용자에게 실시간 알림을 제공하는 전체적인 시스템 동작 흐름을 보여준다.

3. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 YOLOv5, ROS2를 활용하여 실시간 객체 탐지와 원격 통신을 지원하는 경비 로봇 시스템을 개발하였다. 로봇이 SLAM 알고리즘을 통해 생성한 지도에 관리자가 웨이포인트를 지정해주면 정해진 구역을 돌며 순찰한다. YOLOv5는 높은 정확도와 속도로 객체를 탐지하며, 감지된 결과는 ROS2 python 노드를 통해 Telegram API로 전달되어 관리자에게 실시간으로 침입자 경보 알림을 전송한다. ROS2를 통해 시스템의 확장성과 유연성을 확보했으며, 이를 통해 경비 로봇은 효과적으로 환경을 모니터링하고, 객체나 사람을 탐지하여 경고 시스템을 자동으로 작동할 수 있다. 향후 연구에서는 탐지 성능을 더욱 개선하고 다양한 센서와의 통합을 통해 시스템의 적응력을 높이는 방향으로 발전시킬 계획이다. 본 시스템은 보안 분야에서의 자동화와 효율성을 크게 향상시킬 가능성을 가지고 있다[4].

Acknowledgement

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구 결과임 (No.RS-2024-00459797, No.RS-2023-0277060)

참고문헌

- [1] Itay Krispin-Avraham, Roy Orfaig, Ben-Zion Bobrovsky, "Real-Time 3D Object Detection Using InnovizOne LiDAR and Low-Power Hailo-8 AI Accelerator", arXiv preprint arXiv:2412.05594, 2024.
- [2] Zhao, Neng, and Zihan Qin, A Survey and Test of the Face Detection Model - Based on Yolo v5, The 4th International Conference on Computing and Data Science (CONF-CDS 2022), Chengdu, China, 2022, pp. 601 - 611.
- [3] Ch., Srinivasa Rao, Kandi, Srikanth, Sunkara, Josith Sai Ram, Vemuri, Jaya Surya. "Revolutionizing Industrial Robotics: Smart Localizer's Autonomous Navigation with Ros2-Based Slam Technologies," SSRN Electronic Journal, 19 Dec 2024, pp. 1 -7.
- [4] Ngoc, H. T., Vinh, N. N., Nguyen, N. T., and Quach, L.-D. "Efficient Evaluation of SLAM Methods and Integration of Human Detection with YOLO Based on Multiple Optimization in ROS2," International Journal of Advanced Computer Science and Applications 14, no. 11 (2023): 300-308