

자율 방법 로봇 기반 실내 침입자 탐지 시스템

최정우, 남승우, 박재원, 유경민, 백의준, 김명섭

고려대학교

{choigoya97, nam131119, 2018270614, rudals2710, pb1069, tmskim}@korea.ac.kr

Autonomous security robot based indoor intruder detection system

Jeong-Woo Choi, Seung-Woo Nam, Jae-Won Park, Gyeong-Min Yu, Ui-jun Baek,

Myung-Sup Kim

Korea Univ.

요 약

오늘날의 보안은 삶의 모든 영역에서 중요한 문제로 떠올랐다. 최근에는 CCTV나 열상 장비를 이용해 적은 인원으로 침입자를 탐색하고 대응하는 방식으로 변화하고 있다. 하지만 고정형 CCTV는 제한된 공간에서만 침입에 대응할 수 있고 사각지대가 존재할 수 있다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 고정형 CCTV의 단점을 해결하기 위해 자율 방법 로봇 기반 실내 침입자 탐지 시스템을 제안하고자 한다. 관리자가 지정한 순찰 Spot들을 바탕으로 실내 자율 순찰을 진행하며 딥러닝 기법을 통해 실내 침입자 탐지를 진행한다. 실내 침입자 탐지 시스템의 실용성을 판단하기 위하여 다섯 가지 상황을 가정하여 실험을 진행한 결과 신뢰성 있게 침입자를 탐지하는 것을 확인할 수 있었다.

I. 서 론

오늘날 보안은 삶의 모든 영역에서 중요한 문제로 떠올랐다[1]. 또한 요즘 사람들이 집을 떠나 있는 동안 재산의 보안에 대한 걱정이 특히 증가하고 있다[2]. 명절이나 휴가철마다 빈집털이나 침입 등의 범죄로부터 사람들은 매년 걱정하고 있다. 이러한 문제는 최근 1인 가구가 증가하면서 더욱 심각해지고 있으며, 주인이 없는 집에 몰래카메라를 설치하거나 귀중품이나 벽 등 다양한 사물을 파손하거나 절도하는 범죄도 빈번하게 발생하고 있다.

위와 같은 범죄들에 대응하기 위해 많은 침입자 대응 방식들이 사용되고 있으며, 기존의 방식은 주로 인력을 통한 감시 및 근무로 이루어졌다. 하지만 최근 침입자 대응방식은 CCTV나 열상 장비 등을 이용하여 소수의 인력으로 침입자를 탐색하고 탐지 시 보안 업체 등을 통해 대처하는 방식으로 바뀌어 가고 있는 추세이다[3]. 그러나 이러한 시스템은 한 명의 근무자가 담당하는 장비의 수가 증가하면서, 제대로 대응하지 못할 수도 있다는 문제점이 있다. 대표적으로 2019년 동해안 목선 탈북 사건, 2020년 태안 밀입국 사건 등의 사례가 있다[4].

따라서, CCTV나 열상 장비 등을 이용한 침입자 대응 방식은 탐지와 대응 측면에서 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 이에 대한 대안으로, 객체 인식 등을 통한 지능형 선별 관제 시스템을 도입하는 추세이며, 이를 위해 다양한 침입자 탐지 방법론이 연구되고 있다. 예를 들어, CCTV 카메라를 이용하여 얼굴 인식과 딥러닝 기법을 활용하여 건물 출입 승인 여부나 침입자 여부를 판별하는 방법 등이 있다.

하지만 특정 위치에 고정된 CCTV는 한정된 영역에서만 침입에 대응할 수 있다는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 여러 대의 CCTV를 사용해도 각 장비들 사이의 사각지대가 존재할 수 있어 이러한 문제들 완전히 해결하기는 어렵다.

본 논문은 자율 주행이 가능한 자율 방법 로봇을 활용하여 딥러닝 기법을 적용한 실내 침입자 탐지 시스템을 제안한다. 본 논문에서는 딥러닝 기법 중 하나인 YOLO (You Only Look Once)를 활용하여 실내 침입자 탐지를 진행했다. 제안하는 시스템은 야간과 같이 건물에 출입이 허용되지 않는 시간대에 순찰자의 역할을 자율 방법 로봇이 대신 수행함으로써 기존 방법 방식의 문제점을 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

2장에서는 ROS, YOLO의 주요 내용을 다루고 3장에서는 실내 침입자 탐지 시스템의 내용에 대해서 다루고 4장에서는 다양한 상황에서 실내 침입자 탐지 시스템의 테스트에 대한 내용을 다루고 마지막으로 5장에서는 본 논문의 주요 결과 요약과 향후 개선할 연구 및 기대 효과에 대해서 다룬다.

II. 관련 연구

ROS (Robot Operating System)는 수많은 라이브러리, 툴 및 프로토콜을 통합하고 로봇의 제어를 크게 단순화하는 로봇 소프트웨어를 작성하기 위한 프레임워크이다[5]. ROS는 서버와 각 로봇 사이의 통신, 저수준 기기제어, GUI 등 다양한 기능들을 라이브러리의 형태로 제공하여 로봇 응용 소프트웨어 개발을 지원한다. 로봇의 자율주행은 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)과 Navigation을 통해 수행된다. SLAM은 임의 공간에서 이동하면서 지도를 작성함과 동시에 로봇의 위치를 추정하는 것을 의미한다. 로봇은 센서를 통해 데이

1) 본 논문은 2020년도 산업통상자원부 및 한국산업기술 평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구 (No. 20008902, IT비용 최소화를 위한 5채널 탐지기술 기반 SaaS SW Management Platform(SMP) 개발) 이고, 2021년도 교육부의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과 (2021IRIS-004)임

터를 수집하고 이를 바탕으로 스스로 지도를 작성한다. SLAM 과정을 통해 작성된 지도를 바탕으로 지정된 목적지까지 최적의 경로를 계산하여 이동하는 것이 Navigation이다.

YOLO는 단일 신경망 구조로 구성되어 있어 구성이 단순하고 처리 속도가 빠르다는 특징을 가지고 있다. 또한, 주변의 정보까지 학습하여 이미지 전체를 처리하므로 background error가 적다는 장점이 있다. 이러한 특징들을 바탕으로 실시간 객체 탐지가 가능하다

III. 본론

본 장에서는 실내 침입자 탐지 시스템의 구조, 자율 방법 로봇의 구조와 스펙, 자율 방법 로봇의 실내 자율 순찰, 그리고 실내 침입자 탐지 알고리즘에 대한 내용을 다룬다.

본 시스템은 MS (Management Server), 자율 방법 로봇, 모바일 관제 디바이스로 구성된다. 그림 1은 이러한 시스템의 구성으로 보여준다. 자율 방법 로봇은 실내 자율 순찰을 수행하며 초당 20장의 이미지를 MS로 전송하여 실시간으로 침입자를 탐지할 수 있도록 한다. 이 때 네트워크 환경을 고려하여 MS로 전송하는 이미지는 해상도를 낮춰 전송한다. 또한, 자율 방법 로봇에는 딥러닝 기법을 수행하기에 적절하지 않은 PC가 설치되어 있기 때문에, 이미지를 MS로 전송하고 MS에서 딥러닝 기법의 실내 침입자 탐지를 수행한다. 만약 침입자가 탐지되면, 모바일 관제 디바이스로 알림 메시지를 전송하여 관리자가 해당 상황에 즉각적으로 대응할 수 있도록 한다.

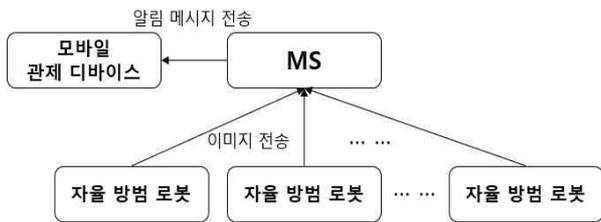


그림 1 실내 침입자 탐지 시스템 구성도

자율 방법 로봇의 크기는 80 x 56 x 130.5cm이다. 자율 방법 로봇은 상부 서비스 모듈, 하부 모빌리티 모듈과 충전기로 구성되어 있다. 상부 서비스 모듈에는 Depth 카메라, 공기질 측정 센서, 마이크, 열화상 카메라, 카메라가 설치되어 있다. 하부 모빌리티 모듈에는 구동 모터, LiDAR 센서, Depth 카메라, 초음파 센서, 범퍼 센서가 설치되어 있다. 아래의 그림 2는 자율 방법 로봇의 구성도다.



그림 2 자율 방법 로봇 구성도

아래의 그림 3은 상부 서비스 모듈 및 카메라의 구성도다.

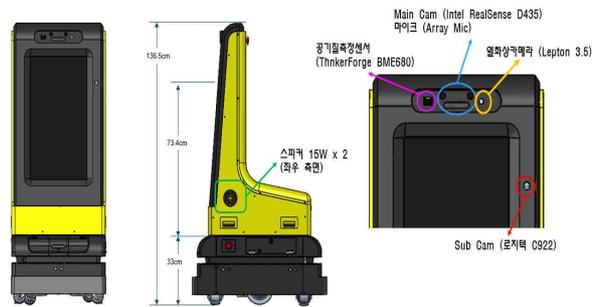


그림 3 상부 서비스 모듈 및 카메라 구성도

자율 방법 로봇의 실내 자율 순찰은 순찰 구역 지도 작성, 실내 순찰 Spot 지정, 실내 자율 순찰로 크게 세 단계로 구분할 수 있다.

순찰 구역 지도 작성의 단계에서는 SLAM을 활용하여 순찰 구역의 지도를 작성한다. 이 과정은 순찰을 진행할 공간의 구조 인지, 자율 방법 로봇의 위치 추정에 매우 필수적이다. 본 논문에서는 본교 제2과학기술대학 3층의 복도를 실내 방법 시스템의 테스트 장소로 선정하여 진행하였고, 그 결과 작성된 지도를 아래의 그림 4에서 확인할 수 있다.

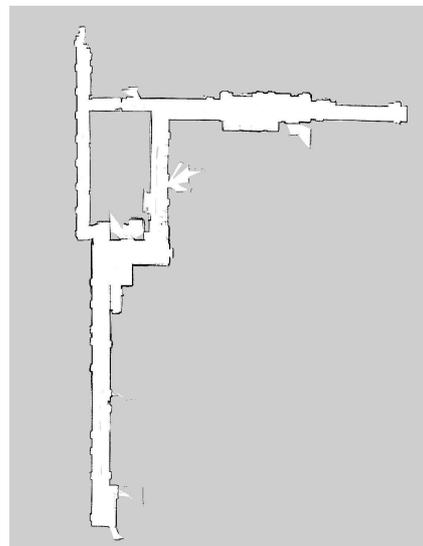


그림 4 제2과학기술대학 3층 지도

실내 순찰 Spot 지정 단계에서 순찰 구역 내 자율 방법 로봇이 순회할 순찰 Spot을 지정하고, 실내 자율 순찰 단계에서 해당 순찰 Spot들을 바탕으로 실내 자율 순찰을 진행한다. 그림 5는 순찰 구역 내 순찰 Spot을 지정한 모습을 보여준다. 이번 연구에서는 총 9개의 순찰 Spot을 지정하여 실내 자율 순찰을 진행하였다.

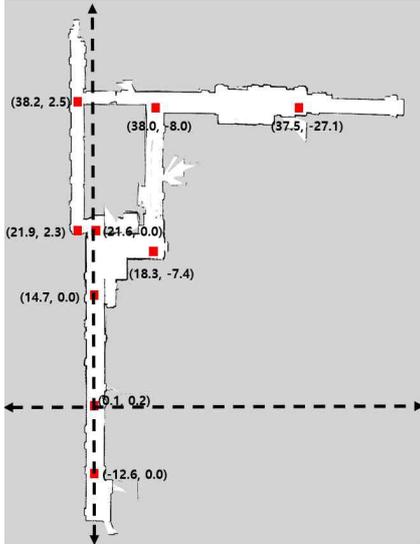


그림 5 순찰 Spot 지정

실내 침입자 탐지 알고리즘의 목표는 건물에 출입이 허가되지 않은 시간대에 실내 침입에 대한 정확한 탐지다.

건물의 출입이 허가되지 않은 시간대에 자율 방법 로봇을 통해 실내 자율 순찰을 진행하며 이미지를 MS로 전송한다. 이번 실험에서는 침입자 탐지의 실시간성을 보장하고자 초당 20개의 이미지를 MS로 전송하였다. MS는 로봇으로부터 받은 이미지를 입력으로 딥러닝 기반 침입자 탐지를 진행한다. 이번 실험에서는 여러 딥러닝 기법 중에서 YOLO v7을 사용하여 침입자 탐지를 진행하였다. 사람을 객체 클래스 중 하나로 설정하고, 해당 객체가 탐지되면 침입자로 간주하고 모바일 관제 디바이스로 알림을 전송한다. 이를 통해 관리자는 실시간으로 해당 상황에 대응할 수 있다. 그림 6은 이 시스템에서 사용되는 실내 침입자 탐지 알고리즘의 구조를 보여준다.

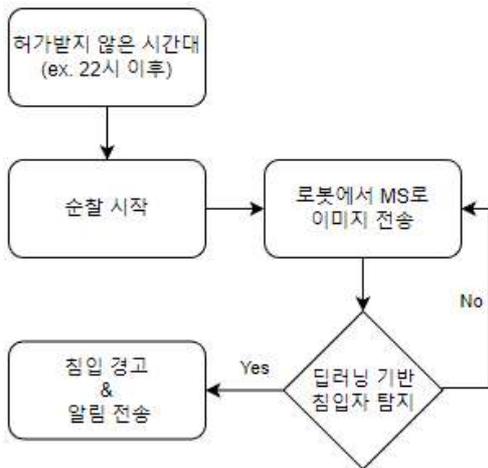


그림 6 실내 침입자 탐지 알고리즘

IV. 실험 및 실험 결과

실제 테스트에서 자율 방법 로봇의 주행은 매끄럽게 진행되었지만, 좁은 복도나 S자 복도와 같은 환경에서는 로봇의 주행이 불안정한 것으로 확인할 수 있었다. 이를 해결하기 위해 로봇 주행 관련 파라미터를 조정하거나, 문제가 되는 구간에서는 더욱 짧은 간격으로 순찰 Spot을 지정하여 로봇이 자주 경로를 생성하도록 조정하였다. 아래의 그림

7과 그림 8은 실내 자율 순찰을 진행하는 모습이다.



그림 7 S자 복도 주행 모습



그림 8 좁은 복도 주행 모습

실내 침입자 탐지 알고리즘의 실용성을 평가하기 위해 다섯 가지 상황을 가정하여 알고리즘을 테스트하였다. 테스트 상황에 대한 자세한 내용은 아래의 표 1에 나타나 있다.

상황	조건						
	한 명	두 명	근거리	원거리	역광	은신	도주
1	✓		✓				✓
2		✓	✓				✓
3	✓			✓	✓		✓
4		✓		✓		✓	
5		✓		✓	✓		✓

표 1 다섯 가지 테스트 상황

첫 번째 상황은 한 명의 침입자가 근거리에서 로봇을 발견하고 도주하는 경우다. 두 번째 상황은 두 명의 침입자들이 근거리에서 로봇을 발견하고 도주하는 경우다. 아래의 그림 9는 두 번째 상황에서 두 명의 침입자들이 근거리에서 로봇을 발견하고 도주하는 모습을 보여준다. 세 번째 상황은 한 명의 침입자가 근거리에서 로봇을 발견하고 역광 방향으로 도주하는 경우다. 아래의 그림 10은 세 번째 상황에서 한 명의 침입자가 근거리에서 로봇을 발견하고 역광 방향으로 도주하는 모습을 보여준다. 네 번째 상황은 두 명의 침입자들이 원거리에서 로봇을 발견하고 은신하는 경우다. 아래의 그림 11은 네 번째 상황에서 두 명의 침입자들이 원거리에서 로봇을 발견하고 은신하기 위해 움직이는 모습을 보여준다. 다섯 번째 상황은 두 명의 침입자들이 원거리에서 로봇을 발견하고 역광 방향으로 도주하는 경우다. 아래의 그림 12는 다섯 번째 상황에서 두 명의 침입자들이 원거리에서 로봇을 발견하고 역광 방향으로 도주하는 모습을 보여준다.



그림 9 두 명의 침입자
도주



그림 10 역광 방향으로
도주



그림 11 두 명의 침입자
은신



그림 12 두 명의 침입자
도주

아래의 표2는 앞서 가정된 다섯 가지 상황에서의 테스트 결과를 나타내며, 각 상황에서 YOLO v7의 confidence score를 High confidence score와 Low confidence score로 나누어 보여준다. High confidence score와 Low confidence score는 침입자가 최초로 탐지되는 순간부터 로봇의 시야에서 벗어나는 순간까지의 전체 테스트 과정에서 계산되었다.

결과적으로 다섯 가지 상황 모두 High confidence score는 90%를 넘지만 Low confidence score는 40~50% 수준으로 낮은 것을 확인할 수 있었다. 특히 첫 번째와 두 번째 상황에서는 침입자가 벽에서 나오는 순간에 각각 50%와 56%의 낮은 confidence score로 침입자를 탐지 하였으나, 곧바로 90% 이상의 높은 confidence score로 침입자를 탐지 하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 두 명의 침입자가 탐지된 상황에서는 뒤에 있는 침입자를 상대적으로 낮은 confidence score로 탐지하는 경우가 있었다. 세 번째 상황에서는 침입자가 역광을 향해 도주하면서 confidence score가 점점 낮아지다가 41%까지 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 세 번째, 네 번째, 다섯 번째 상황에서는 로봇과 침입자 사이의 거리가 멀어질수록 confidence score가 낮아지는 경향을 보였다.

실시한 테스트에서는 YOLO v7 알고리즘의 한계로 인해 자율 방법 로봇과 침입자 사이의 거리가 멀어진 경우나 침입자가 역광 방향으로 도주하는 경우 등에서는 confidence score가 낮아졌다. 하지만 confidence score가 40%를 초과하면 해당 객체를 침입자로 판단하므로, 주간 시나리오에서는 실내 침입자 탐지 시스템이 신뢰성 있게 작동하는 것을 확인할 수 있었다.

상황	High confidence score(%)	Low confidence score(%)
1	95	50
2	94	56
3	93	41
4	92	47
5	92	51

표 2 다섯 가지 상황 테스트 결과

V 결론

본 논문에서는 자율 방법 로봇 기반 실내 침입자 탐지 시스템을 제안하였다. 자율 방법 로봇은 건물 내부에서 출입이 허가되지 않은 시간대에 자율적으로 순찰하며 MS로 이미지를 전송한다. MS에서는 로봇으로부터 전달받은 이미지를 입력으로 딥러닝 기술을 이용하여 침입자를 탐지한다. 침입자가 발견되면 모바일 관제 디바이스를 통해 알림을 전송하여 관리자가 신속하게 대응할 수 있도록 한다. 제안된 시스템을 통해 기존의 방법 방식의 단점을 극복하고 더욱 효과적인 방법 서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구 방향으로서는 침입자가 도주하는 경우를 고려하여 실내 침입자 탐지 후 도주하는 침입자를 추격하는 시스템을 개발하여 제안된 시스템을 보완하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] Mrunal Khedkar, GajendraAsutkar, R.Hariprakash, "Wireless Intruder Detection System for Remote Locations", Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT), vol.12 no.12, pp. 1390-1401, May.2021.
- [2] R.C.P.D peiris, R.Tharmikka et al. "Intruder Detection System Through Walking Pattern Analysis for Home Security", No data, 2021
- [3] 최정우, 박지태, 김명섭 "실내 방법 로봇에서 YOLO와 VMD를 활용한 실내 침입자 탐지", 대한설비관리학회, Vol.27 No.4, pp.13-19, Dec. 2022.
- [4] 박종현, 안성은, 조우현, "ROS 기반 군집로봇의 지능형 추적 알고리즘 설계", 2020 한국정보처리학회 추계학술발표대회, Vol.27, no.2, pp.545-547, December 16. 2020.
- [5] Dgouza R, Bainagri P, Dicholkar A, "Intelligent security robot", International Journal of Scientific and Technical Advancements, Vol .2, no.1, pp.221-224, No data, 2016