

# Indoor Intruder Detection Using YOLO and VMD in Indoor Security Robot

Jeong Woo Choi<sup>†</sup>/Master Student · Jee Tae Park/Ph.D Student · Myung Sup Kim/Professor  
Department of Computer and information Science, Korea University

## 실내 방범 로봇에서 YOLO와 VMD를 활용한 실내 침입자 탐지

최정우<sup>†</sup>/석사과정 · 박지태/박사과정 · 김명섭/교수

고려대학교 컴퓨터정보학과

### Abstract

Today, security has become an important issue in all areas of life. Recently, the intruder response method is changing to using CCTV or thermal imaging equipment to search for intruders with a small number of people and respond to security companies when they are caught. However, the fixed CCTV has the disadvantage that it can respond to intrusions only in a limited area and there may be blind spots. Therefore, in this paper, we propose an indoor intruder detection system through YOLO and VMD based on an indoor crime prevention robot capable of autonomous driving to solve the shortcomings of the existing fixed CCTV. The autonomous driving of the robot proceeds by sequentially moving the coordinates designated by the manager through the multi-point cruise function. Using the YOLO v3 Tiny model that can be used even in low-spec environments among various YOLO models, if an object corresponding to the Person class is detected, it is determined as the first intruder detection. VMD detects the movement of an object by comparing the three frames, and when a movement is detected, it is finally determined as an intruder. An experiment was conducted to compare the mAP and FPS of YOLO v3 and YOLO v3 Tiny, and it was confirmed that the FPS of YOLO v3 Tiny was 223, far superior to YOLO v3.

Keywords : Intruder detection, Autonomous robots, Motion detection

## 1. 서 론

오늘날 보안은 삶의 모든 영역에서 중요한 문제로

떠오르고 있다[1]. 또한 요즘 사람들이 집을 떠나 있는 동안 집과 재산의 보안에 대한 걱정이 특히 증가하고 있다[2]. 특히 명절과 휴가철마다 기승하는 빈집털이 범죄에 대한 문제는 매년 반복되었다. 또한 1인 가구가

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.

Corresponding Author: choigoya97@korea.ac.kr

©2022 The Korean Institute of Plant Engineering

Received 19 September 2022; Revised 2 October 2022; Accepted 23 December 2022

증가하고 있는 상황에서 주인이 없는 집에 침입해서 화재 감지기, 시계 등 다양한 사물에 몰래카메라를 설치하는 범죄 혹은 재산 피해를 입히는 강도 범죄에 대한 문제도 많은 사람들로 하여금 걱정을 유발한다.

기존의 침입자 대응 방식은 인력을 이용한 감시, 근무였다. 하지만 최근 침입자 대응 방식은 CCTV나 열상 장비 등을 이용하여 소수의 인력으로 침입자를 탐색하고 탐지 시 보안업체 등을 통해 대처하는 방식으로 바뀌어 가고 있는 추세이다. 하지만 이러한 시스템은 한 명의 사람이 감당해야 하는 장비의 수가 많아 제대로 업무가 이루어지지 않을 수도 있다는 문제점이 있다. 대표적으로 2019년 동해안 목선 탈북 사건, 2020년 태안 밀입국 사건 등의 사례가 있다[3].

이처럼 CCTV나 열상 장비 등을 통한 침입자 대응 방식은 탐지와 대응의 측면에서 허점이 존재한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 객체 인식 등을 통한 지능형 선별 관제 시스템을 도입하는 추세이다. 침입자 감지를 위한 많은 방법론들이 존재한다. 예를 들어 CCTV 카메라 시스템은 얼굴을 감지하고 지능형 처리를 사용하여 해당 인물이 승인된 인물인지 침입자인지의 여부를 판별할 수 있다.

하지만 고정형 CCTV는 한정된 영역에서만 침입에 대응할 수 있다는 단점이 존재한다. 또한 여러 대의 고정형 CCTV를 설치하여 침입에 대응하더라도 해당 장비들 사이에 사각지대가 존재할 수도 있다는 단점이 존재한다.

따라서 본 논문에서는 자율주행이 가능한 로봇을 기반으로 YOLO (You Only Look Once), VMD (Video Motion Detection)를 통한 실내 침입자 탐지시스템을 제안한다. 이를 통해 기존 고정형 CCTV의 단점으로 거론되는 한정된 영역에서만 침입에 대응할 수 있다는 단점을 해결했다.

2장에서는 ROS, YOLO, VMD의 주요 내용과 더불어 실제 구현된 실내 침입자 탐지 로봇의 구조와 실내 침입자 탐지 알고리즘에 관한 내용을 다룬다. 3장에서는 실내 침입자 탐지 실험에 관한 내용을 다룬다. 마지막

막으로 4장에서는 본 논문의 주요 결과 요약, 향후 개선할 연구 및 기대 효과에 관한 내용을 다룬다.

## 2. 본 론

### 2.1 적용 기술

#### 2.1.1 ROS

ROS (Robot Operating System)는 수많은 라이브러리, 툴 및 프로토콜을 통합하고 로봇 제어를 크게 단순화하는 로봇 소프트웨어를 작성하기 위한 프레임워크이다[4]. 또한 서버와 각 로봇 사이의 통신, 저수준 기기 제어, GUI 등 로봇 응용 소프트웨어 개발을 위한 다양한 기능들을 라이브러리 형태로 제공하고 있다. 본 논문에서는 ROS에서 제공하는 라이브러리 중 SLAM (Simultaneous Localization And Mapping), Navigation, DWA (Dynamic Window Approach)를 사용했다. SLAM은 임의 공간에서 이동하면서 지도를 그림과 동시에 로봇의 위치를 추정하는 것을 말한다. 로봇이 돌아다니면서 센서를 통해 얻은 데이터들을 바탕으로 스스로 지도를 작성한다. SLAM 과정을 통해 생성된 지도를 가지고 지정된 좌표까지 도달하는 경로를 찾는 방법이 Navigation이다. DWA는 로봇의 속도 탐색 영역에서 로봇과 충돌 가능한 장애물을 회피하면서 목표 지점까지 빠르게 도달할 수 있는 속도를 선택하는 방법이다.

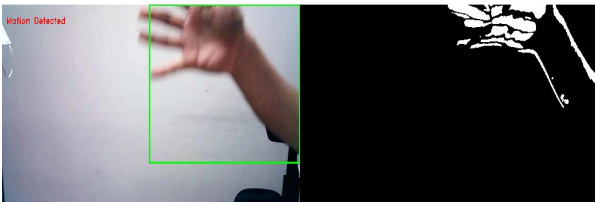
#### 2.1.2 YOLO

기존의 R-CNN과 같은 객체 탐지 모델은 복잡한 처리 과정으로 인해 실시간으로 물체를 검출하는데 있어 어려움이 있다[5]. YOLO는 단일 신경망 구조이기 때문에 구성이 단순하고 처리 속도가 빠르다는 특징을 가진다. 또한 주변 정보까지 학습하여 이미지 전체를 처리하기 때문에 background error가 적다. 이러한 특징

들을 바탕으로 실시간으로 객체 탐지가 가능하다. 이번 연구에서는 낮은 사양의 환경에서도 사용이 가능한 YOLO v3 Tiny를 사용했다. YOLO v3 Tiny는 YOLO v3에 비해 속도가 빠른 대신 인식 정확도가 낮다.

### 2.1.3 VMD

VMD는 보안 카메라의 화면과 캡처된 순간에 이미지를 분석할 수 있는 소프트웨어와 조합하여 동작한다. 움직임 감지 방법은 카메라의 이미지 품질과 사용되는 분석 소프트웨어의 품질이라는 두 가지 주요 구성 요소에 크게 의존한다. 특정 경계 내에서만 움직임을 감지하거나 모든 움직임을 단순히 감지하기만 하기도 한다. 본 논문에서는 움직임 감지의 영역은 카메라로 볼 수 있는 범위와 같다. 움직임을 감지하기 위해서는 단순히 전후 영상의 차이로 구하면 안 된다. 왜냐하면 고정되어 있는 물체라도 미세한 움직임이 존재하는 경우가 있을 수 있기 때문이다. 따라서 세 개의 프레임 a, b, c를 순차적으로 얻어서 a와 b의 차이 그리고 b와 c의 차이가 모두 발견되는 경우에만 움직임을 감지하는 방식으로 진행했다. a와 b, b와 c가 각각 5개 이상의 픽셀이 25이상의 픽셀 값이 다르다면 차이가 있다고 판단했다. 다음 [Figure 1]은 카메라를 통한 움직임 감지를 통해 물체의 움직임을 감지한 예시이다.



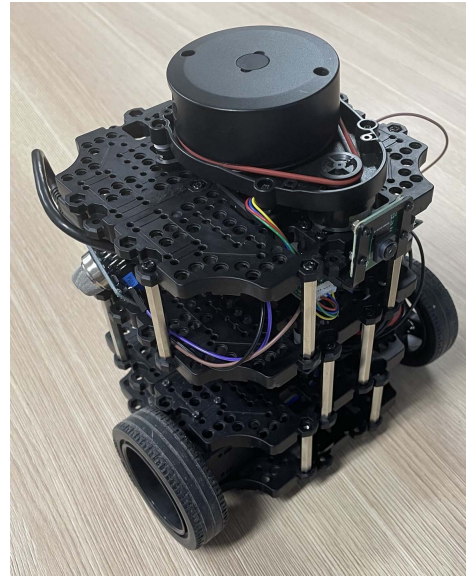
[Figure 1] Motion detection through camera

## 2.2 실내 침입자 탐지 시스템

### 2.2.1 구현된 실내 침입자 탐지 로봇의 구조

실내 침입자 탐지 로봇의 내구성과 다양한 센서의

장착을 고려하면서 하중을 최대한으로 줄이고 좋은 안정성을 유지한다. 실내 침입자 탐지 로봇은 4층 구조와 바퀴가 달린 형태이다. 구현된 실내 침입자 탐지 로봇은 다음 [Figure 2]와 같다.



[Figure 2] The implemented indoor intruder detection robot

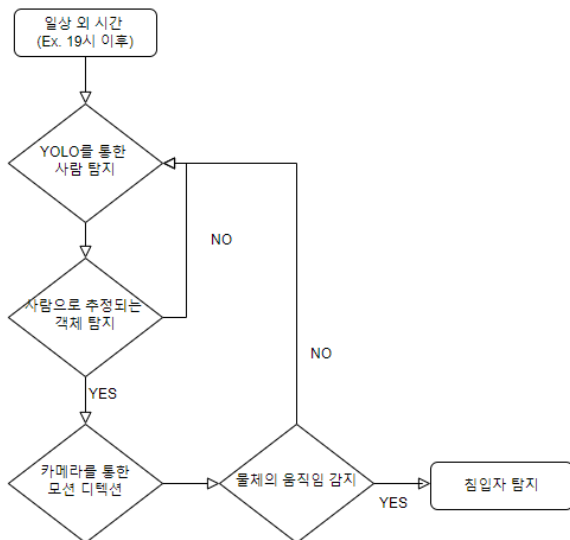
1층에는 Li-Po 배터리와 두 개의 바퀴가 설치되어 있다. 2층에는 OpenCR 1.0이 설치되어 있다. 3층에는 라즈베리 파이 4가 설치되어 있다. 4층에는 LDS-02 LiDAR 센서, 라즈베리 파이 카메라가 설치되어 있다.

### 2.2.2 실내 침입자 탐지 알고리즘

실내 침입자 탐지 알고리즘은 크게 두 가지 단계로 구분할 수 있다. YOLO v3 Tiny를 사용한 1차 침입자 탐지 단계와 움직임을 통한 2차 침입자 탐지 단계가 있다. 실내 침입자 탐지 알고리즘의 구조는 다음 [Figure 3]와 같다.

실내 침입자 탐지의 배경이 되는 건물의 사람들이 활동을 종료하고 건물에서 나가는 시간 이후 실내 침입자 탐지 로봇을 통해 실내 침입자 탐지가 시작된다. 실내 침입자 탐지 로봇은 일상 외 시간에는 항상

YOLO v3 Tiny를 작동한 상태에서 건물을 순찰한다. 이때 YOLO v3 Tiny에 Person 클래스에 해당하는 물체가 인식되면 1차적으로 침입자가 실내로 침입했다고 판단한다. 실내 침입자 탐지 로봇은 해당 물체에 대한 움직임 감지를 수행하기 위해 해당 위치에 정지하여 카메라를 통해 해당 물체의 움직임을 감지한다. 이때 움직임이 감지된다면 해당 물체를 최종적으로 침입자라고 판단하여 무단 실내 침입에 대한 경고음 작동 및 해당 장면을 캡처하여 로그를 남겨 관리자의 대응에 도움을 준다. 하지만 해당 물체의 움직임이 감지되지 않는다면 침입 의심 상황으로 따로 분류 후 로그를 남긴 다음 다시 순찰을 진행한다.



[Figure 3] Indoor Intruder detection Algorithm

### 3. 실험

#### 3.1 실내 침입자 탐지 로봇 자율 주행 기능

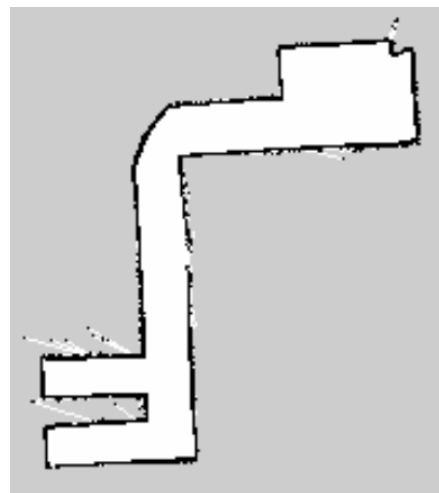
##### 3.1.1 SLAM을 통한 지도 생성

자율 주행의 전제는 로봇이 동시에 위치 확인과 지도 구축을 수행할 수 있고 구축된 지도에서 실시간으로 자신의 위치를 찾을 수 있다는 것이다[6]. 이것은

주로 SLAM을 통해 이루어진다. SLAM 기능을 사용하면 해당 로봇은 바퀴 회전수와 카메라 및 기타 영상 센서에서 가져온 데이터를 사용하여 필요한 움직임의 양을 파악할 수 있다. 이를 위치 추정이라고 한다. 또한 해당 로봇은 카메라와 기타 센서를 동시에 사용하여 주변 환경의 장애물 지도를 생성하고 같은 구역을 반복적으로 방문하는 경우를 방지할 수 있다. 이를 지도 작성이라고 한다. 실험 환경은 본교 과학기술관 3층 강의실을 선택했다. 다음 [Figure 4]는 실제 테스트 환경을 보여준다. [Figure 5]는 실내 침입자 탐지 로봇이 SLAM을 통해 작성한 장애물 지도이다.



[Figure 4] Actual test environment



[Figure 5] Map created by indoor intruder detection robot via SLAM

### 3.1.2 다점 순항 기능

SLAM을 통해 작성된 지도를 바탕으로 순찰 구역 내 순찰을 위해 다점 순항 기능을 사용한다. 다점 순항 기능은 다음과 같은 순서로 진행된다.

- 1) rviz 3차원 시각화 도구 실행, 이 때 실내 침입자 탐지 로봇의 초기 위치는 관리자에 의해 고정 및 주변 장애물 인식 과정을 자동으로 진행한다.
- 2) 관리자가 순찰 구역 내 여러 개의 좌표를 지정한다.
- 3) 실내 침입자 탐지 로봇은 지정된 좌표들을 순차적으로 순회하면서 순찰 구역에 대한 순찰을 진행한다. 다음 [Figure 6]는 다점 순환 기능의 예시이다.



[Figure 6] Example of multi-point circulation function

### 3.2 YOLO를 활용한 사람 인식 실험

YOLO v3와 YOLO v3 Tiny를 활용한 사람 인식의 성능을 비교하기 위해 실험을 진행한다. 각 모델의 mAP (mean Average Precision)와 FPS (Frame Per

Second)를 비교함으로써 성능을 비교한다. 객체 클래스가 여러 개인 경우 각 클래스 별로 Average Precision 값이 나온다. 이것을 모두 더한 뒤 클래스 수로 나뉘 얻는 값을 mAP라 한다. 이렇게 얻게 되는 mAP는 객체 검출 알고리즘의 성능을 평가하는데 널리 사용된다. FPS는 각 모델의 속도를 비교하기 위해 사용했다.

- 1) 실험 공간에 카메라를 고정한다.
- 2) 약 5분간 사람 인식을 수행한다.
- 3) 각 모델의 mAP와 FPS를 도출한다.
- 4) 위의 과정을 5회 반복 후 결과를 도출한다.

### 3.3 YOLO를 활용한 사람 인식 실험 결과

아래의 <Table 1>은 YOLO를 활용한 사람 인식 실험의 결과이다. YOLO v3의 경우 3개의 모델을 사용해 mAP와 FPS를 비교했다. YOLO v3 뒤의 숫자는 처리할 영상의 크기를 의미한다. YOLO v3-608이 mAP가 가장 우수하지만 FPS가 가장 낮은 것을 확인할 수 있다. YOLO v3 중 가장 빠른 YOLO v3-320과 YOLO v3 Tiny를 비교해봤을 때 mAP의 경우 YOLO v3-320이 앞서지만 FPS의 경우 YOLO v3 Tiny가 월등하게 앞서는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 낮은 사양의 환경에서의 실시간 사람 인식에는 YOLO v3 Tiny가 가장 적합하다는 것을 확인했다.

<Table 1> Human perception experiment results

모델	mAP	FPS
YOLO v3-320	50.5	45
YOLO v3-416	55.3	36
YOLO v3-608	58.2	19
YOLO v3 Tiny	34.2	223

### 3.4 실내 침입자 탐지 실험

위에서 언급한 자율주행 기능을 바탕으로 수행되는 침입자 탐지에 사용되는 기능들에 대한 실험을 진행했

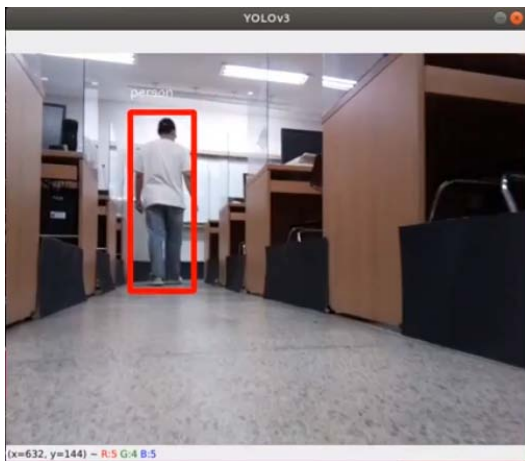


다.

먼저 실내 침입자 탐지 로봇은 다점 순환 기능을 통해 지정된 좌표들을 순회한다. 이 때 YOLO v3 Tiny에 Person 클래스에 해당하는 물체가 인식되면 1차적으로 침입자가 실내에 침입했다고 탐지로 판단한다. 아래 [Figure 7]은 YOLO v3 Tiny를 통한 사람을 인식한 모습이다.

이 때 실내 침입자 탐지 로봇은 해당 물체에 대한 움직임 감지를 수행하기 위해 해당 위치에 정지하여 카메라를 통해 해당 물체의 움직임을 감지한다. 이 때 움직임이 감지된다면 최종적으로 해당 물체를 침입자라고 판단하게 된다. 아래의 [Figure 8]은 해당 물체에 대한 모션 디텍션을 수행한 모습이다.

이와 같이 사람 인식과 움직임 감지를 통해 실내 침입자 탐지하는 과정이 순조롭게 진행되는 것을 확인했다. 해당 과정을 통해 기존에 사용하던 고정형 CCTV의 한정된 영역에서만 침입에 대응할 수 있다는 단점을 해결했다. 하지만 YOLO v3 Tiny를 통한 사람 인식 기능에서 카메라가 낮은 위치에 있기 때문에 초근접한 객체에 대해서는 인식이 어렵다는 문제가 확인됐다.



[Figure 7] Human Recognition with YOLO v3 Tiny



[Figure 8] Appearance performing motion detection

## 4. 결 론

본 논문에서는 YOLO와 VMD를 활용한 실내 침입자 탐지시스템을 제안했다. 실내 침입자 탐지 로봇은 실내 침입자 탐지의 배경이 되는 건물의 사람들이 활동을 종료하고 건물에서 나가는 시간 이후 YOLO v3 Tiny를 활용해 Person 클래스에 해당하는 물체가 인식되면 1차적으로 침입자가 실내로 침입했다고 판단한다. 실내 침입자 탐지 로봇은 해당 물체에 대한 움직임 감지를 수행하기 위해 해당 위치에 정지하여 카메라를 통해 해당 물체의 움직임을 감지한다. 이때 움직임이 감지된다면 해당 물체를 최종적으로 침입자라고 판단한다.

제안된 시스템을 통해 기존 고정형 CCTV의 단점인 한정된 영역에서만 침입에 대응할 수 있다는 점과 사각지대에 대한 점을 해결하여 더욱 효과적으로 침입에 대응할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구로는 침입자가 도주하는 상황을 고려하여 현재 구현된 실내 침입자 탐지시스템에 최종적으로 침입자라고 판단된 인물이 도주하는 경우 해당 인물을 지속적으로 추적하여 추적 과정을 영상으로 로그를 남겨 추후 대응 단계에 더 많은 정보를 제공할 수 있는 추적 시스템에 대한 내용을 진행할 예정이다.

## Acknowledgement

This work was supported by the Technology Innovation Program grant funded By the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE, Korea) and the Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT)

(No. 20008902, Development based of SaaS SW Management Platform based on 5 Channel Discovery technology for IT Cost Saving) and supported by "Regional Innovation Strategy (RIS)" through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(MOE)(2021RIS-004).

Real-Time User Joints and YOLOv3", The Korean Institute Of Broadcast And Media Engineers Summer Conference proceeding, vol.2021, no.6, pp.228-231, 2021.

- [6] Haikun Di, Zhenzhong Chu, "Design of indoor mobile robot based on ROS and lidar", RobCE 2022, pp.66-62, Online, 2022.

## References

- [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. "Intuder Detection System Through Walking Pattern Analysis for Home Security", No data, 2021.
- [3] Jong-Hyun Park, Seong-Eun Ahn, Woo-hyun Cho, "Design of intelligent tracking algorithm for ROS-based swarm robot.", Korea Information Processing Society 2020 Winter KIPS Conference proceeding, vol.27, no.2, pp.545-547, December 16, 2020.
- [4] Dgouza R, Bainagri P, Dicholkar A, "Inelligent security robot", International Journal of Scientific and Technical Advancements, vol.2, no.1, pp.221-224, No data, 2016.
- [5] Oh, Ye-Jun, Kim, Sang-Joon, Choi Hee-Jo, Park, Goo-Man, "Detection of User Behavior Using