

# 다중스펙트럼을 이용한 횡단보도 보행자 감지에 관한 연구<sup>+</sup>

(A study on the detection of pedestrians in crosswalks using  
multi-spectrum)

김정훈<sup>1)</sup>, 최두현<sup>2)</sup>, 이종선<sup>3)</sup>, 이동화<sup>4)\*</sup>

(Junghun kim, Doo-Hyun Choi, JongSun Lee, and Donghwa Lee)

**요약** 주간 및 야간의 보행자 감지를 위해서는 다중 스펙트럼 활용이 필수적이다. 본 논문에서는 교통사고의 위험성이 높은 교차로에서 횡단보도 근처의 보행자를 24시간 검출하기 위해 컬러 카메라 및 열화상 적외선 카메라를 사용하였다. 보행자 탐지를 위해서 YOLO v5 객체 검출기를 사용하였으며 컬러 이미지와 열화상 이미지를 동시에 사용하여 감지 성능을 향상 시켰다. 제안된 시스템은 실제 횡단보도 현장에서 확보한 주·야간 다중 스펙트럼(색상 및 열화상) 보행자 데이터 셋에서 Iou 0.5 기준 0.94 mAP의 높은 성능을 보였다.

**핵심주제어:** 딥러닝, 객체 감지, YOLOv5, 보행자 감지, 멀티 스펙트럼

**Abstract** The use of multi-spectral cameras is essential for day and night pedestrian detection. In this paper, a color camera and a thermal imaging infrared camera were used to detect pedestrians near a crosswalk for 24 hours at an intersection with a high risk of traffic accidents. For pedestrian detection, the YOLOv5 object detector was used, and the detection performance was improved by using color images and thermal images at the same time. The proposed system showed a high performance of 0.940 mAP in the day/night multi-spectral (color and thermal image) pedestrian dataset obtained from the actual crosswalk site.

**Keywords:** Deep Learning, Object Detection, YOLOv5, Pedestrian Detection, Multi-spectrum

## 1. 서론

횡단보도 중 교통량이 적은 곳은 차량 신호등

을 황색 점멸로만 운영하고 있는 곳이 많다. 차량 운전자는 이러한 구간에서 속도를 줄이고 보행자를 살피면서 지나가야 하는데 특히 야간 시간대에 보행자를 보지 못하여 발생하는 사고로 치명적인 인명피해로 이어지는 경우가 많다 (Jeon et al., 2018). 이러한 사고를 예방하기 위해 황색 점멸구간 및 일반적인 횡단보도 구간에서 Fig. 1과 같은 형태의 보행자 충돌방지 시스템이 개발되어 시범 설치되어 운용되었지만, 열화상 카메라 사용 시 야간 대비 떨어지는 주간 및 하절기에서의 열화상 카메라의 탐지성능

\* Corresponding Author: leedonghwa@daegu.ac.kr

+ 이 논문은 2017학년도 대구대학교 학술연구비지원에 의한 논문임.

Manuscript received November 07, 2021 / revised December 03, 2021 / accepted December 20, 2021

1) 경북대학교 전자공학부, 제1저자

2) 경북대학교 전자공학부, 제2저자

3) ㈜아이티에스뱅크, 제3저자

4) 대구대학교 ICT융합학부, 교신저자

때문에 컬러 카메라의 필요성이 다시 대두되었다 (Ling et al., 2007; Jung et al., 2013; Cho et al., 2014; Zhang et al., 2020).

기존 장비에서 컬러 카메라는 야간 성능이 떨어지는 점과 별도의 조명이 필요한 점 때문에 현장에서는 잘 사용되지 않았다. 열화상 카메라는 사람의 명확한 실루엣을 보여주지만, 옷 등 시각적 세부정보가 손실되며 높은 단가 대비 낮은 해상도가 단점이다 (Pradhan, 2020). 본 논문에서는 이러한 문제점들을 보완하기 위해 스테레오로 이루어진 다중스펙트럼 카메라(색상 및 열화상)를 활용하여 주·야간 상황에서의 인식 정확도를 높이는 방법을 제안한다.

본 논문에서는 보행자 인식을 위한 알고리즘으로는 YOLOv5 객체 탐지 알고리즘을 기반으로 사용하였고 실제 횡단보도에서 수집한 다중 스펙트럼 영상을 입력으로 하여 보행자를 탐지하는 실험을 수행하여 제안하는 시스템의 실제 활용가능성을 확인하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 횡단보도 보행자 감지 시스템을 구현하는데 기반이 되는 기술들을 정리하였다. 3장에서는 다중 스펙트럼을 이용해 보행자를 검출하기 위한 알고리즘과 학습에 사용한 데이터 및 조건들을 정리하고 결과를 평가하는 방법을 소개한다. 4장에서는 검출 결과를 분석하고 성능을 평가하고, 5장에서 본 논문에서 제안한 시스템 구성에 대한 결론으로 마무리한다.

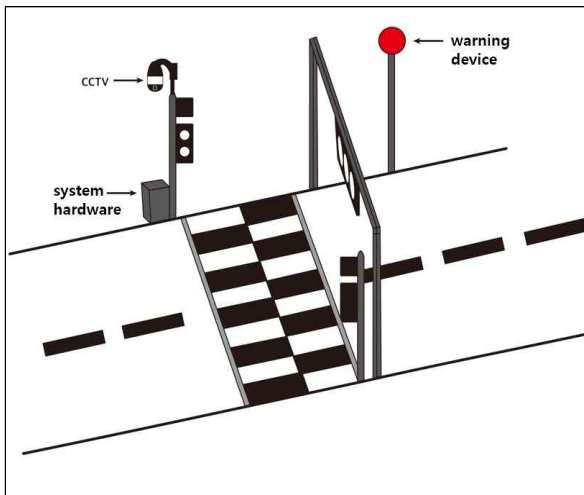


Fig. 1 Conceptual image of a crosswalk monitoring system

## 2. 관련 연구

본 장에서는 횡단보도 보행자 감지 시스템을 구현하는데 기반이 되는 객체 탐지 알고리즘을 소개하고 기존기술을 요약한다.

### 2.1 객체 탐지 알고리즘

객체 탐지란 이미지에서 관심 있는 모든 객체를 찾는 것이다. 여기에는 객체의 클래스와 위치를 결정하는 두 가지 하위 작업이 포함된다. 고전적인 객체 탐지 알고리즘은 주로 3단계로 구성된다. (1) 다양한 크기와 비율의 슬라이딩 윈도우를 사용하여 입력 사진의 후보 영역으로 슬라이드 한다. (2) 각 후보 영역에 대한 특징 추출을 수행한다. 전통적인 방법에는 색상 기반, 질감 기반, 모양 기반 방법 등을 사용한다. (3) 객체의 분류를 위해 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine) 모델 등의 분류기를 사용한다 (Malisiewicz et al., 2011). 위 과정을 통해 검출 대상이 될 수 있는 후보 영역들을 얻게 되며, 이러한 후보 박스들은 일부 중첩이 될 수 있다. 이때 중첩된 영역을 병합하기 위해서는 NMS(Non Maximum Suppression)가 필요하다 (Papageorgiou and Poggio, 2000).

기존의 객체 탐지 알고리즘은 특정 시나리오에서 좋은 결과를 얻을 수 있지만, 일반화 능력이 약하기 때문에 복잡한 환경에서는 정확도를 보장하기 어렵다. 게다가, 전통적인 수동 알고리즘의 설계는 많은 사전 지식이 필요하다.

컨볼루션 신경망을 기반으로 하는 객체 감지 방법은 크게 두 가지 범주로 발전되어졌다. 하나는 RCNN으로 대표되는 Two-stage 객체 탐지 방법이고, 다른 하나는 YOLO로 대표되는 One-stage 객체 탐지 알고리즘이다 (Girshick et al., 2016; Redmon et al., 2016). 일반적으로 Two-stage 알고리즘은 One-stage 알고리즘보다 느리지만 더 높은 성능을 보여준다. Faster-RCNN으로 대표되는 Two-stage 객체 탐지 알고리즘은 컨볼루션 계층, Region Proposal Network, RoI Pooling 계층 및 레이어로 구성된다 (Viola and Jones, 2001; Lee et al., 2019). 기본 분류 레이어, 활성화 레이어 및 풀링 레이어 세트로 구성되며, 이들은 특징을 추출하고 특징 맵

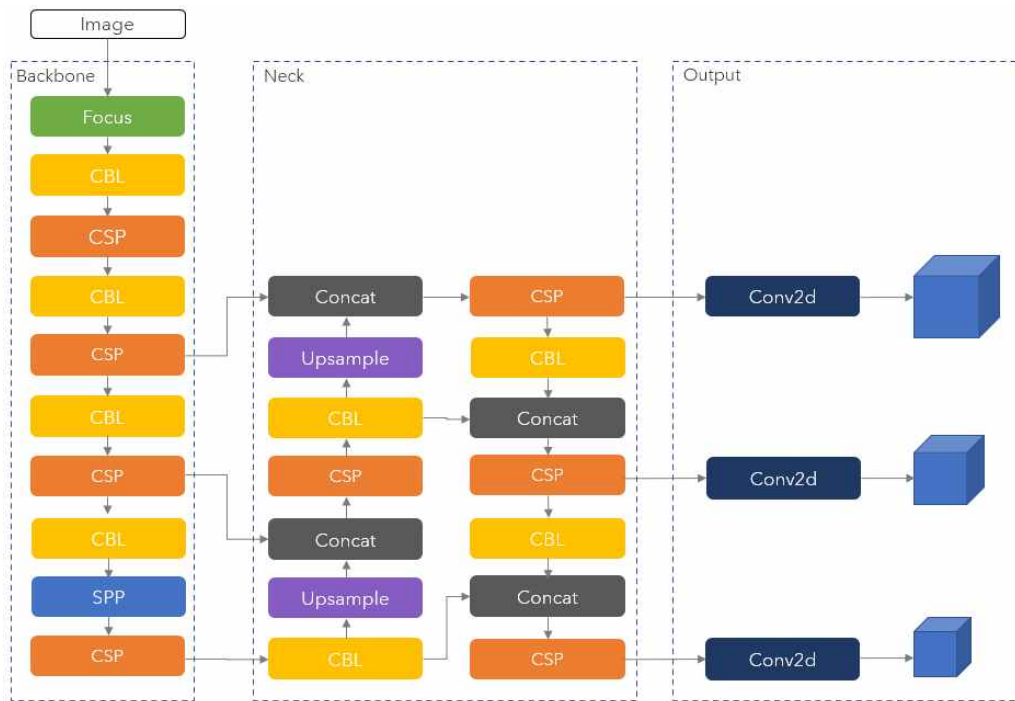


Fig. 2 YOLOv5 Network Structure

을 생성하는 데 사용된다. Region Proposal 네트워크는 주로 영역 후보 상자를 만드는 데 사용된다. 분류 레이어는 대상 범주를 결정하고 회귀를 통해 후보 영역에 따라 Bounding Box의 위치를 수정한다.

YOLO로 대표되는 One-stage 객체 탐지 알고리즘은 표적 클래스의 결정과 표적의 위치 결정을 한번에 출력한다. 전체 네트워크 구조는 컨볼루션 레이어와 입력 이미지만으로 구성된다. 컨볼루션 연산 후에는 표적 클래스와 위치 좌표가 직접 반환된다. 따라서 One-stage 객체 탐지 알고리즘은 Two-stage 객체 탐지 알고리즘보다 빠른 속도를 보여준다. COCO 데이터 셋에 대한 성능비교로써 Two-stage 방식인 Cascade Mask R-CNN은 71.9 mAP인데 One-stage 방식인 YOLOv5x 모델의 성능은 68.9 mAP를 보여준다. 하지만 Cascade Mask R-CNN은 처리속도가 초당 6.9 fps인 반면 YOLOv5x는 8.2 fps를 보여준다 (Youdong et al., 2019).

## 2.2 기존 횡단보도 보행자 감지 시스템

기존에는 보행자가 직접 버튼을 눌러 횡단 대기 중이라는 것을 알리는 보행자 작동식 신호기가 운영

되었으나, 신호가 바뀌는 시점에서 보행자의 존재 여부를 확인할 수 없다는 한계가 존재했다. 하지만 센서 기술의 발달로 적외선 센서, 압전 매트 방식 등 다양한 보행자 감지 기술이 검토되고 있다. 그러나 적외선 센서 방식은 보행자가 움직이지 않으면 감지를 못하거나 작은 물체의 움직임에도 감지 반응이 나타난다는 단점이 있고 압전 매트 방식은 횡단 대기 영역에서만 감지가 가능한 것 등 센서를 활용한 감지 시스템의 한계가 존재한다.

김중현 등은 적외선 센서를 이용하여 야간에 점멸되는 차량 신호등일 때 보행자가 안전하게 횡단보도를 건너갈 수 있도록 하였다. 특히 기존의 신호등 시스템을 활용하여 운전자와 보행자에게 혼란을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 경우에 따라 변하는 신호 시스템을 통해 운전자들의 야간 주행 시 편의성을 제공하였다 (Kim and Jung, 2021).

전나영 등은 영상검지기과 함께 바닥에 설치된 압 버튼스위치를 동시에 사용하여 보행자를 감지하여 신호를 부여하는 방법으로 자동감지 횡단보도 시스템을 구현하였다. 보행자가 감지영역에 일정시간 서있는 것을 기반으로 보행자의 횡단 의지를 판단하였다 (Joen et al., 2018).

### 3. 제안하는 다중스펙트럼 기반 보행자 검지

제안하는 다중스펙트럼 보행자 검지 시스템은 YOLOv5 를 기반으로 구현되었으며 다중스펙트럼 이미지를 입력하기 위한 수정 방법과 데이터 셋, 그리고 평가 방법을 소개한다.

#### 3.1 YOLOV5

객체 탐지 모델 중 YOLOv5 모델을 사용하여 횡단보도 상의 보행자를 감지한다. YOLO는 이미지를 동일한 크기의 그리드로 나누고 위치와 클래스를 한번에 결정하는데, 이는 Two-stage 검출기에 비해 속도가 빠른 것이 특징이다. YOLOv5는 모델의 레이어(Model Depth Multiple) 및 레이어 당 채널 수(Layer Channel Multiple)에 따라 S, M, L, X의 네 가지 모델이 있다. 모델의 크기가 커질수록 구조는 복잡해지고 정확도는 증가하지만 속도는 감소한다.

Fig. 2에 YOLOv5의 구조를 나타내었다. YOLOv5의 네트워크 구조는 백본(Backbone), 넥(Neck), 아웃풋(Output)의 세 부분으로 나뉜다. 백본에서  $640 \times 640 \times 3$  해상도의 입력 이미지는 Focus 구조를 거친 뒤, 슬라이싱 연산을 이용하여 먼저  $320 \times 320 \times 12$  Feature Map이 되고, 32개의 컨볼루션 커널 연산을 통해  $320 \times 320 \times 32$  Feature Map이 된다. CBL 모듈은 기본 컨볼루션 모듈이다. CBL 모듈은 Conv2D + BatchNormal + LeakyRELU를 나타낸다.

CSP(Cross Stage Partial) 모듈은 컴퓨팅 파워가 낮은 환경이 감당하기 힘든 연산량을 완화할 수 있는 모델이다 (Wang et al., 2020). CSP의 목적은 점점 많은 Gradient Combination이 만들어지는 동안 연산량을 줄이는 것이다. CSP 구조는 다른 대규모 합성곱 신경망에 비해 합성곱 신경망의 최적화 과정에서 중복되는 기울기 정보를 줄일 수 있다. CSP의 매개변수 양은 전체 네트워크의 매개변수 양의 대부분을 차지한다. CSP 모듈의 너비와 깊이를 조정하여 매개변수가 다른 네 가지 모델, 즉 YOLOv5s, YOLOv5m, YOLOv5l 및 YOLOv5x를 얻을 수 있다. SPP(Spatial Pyramid Pooling) 모듈은 주로 네트워크의 수용 영역을 늘리고 다양한 스케일의 Feature를 활용할 수 있게 한다.

YOLOv5는 또한 FPN(Feature Pyramid Network) 구조를 기반으로 하는 Bottom-up 피라미드 구조를 가지고 있다. FPN 레이어는 위에서 아래로 의미 정보를 전달하고 위치 정보를 아래에서 위로 전달한다. 서로 다른 피쳐 레이어를 결합하여 서로 다른 스케일의 목표를 감지하는 네트워크의 능력을 향상시킨다. 네트워크는 최종적으로 클래스 분류 결과와 객체의 좌표를 출력한다.

#### 3.2 다중스펙트럼 이미지를 위한 모델 수정

일반적인 YOLOv5의 구조는 Backbone에서  $640 \times 640 \times 3$ 의 이미지가 입력되어 Focus 구조로 입력된다. 이후 슬라이싱 연산을 이용하여  $320 \times 320 \times 12$  Feature Map이 되고, 32개의 Convolution Kernel을 이용하여  $320 \times 320 \times 32$  Feature Map이 된다. 해당 구조는 일반적인 컬러 이미지를 처리하기 위한 구조이므로 본 연구에서 활용한 다중 스펙트럼 이미지를 입력하기 위해 Backbone의  $640 \times 640 \times 3$  입력 형태에서  $640 \times 640 \times 4$  형태로 변경하여 컬러 이미지와 열영상 적외선 이미지를 같이 입력하였다. 시스템의 전체적인 구조는 Fig. 3과 같다. 한 쌍의 다중 스펙트럼 이미지를 보행자 검출기에 통과시켜 보행자의 위치 정보를 확보할 수 있었다.



Fig. 3 The Structure of the Pedestrian Detector

#### 3.3 데이터 셋

다중스펙트럼 이미지 확보를 위해 카메라를 도로에 설치하고, 해상도  $640 \times 480$ , 초당 15프레임 단위로 저장하여 사용하였다. Fig. 4는 실험에서 확보한 영상의 예시를 나타낸 것이다. Fig. 4(a)는 주간 컬러채널 영상을 나타내고 Fig. 4(b)는 주간 열화상 스테레오 카메라 영상을 나

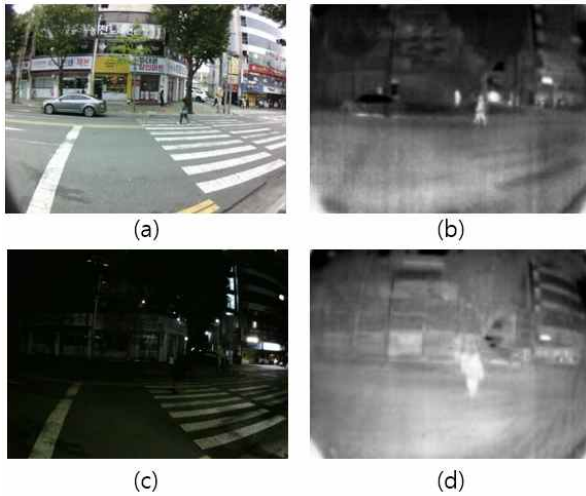


Fig. 4 Example of Multi-spectral Pedestrian Data

타낸다. Fig. 4(c)와 Fig. 4(d)는 야간에 찍은 컬러채널-적외선채널의 영상 예시이다. 학습에는 주간영상 500쌍, 야간영상 500쌍, 총 1000쌍의 다중 스펙트럼 이미지를 사용하였고 테스트에는 주간영상 200쌍, 야간영상 200쌍의 이미지를 사용하였다.

### 3.4 평가지표

일반적으로 딥러닝 기반 객체인식에서 많이 사용하는 평가지표로는 mAP(Mean Average Precision)를 사용한다. AP는 실제 객체가 탐지된 Recall의 변화에 따른 Precision의 값을 나타낸다. True Positive 환정은 IoU(Intersection over Union) 값에 따라 달라지는데 mAP@0.5는 IoU가 0.5일 때 Positive가 되는 평균 AP를 나타내고 mAP@[.5:.95]는 0.05의 간격으로 0.5에서 0.95까지의 IoU에 대한 평균 AP를 나타낸다.

$$Precision = \frac{TruePositive}{TruePositive + FalsePositive} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TruePositive}{TruePositive + FalseNegative} \quad (2)$$

$$AP = \frac{1}{11} \sum_{r \in \{0.0, \dots, 1.0\}} Precision(recall) \quad (3)$$

## 4. 실험 결과

본 장에서는 제안한 횡단보도 보행자 감지 시스템의 실험 환경을 소개하고, 학습 결과와 성능을 검증하기 위한 실험 결과를 제시하고 분석하였다

### 4.1 실험 환경

실제 횡단보도에서 확보한 다중스펙트럼 이미지 데이터 셋을 활용하여 객체 검출기인 YOLOv5를 학습시켰다. 변경된 네트워크 구조로 인하여 사전 훈련된 가중치는 사용되지 않았다. 데이터 셋 이미지를 640x640 크기로 변환하였고 이후 전처리 기법으로 Random Flip, Geometric Distortion, Cutout, Mixup 등의 Data Augmentation 기법을 사용하였다. 실험은 Ubuntu 18.04 OS 환경에서 진행되었으며 Pytorch 프레임워크를 사용하였다. 하드웨어 환경은 4개의 NVIDIA RTX3090 그래픽카드를 사용하였다. SGD 옵티마이저를 사용하여 네트워크를 학습하였으며 학습에 사용된 하이퍼 파라미터는 Table 1과 같다.

Table 1 Experimental Hyperparameters

Parameter	Value
Learning rate	0.01
Learning rate decay	0.999
Learning rate decay step	1
Weight rate decay	5e-4
Momentum	0.937
Batch size	200
Number of iterations	1000

### 4.2 학습 결과

학습에 사용한 모델은 YOLOv5s, YOLOv5m, YOLOv5l, YOLOv5x 4가지를 사용하였다. 각 모델은 Depth Multiple과 Layer Channel Multiple에 따라 차이를 두고 있다. YOLOv5s는 (0.33, 0.50), YOLOv5m은 (0.67, 0.75), YOLOv5l



은 (1.0, 1.0), YOLOv5x는 (1.33, 1.25)의 비율을 가지고 있다. 모델의 크기가 작을수록 성능이 낮지만 초당 프레임 수가 높은 특성을 가진다. 모델별로 학습은 총 1000 Epoch을 진행했으며 YOLOv5s의 각 Step에 대한 Validation 그래프는 Fig. 5와 같이 나타났다. 학습 완료 후 테스트 영상에 대해 테스트한 결과는 다음과 같다.

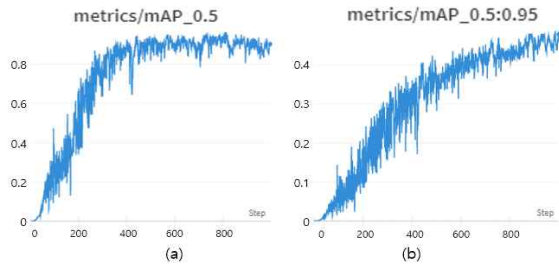


Fig. 5 Learning Curves of mAP@0.5 and mAP@[0.5:0.95]

학습 초기단계에서는 mAP가 가파르게 증가하나 학습이 진행될수록 수렴하는 결과를 보였다. Table 2에서는 네 가지 모델의 파라미터 크기와 mAP결과를 나타낸다. YOLOv5s 모델에 비해 YOLOv5m 모델의 성능은 IoU 0.5 기준 0.8% 향상되었으며 YOLOv5l 모델 대비 추론시간이 약 2배정도 걸리는 YOLOv5x 모델은 성능이 0.2% 증가한 것을 볼 수 있다.

Table 2 Performance of Different Models

Model	mAP@IOU0.5	Params(M)
YOLOv5s	0.927	7.2
YOLOv5m	0.935	21.2
YOLOv5l	0.938	46.5
YOLOv5x	0.940	86.7

Table 3은 각 카메라를 단독으로 사용했을 때 대비 다중스펙트럼을 이용한 모델의 성능 향상을 보여준다. 컬러 채널만 사용한 경우 야간 영상에서 비교적 낮은 성능을 보여주었으며 열화상 영상만 사용하였을 경우 다중스펙트럼 모델 대비 소폭 낮은 성능을 보였다.

Table 3 Performance of Different Channel Models

Model	mAP@IOU0.5
Color	0.312
Thermal	0.887
Color+Thermal	0.927

Table 4는 모델의 주간 및 야간 테스트 결과를 나타낸다. 테스트 데이터 셋 중 야간 영상에 대하여 학습된 YOLOv5s 모델을 사용해 도출된 mAP의 경우 0.933 으로 주간 영상에 비해 높은 정확도를 보여주었다. 야간 대비 주간 상황이 좀 더 낮은 정확도를 보여주는 원인을 분석한 결과, 차량 등 이동물체의 빈도가 야간 대비 더 빈번하게 보행자를 가려 성능저하가 발생함을 알 수 있었다.

Table 4 Day and Night Test Results of YOLOv5s Model

Model	mAP@IOU0.5	mAP@IOU0.5:0.95
Day	0.911	0.484
Night	0.933	0.505
Day·Night	0.927	0.592

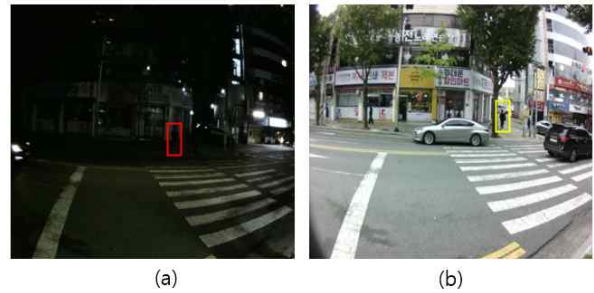


Fig. 6 Examples of pedestrian detection and false detection

Fig. 6은 보행자 검출 및 오 검출 예시를 보여준다. 학습된 YOLOv5s 모델은 다중스펙트럼을 이용해서 야간영상인 Fig. 6(a)에서 보행자를 검출했다. 하지만 주간영상 Fig. 6(b)에서 보행자를 놓친 부분도 존재함을 확인할 수 있었다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 컬러 이미지와 열 영상 적외선 이미지가 함께 포함된 다중 스펙트럼의 데이터를 이용하여 주/야간 상황에서 횡단보도 보행자 검지 정확도를 향상시키는 새로운 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 YOLOv5 기반의 객체 검출기 기반으로 구현되었으며, 다중 스펙트럼 데이터를 적용하기 용이하도록 구조를 적절히 변경하였다. 제안한 기법을 검증하기 위해 실제 도로의 횡단보도에서 획득한 1400 쌍의 데이터를 사용하였으며, 분석 결과 주야간 환경에서 mAP@IOU0.5가 0.940으로 높은 정확도를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 향후 제시된 시스템은 테스트 베드에 설치되어 보행자의 안전 및 사고 예방에 활용될 예정이다.

## References

- Cho, N. H., Ann, J. D. and Gwak, Y. S. (2014). A Study on the Pedestrians Monitoring System on the Crossroads, Proceedings of KIIT Conference, pp.353-357.
- Girshick, R., Donahue, J. and Darrell T. (2016). Region based convolutional networks for accurate object detection and segmentation, IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 38(1), 142 - 158.
- Jung, G. Y., Jung, J. H. and Lee H. C. (2013). Efficient Implementation of Candidate Region Extractor for Pedestrian Detection System with Stereo Camera based on GP-GPU, IEMEK J. Embed. Sys. Appl., 8(2), 121-128.
- Jeon, N. Y., Kim, S. J. and Chu, S. H. (2018). A study on the Application of Living Lab in Transportation : Focused on the Auto-Image Sensing Signal System for Pedestrian, The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, 17(2), 1-17.
- Kim, J. H., Jung Y. M. (2021). Implementation of pedestrian safety system for crosswalks in the late-night time, J-KICS, pp.604-605.
- Ling, Bo., Zeifman, M.I., Gibson, D. R. P. (2007). Multiple pedestrian detection using IR LED stereo camera, Intelligent Robots and Computer Vision XXV: Algorithms.
- Lee, T. H., Kim, K. J., Yun, K. S. and Choi D. H. (2018). A method of Counting Vehicle and Pedestrian using Deep Learning based on CCTV, Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, 28(3), 219-224.
- Lee, M. H., Nam, K. W. and Lee, C. W. (2019). Crack Detection on the Road in Aerial Image using Mask R-CNN, Journal of the Korea Industrial Information System Research, 24(3), 23-29, <http://dx.doi.org/10.9723/jksis.2019.24.3.023>.
- Malisiewicz, T., Gupta, A. and Efros A. A. (2011). Ensemble of exemplarsvms for object detection and beyond, in Computer Vision (ICCV) 2011 IEEE International Conference on. IEEE, pp.89 - 96.
- Papageorgiou, C., Poggio T. (2000). A trainable system for object detection, International journal of computer vision, 38(1), 15 - 33.
- Pradhan, R. N. (2020). Towards Modular Multispectral Object Detection using Adaptive Weighted Fusion, Order No. 28149629, University of Toronto (Canada).
- Redmon, J., Divvala S. and Girshick, R. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp.779-788.
- Viola, P., Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features, CVPR Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference.
- Wang, C., Liao, H. M., and Wu, Y. (2020).

CSPNet: A New Backbone that can Enhance Learning Capability of CNN, 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), pp.1571-1580.

Youdong L., Yongtao W., and Ting-Ting L. (2019). CBNet: A Novel Composite Backbone Network Architecture for Object Detection, Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 34(07), 11653-11660.

Zhang, H., Fromont, E. and Lefevre, E. (2020). Multispectral Fusion for Object Detection with Cyclic Fuse-and-Refine Blocks, 2020 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp. 276-280.



**이 동 화 (Donghwa Lee)**

- 정회원
- 경북대학교 전자전기공학부 공학사
- 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 공학석사
- KAIST 건설 및 환경공학과 공학박사
- (현재) 대구대학교 정보통신대학 ICT융합학부 조교수
- 관심분야: 컴퓨터비전, 로봇비전, 머신러닝, 소나 신호처리



**김 정 훈 (Junghun Kim)**

- 정회원
- 경북대학교 컴퓨터학부 공학사
- 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 공학석·박사통합과정
- 관심분야: 컴퓨터비전, 머신러닝



**최 두 현 (Doo-Hyun Choi)**

- 경북대학교 전자공학부 공학사
- Postech 전자전기컴퓨터학부 공학석사
- Postech 전자전기컴퓨터학부 공학박사
- (현재) 경북대학교 전자공학부

교수

- 관심분야: 지능신호처리, 소프트웨어컴퓨팅



**이 종 선 (Jongsun Lee)**

- 명지대학교 공과대학 교통공학과 학사
- 관심분야: 객체검지, 무선통신