

# 연서시장 미관 개선을 위한 쓰레기 감지 모듈의 제작 효율적 배치 방법 탐구

유승주 · 문정안 · 송어진

하나고등학교

## Exploration of the Development of a Trash Detection Module and Its Efficient Placement for Enhancing the Aesthetic Appeal of Yeonse Market

Seung-Joo Liu · Jung-An Moon · Eo-jin Song

Hana Academy Seoul

**Abstract** Yeonse Market, a traditional market in Eunpyeong-gu, Seoul, is known for its unique charm and long-standing eateries. However, the increase in visitors has led to severe illegal dumping issues. This project aims to develop a YOLO algorithm-based trash detection module and explore its optimal placement using computational geometry. As the first attempt to apply YOLO to a mobile detection module, this study provides a basis for evaluating AI-driven solutions and offers practical insights for improving urban cleanliness and aesthetics.

**Key words:** YOLO algorithm, computational geometry, Yeonse Market, urban cleanliness

### 1. 서론

연서시장은 서울 은평구 불광동 연신내에 위치한 전통시장으로, 40년 이상의 역사와 다양한 먹거리를 자랑하는 상점들이 모여 있는 공간이다. 최근에는 연서시장의 특색 있는 음식점들이 방송을 통해 소개되며 많은 관광객들이 방문하고 있다. 그러나 관광객 증가에 따라 발생하는 쓰레기 무단투기 문제와 음식점이 많은 특성상 대량의 쓰레기가 발생하고 있어, 이에 대한 효과적인 해결책이 시급한 상황이다.

서울특별시 폐기물 관리 조례에 따르면, 시장에서 발생하는 폐기물은 시장 주변에 배치된 쓰레기 배출 구역 또는 점포 앞에 배출하도록 규정되어 있다. 그러나 다양한 원인으로 이 규정은 제대로 지켜지지 않고 있으며, 그로 인해 보행자의 통행을 방해하고 시장의 미관을 저해하고 있다. 서울시와 구청은 CCTV 설치와 쓰레기 투기 금지구역 지정 등으로 문제 해결을 위해 노력하고 있으나, 모든 CCTV를 실시간으로 모니터링하는 데에는 한계가 있으며, 투기 구역 전체를 모두 감시하는 것도 현실적으로

어려운 상황이다.

따라서 본 프로젝트는 이러한 문제를 해결하기 위해 YOLO 알고리즘을 기반으로 한 쓰레기 감지 모듈을 제작하고, 연서시장의 특성을 고려한 효율적인 감지 모듈 배치 방법을 계산 기하학적 관점에서 탐구하고자 한다. 본 연구는 비고정식 쓰레기 감지 모듈에 YOLO 알고리즘을 적용한 첫 시도로, 향후 인공 신경망 기반의 쓰레기 감지 시스템 성능 평가에 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한, 이를 통해 연서시장의 청결도와 미관을 개선하는 방안을 제시하고, 지역 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 이론적 배경

Object Detection은 이미지 속 특정 물체의 위치를 Bounding Box로 표시하고 물체의 종류를 Label로 분류하는 기술이다. 이중 YOLO 알고리즘은 이미지를 신경망에 한 번에 통과시켜 빠른 속도로 물체를 검출하는 인공 신경망 알고리즘으로, 신속하게 쓰레기를 탐지하는 데 적합하다.

연서시장 바닥을 촬영할 때 쓰레기뿐 아니라 동물, 사람의 발 등 다양한 물체가 포착될 수 있으므로 여러 종류의 물체 데이터를 포함한 ImageNet 데이터 세트를 사용해 training을 진행한다. 알고리즘의 성능을 높이기 위해서는 loss가 낮아야 하므로 다음과 같은 Loss Function에서 Regression loss를 제외하고 Confidence loss, Classification loss의 가중치를 연서시장 환경에 맞도록 조절해야 한다.

(B-box regression Loss)

(Object Confidence Loss)

(Classification Loss)

OpenCV와 Tensorflow 라이브러리를 사용해 파이썬 언어로 YOLO 알고리즘을 구현하여 쓰레기 탐지 모듈에 사용될 프로그램을 제작할 수 있다.

(2) 쓰레기 탐지 모듈의 효율적 배치 방법에 대한 기초 계산 기하학적 접근

특정 다각형 공간의 꼭짓점에 유한개의 카메라를 설치하여 사각지대가 없도록 할 때 최소 카메라의 개수에 관한 문제는 기하학(computational geometry)에서 활발히 연구된 가시성 문제(visibility problem)이다. 이에 대한 Fisk의 해법은 다각형을 삼각형으로 나누어 한 삼각형당 하나의 카메라를 설치하는 것으로 매우 간결하다. 그러나 알고리즘의 계산 복잡도를 낮추기 위해서 다음과 같이 정의된 빅 세타(Big-Theta) 함수가 다항 시간이 되도록 알고리즘을 최적화하는 과정이 필요하다.

### 3. 연구 방법 및 절차

#### 3.1. 연구 방법

본 연구에서는 서론에서 언급한 것과 같이 연서시장 내 쓰레기를 감지 할 수 있는 모델을 제작하고자 한다. 또한 실제 연서시장에 방문하여 YOLO를 기반으로 만들어진 쓰레기 감지 모듈이 쓰레기를 인지 할 수 있는지 확인하고자 한다. 또한 연서시장의 지도를 제작하고 카메라를 최적으로 배치하여 사각지대 없이 쓰레기를 감지하는 방법을 고안하고자 한다.

#### 3.2. 연구 절차

우선 라즈베리파이 키트를 이용해 바닥 영상을 촬영할 수 있는 모듈을 제작했다. 모듈이 카메라, LED 램프, 모터와 바퀴를 포함하여 이동 및 발광 기능을 수행할 수 있도록 설계하였으며, 파이썬 프로그램밍을 통해 제어되도록 설계하였다.

이후, YOLO 신경망과 DenseNet Backbone 네트워크를 기반으로 바닥 배경에서 쓰레기를 인식하는 프로그램을 개발했다. 이를 위해 ImageNet 데이터를 활용하여 학습한 후, 연서시장에서 촬영된 쓰레기 데이터를 통해 모델의 성능을 검증하고, 필요한 변수들을 최적화하여 인식 정확도를 개선했다.

라즈베리파이 모듈과 쓰레기 감지 프로그램을 연동하여 실시간 영상 스트리밍을 처리하고 쓰레기 감지 여부에 따라 LED 램프를 켜는 방식으로 시각적인 확인이 가능하도록 시스템을 구현하였다.

연서시장의 위성사진과 GIS 데이터를 바탕으로 카메라 모듈의 최적 배치를 설계했다. 시장의 다각형 형태를 추출한 후, 미술관 문제의 Steve Fisk 증명법을 활용하여 최소 모듈수를 계산하고, 경비원 경로 문제 접근법을 적용해 이동 가능한 모듈 배치를 통해 효율성을 더욱 높였다.

마지막으로, 설계된 모듈을 연서시장에 설치하여 쓰레기 감지 및 모듈 배치 알고리즘의 성능을 실험적으로 검증했다. 이를 통해 실제 사용 시 발생할 수 있는 문제점과 개선 방안을 도출하고, 연구의 실질적인 적용 가능성을 평가하였다.

### 4. 연구 결과

우선 연서시장의 쓰레기 감지 효율을 극대화하기 위해, 계산 기하학적 접근법을 기반으로 최적의 카메라 배치 알고리즘을 설계하였다. 감시해야 할 영역과 카메라 설치 가능 영역을 각각 map array와 wall array로 정의하고, 이를 2D 배열로 표현하였다. 카메라는 브레즌햄 알고리즘을 활용해 시야 내 장애물 여부를 확인하며, 특정 거리와 각도에서의 가시성을 가중치로 계산하여 감시 성능을 평가한다. 탐욕 알고리즘을 기반으로, 각 카메라가 최대로 감시할 수 있는 위치와 각도를 순차적으로 결정하고, 감시된 영역을 제외하는 과정을 반복함으로써 감시 범위를 점진적으로 확장하였다. 최적의 배치 결과는 이미지로 시각화하였으며, 이를 통해 각 단계에서 카메라의 위치와 각도, 감시 효율성을 검증하였다. 이 알고리즘은 카메라 수를 최소화하면서도 사각지대를 줄이는 데 효과적이며, 계산 기하학 및 시뮬레이션 기술을 활용한 환경 최적화의 대표적 사례로 활용될 수 있다.

연구 과정에서 작성한 코드는 OpenCV를 사용해 웹캠 스트림에서 프레임을 읽어오고, 읽어온 프레임은 YOLOv5 모델이 처리할 수 있도록 RGB 형식으로 변환하고 640×640 크기로 리사이즈한 뒤, PyTorch 텐서 형식으로 변환된다. YOLOv5 모델은 입력된 프레임에서 객체를 탐지하며, 탐지 결과는 중복 경계 상자를 제거하는 비최대 억제(non-max suppression) 기법을 통해 신뢰도가 높은 결과만 남긴다. 이후 탐지된 객체마다 경계 상자가 그려지고, 객체 이름과 신뢰도 정보가 상자 위에 표시된다. Tkinter의 Label 위젯은 PIL 및 ImageTk를 활용해 이 탐지 결과를 실시간으로 업데이트하여 화면에 표시하며, GUI는 10ms 간격으로 갱신되어 실시간 처리를 유지한다. 프로그램 종료 시에는 카메라 연결을 해제하고 OpenCV 창을 닫아 리소스를 정리하는 안전 장치가 포함되어 있다. 이 프로그램은 YOLOv5의 강력한 객체 탐지 성능과 Python의 다양한 라이브러리를 결합하여 실시간으로 직관적인 탐지 결과를 제공하도록 설계되었다.

## 참고문헌

- Zhong, R. Y., Peng, S., & Liu, X. (2022). A Domestic Trash Detection Model Based on Improved YOLOX. *Sensors*, 22(18), 6974.
- Ming, D. (2024). EcoDetect-YOLO: A Lightweight, High-Generalization Methodology for Real-Time Detection of Domestic Waste Exposure in Intricate Environmental Landscapes. *Sensors*, 24(14), 4666.
- Ray, J., Smith, A., & Johnson, M. (2023). Smart Waste Management Using IoT and Deep Learning. *PLOS ONE*, 18(5), 455-468.
- Davis, M. (2019). *Smart Cities: Technologies and Urban Innovation*. Springer.
- Kim, J. & Lee, S. (2021). *IoT Applications in Waste Management*. Wiley.
- Brown, T. & Miller, K. (2020). Smart Waste Detection Technologies. In J. Robinson & P. Green (Eds.), *Advances in Urban Systems* (pp. 201-215). Elsevier.