

광 카메라 통신 기반 위치 추정을 위한 딥러닝 객체 탐지 알고리즘 비교: YOLOv5 와 YOLOv8

김주현, 황나영, 정성윤*
영남대학교

lpyeongl00@gmail.com, ghkd3998@yu.ac.kr, *syjung@yu.ac.kr

Comparison of Deep Learning-Based Object Detection Algorithms for Optical Camera Communication-Based Position Estimation: YOLOv5 and YOLOv8

Kim Ju Hyun, Hwang Na Young, Jung Sung Yoon*
Yeungnam Univ.

요 약

광 카메라 통신(OCC)은 LED 신호를 카메라로 수신하여 위치 추정 및 차세대 V2X 통신으로 활용할 수 있는 기술이다. 본 연구에서는 OCC 환경에서의 LED 검출을 위해 딥러닝 기반 객체 탐지 모델 YOLOv5 와 YOLOv8 을 학습 및 평가하였다. 성능 비교 결과, YOLOv5 가 일부 지표에서 더 높은 값을 보였으나 YOLOv8 은 학습 및 추론 안정성이 높기 때문에 실시간 처리 속도에서 강점을 보였다. 따라서 OCC 기반 실시간 위치 추정 환경에서는 YOLOv8 이 보다 적합한 모델임을 확인하였다.

I. 서 론

광 카메라 통신(OCC, Optical Camera Communication)은 LED 와 카메라를 송수신 장치로 활용하여 데이터를 주고받는 통신 기술이다. 추가적인 전용 센서 없이, 기존의 LED 와 카메라를 재사용하여 통신 체계를 구현할 수 있다는 점에서 주목받고 있다. 특히 UAV, 차량, 로봇 등에 탑재된 카메라와 가로등, 후미등의 LED 와 같이 차세대 모빌리티, 스마트시티 등 다양한 환경에 응용할 수 있다. 또한, LED 의 깜박임 신호를 기반으로 통신뿐만 아니라 LED 의 위치 추정까지 동시에 지원 가능하여 활용도와 범용성이 높다[1,2]. 이러한 OCC 시스템에서의 핵심은 영상 내 LED 를 빠르고 정확하게 검출하는 것이다. 기존 연구에서는 주로 프레임 차분(Differential Frame), 임계값 기반(Thresholding), Morphology 등과 같은 전통적인 영상처리 기법이 LED 검출에 활용되었다[2]. 이는 단순하고 계산량이 적다는 장점이 있으나, 주변 환경 변화에 취약하고 다중 객체 검출 상황에서 한계가 존재한다. 이러한 한계를 극복하기 위해, 최근 딥러닝 기반 객체 탐지 알고리즘을 접목한 연구가 활발하게 이뤄지고 있다[3]. 특히 YOLO(You Only Look Once) 계열 모델은 단일 신경망 기반의 실시간 객체 탐지 구조로, 속도와 정확도를 동시에 보장한다는 점에서 OCC 환경의 LED 검출 응용에 적합하다[3,4]. YOLOv5 는 PyTorch 기반으로 안정성과 활용성이 높으며, 다양한 크기의 모델을 제공한다[5,6]. 반면 YOLOv8 은 Anchor-free 구조와 향상된 네트워크 설계를 적용하여 작은 객체 탐지 성능을 개선하였으며, 탐지뿐 아니라 분할 및 분류 또한 지원한다[5,7,8]. 본 논문에서는 OCC 환경에서 촬영한 LED 데이터셋을

기반으로 YOLOv5 와 YOLOv8 을 학습 및 평가하여, 두 모델의 Precision, Recall, F1-score, mAP 등을 정량적으로 비교한다. 이를 통해 두 모델 중 실제 응용에 적합한 탐지 모델을 제시하고, 딥러닝 기반 OCC 시스템 설계에 참고할 수 있는 지침을 제공한다.

II. 객체 탐지 모델 비교 분석

본 논문에서는 동일한 LED 데이터셋을 활용하여 YOLOv5 와 YOLOv8 을 학습하고 성능을 비교하였다. 그림 1 과 그림 2 는 시뮬레이션 환경에서 LED 를 검출한 결과를 보여준다. 그림 1 은 YOLOv5, 그림 2 는 YOLOv8 을 적용한 사례이며, 두 모델 모두 근거리와 원거리에 위치한 LED 를 정확하게 탐지하였다. 각 탐지 결과에는 신뢰도(confidence score)가 함께 표시되어 있으며, 이를 통해 본 연구에서 사용한 객체 탐지 모델이 다양한 거리 조건에서도 안정적으로 LED 신호를 인식할 수 있음을 확인할 수 있다. 표 1 은 학습 파라미터 표를 나타낸다. 아울러 본 연구에 사용된 데이터셋은 총 1180 장으로, 이 중 약 900 장은 거리 변화 조건을 반영하였고, 약 200 장은 다양한 잡음 환경을 포함하도록 구성하였다. 이러한 데이터셋 설계를 통해 모델이 단순한 정적 환경뿐 아니라 실제 운용 상황에서 발생할 수 있는 거리 변화와 노이즈 요인에 대해서도 학습할 수 있도록 하였다.

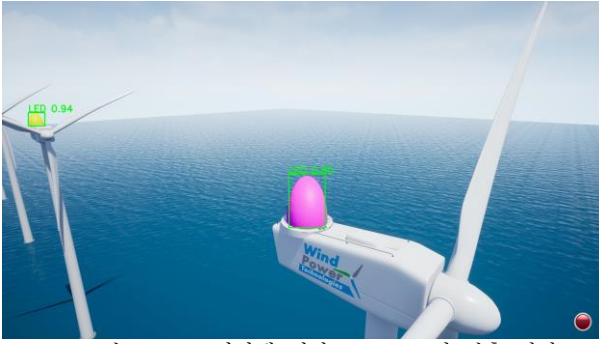


그림 1. LED 영상에 대한 YOLOv5의 검출 결과

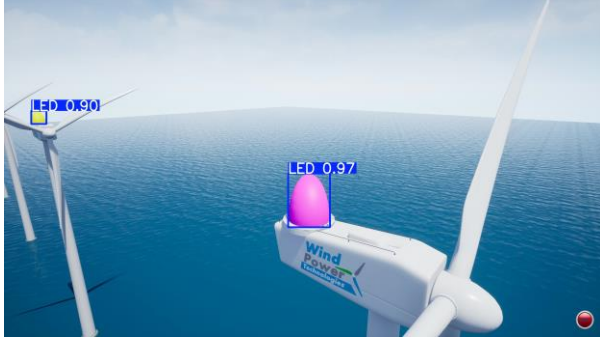


그림 2. LED 영상에 대한 YOLOv8의 검출 결과

표 1. 학습 파라미터

Parameter	YOLOv5	YOLOv8
Train dataset	1180	1180
Validation dataset	100	100
Epoch	200	200
Batch size	4	4

그림 3의 YOLOv5 Precision- Recall 곡선과 Recall-Confidence 곡선에서는 각각 $mAP@0.5=0.981$, $Recall=0.98$ 을 기록하여 그림 4의 YOLOv8 결과(0.943, 0.87)보다 다소 높은 수치를 보였다. 그러나 이러한 차이는 전반적으로 미세한 수준에 불과하며 두 모델 모두 OCC LED 검출에 충분히 높은 성능을 나타냈다. 특히 YOLOv8은 그림 4의 학습 손실 곡선에서 값이 부드럽게 감소하며 안정적으로 수렴하는 경향을 보였으며 최신 구조를 기반으로 한 빠른 추론 속도와 경량화 용이성 측면에서 실시간 응용 환경에 강점을 지닌다.

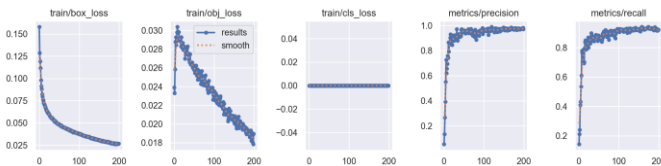


그림 3. YOLOv5의 학습 결과

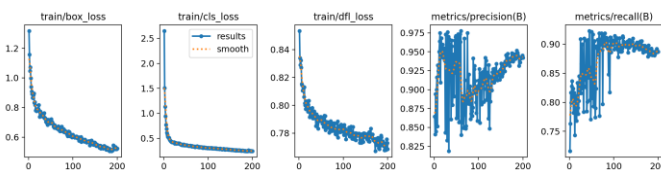


그림 4. YOLOv8의 학습 결과

결론적으로 YOLOv5가 정량적 지표에서 근소한 우위를 보였으나 YOLOv8은 안정성, 효율성, 그리고 실시간성 측면에서 OCC 기반 위치 추정 시스템에 더욱 적합한 모델이라 할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 광 카메라 통신 기반 위치 추정을 위한 LED 객체 탐지 모델로 YOLOv5와 YOLOv8을 비교하였다. 실험 결과, YOLOv5가 Precision, Recall, mAP 지표에서 YOLOv8보다 약간 더 높은 수치를 기록하였다. 그러나 그 차이는 크지 않았으며 두 모델 모두 높은 수준의 성능을 보였다. 한편 YOLOv8은 학습 과정에서 손실이 안정적으로 수렴하는 특성을 보였으며 최신 구조를 기반으로 추론 속도가 빠르고 경량화가 용이하다는 장점을 가진다. 이러한 특성은 OCC 기반 위치 추정과 같이 실시간성이 요구되는 응용 환경에서 특히 중요한 요소이다. 따라서 본 연구는 YOLOv5와 YOLOv8 모두 OCC LED 검출에 효과적임을 확인하였으며 최종적으로는 실시간 적용 가능성이 측면에서 YOLOv8이 보다 적합한 모델이라고 결론지을 수 있다. 향후 OCC 시스템의 최적화 및 실시간 구현에 있어, 딥러닝 기반 LED 탐지 알고리즘 선택에 유용한 지침을 제공할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 결과물은 2025년도 교육부의 재원으로 경상북도

지역혁신중심대학지원체계(RISE)-(로컬 맞춤형 R&D)의 지원을 받아 수행된 결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] Md. Tanvir Hossan, Amirul Islam, Trang Nguyen, Nam Tuan Le, and Yeong Min Jang, "광 카메라 통신 기술," in KICS Information & Communication Magazine - Open Lecture Series, 2017, pp. 35-50.
- [2] Singh, Pankaj, et al. "Vehicle Positioning Based on Optical Camera Communication in V2I Environments." Computers, Materials & Continua 72.2 (2022).
- [3] Sitanggang, Ones Sanjerico, et al. "Design and implementation of a 2D MIMO OCC system based on deep learning." Sensors 23.17 (2023): 7637.
- [4] Redmon, Joseph, et al. "You only look once: Unified, real-time object detection." Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016.
- [5] Ultralytics Docs, "YOLOv5 vs. YOLOv8: A Detailed Comparison", (<https://docs.ultralytics.com/ko/compare/yolov5-vs-yolov8/>).
- [6] Khanam, Rahima, and Muhammad Hussain. "What is YOLOv5: A deep look into the internal features of the popular object detector." arXiv preprint arXiv:2407.20892 (2024).
- [7] Yaseen, M. "What is YOLOv8: An in-depth exploration of the internal features of the next-generation object detector. arXiv 2024." arXiv preprint arXiv:2408.15857.
- [8] Huang, Huadong, et al. "Improved small-object detection using YOLOv8: A comparative study." Appl. Comput. Eng 41.1 (2024): 80-88.