YOLO 기반 선로 고정장치 객체 탐지 기법의 성능 분석

박준휘[O], 박창준[*], 김남중[**], 곽정환(교신저자)[**]
[O]한국교통대학교 AI로봇공학과,
[*]한국교통대학교 교통에너지융합학과,
[**]한국교통대학교 소프트웨어학과
e-mail: objectdetection@kakao.com[O], jgwak@ut.ac.kr[**]

Performance Analysis of Object Detection Method for Railway Track Equipment Based on YOLO

Junhwi Park[O], Changjoon Park[*], Namjung Kim[**], Jeonghwan Gwak(Corresponding Author)[**]
[O]Dept. of Ai·Robotics Engineering, Korea National University of Transportation,
[*]Dept. of IT·Energy Convergence, Engineering, Korea National University of Transportation,
[**]Dept. of Software, Korea National University of Transportation

● 요 약 ●

본 논문은 YOLO 기반 모델의 철도 시스템 내 선로 고정장치 탐지 성능을 비교하고 분석한다. 여기서 철도 시스템은 열차가 주행하기 위한 선로, 침목, 패스너 등의 구성요소를 포함한다. 침목은 지반과 직접적으로 연결되며, 선로를 지반 위에 안정적으로 지지하고 궤간을 정확하게 유지하는 역할을 한다. 또한, 패스너는 선로를 침목에 단단히 고정시키는 역할을 한다. 이러한 선로 고정장치의 부재는 인명 사고로 이어질 수 있어 지속적인 관리와 유지 보수가 필수적이다. 본 논문에서는 철도 시스템의 선로 고정장치 탐지를 위해 YOLO V5 및 V8 딥러닝 모델의 적용 가능성을 실험적으로 접근하며, 두 모델의 탐지 성능을 비교한다. 실험 결과, YOLO V8 및 V5 모델은 모두 뛰어난 성능을 보이는데, 특히 YOLO V8 모델이 더욱 우수한 성능을 보인다. 이로써 YOLO 알고리즘은 선로 고정장치 탐지에 적합하다는 것을 증명한다. 그러나 일부 False Positive Sample이 관측되었음을 확인하고, 이로부터 모델 성능의 개선이 필요하다는 결론을 도출하였다.

키워드: 철도 시스템(Railway System), 선로 고정장치(Railway Fastening System), YOLO, 객체 탐지(Object Detection), 딥러닝(Deep Learning)

I. Introduction

선로 고정장치인 패스너(Fastener)와 침목은 선로를 견고하게 고정하여 열차의 안정성과 신뢰성을 보장하며 철도 시스템에 필수적인 구성요소 [1]이다. 그러나, 열차의 운행으로 발생하는 관성과 마찰과 같은 물리적인 요인과 기온 및 기후와 같은 환경적 요인들은 선로 고정장치에서 발생하는 미세 결함들의 주된 요인이다. 미세 결함이 발견되지 않고 방치될 경우, 선로의 지지력 저하 및 선로 고정장치의 파손으로 이어지며, 철도 시스템 내 선로 고정장치의 결함을 초래한다. 이는 열차의 선로 이탈과 같은 심각한 사고로 이어질 수 있다. 그러므로, 철도 시스템에 대한 지속적인 모니터링 및 유지보수 [2]는 기차의 안정적인 주행과 안전 관리 체계를 유지하기 위해 필수적이다. 기존 철도 시스템 모니터링은 넓은 범위의 관할 구역에 대해 전문가의 개별 검수를 통해 이루어지며 이는 방대한 시간과 인력을 요구한다. 이러한 문제점을 개선하기 위해, 현재는 카메라를 부착한 선로 점검차를 이용하여 이미지 데이터 기반 철도 시스템 모니터링이 진행된다. 그러나, 일반적인 컴퓨터 비전 기반 알고리즘은 데이터 분포에 따른 임계치 설정을 통해 객체 탐지가 이루어지기에 주변 환경 및 관심 객체의 특징 변화에 취약한 한계점을 가진다. You-Only-Look-Once (YOLO) [3]는 딥러닝 기반 객체 탐지 알고리즘으로써 관심 객체의 특징 추출 및 분석을 통해 다양한 유형의 선로 고정장치에 대해 강건한 실시간 객체 탐지가 가능하다. 따라서, 본 논문에서는 선로 고정장치에 대한 YOLO 모델 객체 탐지 성능을 비교 및 분석을 진행한다.

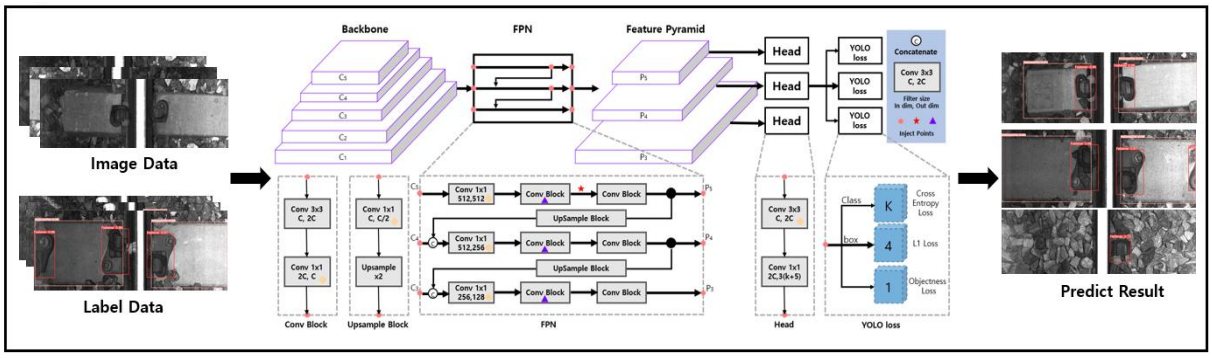

Fig. 1. Proposed Architecture

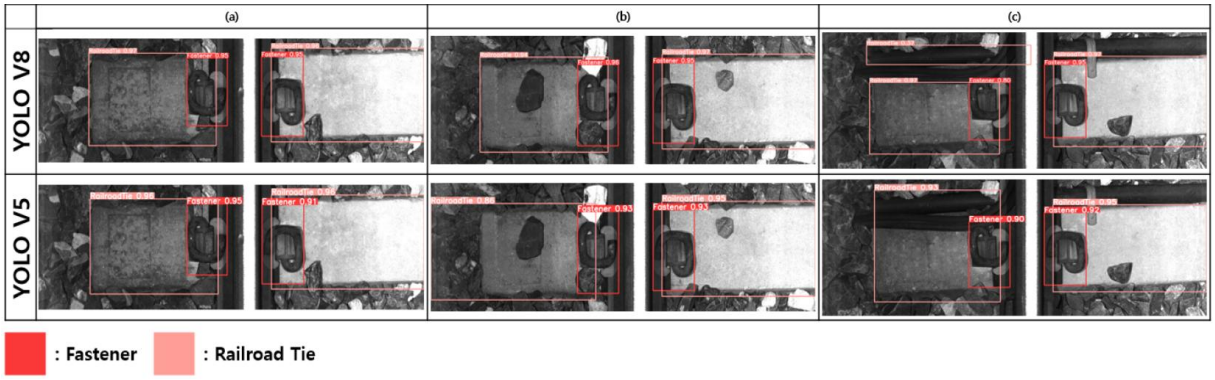

Fig. 2. Prediction Results Generated by YOLO V5 and YOLO V8 Models: (a) Best Prediction Samples, (b) YOLO V5 False Positive Prediction Samples, (c) YOLO V8 False Positive Prediction Samples

II. Proposed Method

1. Dataset

Table 1. Configuration of Dataset

Train	Valid	Test
480	60	60

학습에 사용된 데이터셋은 철도 관련 기관의 선로 점검차를 통해 수집된 이미지를 통해 구성되었다. YOLO V8 모델 학습을 위한 데이터셋 구성은 Table 1과 같다. 철도 시스템 이미지 데이터는 '2048'로 동일한 너비를 가지지만, 높이는 각기 다른 양상을 가진다. 본 연구에서는 이미지의 왜곡을 최소화하기 위해 평균적인 이미지 크기인 2048×800으로 이미지 크기를 조정하였다.

2. Experiments

선로 고정장치 탐지를 위한 실험 구성은 Fig. 1과 같다. 현재 데이터셋은 이미지 크기가 매우 크게 형성되어 있기에 일반적인 데이터셋에 좋은 성능을 보이는 모델보다 더욱 깊은 모델이 강건한 성능을 보일 것으로 판단하였다. 따라서 YOLO V8 모델 중 신경망 깊이가 가장 깊은 YOLO V8X 모델을 선정하였다. 실험 환경은 Ubuntu 22.04 LTS 운영체제에서 RTX 3090Ti GPU 2개로 구성하였다. 또한 모델 학습을 위해 Batch Size는 2로 설정하였으며, YOLO Loss 수렴에 따라 50 Epoch 이상 수렴이 진행되지 않을 경우 학습을 종료하는 Early Stop을 적용하였다.

3. Experiment Results

Table 2. YOLO V8 Result

Class	Precision	Recall	mAP_0.5	mAP_0.5:095	Speed
ALL	0.996	1	0.995	0.987	11.7ms
Fastener	1	1	0.995	0.991	
Railroad Tie	0.993	1	0.995	0.983	

Table 3. YOLO V5 Result

Class	Precision	Recall	mAP_0.5	mAP_0.5:095	Speed
ALL	0.999	1	0.995	0.978	9.2ms
Fastener	1	1	0.995	0.991	
Railroad Tie	0.998	1	0.995	0.965	

선로 고정장치에 대한 YOLO 모델의 실험 결과는 Table 2와 Table 3과 같다. 실험 결과에서 확인할 수 있듯이 YOLO V5와 V8 모두 선로 고정장치 객체 탐지 성능에서 강건한 성능을 보임을

확인할 수 있었다. 또한 YOLO V8은 YOLO V5보다 mAP_0.5:0.95에서 YOLO V5보다 더 높은 성능을 보이지만, 추론 속도는 YOLO V5가 더 빠른 속도를 가지는 것을 확인할 수 있다. Fig. 2는 학습 및 평가에 사용되지 않은 데이터에 대한 YOLO 모델 예측 결과이다. Fig. 2-(a)와 같이 학습 데이터와 비슷한 양상을 보이는 샘플에 대해서는 YOLO V8 및 V5 모델 모두 강건한 성능을 보이는 것을 확인하였다. 하지만, Fig. 2-(b)에서 확인 가능한 것처럼, 일부 데이터에 대해 YOLO V5의 침목 영역에 대한 False Positive Sample을 확인하였다. 반면, Fig. 2-(c)의 경우 YOLO V8의 예측 결과에서 침목을 가리고 있는 파이프와 같은 이물질 또한 침목이라고 탐지한 False Positive Sample을 확인하였다.

III. Conclusions and Future Work

본 논문에서는 선로 고정장치에 대한 YOLO 모델 객체 탐지 성능을 비교 및 분석하고, 철도 시스템에 대한 강건한 모니터링 시스템 구축을 위한 YOLO 모델의 확장 가능성을 확인하였다. 학습 및 평가에 사용되지 않은 데이터에 대해 YOLO V8, V5에 대한 예측 결과를 분석한 결과 데이터 샘플에 따라 False Positive Sample이 발생하는 것을 확인하였다. 결론적으로, 후속 연구에서는 모델 앙상블 기법의 적용과 데이터 샘플의 확대를 통해 모델의 성능 향상을 더욱 연구할 계획이며, 이를 통해 철도 시스템 내 결함 탐지에 기반한 강건한 철도 시스템 모니터링 시스템을 구축하는 것을 목표로 한다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (Grant No. RS-2023-00248444)

REFERENCES

[1] B. Sono, S. R. Chandmal and S. S. Kumar, “A Survey of Railway Track Modelling,” International Journal of Vehicle Structures & Systems (IJVSS), vol. 11, no. 5, pp. 508-518, 2019, doi: 10.4273/ijvss.11.5.08

[2] http://www.kric.go.kr/KricFileDownload.do?file=aAgwVe94, Korea National Railway(KR), “Guidelines for Track Maintenance and Management” (Accessed on June 25, 2023)

[3] J. R. Terven, D. M. Cordova-Esparaza, “A Comprehensive Review of YOLO: From YOLOv1 to YOLOv8 and Beyond,” arXiv preprint, 2023, arXiv:2304.00501