

## 객체 인식 기반 스마트 주차 모니터링 시스템 개발

정현일

충북대학교

chohi@chungbuk.ac.kr

## Development of an Intelligent Parking Monitoring System Based on Object Recognition Technology

Hyun-Il Chong

Chungbuk Univ.

## Abstract

기존 무선 자기센서 방식의 높은 설치·유지보수 비용과 대규모 주차장 확장성 한계를 해결하기 위해, 본 연구는 컴퓨터 비전 및 딥러닝 기술을 활용한 경제적이고 정확한 스마트 주차 모니터링 시스템을 제안한다.

CNN(Convolutional Neural Network) 기반의 객체 탐지 및 인스턴스 분할 기술을 활용하여 새로운 주차 환경에서의 객체 탐지 정확도 저하 및 일반화 문제를 해결하고자 하였다. 이를 위해 Faster R-CNN, Mask R-CNN, YOLOv12 모델을 비교분석하여 최적의 모델을 선정하였으며, CCTV 영상 데이터 수집부터 AI 학습·추론, 주차 공간 감시, 사용자 인터페이스, 서버 연계까지의 통합 시스템 아키텍처를 설계하고 구현하였다.

특히 기존 수작업 라벨링의 비효율성을 개선하기 위해 사전 학습된 모델을 활용한 자동 라벨링 시스템을 개발한 것이 본 연구의 주요 기여점이다. 실험은 Ubuntu 20.04, NVIDIA RTX 4070 Ti 12GB 환경에서 PyTorch, TensorFlow를 활용하여 수행하였으며, 14,908장의 학습 이미지 데이터를 기반으로 모델 성능을 평가하였다.

성능 평가 결과, 정밀도(Precision), 재현율(Recall), F1-Score, mAP, FPS 등의 지표에서 YOLOv12 모델이 가장 우수한 성능을 보였다. 이는 실시간 주차 모니터링 시스템에 가장 적합한 모델임을 입증하며, 전통적인 주차 관리 시스템의 근본적 한계를 극복할 수 있는 효과적인 솔루션으로 평가된다.

궁극적으로, 본 연구에서 제안하는 인공지능 기반 시스템은 기존 무선 자기센서 방식과 달리 개별 센서 설치가 필요 없어 초기 구축 비용과 지속적인 유지보수 비용을 크게 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

Key words : Smart Parking Monitoring System, Object Detection, Deep Learning, Automatic Labeling, Real-time Processing

## 1. 서론

지능형 교통 시스템(ITS, Intelligent Transportation System)의 필요성이 증대됨에 따라 효율적인 주차 관리는 중요한 과제가 되고 있다. 기존의 전통적인 무선 자기센서(Wireless Magnetometer) 방식은 높은 설치 비용과 지속적인 유지보수 비용이 발생하며, 특히 대규모 주차장에서는 확장성에 한계가 존재한다.

반면, 최근 딥러닝 기술의 발전, 특히 CNN(Convolutional Neural Network) 기반의 객체 탐지 및 인스턴스 분할 기술은 이러한 기존 주차 관리 시스템의 한계를 극복할 수 있는 대안으로 주목받고 있다. 실시간 주차장 영상을 기반으로 한 객체 인식 기술은 차량의 주차 여부 및 공간 상태를 정확하게 파악하여 운전자에게 실시간으로 주차 가능 공간 정보를 제공할 수 있다. 인공지능 기반의 접근법은 기존 센서 기반 솔루션 대비 경제적 효율성이 우수하며 주차 공간 인식의 정확성을 향상시킬 수 있다. 그러나 현재의 객체 인식 기술은 여러 한계점을 가지고 있다. 새로운 주차장 환경에 대한 객체 탐지 모델의 적응성 부족과 정확도 및 속도를 모두 만족시키는 최적의 모델 선정에 어려움이 있어 다양한 주차 환경에서의 일반화 문제가 존재한다. 각 객체 인식 모델별로 요구하는 라벨링 전처리 방식이 달라 모델 간 성능 비교가 어렵다는 문제점도 있다.

따라서 이러한 환경적 제약을 덜 받으면서도 다양한 주차 환경에 일반화가 가능한, 정확도와 속도를 동시에 만족하는 객체 인식 모델의 설계가 요구된다.

본 연구는 다음과 같은 목적을 가진다. CNN 기반 Faster R-CNN, Mask R-CNN, YOLO와 같은 최신 객체 인식 모델을 비교 및 분석하여 각 모델

의 성능을 평가하고 주차 모니터링 시스템에 최적화된 모델을 제안한다. 또한, 주차 공간 인식을 위한 자동 라벨링 시스템을 설계하고 구현하여 기존 수동 라벨링 방식의 비효율성을 개선한다. 실시간 주차 상태를 모니터링할 수 있는 스마트 주차 관리 시스템을 개발한다.

본 연구의 주요 기여점은 다음과 같다. 다양한 모델의 학습 데이터 전처리 기술을 적용하고, IoU(Intersection over Union) 기법을 활용하여 정확한 점유 상태를 확인한 후 모델을 평가하여 야외 주차장 객체 인식에 최적의 모델을 도출하였다. 이를 통해 컴퓨터 비전 기술을 활용한 주차 공간 인식 정확도를 향상시키고, 기존 주차 관리 방식의 한계를 극복하는 객체 인식 기반 주차 관리 시스템의 기반 기술을 설계 및 구현하고자 한다.

## II. 본론

## 가) 시스템 설계

본 연구에서 제안하는 스마트 주차 모니터링 시스템은 다음과 같은 아키텍처와 모듈로 구성된다. 시스템은 크게 데이터 수집 모듈, 데이터 처리 모듈, AI 학습 모듈, AI 추론 모듈, 주차공간 감시 모듈, 사용자 인터페이스, 서버 연계 모듈로 구성된다.

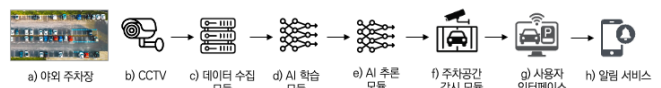


그림 1 스마트 주차 모니터링 시스템 구성도

Fig. 1 Smart Parking Monitoring System System Diagram

CCTV를 통해 실시간 영상 데이터를 수집하고, 이를 전처리하여 객체 인

식 모델에 입력 가능한 형태로 변환한다. AI 학습 모듈에서는 Faster R-CNN, Mask R-CNN, YOLO 딥러닝 모델을 사용하여 주차된 차량과 주차 공간 라벨 데이터를 학습하며, AI 추론 모듈은 학습된 모델을 사용하여 객체를 추론하고 평가한다. 주차 공간 감시 모듈은 실시간 인식 정보를 바탕으로 주차 공간의 상태(Empty, Occupied)를 감시하고, 사용자 인터페이스는 이 정보를 시각적으로 제공한다. 서버 연계 모듈은 주차 공간 정보, 차량 데이터, 통계 정보를 저장 관리하고 사용자에게 알림을 제공한다. 수작업 라벨링의 비효율성을 극복하기 위해 자동 라벨링 시스템을 설계하였다. 초기 소수의 수동 라벨링된 이미지로 초기 데이터셋을 구성하고, Faster R-CNN 및 Mask R-CNN과 같은 사전 훈련된 모델을 활용한다. 이 사전 학습된 모델을 사용하여 새로운 이미지에 대한 자동 라벨링을 수행하며, 이를 통해 YOLO 모델의 라벨링 데이터를 생성한다. 자동 라벨링 데이터 항목은 class\_id (0=Empty, 1=Occupied), x\_center, y\_center, width, height로 구성된다.

실시간 주차 모니터링 프로세스는 웹캠 비디오 입력, 주차 공간 탐지, 주차 빈 공간 탐지, 알림 서비스 단계로 이루어진다. 주차장에 설치된 고해상도 CCTV 카메라에서 RTSP(Real-Time Streaming Protocol)를 통해 실시간 비디오 스트림을 입력받고, 주차 공간 탐지를 수행한다. 비디오 스트림을 프레임 단위로 처리하여 객체를 탐지하고, 주차 공간 및 차량을 탐지하여 주차 상태를 분석한다. 객체 추적 결과로부터 바운딩 박스 좌표와 클래스 라벨을 추출하고, 주차 공간의 상태, 현재 주차 가능한 공간 수를 시각적으로 표시하여 처리된 비디오를 출력한다.

시험을 위한 구성은 Ubuntu 20.04 운영체제에서 NVIDIA RTX 4070 Ti 12GB GPU와 32GB 메모리를 사용하여 수행되었다. 소프트웨어 환경으로는 PyTorch, TensorFlow, Detectron2를 사용하였다.

학습 데이터셋은 총 14,908장의 주차장 이미지로 구성되며, 다양한 날씨 조건(sunny, overcast, rainy)과 주차장 유형(UFPR04, UFPR05, PUCPR)을 포함한다. 데이터는 학습 세트(11,177건), 검증 세트(2,486건), 테스트 세트(1,245건)로 나뉘어 학습을 진행하였다.

세 가지 객체 인식 모델의 성능은 다음 지표들을 사용하여 평가되었다.

- 정밀도(Precision): 모델이 'occupied'으로 예측한 주차 공간 중 실제로 사용 중인 비율
- 재현율(Recall): 실제 사용 중인 주차 공간 중 모델이 정확히 'occupied'으로 예측한 비율
- F1-Score: 정밀도와 재현율의 조화 평균
- 평균 정밀도(mAP): 여러 IoU 임계값에서의 평균 정밀도. 본 연구에서는 특히 mAP@0.5와 mAP@0.5:0.95를 평가하였다

IoU (Intersection over Union): 객체 탐지 평가 지표로, 예측된 바운딩 박스와 실제 바운딩 박스가 겹치는 비율을 나타낸다.

- 처리 속도(FPS): 초당 처리할 수 있는 프레임 수

본 실험에서는 Faster R-CNN, Mask R-CNN, YOLOn12 세 가지 객체 인식 모델을 대상으로 주요 평가 지표에 따라 성능을 비교하였다.

실험 결과, YOLOn12 모든 평가 지표에서 우수한 성능을 보였다.

## 표 1 실험 결과

Table 1 Experimental results

모델	정밀도	재현율	F1-score	mAP@0.5	mAP@0.5:0.95	FPS
Faster R-CNN	0.9886	1.0	0.9942	99.01	98.71	29.68
Mask R-CNN	0.9442	0.9754	0.9595	84.76	42.99	23.70
YOLO 12	0.9989	0.9986	0.9987	99.46	98.74	118.23

특히, 초당 처리 프레임 수(FPS)가 118.23으로 Faster R-CNN(29.68 FPS)이나 Mask R-CNN(23.70 FPS)에 비해 월등히 높아 실시간 응용에 매우 적합하다는 것을 입증했다. YOLOn12은 정확도와 속도 모두를 갖춘 모델로서, 실시간 주차 공간 모니터링 시스템에 가장 적합한 모델로 평가

된다.

반면 Faster R-CNN과 Mask R-CNN 모델은 Precision 및 mAP@0.5 지표에서 높은 성능을 보였으나(Faster R-CNN: Precision 0.9886, mAP@0.5 99.01%; Mask R-CNN: Precision 0.9442, mAP@0.5 84.76%), 이는 상대적으로 정밀한 탐지 능력을 요구하는 환경에 적합함을 시사한다. 하지만 두 모델 모두 추론 속도 측면에서는 YOLOn12보다 크게 낮아 실시간 응용에는 다소 제한적일 수 있음을 확인하였다.

본 연구 결과는 YOLOn12이 실시간 처리 능력과 정확도의 균형을 제공하며, 주차 관리 시스템과 같은 실시간 운용에 필요한 특성을 균형 있게 갖추고 있음을 보여주었다.

## III. 결론

본 연구에서는 Faster R-CNN, Mask R-CNN, YOLO 객체 인식 모델을 활용하여 스마트 주차 모니터링 시스템 프로토타입을 개발하였다. 기존 수동 라벨링 방식의 비효율성을 해결하기 위한 자동 라벨링 기법을 제안하였으며, 세 가지 객체 인식 모델에 대한 성능 분석을 통해 YOLO v12 모델이 실시간 처리 속도와 인식 정확도의 균형 측면에서 실시간 주차 모니터링 시스템에 가장 적합함을 확인하였다.

또한 실시간 주차 모니터링 시스템 구현을 위한 체계적인 단계별 접근 방법론을 제시하였다. 특히 인공지능 기술 기반의 본 시스템은 기존 무선 자기센서 방식과 달리 개별 센서 설치 없이도 운영이 가능하며, 초기 구축비용과 지속적인 유지보수 비용을 현저히 절감할 수 있는 경제적 효과를 제공할 것으로 기대된다.

본 연구에서 확인된 주요 한계점은 다음과 같다. 첫째, CCTV 영상 촬영 각도에 따른 차량 간 상호 가림 현상으로 인한 주차면 사각지대 문제가 존재한다. 둘째, 프레임 단위로 변화하는 영상 신호 특성으로 인한 오탐지 문제가 발생한다. 셋째, 학습 데이터에 포함되지 않은 신규 주차장 환경에서 빈 주차 공간 및 주차 차량에 대한 객체 인식 성능이 저하되는 자동 라벨링 정확도 문제가 나타났다.

향후 연구에서는 이러한 한계점들을 개선하고 시스템을 발전시키기 위한 방안으로 객체 인식 정확도 향상을 위해 폴리곤 형태의 라벨 데이터를 활용할 것이며, 나아가, 주차장 현장의 엣지 디바이스에서 효율적으로 동작할 수 있는 경량화된 모델 연구 (엣지 컴퓨팅 최적화), 환경 변화에 따른 객체 인식 정확도를 높이기 위한 도메인 적응 및 모델 기반 데이터 증강 연구, 그리고 신규 주차장에 대해 라벨링 된 데이터 없이도 주차 패턴을 학습할 수 있는 비지도 학습 연구를 향후 연구 방향으로 제시한다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 지역지능화혁신인재양성 사업임 (IITP-2024-2020-0-01462).

## 참고 문헌

- [1] "SMART PARKING WITH PIXEL-WISE ROI SELECTION FOR VEHICLE DETECTION USING YOLOV8, YOLOV9, YOLOV10, AND YOLOV11" <https://arxiv.org/html/2412.01983v2>
- [2] "Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks" <https://arxiv.org/abs/1506.01497>
- [3] "Real-time image-based parking occupancy detection using deep learning" <https://ceur-ws.org/Vol-2087/paper5.pdf>
- [4] "Searching for parking costs the UK£23.3 billion a year," <http://inrix.com/press-releases/parking-pain-uk/>, accessed: 201805-18.
- [5] "Auxiliary Domain-guided Adaptive Detection in Adverse Weather Conditions"