

딥러닝 기반 2D 객체 인식 모델과 저비용 LiDAR 센서를 이용한 실시간 3D 객체 탐지 시스템 개발

이애진, 황예진, 정보인, 이기용
숙명여자대학교 소프트웨어학부

{dldowls, hyej0126, boing0806, kiyonglee}@sookmyung.ac.kr

Development of a Real-Time 3D Object Detection System using a Deep Learning-based 2D Object Recognition Model and Low-Cost LiDAR Sensor

Aejin Lee, Yejin Hwang, Boin Jeong, Ki Yong Lee
Division of Computer Science, Sookmyung Women's University

요 약

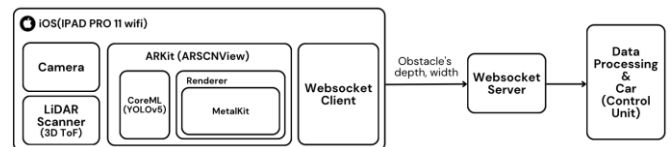
최근 자율주행 기술이 큰 주목을 받고 있지만 고가의 센서를 필요로 하기 때문에 연구 및 상용화에 큰 어려움을 겪고 있다. 따라서 본 논문은 쉽게 사용 가능한 딥러닝 2D 객체 인식 모델과 범용 태블릿에 탑재된 저비용 LiDAR 센서를 이용하여 실시간 3D 객체 탐지가 가능한 시스템을 개발한다. 개발된 시스템을 실제 1/10 크기의 차량 모델에 적용하여 테스트해본 결과 개발 용이성과 정확도 측면에서 자율주행을 위한 저비용 센서로 충분히 활용될 가능성이 있음을 확인하였다.

1. 서론

자율주행 기술은 최근 주목 받고 있는 첨단 기술 중 하나로서, 운전자의 편의성과 교통의 효율성을 크게 향상시킬 것으로 기대되고 있다. 하지만 자율주행 차량을 구현하는 단계에서 차량 주변을 인식하기 위한 고가의 센서가 필요하기 때문에 연구 및 상용화에 큰 어려움을 겪고 있다 [1].

이를 위해 본 논문에서는 자율주행에 필요한 고가의 센서를 대체할 수 있는 저비용의 주변 객체 탐지 시스템을 개발한다. 제안 시스템은 누구나 쉽게 설치 및 실행 가능한 딥러닝 2D 객체 인식 모델과 범용 태블릿에 탑재된 저비용 LiDAR(light detection and ranging) 센서[1]를 이용한다. 제안 시스템은 카메라를 통해 실시간으로 들어오는 이미지 내의 객체들을 딥러닝 기반의 대표적인 객체 인식 모델인 YOLOv5[2]로 인식한다. 그리고 이 인식 결과를 저비용 LiDAR 센서가 수집한 주변 객체들과의 거리 정보와 결합하여 해당 객체와 차량과의 거리를 측정한다. 이를 통해 제안 시스템은 차량 주변 객체들의 종류뿐만 아니라 차량과의 거리까지 알아낼 수 있다. 제안 시스템을 실제 1/10 크기의 차량 모형에 적용하여 성능을 측정한 결과, 제안 시스템은

개발 용이성과 정확도 측면 모두에서 자율주행을 위한 저비용 센서로 활용될 가능성이 충분함을 보였다.

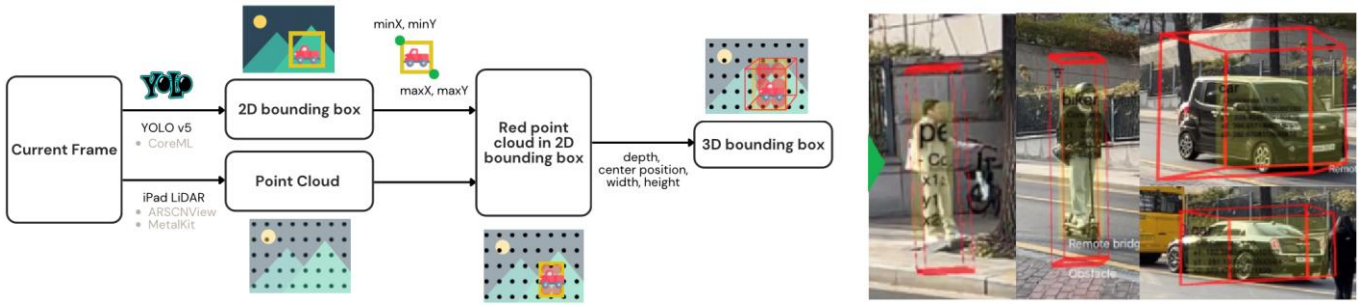


(그림 1) 시스템 전체 구조

2. 제안 시스템

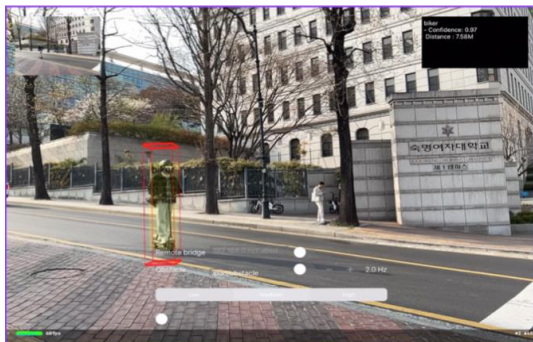
2.1 전체 구조

(그림 1)은 본 논문에서 개발한 시스템의 전체 구조를 나타낸다. 제안 시스템은 카메라로 주변을 촬영한 이미지를 실시간으로 전달받는다. 제안 시스템은 YOLOv5를 사용하여 이미지 내 객체를 인식하고 그 결과를 (객체 종류, 2D 바운딩 박스) 형태로 얻는다. 하지만 2D 바운딩 박스는 객체들의 2D 이미지 상 위치만 나타낼 뿐 실제 차량과의 거리는 포함하고 있지 않다. 따라서 제안 시스템은 이 2D 바운딩 박스를 저비용 LiDAR 센서(즉, 3D ToF 스캐너)가 수집한, 주변 객체들의 위치를 나타내는



(그림 3) 제안하는 3D 바운딩 박스 변환 알고리즘의 흐름 및 실제 수행 결과 예

점들로 구성된 포인트 클라우드와 대조하여 공간 상에서의 3D 바운딩 박스로 변환한다 (2.2절에서 설명). 이후 제안 시스템은 각 객체에 대해 그의 종류, 3D 바운딩 박스, 차량과의 거리를 화면에 출력한다. (그림 2)는 제안 시스템의 화면 예제이다. 인식된 각 객체에 대해서는 3D 바운딩 박스가 나타나며, 화면 우측 상단에는 인식된 객체의 종류 및 차량과의 거리가 출력된다. 또한 제안 시스템은 인식된 객체 종류 및 거리 정보를 WebSocket을 통해 관제 서버로 전송하여 차량 제어에 활용될 수 있도록 하였다.



(그림 2) 제안 시스템의 화면 예제

2.2 3D 바운딩 박스 변환 알고리즘

제안 시스템은 YOLOv5가 인식한 객체들의 2D 바운딩 박스를 LiDAR 센서가 수집한 포인트 클라우드와 대조하여 3D 바운딩 박스로 변환한다. 이로부터 제안 시스템은 객체들의 종류뿐만 아니라 차량과의 거리도 1 cm 이하의 오차로 측정할 수 있다. 제안 알고리즘은 우선 YOLOv5가 인식한 객체의 2D 바운딩 박스로부터 좌측 상단 모서리 좌표 ($minX$, $minY$)와 우측 하단 모서리 좌표 ($maxX$, $maxY$)를 가져온다. 이 후 이 범위에 해당하는 포인트 클라우드들의 점들을 사전에 정의한 변환식을 통해 가져온 후, 2D 바운딩 박스에서 ($minX$, $maxY$)와 ($maxX$, $maxY$)를 잇는 선을 3D 바운딩 박스의 밑면으로, $|maxY - minY|$ 를 3D 바운딩 박스의 높이로 정한다. 마지막으로 3D 바운딩 박스의 깊이는 가져온 점들의 밀도가 급격히 낮아지는 곳까지로 정한다. (그림 3)은

제안 알고리즘의 흐름 및 실제 수행 결과를 나타낸다.

3. 성능 평가

본 성능 평가에서는 차량 주변 객체 탐지를 위해 roboflow에서 제공하는 Udacity Self Driving Car Dataset[3]을 사용하여 YOLOv5를 학습시켰다. 한편 저비용 LiDAR 센서의 성능과 시스템의 부하를 고려하여 LiDAR 센서가 수집하는 포인트 클라우드의 점의 개수를 초당 최대 1,000개까지로 제한하였다. 본 실험에서는 제안 시스템을 iPad Pro에 탑재된 LiDAR 센서를 사용하여 실제 구현한 뒤, 실제 1/10 크기의 차량 모형에 탑재하여 시스템의 객체 탐지 정확도를 측정하였다. 객체 탐지 정확도는 mAP(mean average precision)로 측정하였으며, 그 결과는 <표 1>에서 보인 바와 같이 0.899라는 높은 수치를 얻었다.

<표 1> 제안 시스템의 성능 평가 결과

항목	값
훈련 데이터	Udacity Self Driving Car Dataset
포인트 클라우드	최대 1,000개/초
mAP	0.899

4. 결론

본 논문에서는 딥러닝 기반 2D 객체 인식 모델과 저비용 LiDAR 센서를 이용한 실시간 3D 객체 탐지 시스템을 개발하였다. 제안 시스템을 실제 구현하고 실제 환경에서 성능을 평가한 결과 제안 시스템은 자율주행을 위한 저비용 센서로 충분히 활용될 가능성이 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] S. Alaba et al., "A survey on deep-learning-based LiDAR 3D object detection for autonomous driving," Sensors, 22(24):9577, 2022.
- [2] Y. Zhang et al., "Real-time vehicle detection based on improved YOLO v5," Sustainability, 14(9):12274, 2022.
- [3] roboflow, <https://public.roboflow.com/object-detection/self-driving-car>, April 2020.