

경량화된 YOLO 기반 단일 카메라를 이용한 차량 거리 측정 및 차선 인식 시스템

이준구, 이웅희*

한성대학교

{dlwnsrn8211, whlee}@hansung.ac.kr

Vehicle Distance Measurement and Lane Detection System Using Lightweight YOLO-based Monocular Camera

Jungoo Lee and Woonghee Lee*

Hansung University

요약

본 논문에서는 LiDAR/RADAR 센서 없이 단일 카메라만을 이용한 실시간 차량 거리 측정 및 차선 인식 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 YOLOv8 기반의 경량화된 차량 검출 모델을 활용하여 전방 차량을 실시간으로 검출하고, 카메라의 기하학적 파라미터를 이용한 삼각법을 통해 차량까지의 거리를 계산한다. 또한 Hough Transform을 적용한 차선 검출 기법을 통해 자차 주행 차선을 식별하여, 동일 차선 내 차량에 대해서만 선택적으로 거리 기반 안전 경고를 제공한다. 시스템 경량화를 위해 관심 영역(ROI) 제한 기법을 적용한 결과, ROI 미적용 대비 평균 FPS가 3.12% 향상되었고 차선 검출 레이턴시가 49.46% 감소하였다. 최종적으로 모델 크기 21.54MB, 평균 메모리 사용량 800.35MB로 일반적인 상용 환경에서도 실시간 처리가 가능함을 확인하였다.

I. 서론

첨단 운전자 지원 시스템(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS)의 핵심 기능인 차량 간 거리 측정과 차선 인식은 교통 안전 향상에 필수적인 기술이다. 전통적으로 LiDAR 및 RADAR 등의 고가 센서에 의존해 왔으나, 높은 비용과 복잡한 설치로 인해 보급이 제한적이다. 최근 딥러닝 기반 컴퓨터 비전 기술의 발전으로 단일 카메라를 이용한 환경 인식이 주목받고 있다. 예를 들어, Redmon 등이 제안한 YOLO[1]는 실시간 객체 검출의 새로운 패러다임을 제시하였으며, 이후 YOLO 계열 모델들은 차량 검출 분야에 널리 활용되고 있다.

본 연구는 저비용으로 기존 차량에도 쉽게 적용할 수 있는 실용적인 ADAS 솔루션의 필요성에 따라, 단일 카메라 기반 실시간 차량 거리 측정 및 차선 인식 경량화 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 세 가지 모듈로 구성된다. 첫째, YOLOv8s[2] 기반 차량 검출 모듈로 전방 차량을 실시간 식별한다. 둘째, 바운딩 박스 하단 Y좌표 기반 거리 추정 모듈로 O(1) 복잡도로 거리를 검색한다. 셋째, Hough Transform 기반 차선 필터링 모듈로 자차 차선 내 차량에 대해 거리 기반 경고(DANGER, CAUTION, SAFE)를 제공한다.

II. 본론

2.1 시스템 구조

제안하는 시스템의 전체 구조는 전처리, 병렬 처리, 정보 융합의 3단계로 구성된다. 입력 영상은 전처리 후 YOLO 기반 차량 검출과 Hough Transform 기반 차선 검출로 병렬 처리되며, 두 결과가 융합되어 최종 안전 판단을 수행한다. 그림 1은 시스템의 전체 구조를 보여준다.

2.2 YOLO 기반 차량 검출 및 거리 측정

차량 검출을 위해 YOLOv8s 모델을 사용하였다. 검출 대상은 car, truck, bus, motorcycle 클래스이며, 신뢰도 임계값은 0.5로 설정하여 정확

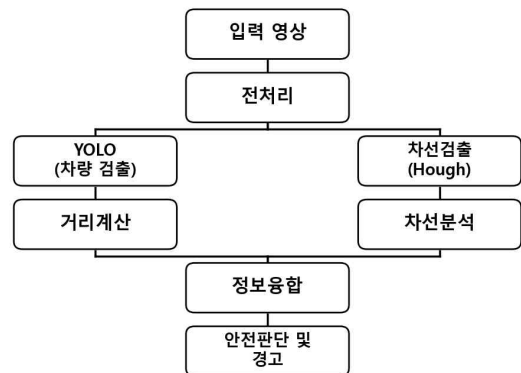


그림 1. 시스템 구조도.

도와 속도의 균형을 맞췄다.

거리 계산은 카메라 파라미터와 삼각법을 이용한다. 카메라 높이 $h=2.0\text{m}$, 틸트각 $\theta=15^\circ$, $FOV=75^\circ$ 의 설정에서 거리 d 는 다음 식으로 계산된다.

$$d = h / \tan(\theta + \alpha) \quad (1)$$

여기서 h 는 지면으로부터 카메라까지의 높이(m), θ 는 카메라의 하향 틸트각($^\circ$), α 는 이미지 중심에서 차량 하단까지의 픽셀 오프셋을 각도로 환산한 값이다. 실시간 처리를 위해 Y좌표별 거리 테이블을 사전 계산하여 O(1) 복잡도로 거리를 추정한다. 차량 바운딩 박스의 하단 중심점을 지면 접촉점으로 간주하며, 이 점의 Y좌표를 이용해 테이블에서 거리를 검색한다. 그림 2는 차량 검출, 거리 측정, 차선 인식이 통합된 동작 예시이다.

2.3 Hough Transform 기반 차선 검출

차선 검출은 관심 영역(ROI) 마스킹으로 처리 영역을 감소시킨 후,

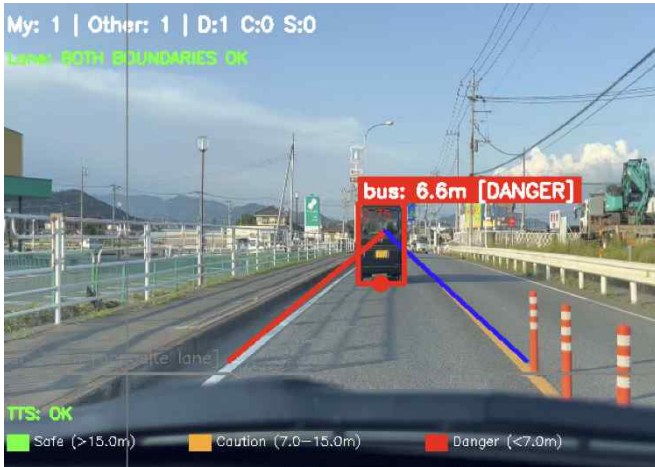


그림 2. 실시간 동작 예시.

Canny 엣지 검출과 Hough Transform을 적용한다[3,4]. 하한 임계값 130, 상한 임계값 160을 사용하여 강한 엣지와 약한 엣지를 구분하였으며, Hough Transform의 파라미터는 $\rho=1$, $\theta=\pi/180$, $threshold=40$ 로 설정하였다. 검출된 직선들은 기울기($0.3 < |slope| < 2.0$)와 위치 정보를 기반으로 좌우 차선으로 분류되며, 1차 다항식 피팅을 통해 전체 차선으로 확장된다.

2.4 정보 융합 및 안전 판단

차선 경계를 이용하여 자차 차선 내 차량만을 필터링한다. 측정된 거리에 따라 DANGER(7m 미만), CAUTION(7-15m), SAFE(15m 초과)로 분류하여 각각 빨강, 주황, 초록색 바운딩 박스로 시각적 경고를 표시하고, 위험 상황에서는 음성 경고를 제공해 운전자에게 직관적인 경고 정보를 전달한다.

2.5 경량화 최적화

시스템 경량화를 위해 위에서 설명한 바와 같이 다음 전략들을 적용하였다. (1) YOLOv8s 사용으로 경량 모델 채택, (2) 거리 계산 테이블로 O(1) 복잡도 달성, (3) ROI 제한으로 차선 검출 레이턴시 개선 등의 최적화를 통해 실시간 처리가 가능한 시스템을 구현하였다.

2.6 실험 결과

실험은 Intel Core i7-13650HX 프로세서, 24GB RAM, NVIDIA RTX 4060 GPU, Windows 10, Python 3.9, PyTorch 2.0, Ultralytics YOLO 8.0, OpenCV 4.8, NumPy 1.24 환경에서 수행되었다. 원본 해상도 1920×1080, 처리 해상도 640×480이며, YOLOv8s 모델(21.54MB)을 사용하였다.

지표	ROI OFF	ROI ON	개선율
총 처리 시간	41.20 sec	39.82 sec	-3.35%
평균 FPS	10.90 fps	11.24 fps	+3.12%
차선 검출 Latency	5.54ms	2.80ms	-49.46%
평균 메모리 사용량	828.04MB	800.35 MB	-3.34%
최대 메모리	1363.12 MB	1335.39MB	-2.03%

표 1. ROI 적용에 따른 성능 비교.

표 1은 ROI 적용 여부에 따른 성능 비교를 보여준다. ROI를 적용한 결과 평균 FPS가 10.90에서 11.24로 3.12% 향상되었으며, 차선 검출 레이턴시는 5.54ms에서 2.80ms로 49.46% 감소하였다. 제안 시스템의 모델 크기

21.54MB, 평균 메모리 사용량 800.35MB로 효율적으로 동작하였다. 그림 3은 ROI 적용에 따른 성능 개선을 시각적으로 보여준다. (a) 총 처리 시간은 41.20초에서 39.82초로 3.35% 감소하였고, (b) 차선 검출 레이턴시는 5.54ms에서 2.80ms로 49.46% 감소하였다. (c) 평균 메모리 사용량은 828.04MB에서 800.35MB로 3.34% 감소하였다. 특히 ROI 기반 차선 검출 최적화가 레이턴시를 절반 가까이 줄여 실시간 처리 성능을 크게 향상시켰으며, 메모리 효율성도 개선되어 제한된 리소스 환경에서도 안정적으로 동작하였다.

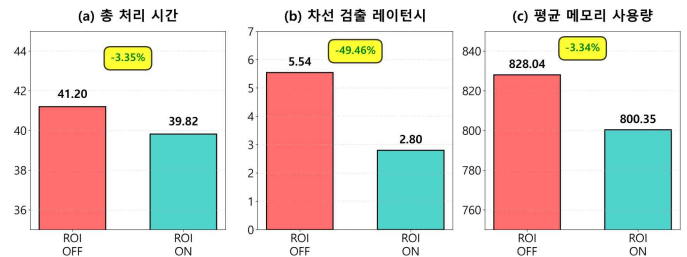


그림 3. 데이터 성능 분석 그래프

III. 결론

본 논문에서는 단일 카메라 기반 실시간 차량 거리 측정 및 차선 인식 경량화 시스템을 제안하였다. YOLOv8 검출, 기하학적 거리 계산, Hough Transform 차선 검출의 효율적 통합으로 경량화 및 실시간 처리를 달성하였다. 실험 결과, ROI 최적화를 통해 평균 FPS 3.12% 향상, 차선 검출 레이턴시 49.46% 감소를 달성하였다. 모델 크기 21.54MB, 평균 메모리 800.35MB로 효율적인 리소스 활용을 구현하였다. 제안 시스템은 기존 차량에 손쉽게 적용할 수 있어 교통 안전 기술의 대중화에 기여할 수 있다. 또한 경량화된 구조는 엣지 디바이스나 임베디드 시스템에도 적용 가능하여 다양한 모빌리티 환경으로 확장할 수 있다. 고가의 센서 장비 없이도 안전 운전을 지원함으로써 차량 안전 시스템 보급 확대와 교통사고 감소에 기여할 것으로 기대된다.

향후 연구로는 다중 프레임 융합, 환경 적응형 파라미터 조정, Transformer 기반 차선 검출 융합 등을 통해 야간 및 악천후 환경에서의 성능 향상을 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was financially supported by Hansung University.

참 고 문 헌

- [1] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You only look once: Unified, real-time object detection," in Proc. IEEE Conf. Comput. Vision Pattern Recognit. (CVPR), pp. 779-788, June 2016.
- [2] G. Jocher, A. Chaurasia, and J. Qiu, "YOLO by Ultralytics," 2023, (<https://github.com/ultralytics/ultralytics>).
- [3] R. O. Duda and P. E. Hart, "Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures," Commun. ACM, vol. 15, no. 1, pp. 11-15, Jan. 1972.
- [4] J. Canny, "A computational approach to edge detection," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. PAMI-8, no. 6, pp. 679-698, Nov. 1986.