

고정형 비전 카메라를 이용한 차량 위치 탐지 기반 자율주행 지원 인프라 시스템

한명석, 정은진, *김은수, *유민아, *박준석
한국항공대학교, *국민대학교

qaz8541@kau.kr, jeong.eunjin1129@gmail.com, *junweecha@kookmin.ac.kr,
*chamssal1212@kookmin.ac.kr, *jspark@kookmin.ac.kr

Vehicle Position Detection Using Fixed Vision Cameras for Infrastructure-Assisted Autonomous Driving

Myeong seok Han, Eun jin Jeong, *Eun su Kim, *Mina You, *Jun seok Park
Korea Aerospace Univ., *Kookmin Univ.

요 약

현재 자율주행을 위한 선행기술들은 차량 자체가 센서 - 예를 들어 카메라, 라이다, 레이더 등을 이용하여- 실시간으로 주변 환경을 인식하고, 그 데이터를 바탕으로 스스로 주행 경로를 판단하는 방식이 주류이다. 이러한 기술은 차량 단독으로 자율주행을 수행할 수 있는 기반을 제공하지만, 인식 범위의 한계와 통신 지연 등 구조적인 제약이 존재한다. 고도화된 자율주행을 위해서는 차량 외부에서 도로 및 차량 정보를 실시간으로 제공할 수 있는 인프라 기반 보조 시스템이 필수적이다. 특히 Tier 3 수준의 자율주행은 차량 단독의 판단을 넘어 도로 인프라와의 협력을 통해 보다 높은 수준의 안정성과 예측 가능성을 확보하는 것이 요구된다. 본 논문에서는 고정형 비전 카메라를 활용하여 도로 위 차량의 위치를 탐지하고 이를 자율주행 차량에 제공하는 인프라 기반 자율주행 지원 시스템의 핵심기능을 제안하고자 한다.

I. 서 론

자율주행 기술은 자동차 산업의 핵심 기술 중 하나이다. 현재 대부분의 자율주행 시스템은 차량 자체 인식 기반으로, 차량에 장착된 센서를 통해 단독으로 주행 제어를 수행한다는 점에서 이점이 있지만 센서의 인식 거리 한계와 사각지대 존재 등 여러 제약이 있다. 이러한 문제를 극복하고 보다 안정적이고 예측 가능한 주행을 실현하기 위해서는 차량 외부에서 정보를 제공하여 판단을 보조할 수 있는 인프라 기반 자율주행 지원 시스템¹의 도입이 필요하다. 특히 Tier 3 수준의 자율주행은 차량 단독 판단을 넘어, 도로 인프라와의 실시간 협력을 통해 주행 의사결정을 수행하는 단계로 정의된다. 이를 위해 인프라는 차량의 위치, 속도, 주행 방향 등 핵심 정보를 정밀하게 파악하여 차량에 실시간으로 제공할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 Tier 3 자율주행을 위한 인프라 기술의 핵심 요소로, 고정형 비전 카메라를 활용한 실시간 차량 위치 탐지 기법을 제안한다. 탐지된 정보는 5G 특화망을 통해 인프라-차량 간에 실시간으로 공유됨으로써 주변 차량의 경로를 예측하고 잠재적인 충돌 가능성을 사전에 판단할 수 있다. 이를 통해 본 연구는 인프라 기반 협력 자율주행 구현을 위한 기술적 기반을 제시하며, 주행 안정성과 시스템 효율성을 동시에 확보한 자율주행 환경 조성에 기여하고자 한다.

II. 본론

2-1. V2X 개요

차세대 자율주행 기술의 핵심 요소 중 하나는 V2X(Vehicle-to-Everything)이다. V2X는 차량이 다른 모든 개체와 정보를 주고받을 수 있는 통신 개념으로, 도로 안전성 향상, 교통 효율 최적화, 자율주행 지원을 위한 기반 기술이다.² V2X는 세 가지 주요 구성으로 나눌 수 있다. 첫째, V2V(Vehicle-to-Vehicle)는 차량 간의 통신을 의미하며, 충돌 방지나 협력 주행에 활용된다. 둘째, V2I(Vehicle-to-Infrastructure)는 차량과 도로 인프라 간의 통신으로, 다양한 도로 정보를 차량에 실시간 제공할 수 있는 기능을 포함한다.³ 셋째, V2P(Vehicle-to-Pedestrian)는 차량과 보행자 간 통신을 통해 교차로 사고를 예방하는 등 보행자 안전을 확보하는 데 기여한다. 본 논문에서는 V2I 기술에 초점을 두어 도로 인프라가 고정형 비전 카메라를 통해 차량의 위치를 실시간 인식하고, 이를 자율주행 차량에 제공함으로써 차량 스스로의 경로 판단을 보조하는 시스템을 제안한다.

² Kim, Geon-Hee, et al. "Vehicle positioning system using v2x that combines v2v and v2i communications." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 922. No. 1. IOP Publishing, 2020.

³ Saravanan, Nithish Kumar, et al. "Enhanced Cooperative Perception Through Asynchronous Vehicle to Infrastructure Framework with Delay Mitigation for Connected and Automated Vehicles." *arXiv preprint arXiv:2504.08172* (2025).

¹ 김영준. (2016). 도로 인프라와 연계한 자율주행차량의 통신 및 제어 기술. *한국ITS 학회논문지*, 15(6), 1-12

2-2. V2I의 개념과 역할

차량이 주행 중 인프라와 정보를 주고받음으로써 차량 단독으로는 인식하기 어려운 외부 정보를 수신하여 이에 기반한 주행 판단을 내릴 수 있게 된다. V2I 통신 시스템은 일반적으로 도로 인프라에 설치된 센서, 카메라, 신호 제어기 등에서 수집된 정보를 중앙 서버 또는 엣지 컴퓨팅 유닛이 통합 분석하고, 이를 자율주행 차량에게 실시간으로 제공하는 구조로 구성된다. 특히 도로 인프라에 설치된 카메라는 차량 외부 상황을 넓은 시야로 인식할 수 있어 차량은 단순히 자체 센서를 통해 인지한 주변 환경 정보뿐만 아니라 인프라가 감지한 광역적이고 통합된 정보를 활용하여 더욱 정교한 주행 전략을 수립할 수 있다. V2I 시스템이 차량에게 제공하는 주요 정보는 신호등의 상태와 예상 변화 시점/도로의 제한 속도, 사고·도로 공사·기상 악화 등으로 인한 도로 위험 요소/교통 혼잡도와 정체 구간 정보/인근 차량의 존재 여부 및 위치 정보 등이다. 이러한 정보는 자율주행 차량이 안전하고 합리적인 주행 전략을 수립하여 위험을 사전에 회피하고 전체 교통 흐름의 효율성을 향상시키는 데 기여한다. 본 연구는 이 중에서도 인근 차량의 존재 여부 및 위치 정보를 V2I를 통해 차량에 제공하는 데 초점을 맞추었다.

2-3. 제안 모델의 방식

본 연구의 핵심 목표는 자율주행 차량의 실시간 움직임을 외부 인프라에서 감지함으로써 도로 상황을 정밀하게 파악하고, 이를 기반으로 주변 차량에 필요한 정보를 제공하는 것이다. 따라서 본 논문은 도로변에 설치된 고정형 비전 카메라를 활용하여 차량의 중심점, 속도, 방향 정보를 추정하고, 이를 차량에 제공함으로써 차량 간 협력 주행 및 위험 상황 예측이 가능하도록 하는 인프라 기반 자율주행 지원 모델을 제안한다.

모델의 처리 과정은 다음과 같다. 먼저, 고정형 카메라로부터 입력된 도로 영상은 CNN 기반 백본 네트워크를 통해 특징 맵(feature map)으로 변환된다. 이후 head 모듈에서는 차량의 중심점 좌표, 크기, 차종 등을 병렬적으로 탐지하며, 이 정보는 카메라의 내부 및 외부 파라미터를 활용한 투영 변환 과정을 거쳐 실세계 좌표계로 변환된다. 이어서 연속된 프레임 간 차량의 시간적 변화를 분석하여 속도와 이동 방향을 추정한다.

이렇게 추정된 차량의 위치 및 동적 정보는 5G 특화망을 통해 초저지연으로 전송되며, 높은 보안성을 바탕으로 실시간 경로 예측 및 위험 상황 공유에 활용될 수 있다. 제안된 방식은 차량의 자율 센서 기반 인식 한계를 보완하고, 인프라-차량 간의 협력 구조를 기반으로 한 Tier 3 수준의 자율주행 실현을 위한 효과적인 방안이 될 수 있다.

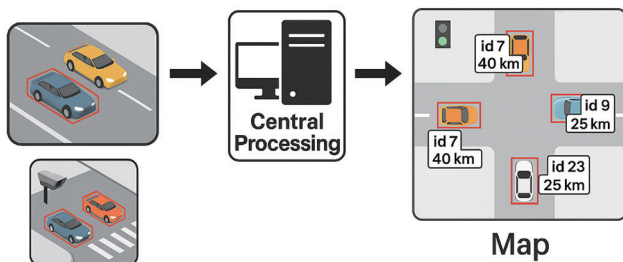


Figure 1 Vehicle Position Detection Using Fixed Vision Cameras

2-4. 주요 이점

본 논문에서 제안한 고정형 비전 카메라 기반 차량 위치 탐지 모델은 기존 자율주행 시스템의 한계를 보완하는 인프라 중심 접근 방식이다. 본 모델은 다음과 같은 구조적·응용적 강점을 지닌다. 첫째, 도로 인프라에 설치된 카메라는 차량 자체 센서로는 인식하기 어려운 사각지대를 보완하고, 시야 밖의 객체나 복잡한 교차 구간에 존재하는 장애물에 대해 안정적인 인식이 가능하다. 둘째, 5G 특화망을 통해 도로 정보를 인프라-차량 간 초저지연으로 공유함으로써 신뢰성과 효율성을 확보한 주행 전략을 수립할 수 있다. 셋째, 저비용 비전 센서와 딥러닝 모델을 융합함으로써 기존 교통 인프라와의 연계가 가능하며 대규모 도로망에 적용할 수 있는 실용성과 확장성이 있다. 넷째, 실시간으로 수집된 차량의 위치, 속도, 방향 등의 데이터를 기반으로 도로 전체의 상태를 디지털 공간에 재현함으로써 디지털 트윈 기반 교통 시뮬레이션 및 모니터링 시스템으로 확장 가능하며, 이를 통해 교통 흐름을 가시화하고 스마트시티 응용에도 활용할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 자율주행의 고도화를 위한 인프라 기반 접근 방식으로 고정형 비전 카메라를 활용한 차량 중심점 탐지 및 위치 추정 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 고정형 비전 카메라와 AI 모델을 활용하여 차량의 위치, 속도, 방향 정보를 탐지하고, 이를 실세계 좌표계로 변환함으로써 차량의 동적 정보를 실시간으로 추정한다. 이렇게 수집된 정보는 5G 특화망을 통해 초저지연으로 전송되어 인근 차량 및 중앙 서버가 도로 상황을 실시간으로 파악하고 주행 전략에 반영할 수 있도록 지원한다.

본 연구는 센서 사각지대 및 도심 환경에서의 인식 한계를 효과적으로 보완하고, 자율주행 차량 간의 협력 주행을 실현할 수 있는 가능성을 제시하였다. 향후에는 제안된 모델을 실제 교통 환경에 적용하여 다양한 도로 조건에서의 성능을 검증하고, 다중 센서 융합을 통해 보다 정밀한 판단이 가능한 통합형 인프라 시스템으로 발전시킬 필요가 있다. 이러한 개선과 더불어 차량 위치 탐지 정확도 향상 및 모델 경량화를 통한 연산 효율성 개선은 실용적 응용 가능성을 더욱 높일 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 김영준. (2016). 도로 인프라와 연계한 자율주행차량의 통신 및 제어 기술. *한국ITS 학회논문지*, 15(6), 1-12.
- [2] Kim, Geon-Hee, et al. "Vehicle positioning system using v2x that combines v2v and v2i communications." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 922. No. 1. IOP Publishing, 2020.
- [3] Saravanan, Nithish Kumar, et al. "Enhanced Cooperative Perception Through Asynchronous Vehicle to Infrastructure Framework with Delay Mitigation for Connected and Automated Vehicles." *arXiv preprint arXiv:2504.08172* (2025).