

초저지연 중앙집중형 자율주행 기술에 대한 연구

정성진, 박이현, 류세형, 서동의, 이연지, 박준석
국민대학교

Okjsj0222@kookmin.ac.kr, ihpark@ucsd.edu, fbtpgud9927@kookmin.ac.kr,
ehddml1204@koomin.ac.kr, yeonji8678@kookmin.ac.kr, jspark@kookmin.ac.kr

Yeonji8678@kookmin.ac.kr

A Study on the Ultra-Low-Latency Centralized Autonomous Driving System

Jeong Sung Jin, Ihyun Leo Park, Ryu Se Hyeong,
Seo Dong Eui, Lee Yeon Ji, Park Jun Seok
Kookmin Univ.

요 약

본 논문은 도로 인프라에 설치된 다수의 고정형 카메라를 이용해 BEV(Bird's-Eye-View) 특징을 생성하고, 이를 End-to-End 모델에 입력하여, 다수 자율주행 차량의 인지·판단·제어를 중앙에서 수행하는 시스템을 제안한다. 이를 통해 고가의 센서 의존형 자율주행 기술을 서비스 플랫폼으로 전환함으로써 자율주행 차량의 가격을 절감하고, 레거시 차량에도 간단한 모듈 설치로 자율주행 서비스를 제공할 수 있는 생태계를 구축하고자 한다. 본 연구는 CARLA UE5 기반 PoC 구현과 Bench2Drive 데이터셋을 활용한 초기 실험을 수행하며, 향후 다중 에이전트 및 다중 카메라 확장 연구를 단계적으로 진행할 예정이다.

I. 서 론

최근 자율주행 기술은 차량 내부에 다수의 고가 센서(LiDAR, 스테레오 카메라 등)를 탑재하여 주변 환경을 인식하는 방식이 주류를 이루어 왔다. 이러한 방식은 정밀한 3D 정보 획득이 가능하나, 센서 비용이 차량 단가를 크게 상승시키고, 센서 고장 시 자율주행 기능이 전면 중단되는 단점을 가진다. 또한, 개별 차량이 수행하는 분산형 자율주행 구조에서는 서로 다른 차량 간 인식 정보 공유가 어렵고, 교차로·복잡한 도심 환경에서의 협력 주행이 제한적이다.

본 연구는 이러한 기존 방식의 한계를 극복하고자, 개별 차량 중심의 독립적이고 제한적인 1 인칭 자율주행 시점을 벗어나 도로 인프라에 설치된 고정형 카메라를 활용한 3 인칭 시점 기반의 중앙집중형 자율주행 시스템을 제안한다.

도로 인프라로부터 얻어진 영상을 호모그래피 투영을 통해 BEV 좌표계로 변환하고, 이를 경량화된 End-to-End 모델(변형된 UniAD)에 입력하여 다수의 자율주행 차량에 대한 인지·판단·제어를 중앙에서 일괄적으로 수행한다[1]. 이로써 개별 차량의 고가 센서 의존도를 낮추고, 레거시 차량에도 간단한 모듈 설치만으로 자율주행 기능을 제공하는 플랫폼형 서비스로의 패러다임 전환을 제시한다.

구체적으로, 본 연구는 다음 세 가지를 주요 내용으로 다룬다. 첫째, 도로 인프라에 설치된 Top-Down 카메라 영상으로부터 실시간으로 BEV 피처를 생성하는 데이터 파이프라인을 구현하고, 이를 통해 UniAD 모델의

입력부를 BEV 전용 인코더 기반으로 재구성하여 복잡한 멀티뷰 트랜스포머를 대체한다. 둘째, 다중 차량의 동시 자율주행 제어를 위해 기존의 Ego-Vehicle 기반 UniAD 모델을 여러 대의 차량을 지원할 수 있는 Multi Ego-Vehicle 구조로 변형한다. 셋째, CARLA UE5 기반의 PoC 구현 및 Bench2Drive 데이터셋을 활용한 초기 실험을 통해 제안 방식의 타당성을 입증하고[2], 향후 다중 에이전트 및 다중 카메라 환경으로 확장하기 위한 구체적인 방안을 제시한다. 특히, 인프라 카메라 기반의 3 인칭 시점은 차량에 장착된 센서와 달리 Top-Down 시점에서 도로 전반을 조망할 수 있어 센서 사각 지대를 효과적으로 보완할 수 있으며, 중앙에서 다수 차량을 통합적으로 제어함으로써 복잡한 도시 환경에서의 협력 주행과 교통 효율성 향상에 기여할 수 있다.

II. 본론

2-1. 시스템 구성 및 동작 흐름

본 연구에서 제안하는 중앙집중 자율주행 시스템은 도로 위에 설치된 인프라 카메라, 5G 네트워크, 중앙 서버로 구성된다. 인프라 카메라에서 수집된 원시 이미지를 바탕으로 객체들을 검출한 뒤, 도로 평면 좌표계에 정합된 BEV 맵을 생성한다. 변환된 프레임은 5G 네트워크를 거쳐 중앙 서버로 전송되며, 서버에서는 실시간으로 피처 추출 및 예측 모델 연산을 수행한다. 이후 생성된 제어 명령은 개별 차량으로 송신되며, 각 차량은 수신된 명령에 기반하여 제어를 수행하게 된다. 그림 1은 전체 시스템 흐름을 도식화하여 제시하였다.

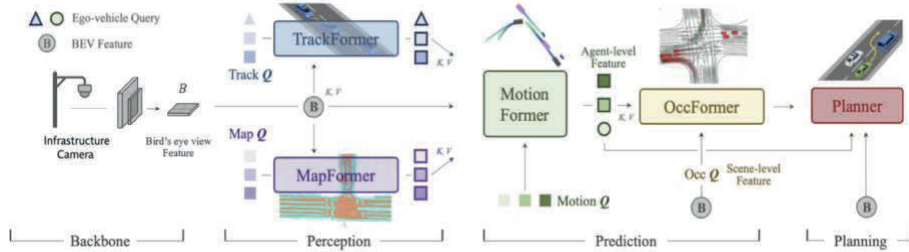


그림 1. 전체 시스템 도식도

2-2. 모델 구조 개량

UniAD 는 단일신경망 기반의 구현된 End-to-End 자율주행 모델로, 차량 탑재 카메라로부터 Ego-Vehicle 중심의 BEV 맵을 생성한다. 각 모듈은 이전 단계에서 추론된 텐서 데이터를 입력 받아 처리하며, 최종적으로 주행 계획을 도출한다[1]. 본 연구에서는 도로 인프라에 설치된 고정형 카메라를 활용하여 Multi Ego-Vehicle 제어에 적합한 전역 BEV 맵을 생성하도록 입력 구조를 변경함으로써, 중앙집중형 다중 차량 제어에 적합한 구조로 UniAD 모델을 재설계한다.

2-3. 모델 아키텍처 및 추론 과정

다중 카메라 이미지로부터 획득한 영상은 특징 추출 및 변환 과정을 거쳐 통합 BEV 특징으로 생성된다. TrackFormer 는 이 BEV 특징과 다양한 쿼리를 활용하여 동적 객체를 감지, 추적하고, 결과를 MotionFormer 로 전달한다. MapFormer 는 BEV 특징을 이용해 차선 등 정적 요소를 인식하여 역시 MotionFormer 에 전달한다. MotionFormer 는 전달받은 객체 및 맵 정보를 바탕으로 주변 객체의 미래 궤적을 예측하며, 이 결과는 OccFormer 와 Planner 로 각각 전달된다. OccFormer 는 MotionFormer 의 객체 특징과 BEV 특징을 결합하여 미래 공간 점유 맵을 예측하여 Planner 에 제공한다[1]. 그림 2 는 이러한 전체 추론의 시각화 결과를 보여준다.

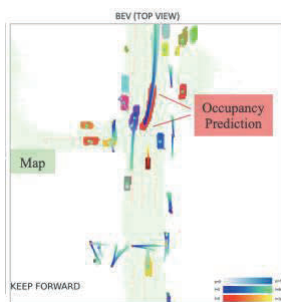


그림 2. 각 차량의 궤적과 점유 예측 시각화

Planner 는 MotionFormer 의 multi-ego-vehicle 쿼리, OccFormer 의 점유 맵, BEV 특징, 외부 명령 정보를 통합하여 최적의 주행 경로를 도출한다. 이 경로는 MPC 알고리즘을 통해 실제 차량 제어로 구현된다.

2-4 데이터셋 구성 및 파이프라인 구축

학습 데이터는 UniAD 모델과의 호환성을 고려하여 nuScenes 포맷을 기반으로 구성된다. nuScenes 는 도심 환경에서의 다중 센서 데이터셋으로, 다양한 객체에 대한 상세한 3D 바운딩 박스와 궤적 어노테이션을 포함한다.

도심 환경 데이터셋이다.

본 연구에서는 Bench2Drive 프로젝트에서 제공하는 nuScenes 포맷 레퍼런스를 활용하여, 중앙 집중형 자율주행 모델 학습을 위한 데이터셋을 구성한다[2]. 특히 그림 3 과 같이 CARLA 시뮬레이터에서 실제 도로 인프라에서 획득 가능한 Top-Down-View 카메라 이미지를 취득하고, 이를 nuScenes 기반 어노테이션과 결합함으로써 새로운 데이터 파이프라인을 구축한다.



그림 3. CARLA 시뮬레이터 Top-Down-View 이미지

III. 결론

본 논문에서는 고정형 인프라 카메라와 Private 5G 네트워크를 활용하여, BEV 기반 End-to-End 모델을 중심으로 한 중앙집중형 자율주행 시스템 아키텍처를 제안하였다. 제안 시스템은 차량 탑재 고가 센서에 대한 의존도를 줄이고, 레거시 차량에도 적용 가능한 자율주행 서비스 모델로의 확장 가능성을 보여준다.

CARLA UE5 시뮬레이터 및 Bench2Drive 기반 PoC 를 통해, 향후 다중 차량 제어와 실시간 운용에 대한 성능 및 지연 시간 측면의 정량적 평가를 수행할 예정이다. 이를 바탕으로 실제 도로 인프라 환경과의 연동 가능성을 검증하고, 대규모 도시 환경에서의 협력 주행 및 교통 흐름 최적화를 목표로 연구를 확장할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지원을 통한 첨단분야 혁신융합대학사업 (차세대통신)으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Hu Y. et al., "Planning-Oriented Autonomous Driving," arXiv preprint arXiv:2212.10156, Mar. 2023
- [2] Jia X. et al., "Bench2Drive: Towards Multi-Ability Benchmarking of Closed-Loop End-To-End Autonomous Driving," NeurIPS 2024 Track on Datasets and Benchmarks, Nov. 2024