

실시간 협력 주행을 위한 5G O-RAN 기반 V2X 플랫폼 개발

박우진, 박창균, 신은지, 장해찬, 정현수, 김민호, 주민철
국민대학교

{Woojin1112, pchb00, tldmsw17287, papperfield, jhs6339, minho9946, mcju}@kookmin.ac.kr

Development of 5G O-RAN Based V2X Platform for Real-Time Cooperative Driving

Park Woojin, Park Chankyun, Shin Eunji, Jang Haechan, Jeong Hyeonsu, Kim Minho and Ju MinChul

Kookmin Univ.

요 약

본 논문에서는 자율협력주행 환경에서의 통신 지연을 최소화하고, 안정적인 데이터 교환을 실현하기 위해 5G O-RAN기반V2X 통신을 통한 자율 협력 주행 시스템을 구현하였다. 차선 변경 및 장애물 회피와 같은 다양한 주행 시나리오를 통해 통신 안정성과 데이터 전송 효율이 향상됨을 확인하였으며, 이를 통해 차량 통신의 신뢰성이 실제 주행 환경에서 주행 안전성을 확보하는 데 핵심적인 요소임을 실증적으로 제시하였다.

I. 서 론

최근 자율주행 기술이 급속도로 발전함과 동시에 외부 네트워크와 통신을 통한 자율 협동 주행(V2X)에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다 [1]. 특히, 복잡한 도심 환경이나 돌발 상황 속에서의 차선 변경, 장애물 회피 등은 안정적인 통신망 없이는 정확한 협력 제어가 불가능하게 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 5G O-RAN(Open Radio Access Network) 기반의 개방형 통신망을 이용해 안정적인 자율 협력 주행 시스템을 구축할 수 있다. 5G O-RAN은 기존 폐쇄형 통신망과 달리 하드웨어와 소프트웨어가 분리된 개방형 구조를 기반으로 상황에 따른 유연한 네트워크 관리가 가능하다 [2]. 이러한 구조적 특성은 초저지연과 고신뢰성을 요구하는 V2X 통신 환경에 적합하여 실시간 도로 상황 공유와 같은 협력 제어에 있어 큰 강점을 제공한다 [3].

본 논문에서는 5G O-RAN통신망을 이용해 V2X 환경에서 안정적인 통신 환경을 구축하고, 실험용 RC카를 이용하여 자율 협력 주행이 필요한 다양한 시나리오에서 데이터 교환을 확인하였으며, 통신 지연을 감소시켜 협동 제어가 원활히 이루어지는 것을 실험을 통해 확인하였다. 이를 통해 차량 통신의 신뢰성이 실제 주행 환경에서의 안전성 확보에 있어 핵심적인 요소임을 실증적으로 제시하고자 한다.

II. 본론

본 연구에서는 OpenAirInterface(OAI) 프로젝트의 컨테이너 이미지를 활용하여 OAI-CN5g 및 OAI-gNB 이미지를 다운로드한 뒤, 이를 기반으로 5G Core와 기지국을 각각 설정하였다. 이후 코어 측 DB에 실험용 USIM의 IMSI, K(가입자 키), Opc 값을 등록하여 가입자 인증 환경을 마련했다. 이후 USRP B210을 RF 프론트엔드로 기지국을 구동하고, 코어에 등록된 정보의 USIM을 탑재한 5G HAT 모듈을 장착한 MPU 단말(UE)을 기지국과 연결하고 무선으로 연동함으로써, 그림 1에 제시된 end-to-end 5G 통신망을 구축하였다.

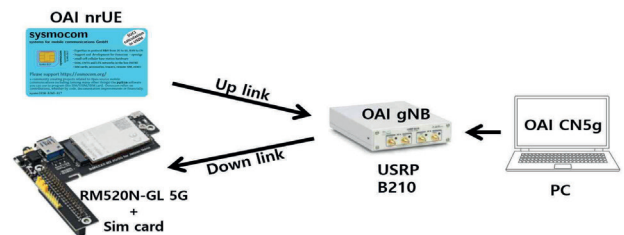


그림 1. 통신망 구축 흐름도

자율 협력 주행을 위한 차량 제어 시스템 설계를 위해 V2X 통신의 성능 및 안정성을 검증하기 위해 메인 차량 1대와 서브 차량 2대를 활용하였으며, 메인 차량에 카메라 및 라이다 센서를 장착하고 이를 기반으로 실시간 주행 환경을 인식하도록 구성하였다.

	메인 차량	서브 차량(2대)
MPU	Jetson Orin Nano 8GB	Jetson Nano 4GB
Camera	Astra 3D Depth Camera	IMX219-160
Lidar	RPLidar A1M8	미사용

표 1. 차량용 MPU 및 센서

차량 자율주행 알고리즘은 각 차량이 카메라 데이터를 통해 차선 인식 자율주행을 수행한다. 카메라로부터 받은 이미지 데이터를 조도 변화에 강인한 HSV 컬러 공간으로 변환하여 차선을 검출한다. 이후 Sliding Window 알고리즘을 통해 차선의 위치를 추적하여 차량의 조향을 제어하고, 이 과정에서 PID 파라미터 조절을 통해 자율주행의 안정성을 높였다. 또한, 선행 차량은 라이다 센서를 이용해 장애물 인지 및 회피 기능을 수행한다. 라이다 센서로부터 받은 전방 $\pm 90^\circ$ 의 포인트 클라우드 데이터에 밀도 기반 클러스터링 기법을 적용해 복수 개의 장애물을 인지한다. 이를 바탕으로 정지, 감속, 회피, 순항 중 한 동작을 수행하며, 동시에 장애물 인지 데이터를 주변 인프라 및 근접 차량에 송신한다.

V2X통신 설계는 메인 차량에만 라이다 센서를 탑재하여 주변 환경 정보를 수집하고, 이를 5G O-RAN 네트워크를 통해 후방 차량에 전달하도록 구현하였다.

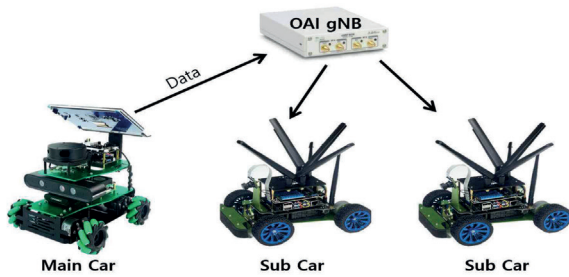


그림 2. 차량간 통신 흐름도

실험은 그림 3에 나온 시나리오 기반으로 진행했다. 선행 차량에서 카메라와 LiDAR 센서를 이용하여 주행 경로 상의 장애물 또는 객체를 실시간으로 인식하고, 이를 5G O-RAN 기반 통신망을 통해 후속 차량에 전송한다. 후속 차량들은 수신한 정보를 바탕으로 주행 경로를 동적으로 재설정하여 차선을 변경하고, 선행 차량과 동일한 방식으로 장애물을 회피함으로써 협력 기반의 자율 주행이 안정적으로 수행됨을 확인하였다.

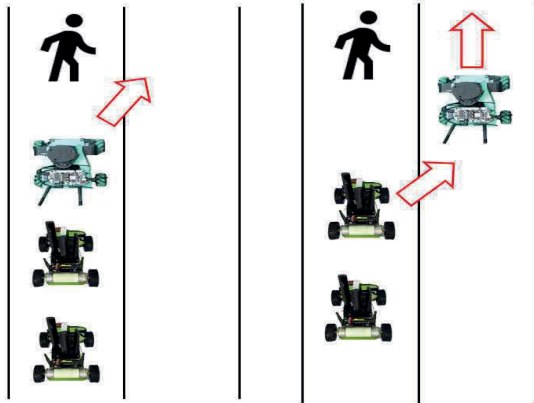


그림 3. 주행상황 시나리오

5G NR 표준에 기반하여 URLLC 특성과 안정적인 통신 환경을 구현하기 위해 표 2와 같이 파라미터를 설정하였다. 이러한 설정은 고속 이동 환경에서도 신뢰성 있는 데이터 전송을 가능하게 한다. V2X 시나리오를 위해 SCS(Sub-carrier Spacing)을 크게하여 슬롯당 전송 가능한 데이터 밀도를 증가시키고 전송 속도 효율 향상 및 저지연성을 확보했다.

Parameter	Value
SCS(kHz)	60kHz
Channel Bandwidth	50MHz
PRB	66PRB

표 2. ORAN 네트워크 주요 구성 파라미터

5G O-RAN 기반 자율 협력 주행 시스템의 통신 및 제어 성능을 검증하기 위해 실험용 RC카 3대를 활용하여 주행상황 시나리오를 수행하였다. 선행 차량(Main 차량)은 라이다와 카메라 센서를 통해 주행 경로 상의 장애물을 인지한 후, 해당 정보를 실시간으로 후속 차량(Sub 차량)들에게 5G O-RAN 통신망을 통해 전송하였다. 이때 후속 차량들은 전달받은 장애물 정보를 기반으로 사전 감속 및 차선 변경 등의 회피 기동을 수행하는 것을 확인하였으며, 전체 차량 간 협력 제어가 지연 없이 원활하게 이루어지는 것을 확인하였다. 특히, 센서를 탑재하지 않은 후속 차량들이 통신 기반 정보만으로 정확한 주행 반응을 수행함으로써, 자율 협력 주행에서의 V2X 통신 기반 제어 구조를 실험적으로 입증하였다.



그림 4. 시나리오를 적용한 실제 주행 실험

III. 결론

본 논문에서는 5G O-RAN 기반의 개방형 통신망을 활용하여 차량 간 (V2V) 및 차량과 인프라 간(V2I)의 실시간 데이터 교환이 가능한 자율 협력 시스템을 구현하였다. 다양한 주행 시나리오를 통한 실험 결과, 제안된 통신 구조는 통신 지연을 효과적으로 줄이고, 협력 제어의 안정성을 확보하는데 기여함을 확인하였다. 특히, 센서 장비가 제한된 차량 간에도 안정적인 협력 주행이 가능함을 실증함으로써, 센서와 통신 자원의 효율적 분산 구조가 자율 주행의 안전성과 시스템 전반의 효율성 향상에 실질적인 도움을 줄 수 있음을 입증하였다. 향후 연구에서는 보다 복잡한 도로 환경과 다양한 주행상황을 반영한 실험을 통해 시스템의 확장성과 실시간 처리 성능을 한층 더 개선할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 첨단분야 혁신융합대학사업(차세대통신)의 연구 결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] 조병찬, "자율주행자동차 V2X 통신 기술 동향," 오토저널, 제42권 제12호, pp. 23 - 27, 2020.12.
- [2] 김형진·박준호, "공개 소프트웨어 기반 5G 프로젝트 개발 동향 분석," 전자통신동향분석, 제36권 제2호, pp. 83-92, 2021. (ETRI, 2021.4)
- [3] E. Moro, F. Linsalata, M. Magarini, U. Spagnolini, A. Capone, "Advancing O-RAN to Facilitate Intelligence in V2X," arXiv preprint arXiv:2307.01029 v2, Jul. 2024.