

자율주행을 위한 V2X 통신 기술 적용 및 한계 상황 대응

조용우, 이신경, 민경욱
한국전자통신연구원

joyongwoo@etri.re.kr, neuron@etri.re.kr, kwmin92@etri.re.kr

A Study on V2X Communication Technology for Autonomous Driving and Its Response to Operational Limitations

Yongwoo Jo, Lee Shin Kyung, Min Kyoung-Wook
Electronics and Telecommunications Research Institute, ETRI

요 약

본 연구에서는 V2X(Vehicle-to-Everything) 통신 기술을 활용한 자율주행 시스템을 구현하고, 실도로 실험을 통해 기술의 유효성을 검증하였다. V2I 기반 인프라 연동을 통해 자율주행의 인식 한계를 보완하였으며, V2V 기반 협상 주행 기술을 통해 복잡한 교통 상황에서도 안정적인 주행이 가능함을 확인하였다. 또한, 자율주행 불가능 상황(fallback)에 대응하는 MRC(Minimal Risk Condition) 기술을 설계하고 실차 실험을 통해 그 효과를 검증하였다. 본 연구는 고도화된 자율주행 기술 개발에 있어 V2X 통신의 역할과 자율주행 한계상황에서의 대응의 중요성을 제시한다.

I. 서 론

자율주행 기술이 발전하면서 다양한 환경에서의 주행 안정성을 확보하기 위해 복잡한 상황 인지 및 판단 능력이 필요하다. 그러나 자율주행 차량 단독의 센서 기반 시스템만으로는 모든 교통 상황에 과적으로 대응하기에 한계가 존재한다. 이러한 한계를 보완하기 위해 차량과 주변 요소 간의 통신을 기반으로 하는 차량-사물 간 통신(Vehicle-to-Everything, V2X) 기술이 주목받고 있다.

V2I(Vehicle-to-Infrastructure) 기술은 도로 인프라에 설치된 센서 및 인식 시스템과 자율주행 차량 간의 정보를 실시간으로 공유하는 기술이다. 이를 통해 자율주행 차량은 자체 센서만으로는 인식하기 어려운 환경 정보를 보완 받아 보다 안정적인 주행 판단을 수행할 수 있다[1].

V2V(Vehicle-to-Vehicle) 기술은 차량 간 주행 정보와 상태를 실시간으로 교환함으로써, 상호 협력 기반의 자율주행을 가능하게 한다. 이를 통해 자율주행 차량은 주변 차량과의 조율을 통해 안전하고 효율적인 주행 전략을 수립할 수 있으며, 복잡한 교통 환경에서도 안정적인 운행이 가능해진다[2].

본 논문에서는 V2X 기반 자율주행 기술을 실제 차량에 적용하여, V2I 기반 협력 인지 주행과 V2V 기반 협상 주행 기술의 효과를 실차 실험을 통해 검증하였다. 또한, 자율주행 불가 상황에 대응하기 위한 MRC(Minimal Risk Condition) 기술을 정의하고 그 성능을 실험적으로 평가하였다.

II. V2X 통신 기반 자율주행 기술

1. V2I 통신기반 자율주행

차량과 도로 인프라 간 통신인 V2I 기술을 활용하면 단일 자율주행 시스템만으로는 해결하기 어려운 문제들을 효과적으로 보완할 수 있다. 본 연구에서는 V2I 통신 기반 자율주행 실험을 위해 도로 인프라에

카메라 및 LiDAR 기반의 인식 장치와 연산 처리를 위한 PC를 구성하였다. 해당 인프라 장치는 객체 검출 알고리즘으로 주변 환경 정보를 추출하며, 이를 RSU(Road-Side Unit)를 통해 자율주행 차량에 탑재된 OBU(On-Board Unit)로 LTE C-V2X 통신 방식으로 전송한다. 이와 같은 협력적 인지 구조는 자율주행 차량의 인식 성능을 향상시키고, 복잡한 교통 환경에서도 효과적인 주행 전략 수립을 가능하게 한다.

예를 들어 자율주행 차량이 단독으로 주행하는 경우, 도로 상에 정지해 있는 차량이 일시적인 정차 상태인지 또는 장시간 주정차된 차량인지를 정확히 구분하는 데 한계가 존재한다. 이에 반해, 도로 인프라 시스템은 특정 구간, 특히 교통 혼잡이 빈번한 지역을 중심으로 지속적인 관측이 가능하도록 설계되어 있다. 이러한 특성을 활용하여 인프라 측에서 주정차 차량의 존재 여부를 사전에 인지하고, 관련 정보를 자율주행 차량에 전달함으로써 차량이 정체 구간을 회피하여 주행할 수 있도록 지원할 수 있다.

또한, 도로의 일부 구간이 공사나 유지보수 등의 사유로 인해 일시적으로 통제되는 경우에도, 인프라 시스템이 이를 실시간으로 감지하고 해당 정보를 자율주행 차량에 전송함으로써, 자율주행 시스템의 경로 재설정 또는 회피 주행 전략 수립에 실질적인 도움을 줄 수 있다.

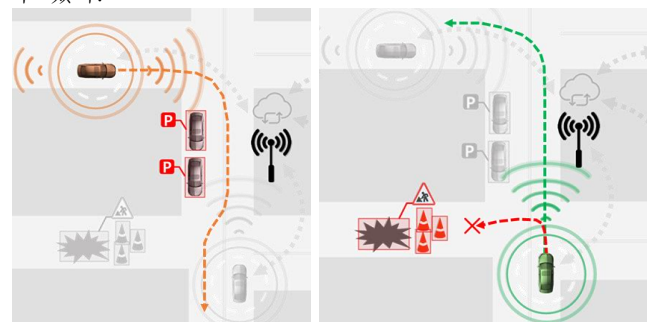


그림 1. V2I 통신을 이용한 자율주행 예시: 불법 주정차 회피(좌), 공사구간 우회(우)

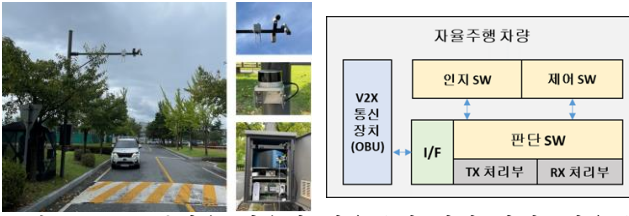


그림 2. V2I 통신을 이용한 자율주행 실험 환경: 자율주행차 및 인프라(좌), 자율주행차 시스템 구성(우)

1. V2V 통신 기반 자율주행

V2V 통신 기술을 활용하면, 차량 간 주행 의도에 따른 협상을 통해 혼잡한 주행 상황에서도 안전한 자율주행이 가능하다. 본 연구에서는 V2V 기반 자율주행 실험을 위해 자율주행차에 OBU 를 탑재하고, 협상 대상인 커넥티드 차량에는 OBU 와 주행 협상 입력용 단말기를 구성하였다. 실험 시나리오는 차선 변경, 저속 차량 추월, 긴급 차량 양보의 세 가지로 구성되며, 모든 실험에서 차량의 위치 정보를 포함한 BSM(Basic Safety Message)을 주기적으로 송수신한다. 차선 변경 실험에서는 자율주행차가 끼어들기 시 DMM(Driving Maneuver Message)을 전송하고, 이를 수신한 커넥티드 차량은 단말을 통해 이를 확인하고 감속 등의 대응을 수행한다. 저속 차량 추월 실험에서는 자율주행차가 DNM(Driving Negotiation Message)을 통해 추월 의도를 전달하고, 커넥티드 차량의 승인을 받은 뒤 추월을 수행하며 완료 메시지를 전송한다. 긴급 차량 양보 실험에서는 EDM(Emergency Driving Message)을 수신한 자율주행차가 교차로나 합류로 등에서 우선 주행 차량에 양보하도록 동작한다. 이와 같은 시나리오를 통해, V2V 통신 기반의 주행 협상 기법이 자율주행 전략의 고도화에 기여 할 수 있다.



그림 3. V2V 통신을 이용한 자율주행 실험 전경 및 시스템 화면

III. 한계상황 fallback MRC 기술

레벨 3 자율주행 차량은 자율주행의 한계 상황 발생 시 일정 시간 내 운전자의 수동 개입을 요구하지만, 레벨 4 이상에서는 운전자 개입 없이 차량이 스스로 MRC(Minimal Risk Condition) 상태로 진입하여 안전하게 fallback 절차를 수행해야 한다[3].

본 논문에서는 자율주행이 불가능한 상황을 fallback 상황으로 정의하고, 이에 대응하기 위한 MRC 동작을 설계하였고 자율주행 실험을 통해 그 유효성을 검증하였다. Fallback 상황은 시스템 또는 센서의 고장, 인프라로부터 수신되는 비정상 상황 정보, 그리고 ODD(Operational Design Domain) 이탈 등으로 분류될 수 있다. 이러한 상황에서 자율주행 차량의 적절한 MRC 동작은 주행 차로 내 정차 또는 긴급 정차의 두 가지 방식으로 구분되며, 각각의 조건에 따라 안전하게 차량을 정지시키는 전략으로 구현된다.

표 1. 자율주행 한계상황 fallback 및 MRC 분류

Fallback	Description	MRC
Failure	Sensor	In-lane stop
	System	Emergency stop
Infrastructure	Wrong-way veh.	Emergency stop
	Long-term parked veh.	In-lane stop
ODD exit	School zone	In-lane stop

IV. 결 론

본 논문에서는 V2X 통신 기반 자율주행 기술을 소개하고, 실제 자율주행 차량 실험을 통해 해당 기술의 성능을 검증하였다.

V2I 기술을 활용하여 단일 자율주행 시스템만으로는 대응이 어려운 불법 주정차 차량 및 공사 구간과 같은 도로 환경에 효과적으로 대응할 수 있음을 확인하였다. 해당 실험은 대전광역시 한국전자통신연구원(ETRI) 내 일반 도로에 인프라 시스템을 구축하고, 자율주행차와 연동하여 주행 성능을 평가하였다.

V2V 기술 기반의 차량 간 주행 협상 기능을 통해 끼어들기, 추월, 긴급 차량 양보 등 복잡한 교통 상황에서도 효과적인 자율주행이 가능함을 확인하였다. 해당 실험은 인천광역시 청라지구 일반 도로에서 각 시나리오별로 자율주행 성능을 검증하였다.

또한, 자율주행이 불가능한 상황을 fallback 상황으로 정의하고, 이에 대응하는 MRC 기술을 설계하였다. 시스템·센서 고장, 비정상 인프라 정보, ODD 이탈 등의 상황에서 차량은 차로 내 정차 또는 긴급 정차로 안전하게 대응하며, 실차 실험을 통해 이를 검증하였다.

향후 고도화된 4 단계 이상의 자율주행 기술 개발을 위해서는 V2X 통신 기반의 기술이 필수적이다. 자율주행 차량과 인프라 간 인식 정보를 실시간으로 공유·통합하여 주행 판단과 경로 계획에 반영함으로써, 복잡한 도심 환경에서도 효과적인 대응이 가능하다. 또한, 다양한 한계 상황을 세분화하고, 이에 대응하는 원격 제어 및 명령 체계를 도입함으로써 보다 안전한 자율주행을 실현할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 자율주행기술개발 혁신 사업의 일환으로 수행하였음. [RS-2023-00229833, 클라우드 기반 자율주행 차량 오류 및 한계 상황 지능형 원격지원 기술 개발]

참 고 문 헌

- [1] Noh, Jinhong, et al. "Enhancing transportation safety with infrastructure cooperative autonomous driving system." International journal of automotive technology 25.1 (2024): 61-69.
- [2] 송유승. "C-V2X 기반 커넥티드 차량을 위한 유즈케이스 분석 및 서비스 기술 개발 동향." 주간기술동향 2126 (2024): 14-28.
- [3] 이신경, 윤현정. "자율주행차량의 Fallback MRC 대응방안에 관한 연구." 한국자동차공학회 추계학술대회 및 전시회 (2021): 384-386.