

시뮬레이션 기반 위험 상황에서의 자율주행 시스템 대응 능력 평가 환경 구현 방안에 관한 연구

황영서*, 하성민, 윤윤기, 임태호, 윤경수

*지능형자동차부품진흥원

*dudtj7476@kiapi.or.kr, ha4100@kiapi.or.kr, ykyoon@kiapi.or.kr, thlim@kiapi.or.kr, kadbonow@kiapi.or.kr

A Study on Implementing an Environment for Evaluating Autonomous Driving System Response Capabilities in Simulation-Based Hazardous Situations

Youngseo Hwang* · Seongmin Ha · Yungi Yoon · Taeho Lim · Kungsu Yun

*Korea Intelligent Automotive Parts Promotion Institute(KIAPI)

요약

본 논문은 예상치 못한 위험 상황에서 자율주행차량의 안전성을 보장하기 위해 VIL 환경을 구축하고, 이 환경을 통해 자율주행 시스템의 안전성을 평가하는 방법을 제안한다. 이를 위해 CARLA 시뮬레이터와 실제 자율주행 시스템을 연동하였으며, 라이다 센서 데이터 수신 중단 시나리오를 통해 'Take Over' 기능과 비상 정지 기능을 테스트하였다. 실험 결과, 자율주행 시스템은 센서 데이터 중단 시 안전하게 대응하며 필요한 경우 비상 정지 능력을 성공적으로 보여주었다. 이는 VIL 환경이 자율주행 시스템의 안전성을 효과적으로 평가하고 개선하는 데 기여할 수 있음을 입증한다.

I. 서론

자율주행차량의 안전한 주행과 상용화를 위해서는 자율주행 시스템이 센서를 통해 주변 환경을 정확히 인식하고, 이를 바탕으로 적절한 판단과 제어가 이루어져야 한다. 그러나 실제 도로 주행 중에는 상해를 유발할 수 있는 위험 상황 발생할 수 있으며, 이러한 위험 요인 다양하다. 따라서, 자율주행 시스템이 안전한 주행을 지속적으로 보장할 수 없는 상황이 언제든지 발생할 가능성이 있다 [1]-[3]. 이를 해결하기 위해, 자율주행 시스템의 성능을 향상시키는 동시에, 악조건에서도 차량이 주변 교통 참여자와 탑승자의 안전을 보장할 수 있는 방안을 연구하고 이를 평가하는 방법이 필요하다 [4], [5]. 본 논문은 위와 같은 문제의식에 기반하여 자율주행 시스템이 악조건에서 안전상태 달성을 위해 효과적으로 작동할 수 있도록 실제 자율주행차량 시스템과 시뮬레이션을 연동하는 VIL(Vehicle-in-the-loop) 환경을 구축하고 평가하는 방법을 제안한다. 이는 다양한 위험 상황에서 자율주행 시스템의 반응을 정밀하게 분석하고, 그 성능을 개선하기 위한 기반을 마련하기 위함이다. 또한, 본 연구는 실제 자율주행 시스템과의 연동을 통해 설계된 시뮬레이션 환경에서 자율주행 시스템의 안전조치를 평가하고, 이를 기반으로 자율주행차량의 상용화 전 전반적인 안전성을 강화하는 방안을 탐색하고자 한다.

II. 본론

본 논문에서는 CARLA 시뮬레이터와 자율주행차량 시스템의 연동을 위해 ROS Melodic 환경을 사용하였다. 이 환경을 통해 시뮬레이션을 운영하는 Host PC와 자율주행 시스템을 구동하는 Master PC 간의 데이터 송수신이 가능하다. 그림 1에서 보듯이, 이들 PC 간에 교환되는 정보에는 실제 차량에 장착된 GPS 및 IMU 센서로부터의 차량 위치와 오리엔테이션 데이터, 그리고 시뮬레이션 차량의 카메라와 라이다 센서 데이터가 포함된다. 차량의 위치 정보는 UTM(Universal Transverse Mercator) 좌표계를 사용하여 그리드 형태로 표현되나, 이는 WGS(World Geodetic

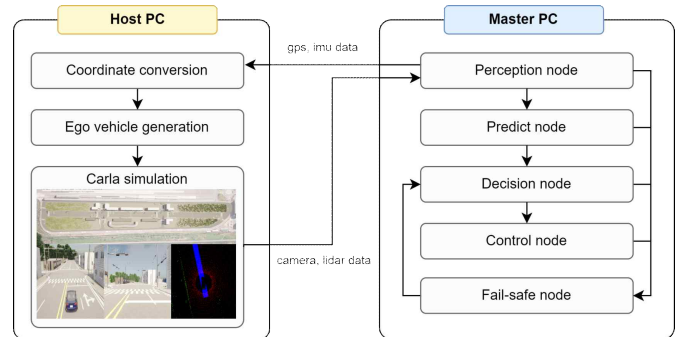


그림 1. ROS 기반 Vehicle-in-the-loop 시스템 개요

System) 좌표계를 기반으로 설계된 시뮬레이션 환경에서는 호환되지 않는다. 따라서 UTM 좌표계를 WGS 좌표계로 변환하는 역변환 과정이 필수적이다. 이어서, WGS 좌표계에서 계산된 좌표를 CARLA 시뮬레이터의 좌표계로 변환하기 위해, 두 좌표 사이의 거리를 계산하고 상대적 위치를 도출한다. 이 과정에는 Haversine 공식을 사용하여 CARLA 시뮬레이션 내에서 차량의 위치 좌표를 계산한다.

Azimuth Calculation:

$$\theta = \arctan 2(\sin(\Delta\lambda) \cdot \cos(\phi_2), \cos(\phi_1) \cdot \sin(\phi_2) - \sin(\phi_1) \cdot \cos(\phi_2) \cdot \cos(\Delta\lambda))$$

Haversine Formula:

$$d = 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right)$$

Coordinate Transformation:

$$\text{carla location } x = d \cdot \cos(\theta), \text{ carla location } y = d \cdot \sin(\theta)$$

시물레이션에 사용된 가상 도로는 지능형자동차부품진흥원의 PG(Proving Ground) HD Map을 기반으로 실제 도로와 유사하게 제작되었다. 이 환경에서 좌표 변환된 차량의 위치 정보를 사용하여 시물레이션 내에 차량을 생성하였고, 가상 차량에 장착된 카메라와 라이다 센서 정보를 자율주행 시스템으로 송신하였다. 그림 2는 가상 차량에 설치된 센서로부터의 데이터를 자율주행 시스템에서 시각적으로 표출한 모습을 보여준다.

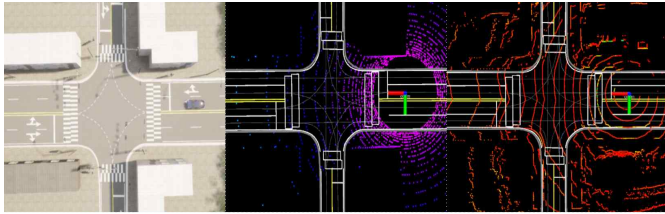


그림 2. 가상 센서(중앙)와 실제 센서 데이터(우측)의 시각화 비교

본 논문에서는 실제 자율주행 시스템과 연동된 시물레이션 환경이 악조건에서 자율주행차량의 안전성을 평가하는 데 얼마나 적합한지 시험하기 위해 특정 시나리오를 적용하였다. 이 시나리오에서는 CARLA 시물레이션의 라이다 센서를 제거함으로써 라이다 센서 데이터가 자율주행 시스템에 0.5초 이상 수신되지 않는 상황을 모의하였으며, 이 경우 자율주행 시스템은 탑승자에게 제어권을 전환하는 'Take Over' 기능을 활성화한다. 만약 탑승자가 제어권을 인계받지 않을 경우, 비상 정지 기능이 작동하여 차량이 자동으로 정차하게 된다.

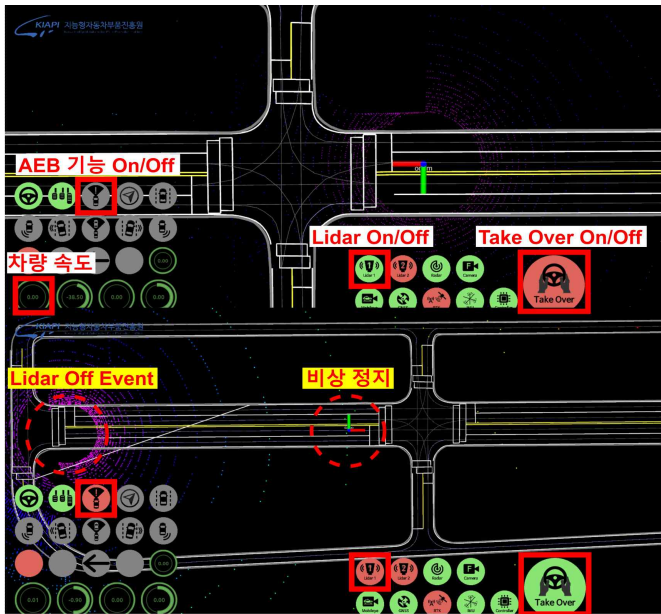


그림 3. 자율주행 시스템 안전조치 시험 결과

그림 3은 자율주행 시스템의 안전조치 시험 결과를 시각화한 모습을 보여준다. 시험에서 라이다 센서 데이터가 수신되지 않았을 때, 라이다 센서 표시등이 꺼지고 'Take Over' 요구 표시등이 활성화되었다. 탑승자가 제어권을 인계받지 않음에 따라, AEB(Automatic Emergency Braking) 표시등이 켜지고 차량은 비상 정지하였다. 이 시험을 통해 시물레이션 환경에서의 이벤트 발생과 이를 자율주행 시스템에 적용하는 과정을 검증함으로써, 구현한 환경의 유효성을 확인할 수 있었다.

III. 결론

본 논문에서는 자율주행 시스템의 안전성을 평가하기 위해, 실제 자율주행 시스템과 CARLA 시물레이터를 연동하는 VIL 환경을 구축하고, 악조건 시나리오를 시험하였다. 시험은 라이다 센서 데이터의 수신 중단과 같은 특정 상황을 모의하여 자율주행 시스템의 반응을 검증하고, 탑승자에게 제어권을 전환하는 'Take Over' 기능과 비상 정지 기능의 효과성을 평가하였다. 실험 결과, 자율주행차량은 센서 데이터 수신 중단 시 안전하게 대응하며, 필요시 자동으로 정차할 수 있는 능력을 보여주었다. 이는 VIL 환경이 실제 자율주행 시스템의 안전성을 효과적으로 평가하고 개선하는 데 기여할 수 있음을 입증한다. 그러나, 많은 양의 센서 데이터 처리 시 ROS 토픽을 통한 데이터 전송이 시스템에 부하를 주어 딜레이를 발생시켜 시물레이션과 자율주행 시스템 연동이 원활하지 않을 수 있으므로, 이 문제의 해결이 필요함을 시사한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정보통신기획평가원 자율주행 기술개발 혁신사업(과제번호: 2021-0-00697)의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제명: 옛지 기반 자율주행 기능의 Fall back MRC에 따른 운영권 SW 안전성 및 대응방안검증기술 개발)

참 고 문 헌

- [1] Ison, Bassey, et al. "Deep Learning-Based Object Detection Techniques for Self-Driving Cars: an in-Depth Analysis." 2023 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET). IEEE, 2023.
- [2] Mazin Hnewa, "Object Detection Under Rainy Conditions for Autonomous Vehicles: A Review of State-of-the-Art and Emerging Techniques," IEEE Signal Processing Magazine Volume 38, January 2021.
- [3] Marti, Enrique, et al. "A review of sensor technologies for perception in automated driving." IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine 11.4 (2019): 94-108.
- [4] SAE, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-road Motor Vehicles, Standard No. J3016, 2021.
- [5] GRVA. (2022). Guidelines and Recommendations concerning Safety Requirements for Automated Driving Systems. Submitted to the 187th WP.29, 21-24 June 2022, Informal document WP.29-187-10..