

자율주행 차량 오류 및 한계 상황 대응을 위한 원격지원 시스템에 관한 연구

성재호, 김준영, 김태형, 김봉섭, 윤경수*

지능형자동차부품진흥원

wogh3569@kiapi.or.kr, kwnsdud@kiapi.or.kr, thkim@kiapi.or.kr, bskim@kiapi.or.kr, *kadbonow@kiapi.or.kr

A Study on Teleoperation Systems for Responding to Errors and Limitations in Autonomous Vehicles

Jaeho Seong, Taehyeong Kim, Bongseob Kim, Kyungsu Yun*

Korea Intelligent Automotive Parts Promotion Institute (KIAPI)

요약

자율주행 시스템의 안전성을 확보하기 위해서는 오류 및 한계 상황을 정확히 파악하고, 이에 대한 기술적 대응 방안을 마련하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 자율주행 차량의 오류 및 한계 상황을 정의하고, 이에 효과적으로 대응하기 위한 원격지원 시스템을 설계하였다. 차량-서버-클라우드 간 실시간 정보 전달을 위한 메시지 기반 통신 구조를 구성하고, 데이터 송수신 성능을 분석함으로써, 오류 및 한계 상황 발생 시 시스템의 안전성과 신뢰성을 향상시킬 수 있는 방안을 제안한다.

I. 서론

자율주행 차량은 센서 융합을 통한 인공지능 기반 인지, 판단과 제어 알고리즘을 통해 스스로 움직인다. 그러나 인지 오류, 소프트웨어/하드웨어 결함 등의 내부 요인과 기상 변화나 도로 환경 등의 외부 요인들에 의한 시스템 오류 발생 가능성이 존재한다. 특히 예측하기 어려운 돌발 상황이나 급격한 환경 변화는 차량의 안전성과 신뢰성에 치명적인 영향을 미칠 수 있어, 이에 대한 차량 단위의 대응 기술이 필요하며 자율주행 기술이 고도화됨에 따라 대응 기술의 중요성이 높아지고 있다.

일반적으로 자율주행 시스템은 기본적인 오류 감지와 이에 대응하는 기능을 갖추고 있다. 그러나 자체적으로 극복하기 어려운 오류 및 한계 상황에서는 외부(원격지)로부터의 지원이 필수적이다[1]. 이러한 원격지원 시스템은 자율주행 차량과 외부의 서버/클라우드 간 무선 통신을 통해 차량의 상태를 원격지에서 실시간으로 파악하고, 오류 및 한계 상황 발생 시 이를 분석하여 대응 서비스를 제공함으로써 자율주행 시스템의 안전성을 보완할 수 있다. 원격지원 시스템은 무선 통신을 통해 데이터를 송수신하므로, 통신 안정성을 확보할 수 있는 환경 구성과 데이터 규격 정의가 필수적이다.

본 논문은 자율주행 시스템이 직면할 수 있는 오류 및 한계 상황을 정의하고, 서비스 제공을 위한 차량-서버-클라우드 간 데이터 교환 규격이 반영된 자율주행 원격지원 시스템을 제안한다. 자율주행 안전성 관련 국제 표준을 검토하고, 설계한 데이터 교환 규격을 기반으로 데이터 송수신 성능을 분석하여 제안 시스템의 유용성을 확인한다.

II. 본론

1. 자율주행 오류 및 한계 상황

자율주행 차량의 안전성 확보를 위하여 다양한 운행 환경에서 발생될 수 있는 위험을 사전에 분석하고, 이를 반영한 시스템 설계 기준 정의가 필요하다. 국제 표준화 기구들이 정의한 자율주행 시스템 개발 지침들이 설계 기준 정의에 활용되고 있으며, 자율주행 시스템의 오류 및 한계 상황과 관련 주요 표준[2-5]을 요약하면 표 1과 같다.

표 1. 자율주행 오류 및 한계 상황 관련 국제 표준

| 표준 명칭 | 적용 범위 및 핵심 내용 | 주요 한계점 |
|---------------|---------------------------------------|----------------------------|
| ISO 26262 | 차량 내 전기·전자 시스템의 기능 안전 확보를 위한 요구사항 제시 | 인지 실패, 예외 상황에 대한 고려 부족 |
| ISO/PAS 21448 | 비고장 상태에서의 인지/판단 오류에 대한 위험 최소화 | 예측 곤란한 상황의 정량적 판단 기준 미흡 |
| ISO 23793-1 | 운행설계영역(ODD) 이탈 시의 자동 정지 및 안전 전환 기능 정의 | 극한상황이나 복합 사나리오에 대한 처리 미비 |
| ISO/SAE 21434 | 자율주행 시스템의 사이버 보안 위협 분석 및 보호체계 마련 | 높은 기술력 및 리소스 요구, 실현 난이도 존재 |

자율주행 시스템이 직면할 수 있는 오류 및 한계 상황은 여러 유형으로 분류될 수 있으며, 앞서 언급한 국제 표준들을 기반으로 정의될 수 있다. 자율주행 오류 및 한계 상황을 정의하는 과정은 실제 운행 중에 발생할 수 있는 다양한 위험 시나리오를 체계적으로 구분하고, 각 상황에 대응하기 위한 기술적 대응 방안을 마련하는 데 핵심적인 기초를 제공한다. 표준을 기반으로 정의한 자율주행 시스템의 오류 및 한계 상황의 분류는 표 2와 같다.

표 2. 자율주행 오류 및 한계 상황 정의

| 오류 및 한계 | 주요 내용 | 관련 표준 |
|----------|---------------------------------|--------------------------|
| 인지 오류 | 센서가 객체나 환경을 정확히 인식하지 못하는 경우 | ISO/PAS 21448 |
| 소프트웨어 오류 | 알고리즘, 프로세스 상의 오류로 잘못된 판단 수행 | ISO 26262, ISO/PAS 21448 |
| 하드웨어 오류 | 센서, ECU, 브레이크 등 하드웨어 구성 요소의 고장 | ISO 26262 |
| 날씨 한계 | 기상 조건으로 인한 센서 기능 저하 | ISO/PAS 21448 |
| 도로주행 한계 | 도로 환경이 시스템의 정상 작동을 방해하는 경우 | ISO 23793-1 |
| 위험 판단 한계 | 예측 불가능하거나 비정형적인 상황에서 시스템의 판단 부족 | ISO/PAS 21448 |

2. 자율차 - 서버 - 클라우드 간 데이터 교환

원격지원 시스템이 원활하게 작동하려면 차량과 외부 시스템 간의 통신 규격 정립이 필수적이다. 따라서, 그림 1과 같이 SENSORIS 및 SAE J2735 표준을 참조하여 자율차 - 서버 - 클라우드 간 통신을 위한 메시지 기반 인터페이스를 설계하였다[6][7]. 해당 인터페이스는 차량에서 서버 및 클라우드로 데이터를 전송하는 V2I(Vehicle to Infrastructure) 메시지와 서버 및 클라우드에서 차량으로 정보를 전송하는 I2V(Infrastructure to Vehicle) 메시지로 구성된다. 각 메시지에는 차량 상태, 객체 정보, 경로 예측 데이터 등이 포함되며, 구조체와 상수형 변수가 포함된 계층적 구조로 정의된다.

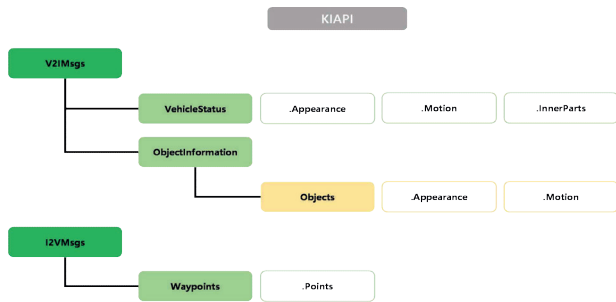


그림 1. 데이터 교환 메시지 구성 및 메시지 별 계층구조

기존 연구[8]에 따르면, 실시간 원격지원 대응을 위한 통신 지연의 허용 범위는 자율주행 차량의 주행 속력이 높을수록 더욱 엄격해진다. 전체 지연 시간이 170ms 이하일 경우 약 70km/h 이상의 고속 주행이 가능한 반면, 500ms를 초과할 경우 저속 주행조차 어려운 것으로 나타났다. 원격지원을 위해 자율주행 차량 속력 별로 요구되는 무선 통신 지연 허용 기준은 표 3과 같다.

표 3. 자율주행 속력에 따른 원격지원 통신 지연 허용 기준

| 전체 지연시간(ms) | 자율주행 가능 속력(km/h) |
|-------------|------------------|
| ≤ 170 | 고속(약 70 이상) |
| ≤ 300 | 중속(30~70) |
| ≤ 500 | 저속(약 30 이하) |
| ≥ 700 | 어려움 |

III. 실험

그림 2는 원격지원 서비스 제공을 위한 무선 통신 기반 데이터 송수신 테스트 개요를 나타낸다. 본 실험은 차량이 수집한 데이터(거동, 주변 객체 등)를 기반으로 HTTP 기반 REST API를 활용하여 수행되었으며, 센서 데이터를 서버로 전송하는 시간은 업링크 지연, 서버에서 제어 신호를 수신하는 시간은 다운링크 지연으로 정의한다

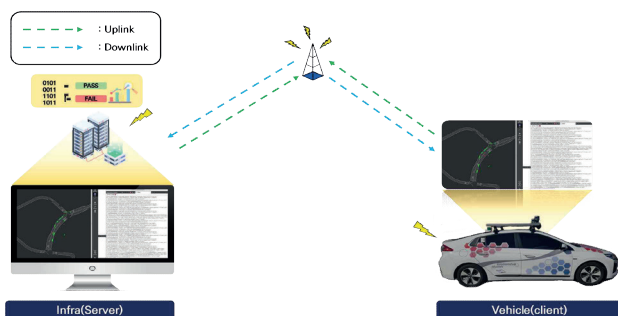


그림 2. 무선 통신 기반 데이터 송수신 테스트 개요

통신 실험 결과, 평균 업링크 지연은 26.84ms, 평균 다운링크 지연은 1.07ms로 측정되어 실시간 원격지원이 가능한 수준으로 분석되었다. 최대 업링크 지연은 44.37ms, 최대 다운링크 지연은 20.72ms로 확인되었으며, 전체적으로 통신 지연이 짧고 안정적인 특성을 보였다. 표 4는 업링크 및 다운링크 지연 시간에 대한 세부 측정 결과를 나타낸다.

표 4. 통신 실험 결과

| 데이터 항목 | 측정 값 |
|------------------------|---------|
| 평균 데이터 전송 크기(업링크/다운링크) | 20.49KB |
| 평균 업링크 지연 | 26.84ms |
| 최대 업링크 지연 | 44.37ms |
| 최소 업링크 지연 | 11.25ms |
| 평균 다운링크 지연 | 1.07ms |
| 최대 다운링크 지연 | 20.72ms |
| 최소 다운링크 지연 | 0.41ms |

IV. 결론

본 논문에서는 국제 표준을 기반으로 자율주행 차량의 오류 및 한계 상황을 정의하고, 이를 효과적으로 대응할 수 있는 원격지원 시스템과 데이터 교환 구조를 제안하였다. 실험 결과, 평균 통신 지연이 실시간 대응이 가능한 수준으로 본 시스템의 실용 가능성이 입증되었다. 향후 연구에서는 데이터 전송의 신뢰성을 확보하기 위해 TCP/IP 기반 통신 프로토콜 변경이 요구된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2023-00229833, 클라우드 기반 자율주행 차량 오류 및 한계 상황 지능형 원격지원 기술 개발)

참 고 문 헌

- [1] 김봉섭, 김태형, 윤경수, "클라우드 기반 자율주행 차량 오류 및 한계상황 지능형 원격지원 기술을 위한 시나리오 개발에 관한 연구," 한국통신학회 학술대회논문집, 강원, Feb. 2023.
- [2] International Organization for Standardization, ISO 26262: Road Vehicles –Functional Safety, 2nd ed., 2018.
- [3] International Organization for Standardization, ISO/PAS 21448: Road Vehicles –Safety of the Intended Functionality (SOTIF), 2019.
- [4] International Organization for Standardization, ISO 23793-1: Road Vehicles –Operational Design Domain for Autonomous Vehicles, 2021.
- [5] International Organization for Standardization, ISO/SAE 21434: Road Vehicles –Cybersecurity Engineering, 2021.
- [6] SENSORIS, "Sensor Interface Specification v1.3.1,"2022.
- [7] SAE, "V2X Communications Message Set Dictionary 2735_202007,"2020.
- [8] Toward Automated Vehicle Teleoperation: Vision, Opportunities, and Challenges, IEEE internet of Things Journal, Vol. 7, no. 12, pp. 11347-11354, Dec. 2020.