

멀티모달 입력 기반 LLM을 활용한 OpenSCENARIO 자동 생성 프레임워크에 관한 연구

성기호*, 심영보, 이선영

한국전자기술연구원

*gihosung@keti.re.kr, youngbo.shim@keti.re.kr, drleesy@keti.re.kr

A Study on an OpenSCENARIO Automatic Generation Framework Using LLMs with Multi-modal Inputs

Giho Sung*, Youngbo Shim, Seonyoung Lee

Korea Electronics Technology Institute

요약

자율주행 시스템 검증에 위한 시나리오 기반 평가가 중요해지면서 OpenSCENARIO 표준 시나리오의 효율적 생성이 필수적이다. 그러나 OpenSCENARIO는 복잡한 구조로 인해 작성이 어렵고, 기존 방법들은 단일 형태의 입력 데이터에 의존하여 확장성이 제한적이다. 본 논문에서는 텍스트 리포트, 자연어 설명, 차량 궤적 등 다양한 멀티모달 입력으로부터 멀티모달 LLM(Multimodal LLM)을 활용하여 OpenSCENARIO 파일을 자동 생성하는 프레임워크를 제안한다. 제안하는 시스템은 멀티모달 입력을 정규화된 시나리오 표현으로 변환하고, Retrieval-Augmented Generation(RAG) 기반 맵 선택과 프롬프트 엔지니어링을 통해 표준 형식의 시나리오 파일을 생성한다.

I. 서론

자율주행 시스템(Automated Driving System, ADS)의 안전성 검증을 위해 시나리오 기반 평가 방법론이 국제적으로 표준화되고 있다. UNECE(United Nations Economic Commission for Europe)에서는 가이드라인을 통해 시뮬레이션 기반 검증의 중요성을 강조하고 있으며, ASAM(Association for Standardization of Automation and Measuring Systems)에서는 OpenSCENARIO를 시나리오 표준으로 제정하였다.[1,2]

OpenSCENARIO는 동적 교통 상황을 정밀하게 표현할 수 있는 XML 기반 시나리오 기술 언어로, 주요 자동차 제조사와 시뮬레이터에서 널리 지원되고 있다. 그러나 복잡한 계층 구조와 세부 파라미터 설정을 요구하여 일반 사용자가 직접 작성하기 어렵다는 한계가 있다.

최근 멀티모달 LLM의 발전으로 자연어 이해와 코드 생성 능력이 크게 향상되었다. 최근 연구에서는 텍스트 리포트로부터 LLM을 활용하여 시나리오를 생성하는 방법을 제시하였으나, 단일 형태의 입력 데이터에 의존하여 확장성이 제한적이다.[3,4] 본 연구에서는 텍스트 리포트, 자연어 설명, 실제 차량 궤적, 향후 교통 CCTV 이미지 및 사고 이미지 등 다양한 멀티모달 입력을 처리할 수 있는 멀티모달 LLM 기반 OpenSCENARIO 자동 생성 프레임워크를 제안한다.

II. 본론

1) 시스템 아키텍처

제안하는 프레임워크는 크게 네 가지 모듈로 구성된다: (1) 멀티모달 입력 처리 모듈, (2) 정규화된 시나리오 표현 추출 모듈, (3) OpenSCENARIO 생성 모듈, (4) 검증 모듈. 각 모듈은 독립적으로 동작하면서도 유기적으로 연결되어 있으며, 모듈형 설계를 통해 확장성과 유지보수성을 확보하였다.

멀티모달 입력 처리 모듈은 텍스트 리포트, 자연어 설명, 차량 궤적 데이터, 영상 등 다양한 형태의 입력을 멀티모달 LLM(ChatGPT, Claude Sonnet 등)을 통해 처리하며, 입력 형태에 따라 적절한 전처리를 수행한다.

2) 멀티모달 입력 처리 모듈

멀티모달 입력 처리 모듈은 다양한 형태의 입력 데이터를 통합적으로 처리하는 전처리 레이어이다. 텍스트 리포트는 파싱을 통해 구조화된 텍스트로 변환하고, 자연어 설명은 문맥 분석을 수행한다. 차량 궤적 데이터는 시간-위치 좌표를 정규화된 좌표계로 변환하며, 향후 확장 예정인 이미지 입력은 객체 검출 및 장면 이해를 위한 전처리를 거친다. 이 모듈은 입력 형태에 관계없이 멀티모달 LLM이 처리할 수 있는 통합된 형식으로 데이터를 변환하는 역할을 수행한다.

3) 정규화된 시나리오 표현 추출 모듈

정규화된 시나리오 표현 추출 모듈은 전처리된 멀티모달 입력을 멀티모달 LLM에 입력하여 표준화된 시나리오 요소를 추출한다. 기존 연구[3,4]의 시나리오 분석을 기반으로, 카테고리 구성된 정규화된 표현을 정의하였다: 환경 조건, 도로 정보, 교통 인프라, 동적 객체, 행동 정보 등. 이 모듈은 프롬프트 엔지니어링을 통해 LLM이 일관된 형식의 JSON 스키마로 정보를 추출하도록 유도하며, 추출된 정보는 후속 모듈의 입력으로 사용된다.

4) OpenSCENARIO 생성 모듈

OpenSCENARIO 생성 모듈은 정규화된 시나리오 표현을 OpenSCENARIO XML 파일로 변환하는 핵심 모듈이다. 이 모듈은 세 가지 하위 컴포넌트로 구성된다. 첫째, RAG 기반 맵 선택 시스템은 OpenDRIVE 파일을 파싱하여 도로 특성에 대한 메타데이터를 벡터 데이터

터베이스에 저장하고, 정규화된 시나리오의 도로 정보를 쿼리로 유사도 검색을 수행하여 가장 적합한 맵을 선택한다. 둘째, 프롬프트 생성 엔진은 이전 연구의 프롬프트 구조를 기반으로, LLM 역할, 생성 지침, 정규화된 설명, 맵 정보 및 경로, 계층 구조, 출력 형식 등을 포함하는 동적 프롬프트를 생성한다.[5] 셋째, LLM 기반 코드 생성기는 구성된 프롬프트를 멀티모달 LLM에 입력하여 OpenSCENARIO XML 코드를 생성한다.

니어링을 활용한 OpenSCENARIO 자동 생성 연구." Proceedings of KIIT Conference. 2024.

5) 검증 모듈

검증 모듈은 생성된 OpenSCENARIO 파일의 정확성과 실행 가능성을 보장하는 품질 관리 모듈이다. 생성된 시나리오는 XML 스키마 검사로 문법적 오류를 확인하고, esmini 실행을 통해 재현 가능성을 확인한다. 검증 실패 시, 오류 정보를 추출하여 LLM에 피드백하는 루프를 통해 OpenSCENARIO 파일의 실행 가능성을 높인다. 이는 구조적 타당성과 실행 가능성을 확보하는 절차이다.

III. 결론

본 연구에서 제안하는 프레임워크는 모듈형 아키텍처를 통해 확장성과 유연성을 확보하였다. 각 모듈은 독립적으로 개선 및 교체가 가능하며, 새로운 입력 형태나 LLM 모델의 추가가 용이하다. 특히 RAG 기반 맵 선택 시스템은 맵 데이터베이스의 지속적인 확장을 지원하며, 프롬프트 생성 엔진은 정규화된 시나리오 표현과 맵 정보를 효과적으로 조합하여 LLM이 OpenSCENARIO를 생성하도록 한다. 검증 모듈의 피드백 루프는 수작업 개입을 최소화하여 시나리오 자동 생성을 가능하게 한다.

향후 연구로는 교통 CCTV 이미지 및 사고 이미지 입력 확장을 통해 시각 정보 기반 시나리오 생성을 지원하고, 실제 자율주행 검증 환경에서 적용 가능한 워크플로우를 구축할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2025-02221243, 3-Tier 연계형 자율주행 소프트웨어 및 데이터 통합 검증용 클라우드 기반 평가 모델·프로세스 개발)

참 고 문 헌

- [1] UNECE, "New Assessment/Test Method for Automated Driving (NATM) Guidelines for Validating Automated Driving System (ADS)," ECE/TRANS/WP.29/2022/58, 2022.
- [2] ASAM, "OpenSCENARIO v1.3.1," <https://www.asam.net/standards/detail/openscenario-xml/>, 2024.
- [3] Guo, An, et al. "Sovar: Build generalizable scenarios from accident reports for autonomous driving testing." Proceedings of the 39th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering. 2024.
- [4] Ji, Pin, et al. "Txt2Sce: Scenario Generation for Autonomous Driving System Testing Based on Textual Reports." arXiv preprint arXiv:2509.02150. 2025.
- [5] 성기호, 조용현, and 민경원. "대규모 언어 모델 기반 프롬프트 엔지