

3-Tier 연계형 자율주행 SW의 안전성·신뢰성 검증을 위한 클라우드 기반 통합 검증 SW 개발

조민근, 조민성*

슈어소프트테크

mgcho@suresofttech.com, *msjo@suresofttech.com

Development of a cloud-based integrated verification software for safety and reliability verification of 3-tier connected autonomous driving software.

Cho Min Geun, *Jo Min Seong*

Suresoft Technologies Inc.

요약

본 논문은 차량-엣지-클라우드(3-Tier) 연계형 자율주행 운영 환경을 대상으로, 표준기반 테스트·검증을 수행하는 클라우드 중심 통합검증 도구의 설계 결과를 제시한다. 먼저 운영·규제 요구를 반영한 도구 요구사항을 정립하고, 로깅 데이터 형식별(예: 비디오, 이미지, 포인트클라우드, 신호) 파서와 시간정렬·정규화 파이프라인을 설계하였다. 데이터 형식별 시각화 뷰어를 통해 타입라인 기반으로 로깅 데이터를 가시화하고, 데이터 기반 평가 엔진이 Pass/Fail, Score, Tag를 자동 산출하도록 하였다. 결과물은 근거 데이터와 함께 보고서로 자동 생성되어 정량적으로 평가된 결과를 관리할 수 있도록 한다. 제안 도구는 3-Tier 환경에서의 자율주행 SW 검증을 데이터 기반으로 일관되고 효율적으로 수행하게 하며, 대규모 실증과 규제 대응을 위한 기반 기술로서의 유효성을 보인다.

I. 서론

기존 자율주행 시스템은 단일 차량 내에서만 센서를 활용한 데이터 처리 및 판단을 수행하기 때문에 한정된 연산 자원으로 인한 복잡한 연산 및 데이터 분석이 어렵고, 대량의 데이터를 처리하여 실시간 대응이 늦어질 수 있으며, 도로 및 교통 환경이 급변할 경우 이에 적응하기 어려운 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 자율주행 소프트웨어는 차량 단독(on-board) 처리 중심에서 차량-엣지-클라우드(3-Tier) 연계 운영 방식으로 운행 범위와 서비스가 확대되고 있으며, 이에 따라 자율주행 소프트웨어 및 데이터의 신뢰성 확보가 더욱 중요해지고 있다.[1][2]

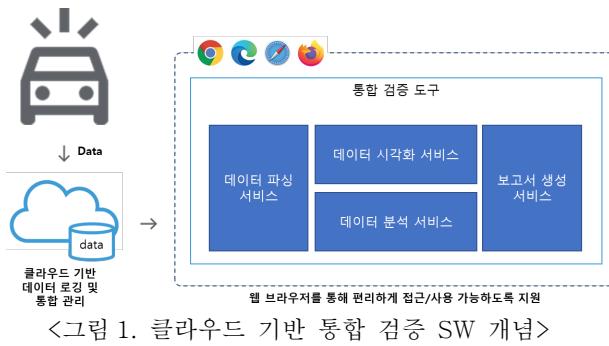
안전한 고도자율주행(Level 4)을 달성하려면 광범위한 모델링과 테스트, 대규모 데이터의 수집·저장·관리 역량, 그리고 고급 머신러닝 기술이 필수적이다. 본 논문은 이를 위해 차량-엣지-클라우드를 연계하는 3-Tier 구조를 도입하고, 통합 검증이 가능한 클라우드 기반 검증 SW를 제안한다. 구체적으로 (1) 차량-엣지-클라우드 간 실시간 데이터 연계를 통해 차량 수집 데이터를 엣지에서 사전 처리하고, 클라우드에서 심층 분석하여 신속·정밀한 판단을 지원하며, (2) 데이터 기반 검증 기법을 적용해 3-Tier 전 구간 데이터를 통합하여 정합성 및 안전성을 정량 검증하고, (3) 시나리오 기반 평가를 통해 다양한 주행환경을 포괄하는 모델로 신뢰성을 향상시키며(ISO 34502), (4) 클라우드에 축적된 주행 데이터를 AI 학습·알고리즘 최적화에 재활용해

새로운 도로 환경에 대한 적응력을 강화한다. 이때 운행설계범위(ODD)는 SAE J3016에 근거한 체계적 정의를 따른다.[3][4][5]

본 논문은 3tier 연계 자율주행 SW의 클라우드 기반 통합 검증용 SW 개발에 초점을 맞춘다. 우리는 (1) 운영·규제 요구를 반영한 도구 요구사항 정립, (2) 로그/센서/운영 데이터 형식별 파서와 시간정렬·정규화 파이프라인 설계, (3) 데이터 타입의 의미를 보존하는 다중 시각화 뷰어, (4) 시나리오/ODD 기반 평가기술을 적용한 Pass/Fail/Score/Tag 자동 산출 로직, (5) 근거(trace)와 함께 결과를 패키징하는 자동 보고서 기능을 클라우드 기반의 통합 검증 도구로 구현한다.

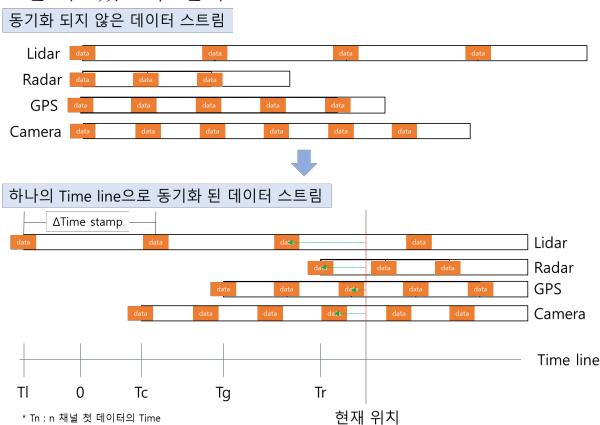
II. 본론

본 논문에서 제안하는 통합 검증 SW는 클라우드에 저장된 3-tier 연계 주행 데이터를 활용하여 자율주행 SW의 안전성·신뢰성 검증을 수행하며, 크게 (1) 데이터 파싱 서비스, (2) 데이터 시각화 서비스, (3) 데이터 분석 서비스, (4) 보고서 생성 서비스 4 가지 서비스들로 구성된다. 각 서비스들은 클라우드 기반으로 구동되며, 웹 브라우저를 통해 GUI가 제공된다.



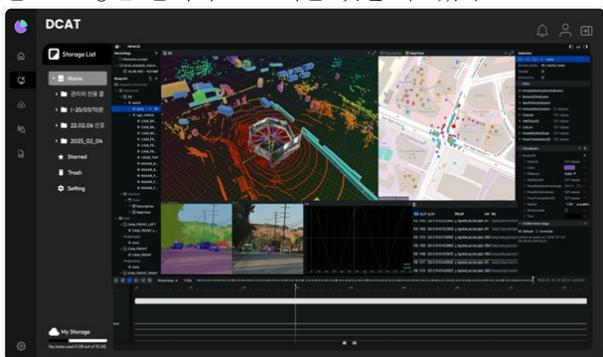
〈그림 1. 클라우드 기반 통합 검증 SW 개념〉

데이터 파싱 서비스는 저장된 데이터 파일의 형식에 따라 시각화하거나 분석 할 수 있는 형태로 해석하는 역할을 한다. 카메라, GPS, Lidar, Radar, IMU 와 같은 센서 데이터는 이미지, 영상, 포인트 클라우드, 신호의 값으로 해석하며 CAN, Ethernet 과 같은 차량 내부 신호 및 엣지 데이터는 신호의 의미와 값으로 해석한다. 이 때 데이터 내부에 동기화되어 저장된 Timestamp 값을 기준으로 다채널로 수집된 데이터들의 시간 동기화를 수행하여, 시각화 및 분석 시 동시간 대의 데이터를 접근할 수 있도록 한다.



〈그림 2. 수집 데이터 동기화〉

데이터 시각화 서비스는 파일 형식 별 작성된 데이터를 사용자가 알아보기 쉽도록 시각화 하는 뷰어와 타임라인을 제공한다. 카메라 데이터를 시각화 하기 위한 영상 및 이미지 뷰어, 포인트 클라우드 데이터를 시각화 하기 위한 3D 뷰어, 신호의 값들을 시각화 하기 위한 그래프 및 테이블 뷰어를 제공하며, 타임라인을 통해 재생, 일시정지, 중지, 특정 위치로의 이동 기능을 제공한다. 이를 통해 사용자는 로깅 된 데이터를 재생하여 자율주행 차량의 주행 외부 환경과 내부 데이터를 동기화하여 모니터링 할 수 있고, 데이터 분석을 통해 도출된 결함에 대한 원인을 데이터 기반으로 정밀 분석하고 근거를 찾을 수 있다.



〈그림 3. 데이터 시작화〉

데이터 분석 서비스는 로깅 된 데이터를 활용하여 평가 기준을 정의하고, 정의된 기준대로 데이터를 분석하여 자동으로 결과를 도출해주는 기능을 제공한다.

사용자는 합격/불합격 기준과 점수 산정 기준, 결합이나 특정 기록을 위한 구간을 도출하기 위한 기준(태깅 기준)을 사용자 친화적인 GUI를 통해 정의할 수 있다. UI를 통해 데이터의 값을 비교하는 단순한 쿼리를 정의할 수 있고, 더 복잡한 기준들은 Python Script로 저작하여 정의할 수 있다. Script 기준은 로깅된 데이터를 변수화하여 Raw 데이터의 연산 결과를 비교하거나, 다양한 분기 처리를 수행할 수 있으며, 통합 검증 SW 내 Script Editor를 통해 쉽게 정의할 수 있다.

Criteria Name: Violation of traffic laws

User-defined Variable:

New Variable

Variable Name	Data	
speed	morai_sim_ego_vehicle.statusdbc/MORAI_SIM_ego_status.velocity	<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Delete"/>

Search TargetHeader:

Query Builder

Build Query

Generated Query:

(speed >= 100 AND collision = 1) AND (leftLaneDep = 1 AND rightLaneDep = 1)

〈그림 4. 평가 기준 정의 - 쿼리〉

Criteria Name

Risk of collision

User-defined Variable

New Variable

Variable Name Data

speed moral_sim_ego_vehicle_status.dic/MORAL_SIM_ego_status.velocity and 1 more signal...

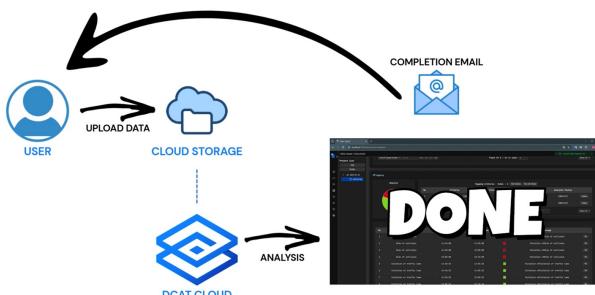
Search Target Header < search << << >> Page of 1 Go to page: 1 Show 1 ▾

Code Editor

```
0 def _risk_stage_and_ttc():
1     # 차량 속도(0~100km/h)를 차량 속도로 표기하는 코드.
2     # 차량 속도(0~100km/h)를 차량 속도로 표기하는 코드.
3
4     if relatedSpeed is None or objDistance is None or speed is None:
5         return "UNKNOWN", 0.0, 0.0, 0.0
6     if relatedSpeed < 0:
7         return "UNKNOWN", 0.0, 0.0, 0.0
8     else:
9         ttc = float("inf") # 운전자가 차량 속도를 허용
10        else:
11            ttc = objDistance / (maxRelatedSpeed, -t)
12
13        if ttc < 0:
14            ttc = -objDistance / (maxRelatedSpeed, -t)
15
16        # 속도 > 0일 때 speed = km/h
17        # 차량 속도(0~100km/h)를 차량 속도로 표기하는 코드.
18        # 차량 속도(0~100km/h)를 차량 속도로 표기하는 코드.
19        t_low = 0.0 + 0.01 * speed # 차량 속도(0~100km/h)를 차량 속도로 표기하는 코드.
20        t_high = 2.0 + 0.01 * speed # 차량 속도(0~100km/h)를 차량 속도로 표기하는 코드.
21        t_mean = 1.0 + 0.01 * speed # 차량 속도(0~100km/h)를 차량 속도로 표기하는 코드.
22
23    if objDistance <= 0.0:
24        return "UNKNOWN", 0.0, 0.0, 0.0
25    if objDistance > t_low and objDistance <= t_high:
26        return "UNKNOWN", (t_low, t_high, t_mean, t_low)
```

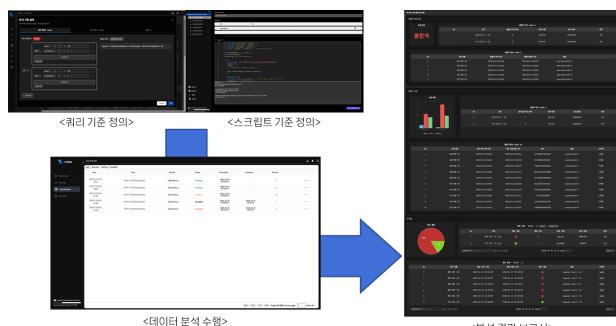
〈그림 5. 평가 기준 정의 - Python Script〉

데이터 분석 서비스는 위와 같이 정의된 평가 기준을 특정 로깅 데이터에 적용하여 정의된 기준에 부합하는 구간들을 자동으로 검출하여 결과를 기록한다. 불합격 기준에 부합하는 데이터가 존재하는 시험은 불합격으로 기록하고, 점수 산정 기준에 따른 점수를 산정하며, 태깅 기준에 부합하는 구간에는 메시지와 태그 컬러를 기록한다. 사용자는 UI를 통해 실시간으로 기준을 등록하고 수행할 수 있으며, 자동 분석 파이프라인을 통해 특정 경로에 데이터가 업로드 되면 자동으로 특정 기준들이 수행되도록 설정할 수 있다. 자동 분석 파이프라인을 설정해두면, 새로 수집된 데이터들이 업로드 되면 자동으로 설정된 평가 기준들이 동작하게 되고, 데이터 분석이 완료되면 이메일을 통해 분석 결과 링크와 함께 알림을 주게 된다. 이를 통해 분석 기준을 표준화 하여 관리할 수 있으며, 데이터 분석 공수를 절감함으로써 SW 검증의 효율성을 극대화 할 수 있다.



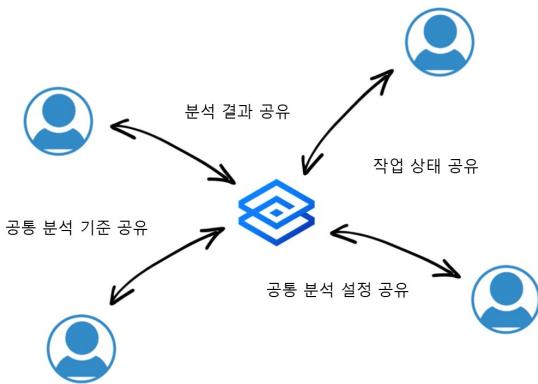
<그림 6. 데이터 자동 분석 파이프라인>

보고서 생성 서비스는 데이터 분석이 완료되어 도출된 결과들을 보고서 형태로 생성해주는 기능을 제공한다. 합격/불합격에 대한 여부와 산정된 점수들의 통계 및 각각의 점수, 태깅 결과들과 태깅 컬러의 분포 통계를 포함하며, 도출된 결과 내에는 근거 데이터가 기록된 메시지가 포함될 수 있다. 통합 검증 SW 내에서 분석 결과를 통해 기록된 구간 별 데이터 시각화와 데이터 내보내기 기능을 제공하며, 분석 결과 화면 전체를 PDF로 내보내어 보고서로 활용할 수 있는 기능도 제공한다.



<그림 7. 분석 결과 보고서 생성>

통합 검증 SW는 클라우드를 기반으로 사용자 간의 공유 및 협업을 지원한다. 이를 통해 공통된 분석 기준을 공유함으로써 분석 기준을 표준화할 수 있고, 도구 내에서 분석 결과를 공유하고 보고하고 검토 의견을 제시할 수 있다.



<그림 8. 공유 및 협업>

III. 결론

본 논문은 3-Tier(차량-엣지-클라우드) 연계 주행 데이터를 기반으로 자율주행 SW의 안전성 및 신뢰성을 정량 검증하는 클라우드 기반 통합 검증 SW를 제시했다. 제안 도구는 이기종 데이터의 파싱/시간동기화/정규화,

의미 보존형 시각화/타임라인 재생, 시나리오/ODD 기반의 Pass/Fail/Score/Tag 자동 판정, 근거(trace) 포함 자동 보고서 생성을 하나의 파이프라인으로 통합한다. 클라우드 기반 아키텍처를 채택해 확장성/재현성/협업성을 확보함으로써, 표준화된 기준의 일관 적용과 신속한 원인 규명이 가능함을 보였다.

향후에는 KPI 중심 실증(자동 판정 일치도/누락률, 동기화 오차, 처리 지연, 자동화율 등)을 통해 성능을 정량 검증하고, ASAM/ISO 표준 연계, 데이터 주도 시나리오 커버리지 확대, MLOps/CI/CD 와의 자동화귀검증 연동, 프라이버시/보안 강화를 지속할 것이다. 이를 통해 제안 SW는 운영 단계에 데이터 및 시나리오 중심 검증을 실용적으로 이식하는 레퍼런스로 자리매김하고, 규제 대응과 현장 적용의 간극을 더욱 축소할 것으로 기대한다.

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)

This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation(IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. RS-2025-02221243, Development of a Cloud-Based Evaluation Model and Process for Integrated Validation of 3-Tier Connected Autonomous Driving Software and Data)

참 고 문 헌

- [1] Q. Zhu et al., "Cloud and Edge Computing for Connected and Automated Vehicles," Foundations and Trends in EDA, Now Publishers, 2023.
- [2] G. Yan et al., "Edge Intelligence for Internet of Vehicles: A Survey," IEEE Trans. Consumer Electronics, 2024.
- [3] SAE International, J3016™: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems, Apr. 30, 2021.
- [4] ISO, ISO 34502:2022 — Road vehicles — Test scenarios for automated driving systems — Scenario-based safety evaluation framework.
- [5] G. Yan et al., "Edge Intelligence for Internet of Vehicles: A Survey," IEEE Trans. Consumer Electronics, 2024