

디지털 트윈 자율주행 시뮬레이션 기반 선행 차량의 중앙선 침범 인지 모델 검증에 관한 연구

한 종 혁¹⁾ · 권 성 진^{*1)}

영남대학교 미래자동차공학과¹⁾

Recognition Model Verification for Preceding Vehicle's Center Line Violation by Using a Digital Twin based Autonomous Driving Simulation

Jong-Hyeok Han¹⁾ · Seong-Jin Kwon^{*1)}

¹⁾Department of Automotive Engineering, Yeungnam University, Gyeongbuk 38541, Republic of Korea

Abstract : This study proposes a model capable of recognizing and making decisions on whether a preceding vehicle would inevitably violate the center line in exceptional road scenarios encountered by autonomous vehicles. To validate the proposed approach, a high-definition road map of the Yeungnam University campus and a digital twin based autonomous driving simulation environment have been utilized. A detection model for a preceding vehicle has been combined with a detection model for a center line, enabling the autonomous vehicles to determine center line violations by the preceding vehicle. The proposed model has been validated through simulations conducted within a digital twin environment. Simulation results confirmed an average accuracy of 83.45%, with a highest accuracy of 99.3% achieved in straight road scenarios under clear weather conditions.

Key words : Digital Twin(디지털 트윈), Simulation(시뮬레이션), High Definition Road Map(정밀도로지도), Center Line Violation(중앙선 침범), Recognition Model(인지 모델), Neural Network(인공신경망)

1. 서 론

자율주행(autonomous driving) 기술과 인공지능(artificial intelligence) 기술은 빠르게 발전하며 도로 주행의 안전성과 효율성을 높이고 있다. 하지만 자율주행차량의 ODD(Operational Design Domain)을 벗어나거나 예외적인 도로 환경에서의 인지 및 대응 능력은 부족한 상황이다. 이에 본 연구에서는 자율주행차량이 마주할 수 있는 예외적인 도로 환경 중 선행 차량의 불가피한 중앙선 침범 여부를 인지·판단할 수 있는 모델을 개발하고, 이를 디지털 트윈 시뮬레이션(digital twin simulation)으로 검증하였다.

2. 디지털 트윈 시뮬레이션 환경

본 연구에서는 실도로와 유사한 환경에서 중앙선 침범 인지 모델을 검증하기 위해, 개방된 실도로의 특성과 폐쇄된 주행시험장의 특성을 모두 갖춘 영남대학교 캠퍼스를 3cm 이내의 오차를 가진 정밀도로지도로 제작하였고, 이를 활용해 디지털 트윈 환경¹⁾을 구축하였다. Fig. 1은 본 연구에서 사용한 디지털 트윈 환경 구축 과정이다.

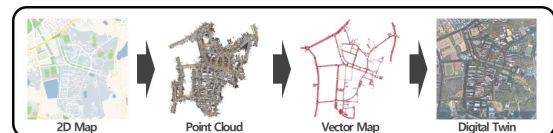


Fig. 1 Digital twin simulation environment

* 권성진, E-mail: sjkwon@yu.ac.kr

3. 중앙선 침범 인지 모델

자율주행차량의 선행 차량 중앙선 침범 여부를 인지하고 판단할 수 있는 모델을 개발하기 위해, YOLO(You Only Look Once) 기반의 선행 차량 인식 모델과 Lanenet 및 RANSAC(RANdom SAMple Consensus) 기반의 중앙선 검출 모델을 결합한 인지 알고리즘을 제안하였다. 선행 차량 인식 모델은 1,900장의 디지털 트윈 시뮬레이션 이미지로 학습하였고 선행 차량의 위치 정보를 실시간으로 파악하였다. 중앙선 검출 모델은 Kaggle에서 제공하는 Tusimple 데이터 셋²⁾을 활용하여 심층 신경망(deep neural network) 기반의 Lanenet 모델³⁾로 학습하여 실시간 영상에서 중앙선을 검출하고, 해당 모델에 RANSAC 알고리즘을 결합하여 Fig. 2와 같이 중앙선 검출의 신뢰도를 향상시켰다.

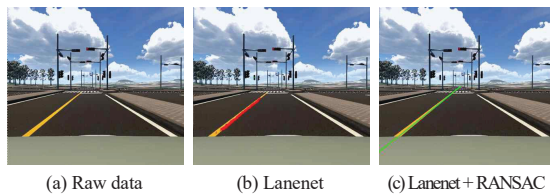


Fig. 2 Center lane detection model

본 연구에서는 선행 차량 인식 모델과 중앙선 검출 모델을 결합하여 선행 차량의 중앙선 침범 여부를 판단하였다. 중앙선 침범 여부는 CCW(Counter Clock Wise) 알고리즘을 기반으로, 차량 바운딩 박스 하단 선분과 검출된 중앙선이 교차하는 경우 중앙선 침범으로 판단하였다. Fig. 3(a)에서는 두 선분이 교차하여 중앙선 침범으로 판단하였고, Fig. 3(b)은 두 선분이 교차하지 않아 중앙선을 침범하지 않은 정상 주행 상황으로 판단하였다.

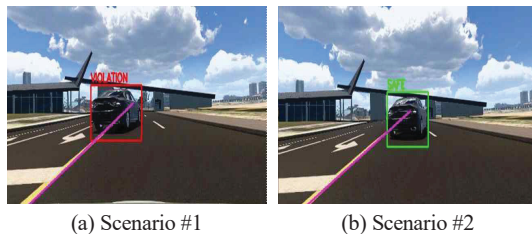


Fig. 3 Center lane Violation recognition model

4. 중앙선 침범 인지 모델 검증

중앙선 침범 인지 모델은 디지털 트윈 시뮬레이션 환경 기반으로 실제 도로 환경에 발생할 수 있는 다양한 상황을 반영한 자율주행 시나리오 기반 시뮬레이션으로 검증하였다. 모델의 정확도는 평균 83.45%를 기록하였으며 특히, 맑은 날씨의 직선 구간에서는 99.3%의 정확도를 기록하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 디지털 트윈 시뮬레이션 환경을 활용하여 선행 차량의 불가피한 중앙선 침범 여부를 인지하고 판단할 수 있는 인지 모델을 개발하고 검증하였다. 이를 위하여 선행 차량 인식 모델과 중앙선 검출 모델을 결합하여 평균 83.45%의 정확도를 나타내는 중앙선 침범 인지 모델을 검증하였다. 향후 다양한 도로 환경과 날씨 조건 등을 반영할 수 있는 중앙선 침범 인지 모델을 추가 개발할 계획이며, 이에 따른 자율주행 차량의 대응 전략 연구도 수행할 계획이다.

후 기

본 논문은 2025년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임. (과제번호: No. 20024908, 과제명: 운전자 맞춤형 Seamless 자율주행 제어권 통합관리 시스템 기술 개발)

References

- 1) D. W. Lee, T. L. Kim and S. J. Kwon, "Establishment and Utilization of Digital Twin Self-driving Testbed Based on Yeungnam University Campus and Self-driving Test Track (Y-Road)", Autumn Conference Proceedings of KSAE Daegu-Gyeongbuk Branch, pp.28, 2024.
- 2) <https://www.kaggle.com/datasets/manideep/1108/tusimple>
- 3) D. Neven, B. Brabandere, S. Georgoulis, M. Prosmans and L. Gool, "Towards End-to-End Lane Detection: an Instance Segmentation Approach", 2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), pp.286-291, 2018.