

5G-NR-V2X 통신 장치 활용 실도로 동시 접속 성능 검증 방법

안병만, 이지민, 왕유승, 장준혁, 장수현, 신대교, 장성현*

*한국전자기술연구원

{bman,kng05157,yswang,junjang9327,shjang,dukeshin,*jang.sh}@keti.re.kr

Method for Evaluating Concurrent Connectivity Performance of 5G-NR-V2X Communication Devices in Real-Road Environments

Byoungman (Robert) An, Jimin Lee, Yooseung Wang,

Junhyek Jang, Soohyun Jang, Daekyo Shin, Seonghyun (Alex) Jang

*Korea Electronics Technology Institute

요약

본 논문은 5G-NR-V2X 통신 장치를 활용하여 실도로 환경에서 동시 접속 성능을 검증하는 방법론을 제안한다. 5G-NR-V2X 시스템은 차량 탑재용 단말기인 OBU(On-Board Unit)와 도로 인프라에 설치되는 RSU(Roadside Unit)로 구성되며, 이를 통해 차량과 차량 간 통신(V2V, Vehicle-to-Vehicle) 및 차량과 인프라 간 통신(V2I, Vehicle-to-Infrastructure)이 가능하다. 실도로 환경은 도심 및 비도심 지역의 특성에 따라 상이한 통신 조건을 가지며, 특히 도심 지역은 높은 차량 밀도로 인해 혼잡한 통신 환경이 자주 발생한다. 이러한 혼잡 환경에서는 통신 자원의 효율적인 할당과 안정적인 데이터 송수신이 자율주행 차량의 안전한 운행을 위해 중요하다. 본 연구에서는 이러한 도로 환경의 차이를 반영하여, 실제 도로에서 다수 단말의 OBU와 RSU 간 동시 접속 성능을 검증할 수 있는 절차와 구성을 제시한다. 제안된 방법론은 향후 자율주행 차량의 실도로 적용에 있어 V2X(Vehicle to Everything) 통신 장치의 성능을 사전에 평가하고, 커넥티드 환경의 상용화를 가속화하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

I. 서 론

5세대 이동통신 기반 차량-사물 통신(5G NR-V2X) 기술은 초저지연성과 높은 신뢰성을 바탕으로 자율협력주행을 지원하는 핵심 요소로 부각되고 있다. 이에 따라 실제 도로 환경에서 다수 차량의 동시 통신 시 발생하는 성능을 평가하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. Kutila 등 [1]은 핀란드와 중국에서 5G-V2X 실차 실험을 통해 LTE-V2X 대비 5G-V2X 사용 시 통신 범위가 확대되고 데이터 전송 용량이 향상됨을 보고하였다. Tahir 등[2]도 시험도로에서 도로 기상·교통 정보를 전송하는 V2V/V2I 시나리오 실험을 수행하여, 5G 테스트망이 LTE망보다 지역 시간과 패킷 손실률 면에서 훨씬 우수한 성능을 보임을 확인하였다. 한편 Wang 등[3]은 폐쇄된 시험 필드에 V2X 통신 테스트베드를 구축하고 다양한 차량 통신 부하 조건에서 안전 메시지 전달 성능을 분석함으로써, 혼잡한 상황에서의 동시접속 처리 능력을 평가하였다. 시뮬레이션 기반 연구로는 Tabassum 등[4]이 NS-3 시뮬레이터를 활용하여 차량 밀집도와 속도에 따른 New Radio(NR) Sidelink 성능을 검증하였는데, 이를 통해 도시환경에서 차량 수 증가 시 패킷 전달률과 지연 특성이 어떻게 변화하는지 제시하였다. 이처럼 다수의 차량이 동시에 정보를 주고받는 경우 무선 채널 혼잡과 간섭 문제가 나타나며, 이를 완화하기 위한 분산 혼잡 제어(DCC) 기법 연구도 진행되고 있다 [5]. 예를 들어 McCarthy와 O'Driscoll [5]은 3GPP 표준 C-V2X의 혼잡제어 동작을 정량 평가하고, 차량들이 주기적 패킷 송신 간격을 스스로 조절하도록 하는 자원 예약 간격 적응(RRI adaptive) 기법을 제안하여 다중 차량 환경에서 패킷 충돌을 줄였다. 아울러 Mikami 등[6]은 트럭 균집주행 상황에 5G NR-V2X 통신을 적용한 실도로 주행시험을 통해, 차량들이 기지국 커버리지 영역을 벗어날 때 네트워크 모드와 직접통신 모드를 동적으로 전환함으로써 플래티넘 차량 간에도 안정적인 저지연 V2V 통신을 유지할 수 있음을 입증하였다. 이러한 선

행 연구들을 바탕으로 최근 발표된 종합 연구 [7]에서는 대규모 차량 네트워크에서 NR-V2X의 확장성을 확보하고 동시접속 증가로 인한 통신 혼잡을 해소하는 방안을 향후 중요한 과제로 강조하고 있다.

본 논문의 제2장에서는 5G-NR-V2X 통신 장치를 기반으로 실도로 환경에서의 동시 접속 성능을 검증하기 위한 방법론을 제안하며, 제3장에서는 연구 결과를 바탕으로 주요 결론을 도출한다.

II. 실도로 환경에서의 동시 접속 성능을 검증하기 위한 방법론

본 논문에서는 5G-NR-V2X 통신 장치를 활용하여 실도로 환경에서 동시 접속 성능을 검증할 수 있는 방법론을 제안하였다. 제안된 방법론은 크게 세 가지 구성 요소로 분류되며, 각각 동시 접속 성능 검증을 위한 실험 시나리오 설계, 실험 절차 정의, 그리고 패킷 오류율 Packet Error Rate (PER) 측정 방법으로 구성된다.



그림 1. 실 도로 환경에서의 혼잡 환경 동시 접속 시험 시나리오

1) 동시 접속 성능 검증 실험 시나리오

실도로 기반의 동시 접속 성능 검증 실험은 경기도 성남시에 위치한 자율주행 시험 도로인 판교 제로시티 구간에서 수행되었다. 본 시험 구간은

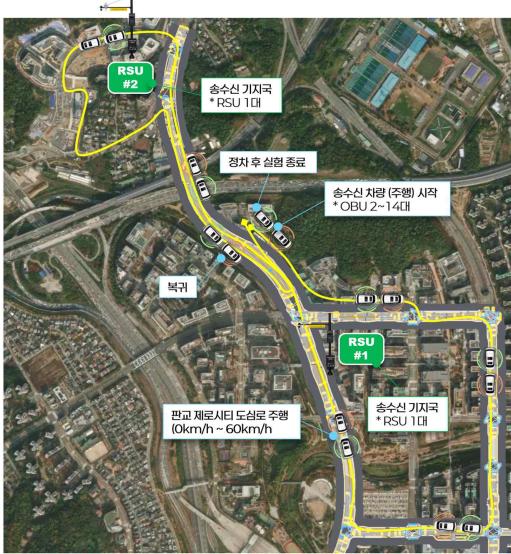


그림 2. 판교제로시티 실 도로 동시 접속 시나리오

2025년 상반기, 차세대 자율주행 통신기술 개발사업의 일환으로 5G-NR-V2X 통신 실험을 위한 Roadside Unit(RSU)이 사전에 구축되어 있어, 통신 품질이 확보된 실험 환경을 제공할 수 있다는 점에서 본 연구의 실험 장소로 적합하다고 판단되었다. 본 연구에서는 총 두 가지의 실험 시나리오를 설계하였다. 그림 1에서는 도심 혼잡 환경을 묘사하기 위해 6 대의 차량에 총 30대의 OBU(On-Board Unit)를 분산 탑재하여, RSU(Roadside Unit)가 설치된 도심 지역에서 동시 접속 성능을 평가할 수 있는 실험 환경을 구성하였다. 해당 환경은 2025년 상반기 중 구축을 완료하였으며, 이에 기반한 실험이 수행될 예정이다. 그림 2는 차량 단위로 보다 높은 밀도의 단말을 구성한 시나리오로, 각 차량에 7대씩 OBU를 탑재하여 다수 단말의 동시 접속 상황을 구현하였다. 해당 실험은 2025년 5월부터 경기도 성남시 판교제로시티 일대에서 진행되고 있다. 본 실험에서는 각 차량이 판교제로시티 전역을 주행하면서 V2V 및 V2I 방식으로 데이터를 송수신하며, 도심 환경에서 발생 가능한 다양한 통신 특성 – 예를 들어 멀티페스 페이딩(Multipath Fading), 비가시권 통신 (Non-Line-of-Sight, NLoS), 건물 반사 및 회절, 다중 사용자 간 간섭 (Multi-user Interference) 등을 실제로 환경에서 실제로 관측하고 분석하는 것을 목표로 한다.

2) 실험 절차

실험은 사전에 정의된 시나리오에 따라 차량과 OBU, RSU 간의 통신을 설정하고, 정해진 구간을 반복적으로 주행하며 데이터를 수집하는 방식으로 진행된다. 먼저, 각 차량에 탑재된 OBU는 초기 연결 설정을 통해 RSU와 세션을 수립하고, 이후 V2V 및 V2I 기반의 송수신 동작을 수행한다. 실험은 혼잡 환경(그림 1 시나리오)과 고밀도 단말 환경(그림 2 시나리오) 각각에 대해 동일한 경로를 동일한 속도로 주행하면서 이루어지며, 각 구간에서의 통신 성공률, 재전송 여부, 지연 시간 등을 포함한 로그가 실시간으로 저장된다. 또한, 실험 전후에는 시간 동기화(시간 서버 기반 GPS 연동)를 수행하여 각 단말 간 데이터의 정확한 비교 및 분석이 가능하도록 한다.

3) PER 변화량 측정 방법

PER은 송신된 패킷 중 수신에 실패한 패킷의 비율이며 실험에서는 모든 OBU가 일정 주기로 송신한 패킷 수를 기준으로 PER을 계산하며, 시간별·구간별·차량별로 PER 변화량을 분석 중에 있다. 특히, 도심 환경의 통

신 특성(예: NLoS, 멀티페스 페이딩, 차량 밀도 증가 등)이 PER에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실시간 채널 상태 정보(RSSI, SINR 등)와 연계하여 정량적인 분석을 수행 중이다. 수집된 데이터는 시간 구간별, 차량별, 위치 기반으로 분류되어 후 처리될 수 있도록 DB화하였다. 본 연구에서는 PER, 지연 시간, 수신 패킷 수, 재전송률, Received Signal Strength Indicator(RSSI) 등의 지표를 기반으로 통신 성능을 종합적으로 분석 중이며 혼잡 환경과 비혼잡 환경에서의 성능 차이를 비교하고, 특히 동일 시간대에 다수 OBU가 동시에 통신하는 상황에서의 동시 접속 처리 능력을 중심으로 분석할 예정이다. 이러한 방법론을 통해 NR-V2X의 자원 예약 및 스케줄링 방식이 통신 품질에 미치는 영향을 정량적으로 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

III. 결론

본 연구에서는 5G-NR-V2X 통신 장치를 활용하여 실도로 환경에서 다수의 OBU와 RSU 간의 동시 접속 성능을 검증할 수 있는 방법론을 제안하였다. 5G-NR-V2X 시스템은 차량과 차량 간(V2V) 통신, 차량과 인프라 간(V2I) 통신을 모두 지원함으로써, 자율주행 차량의 안전하고 효율적인 운행을 위한 핵심 기술로 주목받고 있다. 본 연구에서는 도심과 비도심 등 서로 다른 교통 밀도를 가지는 실도로 환경에서 발생할 수 있는 통신 혼잡 상황을 고려하여, 다중 단말 환경에서의 동시 접속 성능을 평가하는 절차와 측정 구성을 설계하였고 실증 중이다. 제안된 방법론은 향후 V2X 기반 자율주행 시스템의 실도로 적용에 앞서 통신 장치의 성능을 정량적으로 검증하는 데 활용될 수 있으며, 커넥티드 차량 환경의 안정성과 상용화를 촉진하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea Ministry of Science and ICT (MSIT) under Grant No. 2022-0-00199, "5G-NR-V2X performance verification for connected Autonomous Driving."

참 고 문 헌

- [1] M. Kutila, K. Kauvo, P. Pyykönen, X. Zhang, V. G. Martinez, Y. Zheng, and S. Xu, "A C-V2X/5G Field Study for Supporting Automated Driving," Proc. 32nd IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2021, pp. 315 - 320.
- [2] M. N. Tahir, P. Leviäkangas, and M. Katz, "Connected Vehicles: V2V and V2I Road Weather and Traffic Communication Using Cellular Technologies," Sensors, vol. 22, no. 3, p. 1142, 2022.
- [3] R. Wang, X. Zhang, Z. Xu, X. Zhao, and X. Li, "Research on Performance and Function Testing of V2X in a Closed Test Field," Journal of Advanced Transportation, vol. 2021, Article ID 9970978, 2021.
- [4] M. Tabassum, F. H. Bastos, A. Oliveira, and A. Klautau, "NR Sidelink Performance Evaluation for Enhanced 5G-V2X Services," Vehicles, vol. 5, no. 4, pp. 1692 - 1706, 2023.
- [5] B. McCarthy and A. O'Driscoll, "Adapting the Resource Reservation Interval for Improved Congestion Control in NR-V2X," Proc. 2022 IEEE 23rd Int. Symp. on a WoWMoM, 2022, pp. 1 - 6.
- [6] M. Mikami, Y. Ishida, K. Serizawa, K. Moto, and H. Yoshino, "Field Experimental Trial of Dynamic Mode Switching for 5G NR-V2X Sidelink Communications towards Application to Truck Platooning," Proc. IEEE 91st VTC2020-Spring, 2020, pp. 1 - 5.
- [7] D. Ficzere, P. Varga, A. Wipplhauser, H. Hejazi, O. Csernyava, A. Kovács, and C. Hegedűs, "Large-Scale Cellular Vehicle-to-Everything Deployments Based on 5G—Critical Challenges, Solutions, and Vision towards 6G: A Survey," Sensors, vol. 23, no. 16, p. 7031, 2023.