

5G-NR-V2X 기반 실도로 통신 성능 검증

이지민, 왕유승, 신대교, 장수현, 장준혁, 안병만*
한국전자기술연구원

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

5G-NR-V2X-Based Real-Road Communication Performance Verification

Lee Ji Min, Wang Yoo Seung, Shin Dae Kyo
Jang Soo Hyun, Jang Jun Hyek, An Byoung Man*
Korea Electronics Technology Institute (KETI)

요약

본 연구는 차량 간 가시선이 완전히 차단되는 상황에서 5G-NR-V2X 통신 시스템의 신뢰성 검증을 목표로 한다. 대형 트럭, 교차로를 활용하여 의도적으로 NLoS 환경을 구성함으로써, 차량·차량 간 통신이 구조적 차폐 영향을 받을 때의 성능 특성을 정량적으로 평가하였다. 이를 위해 동일한 5G-NR-V2X PC5 통신 장비를 장착한 시험 차량을 배치하고, 차량 사이 중앙에 대형 트럭을 위치시키는 방식이나 교차로에 배치하는 방식으로 완전 차폐 조건을 구현하였다. 실험 결과, 가시선이 차단된 환경에서도 일정 수준 이상의 통신 신뢰성이 유지되는 것이 확인되었으며, 이러한 결과는 5G-NR-V2X 기술이 실도로 환경에서의 적용 가능성을 지님과 동시에, 실제 운용 환경을 고려한 체계적 성능 검증의 필요성을 보여준다.

I. 서 론

5G-NR-V2X (New Radio-Vehicle-to-Everything)는 5 세대 이동통신 기술을 차량 통신에 적용한 형태로, 차량·보행자·도로 인프라 간 고신뢰, 저지연 통신을 가능하게 하는 핵심 기술로 주목받아 왔다.[1] 특히 초저지연·고대역폭 특성을 협력 인지, 고도 자율주행, 원격 제어와 같은 서비스 구현을 현실화하는 기반이 된다.[2] 그러나 이러한 기술적 잠재력에도 불구하고, 실제 도로 환경에서는 전파 차단체, 차량 밀집, 불규칙한 속도 변화 등으로 인해 통신 품질이 크게 영향을 받을 수 있다.[3] 5GAA에서는 LoS (Line-of-Sight), NLoS (Non-Line-of-Sight), 혼잡 환경 등 다양한 조건에서 통신 범위와 신뢰성을 보고하였으며, CAMP 컨소시엄에서는 다수의 실제 차량을 활용한 성능 검증을 통해 통신 파라미터, 하드웨어 구성, 차량 구조가 성능에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다.[4-5]

본 연구에서는 이러한 관점에서, 5G-NR-V2X 통신 시스템이 차량 간 가시선 확보가 어려운 NLoS 상황에서도 안정적인 통신을 유지할 수 있는지 검증하는 것에 초점을 두었다. 이를 위해 (1) 대형 트럭을 차량 사이에 배치하여 전파 경로를 차단한 정지 차량 기반 환경과, (2) 실제 도심 교차로에서 건물, 도로 구조물 등에 의해 자연적으로 발생하는 환경을 각각 구성하였다. 이후 거리 및 차폐 조건을 달리하며 통신 성능을 정량적으로 분석하였다.

II. 본론

본 연구에서는 5G-NR-V2X 통신 시스템이 가시선 확보가 제한된 환경에서도 안정적으로 동작할 수 있는지를 평가하기 위해, 실제 도로 환경에서 통신 성능 측정 실험을 수행하였다. 그림 1 과 같이 두 대의 시험 차량을 일정 거리로 배치한 뒤, 차량 사이 중앙 구간에 대형 트럭을 배치하여 의도적으로 NLoS 환경을 구성하였다. 이후 동일 조건에서 거리를 변화시키면서

반복 측정을 수행하여, 차폐 환경에서의 통신 안정성을 정량적으로 평가하였다. 실험에 사용된 시험 차량은 현대 아이오닉 5 와 아이오닉 일렉트릭을 사용하였으며, 두 차량 모두 5G-NR-V2X PC5 통신을 지원하는 동일 규격의 OBU 를 장착하였다. 두 차량 간 거리는 약 19m, 22m, 101m 로 설정하여 단계적으로 증가시키며 측정을 진행하였다. 실험은 모든 차량이 완전히 정지한 상태에서 수행되었으며, 외부 간섭, 잡음, 기상조건 등 일반적인 실도로 환경 요인은 그대로 유지하였다. 각 거리 조건에서 총 수천 개 이상의 패킷을 송수신하며, 패킷 전달률 (Packet Delivery Ratio, PDR)을 주요 성능 지표로 수집하였다.



그림 1. NLoS 환경 (트럭 배치) 통신 실험

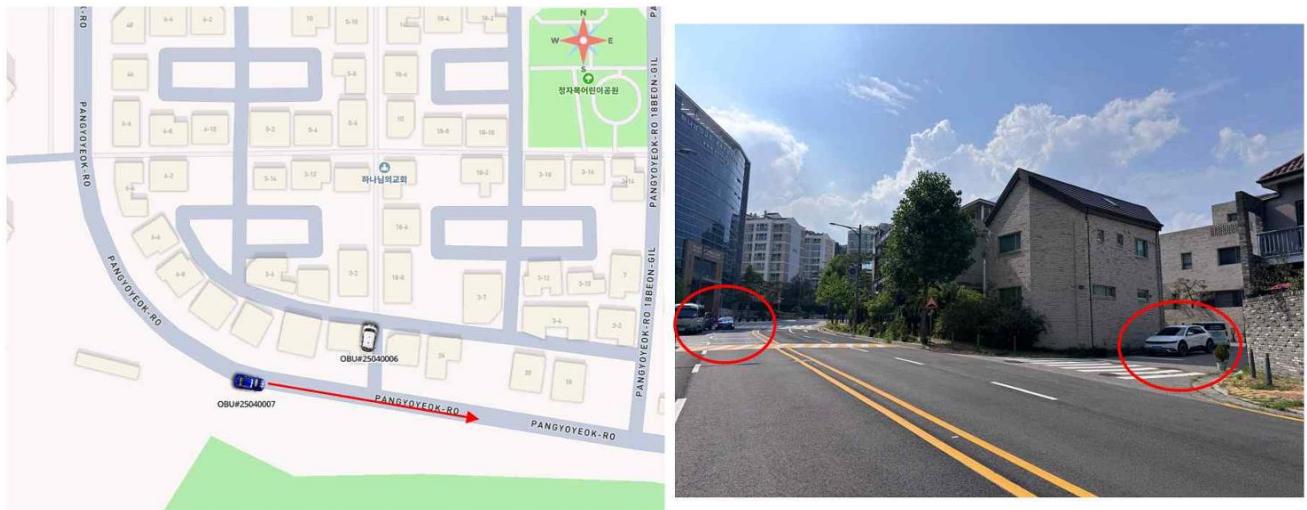


그림 2. NLoS 환경 (교차로) 통신 실험

또한, 그림 2 와 같이 실제 도심 교차로 환경에서 발생하는 NLoS 상황을 기반으로 수행하였다. 해당 교차로는 주거 건물과 도로변 구조물로 인해 차량 간 시야가 제한되는 구간으로, 교차로 양측에서 접근하는 차량이 서로 직접 인지하기 어려운 환경을 가진다. 차량이 화살표 방향으로 주행하며 차량 간 통신 성능을 GUI 화면을 통해 확인하였다.

Test Case	Vehicle	거리 (m)	PDR (%)	비고
대형 차량 배치	Ioniq 5	19	98.091	
	Ioniq E		97.370	
	Ioniq 5	22	98.223	
	Ioniq E		98.520	
	Ioniq 5	101	94.836	
	Ioniq E		97.627	
교차로 배치	Ioniq 5	50	97.975	
	Ioniq E		95.776	

표 1. 장치별 5G-NR-V2X 통신 성능 결과

표 1 은 거리 조건별 평균 PDR 을 비교하여 나타낸 결과이다. 트럭 차례 환경 실험에서는, 약 19m 및 22m 구간에서 두 차량 모두 97~98% 수준의 높은 PDR 을 유지하는 것이 확인되었다. 다만 거리 증가에 따라 통신 안정성 저하가 발생하였으며, 101m 구간에서는 PDR 이 약 94.8%까지 감소하는 경향을 보였다. 반면 동일 조건에서 일렉트릭 차량은 97.6% 수준의 PDR 을 유지하여 차량 구조, 설치 환경 등의 차이가 영향 요인으로 작용한 것으로 판단된다. 교차로 NLoS 실험에서도 50m 기준 약 95~97% 수준의 PDR 이 유지되는 것으로 나타났다. 다만, 대형 트럭 차례 환경 대비 일부 성능 저하가 관찰되어, 교차로 환경 특성에 따른 전파 차례, 다중경로 영향이 부분적으로 작용한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 5G-NR-V2X 가 가시선이 완전히 차단된 NLoS 환경에서도 비교적 높은 신뢰도의 통신 성능을 제공함을 보여주며, 동시에 통신 품질이 차량별·거리별 조건에 따라 상이할 수 있음을 시사한다.

III. 결론

본 연구에서는 5G-NR-V2X 통신 시스템이 시야가 차단된 실제 도로 환경에서도 안정적으로 동작할 수 있는지 평가하기 위해, 시험 차량 사이에 대형 트럭을 배치하거나 교차로를 이용하여 의도적으로 NLoS 환경을 구성하고 통신 성능을 검증하였다. 차량 간 거리를 19 m, 22 m, 101 m로 변화시키며 패킷 전달률(PDR)을 측정한 결과, 약 19 m 및 22 m 구간에서는 97~98% 수준의 높은 PDR 이 유지되었으며, 약 50m 거리를 유지하며 주행하는 경우에도 95~97% 수준의 PDR 이 측정되었다. 이는 완전 차폐 환경에서도 NR-V2X 링크가 비교적 안정적으로 동작함을 확인하였다.

따라서 본 연구는 실도로 기반 NLoS 환경에서 NR-V2X 기술의 통신 신뢰성을 정량적으로 검증하였다는 점에서 의의가 있다. 향후 연구에서는 보다 다양한 차례 유형, 다중 차량 환경, 이동 차량 상황 등을 포함하여 통신 성능 변동 요인을 추가로 분석함으로써, 실도로 기반 NR-V2X 운용 신뢰성을 보다 종합적으로 평가할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 2025 년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2025-02413183, 자동차산업기술개발사업, 서비스 QoS 보장 통신자원 중앙관리형 초고속, 초고신뢰 V2X 통신모듈 기술개발)

참 고 문 헌

- [1] 5GAA, "Evaluation of NR-V2X Performance for Advanced V2X Use Cases," White Paper, July 2024.
- [2] H. Bagheri et al., "5G NR-V2X: Toward Connected and Cooperative Autonomous Driving," arXiv, 2020.
- [3] D. Chatzoulis et al., "5G V2X Error Correction Coding for Various Channel Conditions," Electronics, 2023.
- [4] 5G Automotive Association (5GAA), "V2X Technology Benchmark Testing," September 2018.
- [5] Crash Avoidance Metrics Partnership (CAMP) – C-V2X Consortium, "C-V2X Performance Assessment Project," presentation/report, December 5, 2019.