

## 노변장치 및 차량탑재 장치에 대한 실차 기반 5G-NR 통신 성능 평가 및 분석 방법

서경덕, 서우창, 양은주, 김봉섭, 윤경수\*

### \*지능형자동차부품진흥원

kdseo@kiapi.or.kr, wcseo@kiapi.or.kr, ejyang@kiapi.or.kr, bskim@kiapi.or.kr, \*kadbonow@kiapi.or.kr

## Method for analyzing and evaluating the 5G-NR communication performance of roadside-unit and onboard-unit under real-road driving

Seo Kyung Duk, Seo Woo Chang, Yang Eun Ju, Kim Bong Seob, Yoon Kyung Soo\*

\*Korea Intelligent Automotive Parts Promotion Institute

## 요약

본 논문은 실도로 주행을 통한 다양한 주행환경에서 자율협력주행을 위한 차량통신의 주요 성능을 평가하는 방법을 제시한다. 5G-NR-V2X 통신 인프라가 구축된 실증 구간을 상시 왕복 주행하여 통신 성능 분석 데이터를 취득하고 통신 성능 지표를 추출하여 시공간 기반으로 통신 성능을 상세하게 방법에 대해 제시하고자 한다.

## I. 서 론

최근까지 자율협력주행을 위한 UseCase 및 성능요구사항에 부합하기 위한 통신방식에 대한 연구와 표준화가 다양하게 진행되어 왔으며 초고속/저지연/대용량 통신이 가능하도록 진화되었다. 이러한 기술 개발의 일환으로 국내에서는 3Gpp Release 16/17 표준을 기반으로 한 5G-NR-V2X 통신 기술의 개발 및 실증에 관한 연구가 2022년부터 현재까지 진행되고 있다. 본 연구는 통신의 물리적 성능을 직접 측정하여 표준 준용여부를 평가하고 LOS가 보장되는 시험도로에서 실차 기반 통신 반경, 전송 용량, 전송 속도 등을 측정할 뿐만 아니라 실제 다양한 트래픽 및 통신 장애요소가 발생하는 실도로에서도 통신 성능 요소를 측정하고 평가하기 위한 연구를 활발히 수행하고 있다[1]. 이전 다양한 연구를 통해 C-ITS 서비스 또는 자율협력주행 서비스와 연계하여 실차 기반 통신 성능 평가에 대한 시도가 있었으나 이는 통신 성능에 대한 것 보다는 서비스에 대한 요구 성능(통신반경, 속도, 지연 등)을 만족하느냐 여부에 집중되어 있어서 다양한 주행 환경에서 통신의 주요 성능을 평가하는데 한계가 있었다.

본 논문에서는 통신 성능 평가를 위해 실증 구간(대구 테크노폴리스로에서 대구 수목원 사이 자동차전용도로)에서 상행/하행으로 상시 주행하여 통신 성능 분석데이터를 취득하는 방법과 실시간 데이터 및 장기간 적재된 데이터를 기반으로 상세하게 분석하는 방법에 대해 제시하고자 한다.

## II. 본론

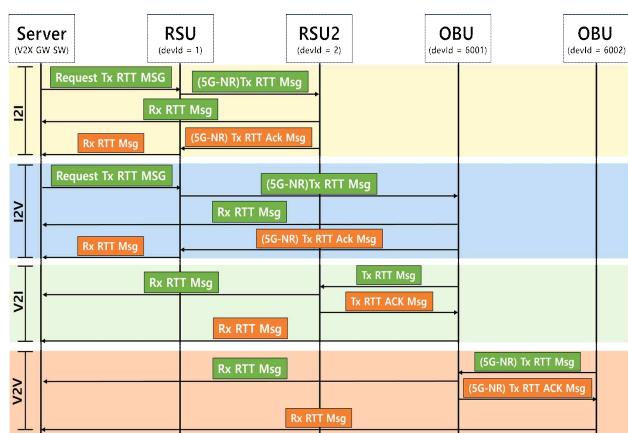
## 1. 시스템 구성 및 실증 구간 환경 분석

본 연구는 3GPP Release 16/17의 표준이 적용된 RSU와 OBU가 사용되었으며, 모든 RSU와 OBU가 송수신을 통해 취득하는 통신 성능 데이터는 실시간으로 모니터링 서버에 수집되도록 구성하였다[2]. 대구 지역의 자율협력주행 실증 구간에 총 13기의 RSU가 구축(2024년 11월)되었으며, OBU는 데이터 취득 전용 차량 2대에 각각 설치하여 상시 주행을 통해 통신 성능 데이터가 취득되도록 하였다[3].

실차 기반 통신 성능 데이터 분석하기 위한 실증 구간은 약 15.7km의 자동차 전용도로이며 최고 제한 속도 80kph이다. 이 중 터널 6구간과 지하차로 1구간이 존재하며 이는 전체 실증 구간의 약 44.01%(약 6.91km)를 차지한다. 또한 여러 개의 산을 통과하는 구간으로 고도의 차이(완만한 경사 구간)가 있는 구간과 다수의 곡선 구간이 존재하므로 실도로 통신 성능을 평가하기 위한 다양한 지형적 요소와 더불어 악의적 환경 요소(통신 음영 구간)까지 갖추고 있다. 본 논문에서는 여러 사례에서 많이 다룬 차량간 통신(V2V)의 분석보다 RSU간 통신(I2I)과 RSU와 차량간 통신(I2V, V2I)에 대한 통신 성능 데이터를 취득하고 분석하였다.

## 2. 통신 성능 데이터 취득 방법

본 논문에서는 그림 1과 같이 자체 정의한 passive-RTT(passive round trip time) 프로토콜을 기반으로 수신 측에서 수신감도 및 통신 지연 시간이 측정되도록 하였으며, 이때 통신 장치 내부에서 RF 및 패킷을 처리하기 위한 프로세스 시간은 고려하지 않았다. passive-RTT는 통신 장치 또는 RF 모듈이 직접적이고 즉각적으로 응답하는 방식이 아니라 통신 장치



[그림 1. passive round trip-time 프로토콜 개요]

를 제어하고 관리하는 상위 SW가 RTT 메시지를 송출하도록 하여 각 시스템별 RTT를 기록하고 수집되도록 하였다. 이때 상위 SW의 역할은 서버가 뿐만 아니라 RSU 및 OBU가 동시에 할 수 있도록 하여 passive-RTT 패킷을 송출하는 주체를 특정 시스템으로 한정하지 않았다. RTT 방식을 도입한 이유는 NTP 기반으로 각 시스템별 운영 시간에 대한 동기화를 하더라도 수십~수 백 ms의 오차가 발생할 수 있으므로 RTT 방식을 통해 통신 지연 시간을 측정하여, 시간 오차로 인한 수신 성능 지표의 오류를 최소화하기 위함이다.

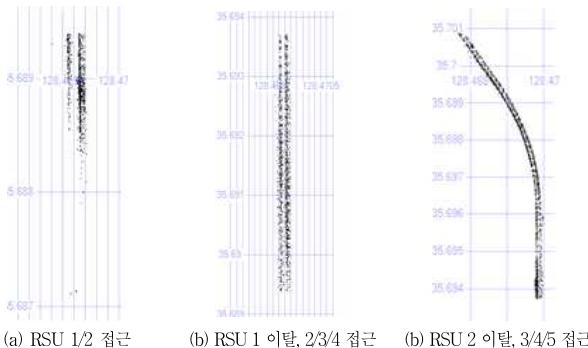
실주행 기반 데이터는 61일간 매일 6시간 동안 데이터 취득 차량이 실증 구간을 5~6회 왕복 주행하도록 하였다. 교통 트래픽에 따른 통신 성능 차이를 분석하고자 37일간 비첨두 시간(10:00~17:00), 12일간 오전 첨두 시간(06:00~12:00), 그리고 12일간 오후 첨두 시간(12:00~20:00)에 대한 데이터가 취득되도록 하였다.

### 3. 통신 성능 데이터 현황

passive-RTT를 기반으로 하여 I2I, I2V, V2I, 그리고 V2V의 수신 성능 지표가 취득되었으며, 각 장치별 누적된 데이터 수집 시간의 총 합은 1,464 시간이고, 데이터의 전체 용량은 약 10GB이다. passive-RTT 프로토콜을 통해 실시간으로 취득된 모든 데이터는 데이터베이스에 적재하였으며, 상세한 분석을 위해 장치 이력/상태 관리, 패킷 송출 관리, 그리고 실시간 위치가 바뀌는 차량 장치의 이력 관리 정보도 취득하였다. 통신 성능 분석을 위해 passive-RTT가 유지되는 시간, 패킷을 전송/수신한 위치, 패킷 전송/수신 시간, 패킷 송수신 시점의 속도/이동방향, rssi, rssl, 그리고 pps(packet per second) 등의 수신 성능 지표 데이터가 취득되도록 하였다.

### 4. 통신 성능 분석 결과

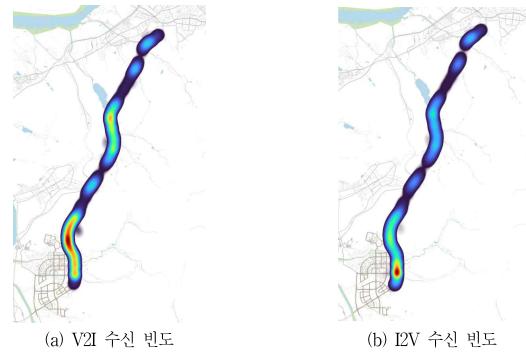
취득된 통신 성능 데이터를 기반으로 각 RSU에 대해 차량의 거리와 속도에 따른 수신감도, 주행시간별 평균/최대/최저 수신감도, 차량간 거리



[그림 2. RSU별 거리와 속도에 따른 수신감도 분석]

에 따른 수신감도, 그리고 passive-RTT를 전송했으나 응답(Ack)이 수신되지 않아 수신 지표가 측정되지 않은 구간 등을 분석하였으며, 상행/하행 주행을 구분하여 분석을 수행하였다.

본 연구를 통한 실차 기반 평가 방법을 통해 그림 2와 같이 각 RSU에 대한 차량의 거리와 속도에 따른 수신 감도를 분석할 수 있었으며, 세부적으로는 RSU에 접근할 때와 이탈할 때(RSU에서 멀어질 때)의 수신 감도를 구분하여 분석을 하였다. 또, 취득된 데이터의 위치 정보를 기반으로 시공간 정보와 연계하여 그림 3과 같이 위치별 수신 빈도에 대해 hit-map을 활용하여 분석하였다. 수신 빈도가 높은 구간은 교통 트래픽에 의해 해당 구간을 서행하거나 정체 시간이 긴 구간이었으며, 도심로의 경우 신호 대기로 인해 높은 빈도가 나타나는 것으로 분석할 수 있었다.



[그림 3. 수신 빈도(수신 구역) 분석]

또한 각 시스템 또는 서브시스템 내부 프로세스 처리 시간을 고려하지 않았음에도 passive-RTT를 통해 칩셋 및 RF 모듈 개발사에서 제시하는 통신 성능(전송속도, 통신반경, 평균 지연 시간 등)을 확인할 수 있는 것도 확인할 수 있었다.

### III. 결론

본 연구를 통해 실도로 환경에서 실차 기반 주행을 하며 취득한 통신 성능 데이터와 주행 환경(지형적 요소)을 연계하여 다양한 분석이 가능함을 제시하였으며 LOS 또는 통신 성능 측정을 위해 잘 설계된 주행 시나리오가 아니어도 원하는 통신 성능 지표과 결과를 도출할 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 자율협력주행을 위해서 요구되는 통신 성능을 측정하기 위해서 수 ms 이하의 정밀도로 데이터를 취득하고 분석할 수 있어야 하므로 본 연구를 고도화하여 시스템 내부 또는 서브 시스템 내부의 프로세스 처리 시간이 직간접적으로 passive-RTT에 반영될 수 있도록 하자 한다.

또한, 실도로 주행에 적용할 수 있는 다양한 주행시나리오(예, 다른 차종의 데이터 취득 차량 주행, 동일 차선 유지 주행, 다른 차선 유지 주행 등)를 설계하고 적용하여 보다 다차원적인 분석을 계획하고 있다. 더불어 향후 영상 데이터를 함께 취득하여 동적적인 주행 환경(갑작스런 교통 정체로 인한 통신 장애, 인접의 화물차량으로 인한 일시적 장애 등)이 통신 성능에 미치는 영향을 상세하게 분석하여 Lv.4 이상의 자율협력주행을 위한 통신 성능 및 서비스의 성능 요구사항을 도출하여 자율주행 서비스 사업화와 확산에 기여하고자 한다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022-0-00199, 커넥티드 자율주행을 위한 5G-NR-V2X 성능 검증)

### 참 고 문 헌

- [1] Yong-Tae Kim, Woo-Jai Shin, & Jung-Won Lee (2024). "V2X Communication Technology Classification and LTE-V2X (Rel.14) Communication Performance Test". Journal of IKEEE, 28(4), 540-545.
- [2] 양은주, 서우창, 김봉섭, 윤경수, " 실시간 주행환경 분석 기반 통신 성능 모니터링 시스템," ITS 추계학술대회, 2024
- [3] Song Hwan Kyu, Park Seung Gon, Kim Ju Hyek, & Lee Sung Kyu (2024-06-19). Wireless Communication Performance Testing and Analysis of C-V2X Devices Mounted on Vehicles. Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, 제주.