

# 5G-NR-V2X 시스템 개요 및 통신 성능 분석방법론

## Overview of 5G-NR-V2X System and Analysis Methodology of Communication Performance

이 지 민\*, 장 성 현\*, 윤 상 훈\*, 임 기 택\*, 신 대 교\*,  
장 수 현\*, 장 준 혁\*, 안 병 만\*★

Ji-Min Lee\*, Seong-Hyun Jang\*, Sang-Hun Yoon\*, Ki-Taeg Lim\*, Dae-Kyo Shin\*,  
Soo-Hyun Jang\*, Jun-Hyek Jang\*, Byoung-Man An\*★

### Abstract

This article describes the 5G-NR-V2X system and its communication performance methodology. We present a system that can develop and verify the performance of self-driving services in a real road test environment using OBU and RSU for 5G-NR-V2X communication (level 4 or higher). This system ensures ultra-high speed (150Mbps or more), ultra-low latency (3ms or less), and high reliability (99.99 percent) in communication robustness, even under malicious conditions. The 5G-NR-V2X system and performance analysis method proposed in this paper are anticipated to aid in the development of V2X communication technologies that are ultrafast, ultralow-delay, and high-confidence. In addition, it is expected that the services validated by the suggested performance analysis technique will enhance technological competitiveness in the road, transportation, logistics, and commerce industries.

### 요 약

본 논문에서는 5G-NR-V2X 시스템과 그 통신 성능 분석 방법론에 관해 설명한다. 자율 주행 서비스(레벨 4 이상)를 개발하고 성능을 검증할 수 있는 시스템을 제시하며, OBU 및 RSU를 사용한 실제 도로 시험 환경에서 5G-NR-V2X 통신을 통해 성능을 검증한다. 이 시스템은 초고속(150Mbps 이상), 초저지연(3ms 이하), 높은 신뢰성(99.99% 이상)을 만족시키며, 악의적인 조건에서도 통신 견고성을 유지한다. 본 논문에서 제안하는 5G-NR-V2X 시스템 및 성능 분석 방법은 초고속, 초저지연, 고신뢰의 V2X 통신 기술 개발에 기여할 것으로 기대된다. 또한, 제안된 성능 분석 기법을 통해 검증된 서비스는 도로, 교통, 물류 및 상업 산업에서 기술 경쟁력을 강화할 것으로 예상된다.

*Key words* : 5G-NR-V2X, Autonomous Driving, Performance Verification, Next-generation Vehicle Communication, OBU, RSU

\* Intelligent Information R&D Division Mobility Platform Research Center Korea Electronics Technology Institute, Seongnam, South Korea

★ Corresponding author

E-mail : bman@keti.re.kr, Tel : +82-31-739-7463

※ Acknowledgment

This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2021-0-01140, Development of ultra high-speed V2X communication-based autonomous driving service technologies).

Manuscript received Aug. 7, 2024; revised Aug. 26, 2024; accepted Sep. 9, 2024.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

자동차는 현대 사회에서 중요한 교통수단으로, 편리함을 제공할 수 있지만 동시에 안전에 대한 문제를 초래할 수 있다. 사물인터넷(IoT)의 발전으로 차량-사물 간 통신(V2X)이 등장하였으며, 이는 On Board Unit(OBU), Road Side Unit(RSU) 및 기타 장치를 통해 차량, 교통 인프라, 보행자 및 클라우드 플랫폼을 연결하여 도로 안전을 증진하는 것을 목표로 한다[1]-[5]. V2X는 무선 통신 및 지능형 처리 기술을 통해 정보를 공유하고 글로벌 관점에서 운전에 대한 해결책을 제공한다. 지능형 의사결정 및 차량 제어는 교통 혼잡을 줄이고 도로 안전을 향상하는 데 기여할 수 있다. V2X 요구 사항 및 도로 안전에 대한 우려에 대응하여, 차량은 방대한 양의 데이터를 생성한다[6]. 이러한 데이터는 V2X 통신의 기본이자 핵심이며, 미래의 자율 주행 차량에 중요한 운전 세부 사항을 포함하고 있다. 또한, 다수의 정확한 V2X 메시지는 차량의 안전을 보장할 수 있다. 그러나 오류 메시지가 의도적이든 비의도적이든 전송될 경우, 다른 운전자들에게 혼란을 일으킬 수 있으며, 심각한 사고로 이어질 가능성도 있다. 따라서 V2X 통신에서 데이터 진위성 연구는 실질적인 중요성을 가진다.

전 세계 표준의 현재 상태는 다음과 같다. 2017년 3월, The 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project(3GPP)는 Long Term Evolution(LTE) 차량 통신(Rel. 14)에 대한 표준화를 완료하여, LTE 기술을 통해 지연 시간을 줄이고 차량 간 직접 통신을 가능하게 하여 차량 통신의 확산을 위한 기반을 마련했다. 7월에는 5G-NR-V2X(Rel. 16) 표준이 발표되었으며, 5G-NR-V2X는 초저지연, 대용량, 높은 신뢰성을 가진 차세대 통신 기술이다[7]. 제 4차 산업 혁명을 실현하기 위해 필요한 새로운 서비스들은 3GPP Release-17과 기존의 5G 고급 표준에 의해 지원된다. 이러한 표준은 상업화로 인해 발생할 수 있는 요구 사항을 고려하고 있다[8][9].

최근 몇 년 동안, 5G Automotive Association(5GAA)는 여러 V2X 사용 사례에 대한 설명과 사양을 작성하고 그룹에서 여러 새로운 혁신적 사용 사례를 정의했다. 표준과 관련하여, 3GPP는 현재 Release-19를 개발 중이며, Release-17은 2023년 말 개발 완료되어 새로운 V2X 향상이 포함될 예정이다. 지역 표준 개발 조직(e.g. ETSI, SAE International, NTCAS, C-SAE, ARIB, etc.)은 상위 계층을 표준화하고 있으며, 그룹 출발과 같은 새로운 고급 응용 사례에 대한 프로파일 및 프로토콜

연구가 추가로 필요하다. ISO 하에서는 Automated Valet Parking(AVP)을 위한 표준화 작업이 유럽과 국제적으로 시작되었다. 지속적인 글로벌 표준화 노력과 3GPP 5G-V2X release를 통해 위치 지정, 전력 소비 및 다중 액세스 엣지 컴퓨팅과 같은 기술적 지원이 개선되어, 연결 지원 및 협력 운전 서비스를 더욱 효과적으로 제공할 수 있게 되었다. 소프트웨어의 복잡성에 대한 이해도가 높아지고 생태계 내 협력의 필요성이 강조됨에 따라, 로드맵의 업데이트에도 영향을 미쳤다. 네트워크 기반 해결책은 Vulnerable Road User(VRU)에 대한 인식 향상을 위한 하나의 방안으로 고려될 수 있으며, 특정 안전 기능 및 고급 자율 주행 사용 사례(e.g. 그룹 출발, 협력적 조작)의 배포에는 더 많은 시간이 소요될 것으로 예상된다[10][11].

- 안전성 : 긴급 제동, 교차로 관리, 충돌 경고, 차선 변경 등 차량 및 운전자 안전을 위한 기능은 자율 주행 차량 및 운전자 지원 시스템에도 동일하게 적용된다.
- 자율 주행 : 자율 주행 차량의 레벨 4와 5에 관한 그룹의 사용 사례는 자율 주행이 허용되는 조건, 제어, 원격 운전, 동적 지도 작성, 그리고 차량 간 협력적 상호작용이 효율적이고 안전하게 이루어져야 함을 보여준다.
- 군집 주행 : 교통 회사와 도로 운영자/도로 교통 당국은 도로 인프라를 더욱 효율적으로 활용하고 배출 감소와 같은 환경적 이점을 제공하는 군집 주행 관리와 군집 주행 안정성 등의 사용 사례를 정의하였다.

본 논문은 5G-NR-V2X 통신 기술을 개발하고, 3GPP Release-16 규격에 따라 sidelink IP(Intellectual Property), 통신 모듈, 통신 OBU 및 RSU를 개발하여 5G-NR-V2X 시스템 및 통신 성능을 분석하는 방법을 제시하였다.

이 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성되어 있다. 본문에서는 우선 5G-NR-V2X 아키텍처의 현재 연구 상태와 상업적으로 이용할 수 있는 접근 방식을 서술한다. 이어서 차량과 인프라를 연결하는 해결책의 메시지 형식을 제안하고, 몇 가지 실질적인 세부 사항을 제공하며, 이러한 장치 간의 자원 공유로부터 얻을 수 있는 데이터 구조의 예를 논의한다. 그 후 5G-NR-V2X의 통신 성능을 분석하는 방법론을 제시한다. 마지막으로, 제안된 방법과 관련된 구현상의 어려움을 논의하며 논문을 마무리한다.

## II. 본론

### 1. 5G-NR-V2X 시스템의 개요

가. 5G-NR-V2X 시스템의 연결된 장치 구조

이 절에서는 V2X 차량 장치와 인프라 간의 시스템 절차 상호작용 및 데이터 교환을 촉진하는 잠재적 방법들을 탐구한다. 우리의 목표는 V2X 장치 공급업체가 제공하는 V2X 스택 및 Software Development Kits(SDK)의 모든 기능을 유지하면서 원활한 연결성을 구축하는 것이며, 국제 표준에 명시된 안전 특성을 준수하는 것이다. 기본적인 V2X 통신 장비의 구성 요소는 다음과 같다.

- OBU : 차량에 장착된 송수신기로, 차량으로부터 데이터를 수집하고 실시간으로 다른 연결된 차량이나 RSU로 전송한다.
- RSU : 도로에 설치된 고정 통신 노드로, 지나가는 차량의 OBU와 데이터를 교환하고 그 데이터를 중앙 기지로 전달할 수 있다.
- 제어 유닛 : 제어 센터와 RSU 간의 연결 장치이다. RSU의 특성상 안테나와 함께 전봇대의 가장 높은 부분에 부착될 가능성이 높다. 따라서 RSU를 위한 지상 제어 장치 역할을 한다. 이 장비는 상황에 따라 존재 여부가 달라질 수 있다.
- SDK : V2X 장비와 애플리케이션을 연결하고 장비

제어, 데이터 송수신, 모뎀 IP의 통신 상태를 지원할 수 있는 소프트웨어이다.

- 애플리케이션 서비스 : 군집 주행 서비스, 센서 공유 서비스, 원격 운전 서비스, 고급 운전 서비스 등 다양한 상황에 대응할 수 있는 소프트웨어이다.

5G-NR-V2X 시스템의 연결된 장치 구조(OBU, RSU 및 제어 유닛)는 그림 1에 나타나 있다.

나. 5G-NR-V2X 시스템의 프레임워크

이 절에서는 5G-NR-V2X 통신 기술의 아키텍처를 위해 고려된 참조 프레임워크를 설명한다. 그림 2는 5G-NR-V2X 프레임워크 아키텍처의 개요를 보여준다. 제안된 프레임워크는 주로 세 개의 시스템으로, 애플리케이션 시스템, OBU/RSU 시스템, 5G-NR-V2X 모뎀 IP 시스템으로 구성된다.

애플리케이션 시스템은 총 5개의 계층으로 구성된다. 애플리케이션 계층은 Command Line Interface(CLI) 기반 서비스로 실시간 기초 단위 테스트와 디버깅을 제공하며, Graphical User Interface(GUI) 기반 애플리케이션 서비스로 실시간 그래픽 결과 표시를 제공한다. 임베디드 시스템의 고유 특성상, CLI는 미래의 상업화를 가속하기 위해 C/C++을 사용하여 구현하는 것을 권장한다[12]. 서비스 계층은 시나리오의 도메인이다. 그림 2

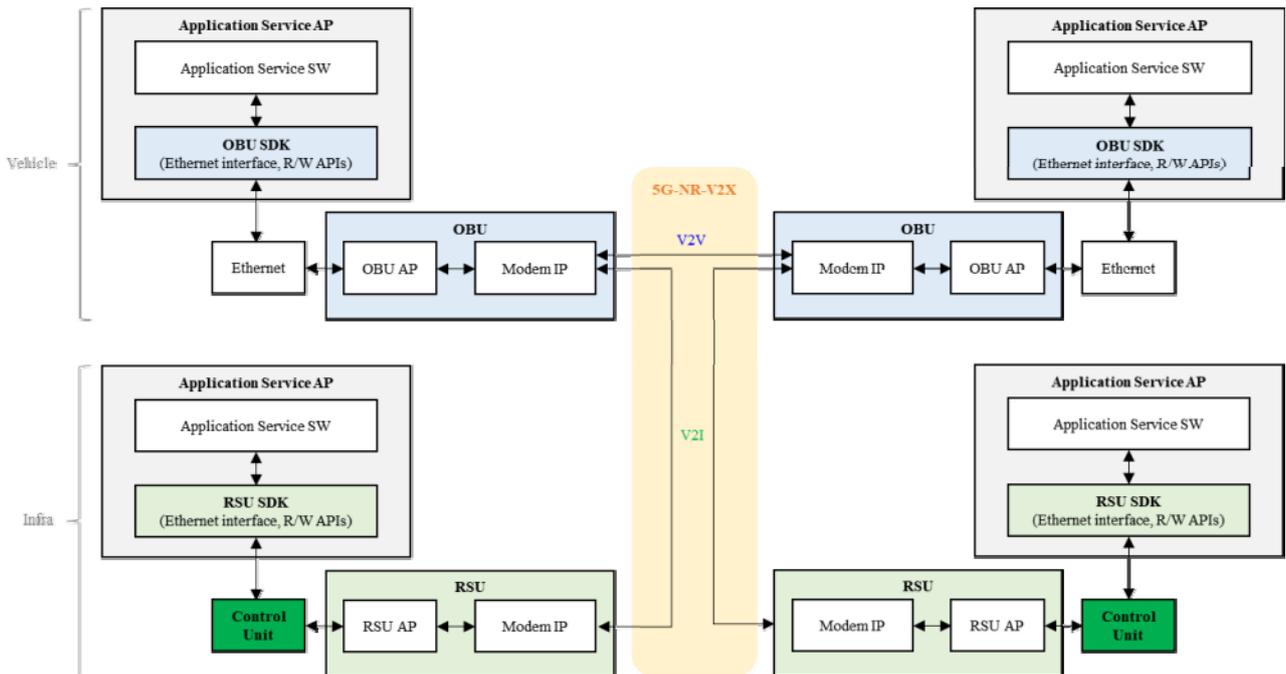


Fig. 1. A connected device structure of 5G-NR-V2X system (OBUs, RSUs, and control units).

그림 1. 5G-NR-V2X 시스템의 연결된 장치 구조 (OBU, RSU 및 제어 유닛)

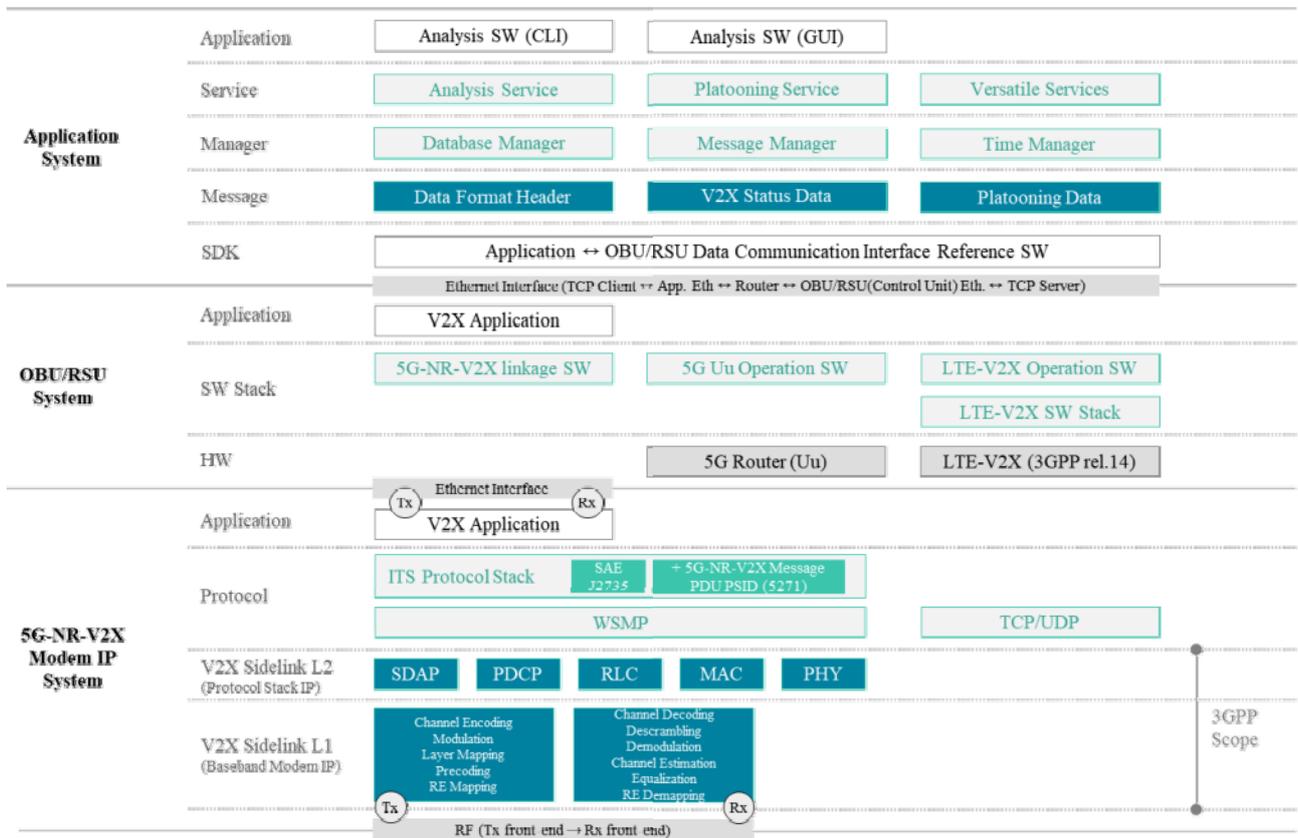


Fig. 2. The overview of the 5G-NR-V2X framework architecture.  
 그림 2. 5G-NR-V2X 프레임워크 아키텍처의 개요

에 나타난 서비스 계층과 같이 다양한 서비스가 추가될 수 있으며, 군집 주행 및 분석 서비스가 그 예이다. 애플리케이션 서비스의 요구 사항을 충족시키기 위해 메시지 계층은 V2X 메시지 데이터를 패킷화한다. SDK 계층은 앞서 설명한 내용에 해당한다.

OBU/RSU 시스템은 애플리케이션 계층, 소프트웨어 스택 계층, 하드웨어 계층을 포함한다. 애플리케이션 계층은 장치의 하드웨어를 제어하고 애플리케이션 서비스의 Application Processor(AP)와의 통신을 관리한다. SW 스택 계층은 5G-NR-V2X 연계 소프트웨어와 5G Uu 운영 소프트웨어로 구성된다. 또한, Modem IP에서 지원되거나 별도의 LTE Modem IP로 구성된 경우를 위해 LTE-V2X 운영 SW와 LTE-V2X SW 스택이 하위 호환성을 제공한다. 하드웨어는 OBU/RSU 장치 내에서 5G Uu 또는 LTE-V2X 모뎀으로 구성될 수 있으며, 장치를 외부에 연결할 수도 있다. 그림 2는 내부에 5G Uu 및 LTE-V2X 모뎀을 포함하고 외부에 5G-NR-V2X 모뎀 IP 시스템을 포함하는 구조를 나타낸다. Qualcomm, Autotalks, Ettifos는 현재 5G-NR-V2X 모뎀을 개발 중이며, 상업화 전에 출시된 순서대로 모뎀 IP를 이터넷으

로 연결하여 다양한 모뎀을 구현하는 것을 고려하였다.

5G-NR-V2X 모뎀 IP 시스템은 애플리케이션 계층, 프로토콜 계층, V2X sidelink L2 계층, V2X sidelink L1 계층으로 구성된다. 애플리케이션 계층은 장치의 회로를 제어하고 OBU/RSU 장치와의 통신을 처리한다. 프로토콜 계층은 5G-NR-V2X의 메시지 형식에 대해 논의하는 3장에서 자세히 다룰 것이다. V2X sidelink L2는 Service Data Adaptation Protocol(SDAP), Packet Data Convergence Protocol(PDCP), Radio Link Control(RLC), Medium Access Control(MAC), Physical(PHY) 계층으로 구성된 IP 계층 프로토콜 스택이다. IP baseband 모뎀은 V2X에서 L1 sidelink로 언급된다. V2X sidelink L1은 Tx 및 Rx 구성 요소로 되어있다. Channel encoding, descrambling, demodulation, channel estimation, equalization 및 RE demapping이 Rx에 포함된다. 이 논문은 해당 용어에 대한 자세한 정의는 제공하지 않으며, 관련 문서를 참조하기를 바란다[13].

다. 5G-NR-V2X의 메시지 포맷

이 절에서는 5G-NR-V2X 통신 기술의 평가를 위해

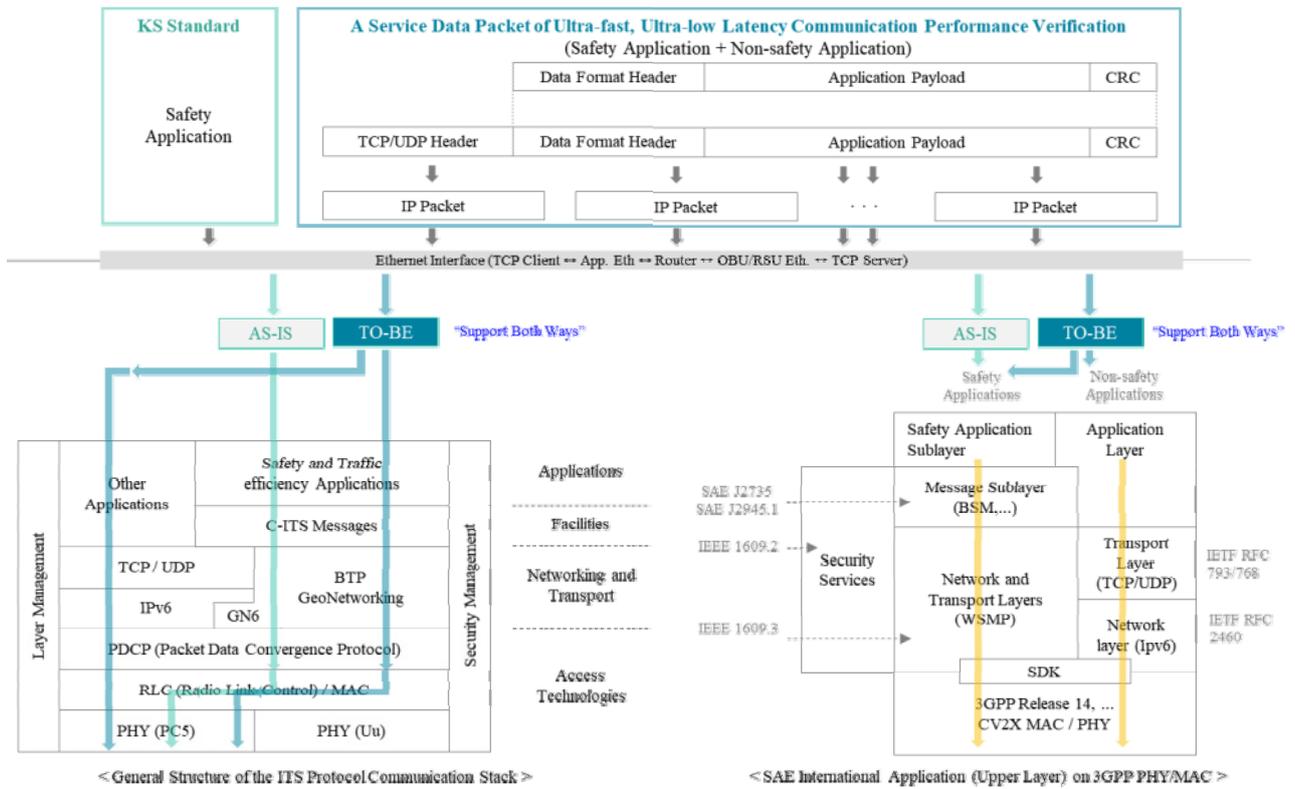


Fig. 3. A procedure of the verification of 5G-NR-V2X communication performance of connected vehicles employing message formats.

그림 3. 메시지 형식을 사용하는 연결된 차량의 5G-NR-V2X 통신 성능 검증 절차

고려된 참조 메시지 형식에 대해 설명한다. 이러한 대표적인 메시지 형식은 5G-NR-V2X 프레임워크에 채택된 안전 응용 프로그램과 비안전 응용 프로그램으로 크게 두 가지 범주로 분류된다. 메시지 형식은 V2X 장치 간 통신에서 중요한 역할을 한다. 유럽의 ITS-G5 표준과 미국의 DSRC 변형은 잘 설립된 기술로, 시뮬레이션과 수학적 평가, 유럽 및 전 세계의 여러 테스트 캠페인 및 파일럿 프로젝트를 통해 연구되고 분석되었다.

반면, Cellular-V2X(C-V2X) PC5는 LTE-V2X 및 5G-NR-V2X와 같은 현실적인 상황에서 아직 충분히 평가되지 않은 새로운 기술이다. 그림 3은 안전 응용 프

그림과 비안전 응용 프로그램에 대한 메시지 형식을 사용하는 연결된 차량의 5G-NR-V2X 통신 성능 검증 절차를 설명하는 현실적인 상황을 보여준다.

다양한 메시지 형식의 이점을 얻기 위해, KR 표준과 제안된 메시지 형식 모두 5.9 GHz ITS 대역의 동일한 채널에서 동시에 전송되도록 구성되었다.

Table 1. A Suggested Message Format of 5G-NR-V2X.

표 1. 5G-NR-V2X의 제안된 메시지 형식

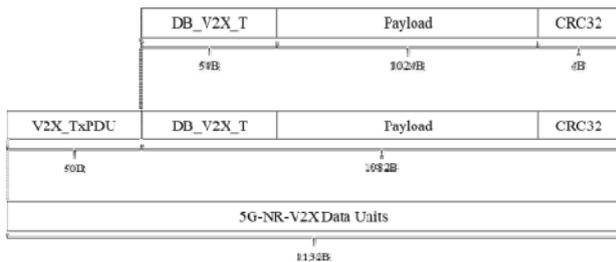


Fig. 4. A packetization of 5G-NR-V2X message for safety applications.

그림 4. 안전 응용을 위한 5G-NR V2X 메시지의 패킷화

Bit Offset	
0	1
2	3
4	5
6	7
8	9
10	11
12	13
14	15
16	17
18	19
20	21
22	23
24	25
26	27
28	29
30	31
DB_V2X_DEVICE_TYPE_E eDeviceType	
DB_V2X_TELECOMMUNICATION_TYPE_E eTeleCommType	
ulDevicId (32bits)	
ulTimeStamP (64bits)	
DB_V2X_SERVICE_ID_E eServiceId	DB_V2X_ACTION_TYPE_E eActionType
DB_V2X_REGION_ID_E eRegionId	DB_V2X_PAYLOAD_TYPE_E ePayloadType
DB_V2X_COMMUNICATION_ID_E eCommId	usDbVer (16bits)
usHwVer (16bits)	usSwVer (16bits)
ulPayloadLength (32bits)	
Reserved (32bits)	
Payload (Data)	
ulPacketCrc32	

(1) 안전 애플리케이션을 위한 한국 표준

안전 응용 프로그램을 위한 메시지 형식은 수년간 국제 표준화 기구인 Surface Vehicle Standard(SAE)에서 표준화되어 왔다. SAE J2735는 V2X 통신 메시지를 정의한다[14]. SAE J2945는 V2V 안전 통신을 위한 온보드 시스템 요구 사항을 설명한다[15]. SAE J3224는 협력 및 자동 운전을 위한 V2X 센서 공유를 설명한다[16]. SAE 표준에서 명시되지 않은 부분에 대해서는, 한국 표준이 한국 ITS 환경에 맞추어 추가로 표준화를 정의한다. KS R 1600-1은 개념적 V2X 시나리오를 명시한다[17]. KS R 1600-2는 차량을 위한 기본적인 안전 메시지를 설명한다[18]. 2024년까지 한국 정부는 교통 신호 및 지도 메시지(KS R 1600-3), 제어 메시지(KS R 1600-4), 운전 환경 메시지(KS R 1600-5), 보행자 안전 메시지(KS R 1600-6), 충돌 위험 메시지(KS R 1600-7)를 2025년에 출시할 표준으로 정립할 예정이다. SAE를 기반으로 한국 표준화가 이루어졌기 때문에, 기존의 ASN.1이 사용되며 Basic Safety Message(BSM)와 Probe Vehicle Data(PVD)와 같은 개념이 그대로 도입되어 큰 변경 없이 ITS 산업에서 사용될 수 있다. 그러나 이 기술은 C-V2X가 지원할 수 있는 다양성을 고려하지 않았기 때문에 사용자 관점에서 제한이 있다.

(2) 안전 응용 프로그램과 비안전 응용 프로그램을 위한 초고속, 초저지연 통신 성능 검증의 권장 메시지 형식

이 절에서는 안전 응용 프로그램과 비안전 응용 프로그램을 위한 초고속, 초저지연 통신 성능 검증의 권장 메시지 형식을 설명한다. 권장 형식을 통해 군집 주행 서비스, 센서 공유 서비스, 원격 운전 서비스, 고급 운전 서비스와 같은 특정 시나리오를 검증할 수 있다. 표준 메시지 형식의 한계는 개발을 불편하게 할 뿐만 아니라 응용 프로그램 사용자와 Software Defined Vehicle(SDV)에 심각한 제한을 초래한다.

제안된 5G-NR-V2X 메시지 형식은 이러한 문제를 해결하기 위한 가이드라인을 제공한다. 제안된 방법은 자동차 미들웨어를 위한 해결책으로 사용될 수 있는 확장 가능한 Scalable service-Oriented MiddlewarE over IP(SOME/IP) 특성을 참고하여 고안되었다.

이는 다양한 크기와 운영 체제의 장치에 맞게 처음부터 설계되었으며, 카메라와 AUTOSAR 장치 같은 소형 장치뿐만 아니라 헤드 유닛과 통신 장치도 포함된다. 또한, SOME/IP는 차량의 다른 도메인뿐만 아니라 인포테인먼트 도메인의 기능도 지원하여, 대부분의 대체 상황뿐만 아니라 Controller Area Network(CAN) 상황에서도 사용될 수 있도록 설계되었다[19]. SOME/IP의 차량 내 특성을 고려하여, 이를 차량 외부의 V2X 통신 환

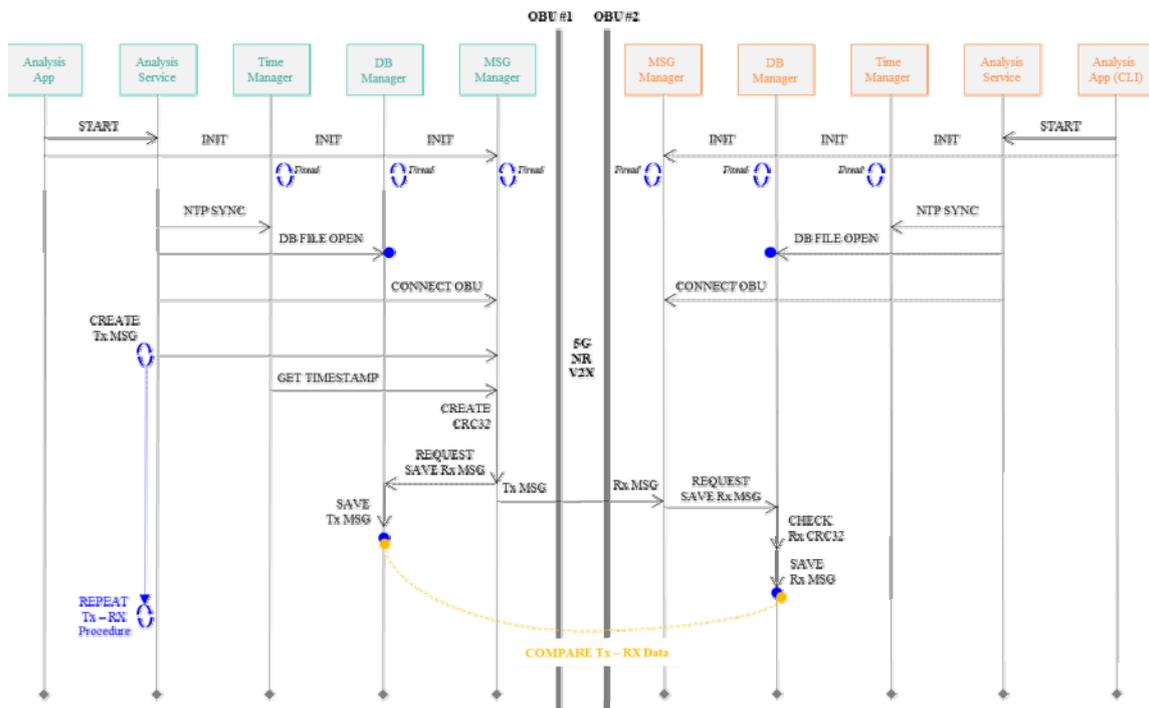
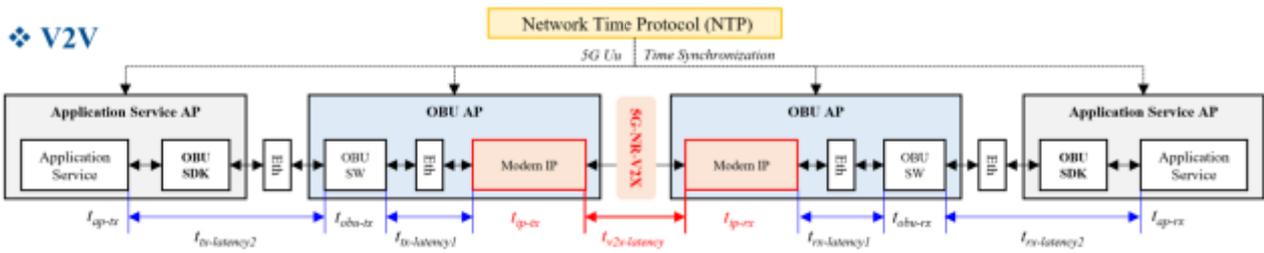


Fig. 5. A basic analysis procedure for Tx and Rx communication between V2X devices (OBUs).

그림 5. V2X 장치(OBU) 간의 송수신(Tx 및 Rx) 통신을 위한 기본 분석 절차



❖ Timestamp / Latency

Category	Sub-item	Content	Configuration Method	Remarks
Timestamp	$t_{ap-tx}$	• Timestamp when Extensible MSG is Tx (transmitted) by App Unit	Application Unit	Transmission MSG DB Storage (Tx side)
	$t_{obu-tx}$	• Timestamp when Tx (transmitted) by OBU comm. unit	OBU Comm. Unit	Required for detailed delay analysis between devices
	$t_{p-tx}$	• Timestamp when Tx (transmitted) by Proprietary chip / Commercial chip	Modem Unit	
	$t_{p-rx}$	• Timestamp when Rx (transmitted) by Proprietary chip / Commercial chip	Modem Unit	
	$t_{obu-rx}$	• Timestamp when Rx (transmitted) by OBU comm. unit	OBU Comm. Unit	Optional but expected to be necessary for detailed delay analysis between devices
	$t_{ap-rx}$	• Timestamp when Extensible MSG is Rx (received) by App Unit	Application Unit	Transmission MSG DB Storage (Rx side)
Latency	$t_{v2v-latency}$	• Verification point for the research project's quantitative goal of $t_{v2v-latency} \leq 3ms$		
	$t_{tx-latency1}$	• Tx (transmission) delay in communication between Proprietary chip / Commercial chip and OBU comm. unit		
	$t_{tx-latency2}$	• Tx (transmission) delay in communication between OBU comm. unit and application services	Application Unit	Calculation/Analysis/DB Storage in App
	$t_{rx-latency1}$	• Rx (transmission) delay in communication between Proprietary chip / Commercial chip and OBU comm. Unit		
	$t_{rx-latency2}$	• Rx (transmission) delay in communication between OBU comm. unit and application services		

Fig. 6. Overview of time synchronization methodology of 5G-NR-V2X system (V2V).

그림 6. 5G-NR-V2X 시스템의 시간 동기화 방법론 개요 (V2V)

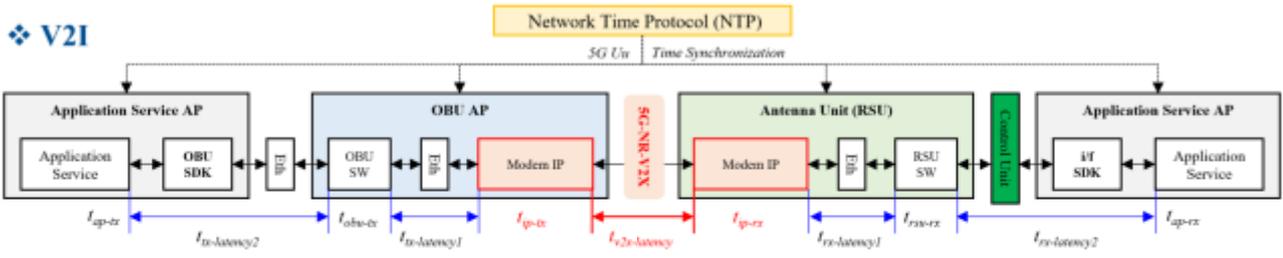
경에 통합하여 메시지 형식을 설계하였다. 메시지 형식의 자세한 내용은 표 1을 참조하고, 추가 정보는 KETI 깃허브 소스 코드 헤더를 참고하기를 바란다[20]. 안전 응용 프로그램을 위해 기존 SAE J2735를 사용하여 OBU AP에서 V2X\_TXPDU와 V2X\_RXPDU를 추가로 패킷화하여 기존 ITS 스택을 통해 전송할 수 있음이 확인되었다. V2X\_TXPDU와 V2X\_RXPDU를 제외한 나머지 항목은 TCP/IP 환경에서 DB\_V2X\_T, payload, crc32로 패킷화하여 전송할 수 있다.

따라서 이 형식은 안전 및 비안전 응용 프로그램 모두에 적용될 수 있으며, 다양한 응용 프로그램 서비스에서 원하는 형태로 DB\_V2X\_PAYLOAD\_TYPE\_E를 정의한 후 payload 구성을 하면 되기 때문에 확장성이 매우 뛰어나 것으로 예상된다.

라. 5G-NR-V2X 통신 성능의 분석 방법론

이 절에서는 5G-NR-V2X 성능시험장에서 다양한 V2X 서비스 시나리오를 평가하기 위해 따랐던 분석 방법론에 대한 개요를 제공한다. V2X 장치의 결과를 공정하게 비교하기 위해 주파수(5.965GHz), 대역폭(20MHz)으로 파라미터를 구성하였다. 일부 파라미터는 공개적으로 공유

할 수 없어서 자세한 정보는 논문 저자에게 문의하기를 바란다. V2X 장치 간 송신(Tx) 및 수신(Rx) 통신을 위한 기본 분석 절차는 그림 5에 나와 있다. 분석 애플리케이션은 검증 서비스를 시작하고 시간 관리자, 데이터베이스 관리자 및 메시지 관리자를 포함한 모든 기능을 초기화한다. 시스템 초기화 후 Network Time Protocol (NTP) 또는 GNSS 장치를 사용하여 시간을 동기화한 다음, DB 파일을 열고 OBU AP에 연결한다. 애플리케이션 AP와 OBU AP 간의 연결이 성공하면 5G-NR-V2X 통신을 시작할 수 있다. 결과의 재현성을 평가하고 확인하기 위해 각 테스트는 동일한 파라미터로 여러 번 반복되었다. 그림 6과 그림 7에서 보이는 바와 같이, NTP는 모든 RSU 및 OBU가 GNSS 장치와 시간을 동기화하는데 사용된다. 사용된 GNSS 장치의 사양에 따르면 1ms의 시간 정밀도를 제공한다. 그러나 때때로 몇 밀리초 정도 정확도가 떨어질 수 있음을 관찰했지만, 그림 6, 그림 7에서도 확인할 수 있듯이 두 기술 모두 동일한 시계를 사용하여 동시에 전송하므로 GNSS 동기화의 변동이 성능 평가에 미치는 영향은 미미하다고 판단한다. OBU와 RSU는 모두 송수신된 메시지를 로컬에 기록한다. 테스트가 종료되면 중앙 로깅 서버는 모든 OBU와 RSU에서



❖ Timestamp / Latency

Category	Sub-item	Content	Configuration Method	Remarks
Timestamp	$t_{ap-tr}$	Timestamp when Extensible MSG is Tx (transmitted) by App Unit	Application Unit	Transmission MSG DB Storage (Tx side)
	$t_{obu-tr}$	Timestamp when Tx (transmitted) by OBU comm. unit	OBU Comm. Unit	Required for detailed delay analysis between devices
	$t_{p-tr}$	Timestamp when Tx (transmitted) by Proprietary chip / Commercial chip	Modem Unit	
	$t_{p-rx}$	Timestamp when Rx (transmitted) by Proprietary chip / Commercial chip	Modem Unit	
	$t_{rx-rx}$	Timestamp when Rx (transmitted) by RSU comm. unit	RSU Comm. Unit	Optional but expected to be necessary for detailed delay analysis between devices
	$t_{ap-rx}$	Timestamp when Extensible MSG is Rx (received) by App Unit	Application Unit	Transmission MSG DB Storage (Rx side)
Latency	$t_{r2-latency}$	Verification point for the research project's quantitative goal of $t_{r2-latency} \leq 3ms$		
	$t_{tx-latency1}$	Tx (transmission) delay in communication between Proprietary chip / Commercial chip and OBU comm. unit		
	$t_{tx-latency2}$	Tx (transmission) delay in communication between OBU comm. unit and application services	Application Unit	Calculation/Analysis/DB Storage in App
	$t_{rx-latency1}$	Rx (transmission) delay in communication between Proprietary chip / Commercial chip and OBU comm. Unit		
	$t_{rx-latency2}$	Rx (transmission) delay in communication between OBU comm. unit and application services		

Fig. 7. Overview of time synchronization methodology of 5G-NR-V2X system (V2I).

그림 7. 5G-NR-V2X 시스템의 시간 동기화 방법론 개요 (V2I)

로컬로 기록된 모든 데이터를 수집한다. 그런 다음 중앙 데이터베이스에 제출된다. 데이터가 데이터베이스에 삽입된 후, 후처리 도구를 사용하여 5G-NR-V2X 통신 성능을 분석할 수 있다. 해당 기능의 구현은 오픈 소프트웨어로 구현되어 있으며, ATHENA SW를 참고하면 된다 [22]. DB는 해당 SW에 의해 자동으로 업로드될 수 있도록 DB Manager에 구현이 되어 있으며, 통신 성능 검증으로 축적된 DB 파일은 오픈 DB로 제공되어 활용할 수 있다[23]. DB 파일을 확인하면 표 2에서와 같이 5G-NR-

V2X의 통신 성능 검증 결과를 확인할 수 있으며, 이는 거리와 MCS Index에 따른 PDR 값을 나타낸다. 그림 6과 그림 7에 등장하는 Proprietary Chip은 현재 과학 기술정보통신부의 지원을 받아 개발 중이며, 추후 공개할 예정이다. Commercial Chip은 Autotalks 칩을 사용하고 있으며, Qualcomm의 칩은 과제 초기 비용 문제로 도입하기 어려운 상황이다. Timestamp는 처리 과정에서 일부 자릿수가 제거된 형태로 저장되지만, 3ms 성능 목표 달성을 확인하기 위해 가능한 최대 자릿수로 표기하여 저장된다.

그림 6은 V2V 통신을 나타내며, Timestamp의 Rx는 OBU AP에서 이루어진다. 그림 7은 V2I 통신을 나타내며, 5G-NR-V2X 통신 이후 데이터가 Antenna Unit (RSU)을 통해 수신되고, 이후 Interface SDK(i/f SDK)가 데이터를 처리하여 Application Service로 전달되는 과정을 보여준다.

Table 2. Results of 5G-NR-V2X Communication Performance Verification.

표 2. 5G-NR-V2X 통신 성능 검증 결과

Distance (m)	100		250		500		750		1,000	
	OBU #1	OBU #2								
Table	QAM64									
MCS Index	16 QAM16	16 QAM16	16 QAM16	16 QAM16	10 QAM16					
PDR (%)	99.03	99.17	99.94	100	99.63	99.9	99.96	100	99.78	99.96
PER (%)	0.97	0.83	0.06	0	0.37	0.1	0.04	0	0.22	0.04

III. 결론

향후 수십 년 내에 자율 주행 기능을 갖춘 자동차가 도로에서 표준이 될 것으로 예상된다. 이 논문에서는 5G-

NR-V2X 시스템의 통신 성능 기법을 개요로 설명하였다. 우리는 실제 도로 테스트 환경에서 자율 주행 서비스의 성능을 생성하고 검증하기 위해 5G-NR-V2X 통신을 위한 OBU와 RSU를 사용할 수 있는 시스템을 소개하였다. 제안된 성능 분석 방법을 통해 서비스의 검증은 교통, 물류 및 비즈니스 분야에서 기술 경쟁력을 향상할 것으로 생각된다. 향후 우리는 5.9 GHz ITS 대역의 동일 채널에서 V2X 기술이 공존하는 동안 이를 평가하여 한 단계 더 나아가고자 한다. 이 연구를 통해 스펙트럼 점유율, 패킷 손실, 지연 시간 등 여러 요인이 다양한 기술의 성능에 미치는 영향을 조사할 수 있다. 그 결과, 실제 상황에서 상호 간섭 문제를 분석하고, 이러한 상호작용 조건에서 기술이 어떻게 작동하는지에 대한 통찰력을 얻을 수 있을 것이다.

## References

- [1] L. Zhao, et al., "A Social Computing Inspired Predictive Routing Scheme for Softwarized Vehicular Networks," *IEEE T-ITS*, vol.23, no.7, pp. 9466-9477, 2022.  
DOI: 10.1109/TITS.2021.3122438
- [2] S. Chen et al., "V2X services supported by LTE based systems and 5G," *IEEE Commun. Standards Mag.*, vol.1, no.2, pp.70-76, 2017.  
DOI: 10.1109/MCOMSTD.2017.1700015
- [3] S. Chen, J. Hu, Y. Shi, L. Zhao, and W. Li, "A vision of C-V2X: Technologies, field testing, and challenges with chinese development," *IEEE Internet Things J.*, vol.7, no.5, pp.3872-3881, 2020.  
DOI: 10.1109/JIOT.2020.2974823
- [4] P. Liu, Y. Zhang, T. Fu, and J. Hu, "Intelligent mobile edge caching for popular contents in vehicular cloud toward 6G," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol.70, no.6, pp.5265-5274, 2021.  
DOI: 10.1109/TVT.2021.3076304
- [5] A. F. Magnussen, N. Le, L. Hu, and W. E. Wong, "A survey of the inadequacies in traffic sign recognition systems for autonomous vehicles," *Int. J. Performability Eng.*, vol.16, no.10, 2020.  
DOI: 10.23940/ijpe.20.10.p10.15881597
- [6] C. Prehofer and S. Mehmood, "Big data architectures for vehicle dataanalysis," in *Proc. IEEE Int. Conf. Big Data*, 2020.  
DOI: 10.1109/BigData50022.2020.9378397
- [7] ETSI TS 122 186, "5G; Service requirements for enhanced V2X scenarios (3GPP TS 22.186 version 16.2.0 Release 16)," Nov. 2020.
- [8] ETSI TS 122 186, "5G; Service requirements for enhanced V2X scenarios (3GPP TS 22.186 version 17.0.0 Release 17)," Apr. 2022.
- [9] ETSI TS 122 261, "5G; Service requirements for the 5G system (3GPP TS 22.261 version 17.11.0 Release 17), Oct. 2022.
- [10] 5GAA (5G Automotive Association), "A Visionary Roadmap for Advanced Driving Use Cases, Connectivity Technologies, and Radio Spectrum Needs", Nov. 2022.
- [11] Qualcomm Research, "3GPP Rel. 17: To bring new system capabilities and expand 5G to new devices, applications, and deployment Completing the first phase of the 5G evolution," Mar. 2022.
- [12] The Qt Company, "https://www.qt.io/," QT Software.
- [13] Ali Zaidi, Fredrik Athley, Jonas Medbo, Ulf Gustavsson, Giuseppe Durisi, Xiaoming Chen, *5G Physical Layer*, Academic Press, 2018.
- [14] SAE (Surface Vehicle Standard) International, "J2735, (R) V2X Communications Message Set Dictionary," Nov. 2022.
- [15] SAE (Surface Vehicle Standard) International, "J2945, On-Board System Requirements for V2V Safety Communications," Apr. 2020.
- [16] SAE (Surface Vehicle Standard) International, "J3224, V2X Sensor-Sharing for Cooperative and Automated Driving," Aug. 2022.
- [17] Korean Agency for Technology and Standards, "KS R 1600-1, V2X messages specification for cooperative automated driving systems - Part 1: Conceptual scenarios," Korean Industrial Standards, Jun. 2023.
- [18] Korean Agency for Technology and Standards, "KS R 1600-2, V2X messages specification for cooperative automated driving systems - Part 2: Basic vehicle safety messages," Korean Industrial Standards, Jun. 2023.

- [19] AUTOSAR, “(R22-11) SOME/IP Protocol Specification,” Nov. 2022.
- [20] V2X Data Format, “[https://github.com/KETI-A/v2x\\_data\\_format/](https://github.com/KETI-A/v2x_data_format/)”.
- [21] V. Maglogiannis, D. Naudts, S. Hadiwardoyo, D. van den Akker, J. Marquez-Barja and I. Moerman, “Experimental V2X Evaluation for C-V2X and ITS-G5 Technologies in a Real-Life Highway Environment,” *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol.19, no.2, pp.1521-1538, 2022. DOI: 10.1109/TNSM.2021.3129348
- [22] “ATHENA Framework Github”, <https://github.com/KETI-A/athena>, 2024.
- [23] “Open 5G-NR-V2X DB FTP”, <sftp://221.140.137.186>, 2022~2025.

---

## BIOGRAPHY

---

### Ji-Min Lee (Member)



2022 : BS degree in Statistics and Information Science, Dongduk Women's University.  
 2023~present : Researcher in Mobility Platform Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI).

### Jang-Seonghyun Jang (Member)



2006 : BS degree in electronic and computer engineering from Hanyang University.  
 2013 : Ph.D. degree in electronic and computer engineering from Hanyang University.

2013~2021 : Staff engineer in Modem Development Team, S.LSI, Samsung Electronics.  
 2021~present : Principal researcher in Mobility Platform Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI).

### Sang-hun Yoon (Member)



1998 : MS degree in electronic engineering from Hanyang University.  
 2008 : Ph.D. degree in electronic engineering from Hanyang University.

2012~2024 : Principal researcher in Mobility Platform Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI).

2024~present : Principal researcher in Mobility Platform Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI).

### Ki-Taeg Lim (Member)



1994 : BS degree in electronic engineering from Hanyang University.  
 1996 : MS degree in electronic engineering from Hanyang University.  
 2013 : Ph.D. Candidate in electronic and computer engineering from Hanyang University.

1996~2024 : Chief Researcher in Mobility Platform Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI).

2024~present : A is currently employed at KETI and is on a secondment to Korea Planning & Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT).

### Dae-Kyo Shin (Member)



1998 : BS degree in electronic engineering from ajou University.  
 2000 : MS degree in electronic engineering from ajou University.  
 2003~present : Principal Researcher in Mobility Platform Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI).

**Soo-Hyun Jang** (Member)

2009 : BS degree in Electronics Engineering from Korea Aerospace University.

2011 : MS degree in Electronics Engineering from Korea Aerospace University.

2015 : Ph.D. degree in Electronics Engineering from Korea Aerospace University.

2015~present : Principal researcher in Mobility Platform Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI).

**Jun-Hyek Jang** (Member)

2018 : BS degree in electronic engineering from Columbia University.

2019 : MS degree in electronic engineering from Columbia University.

2022~present : Senior Researcher in Mobility Platform Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI).

**Byoung-Man An** (Member)

2010 : BS degree in Electronics & Electrical Engineering from Dankook University.

2012 : MS degree in Electronics & Electrical Engineering from Dankook University.

2021 : Ph.D. degree in Electronics & Electrical Engineering from Dankook University.

2012~2018 : Software Center, Humax.

2018~2019 : Software Center, Yura Cooperation.

2019~2020 : Software Center, Humax.

2020~2022 : Software Center, Hanwha Techwin.

2022~present : Principal researcher in Mobility Platform Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI).