

<응용논문>

자율주행차량 운행정보 기록을 위한 통합형 V2X 통신 데이터 수집에 관한 연구

김지훈¹⁾ · 김태원¹⁾ · 김우식¹⁾ · 이동환¹⁾ · 김태림¹⁾ · 권성진^{*2)}

한국자동차연구원 차량안전연구센터¹⁾ · 영남대학교 미래자동차공학과²⁾

A Study on the Integrated V2X Communication Data Collection for Data Storage System of Automated Driving

Jihun Kim¹⁾ · Taewon Kim¹⁾ · Woosik Kim¹⁾ · Dong-Whan Lee¹⁾ · Tae-Lim Kim¹⁾ · Seong-Jin Kwon^{*2)}

¹⁾Vehicle Safety R&D Center, Korea Automotive Technology Institute, 201 Gukgasandanse-ro, Guji-myeon, Dalseong-gun, Daegu 43011, Korea

²⁾Department of Automotive Engineering, Yeungnam University, Gyeongbuk 38541, Korea

(Received 6 October 2023 / Revised 1 November 2023 / Accepted 9 November 2023)

Abstract : As autonomous vehicles and connected car technologies advance, the types of data that must be collected from or provided by vehicles have been expanding. An IVN(In-Vehicle Network) or V2X(Vehicle to Everything) communication system shares vehicle data internally and externally. The acceleration of automobile software development increases the safety and convenience of automobiles by sharing various vehicle data with surrounding vehicles, roadside devices, and control centers. This paper proposes a vehicle data collection structure that transmits or receives vehicle data generated from autonomous vehicles or connected cars to roadside base stations and control centers that receive vehicle communication. In particular, the time delay is analyzed through V2X data collection experiments for several V2X communication methods. The results were compared to the time delay performance between autonomous vehicles and the control center for each communication method in an urban environment. By utilizing the V2X-based vehicle data collection structure proposed in this paper, we expect to expand into advanced autonomous driving technologies, such as remote control, big data analysis, and accident record analysis that improve the safety standards and convenience offered by autonomous vehicles and connected cars.

Key words : V2X communication(V2X 통신), Autonomous driving(자율주행), Cooperative intelligent transport system(협력형 지능형 교통시스템), Software defined vehicle(소프트웨어 정의 차량), Data storage system of automated driving(자율주행정보 기록장치)

1. 서론

최근 미래 자동차 산업은 기후변화에 대응한 친환경차와 사용자 편의성을 도모한 자율주행차를 중심으로 빠르게 성장하고 있다. 특히 미래형 자동차의 기술 개발은 첨단 운전자 보조 시스템, 커넥티드, 인포테인먼트 등과 같은 소프트웨어 중심의 기술로 집중되고 있다. 소프트웨어 중심의 자동차는 SDV(Software Defined Vehicle)의 개념으로 기존 자동차의 복잡한 하드웨어 기능을 소프트웨어로 최적화하고 소프트웨어 업데이트 등을 통해

지속적으로 기능 추가 및 개선 가능하다는 장점이 있다.¹⁾ 자동차의 소프트웨어 기능 가속화와 동시에 주변 환경 간의 정보교환 등 통신 및 연결 기능을 갖춘 차량 시스템에 관한 연구들도 계속되고 있다.²⁻⁴⁾ 특히 V2X(Vehicle to Everything) 통신이라는 이름으로 차량과 차량, 차량과 인프라(Infrastructure), 차량과 사람 간 통신 등 차량을 다른 장치와 연결하여 사용자의 편의성을 높이고 차량의 안전성을 확보하고자 하는 노력이 계속되고 있다.⁵⁾ 미래 자동차는 높은 수준의 자율주행 기술을 제공하면서 동

*Corresponding author, E-mail: sjkwon@yu.ac.kr

¹⁾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.

시에 안정성과 연결성이 보장되어야 한다. 이러한 요구 조건을 충족하기 위해 차량 통신 기술은 필수 요소 기술로 활용되고 있다. 자율주행차는 카메라, 레이더, 라이다 등 다양한 센서들에 의존하여 동작한다. 이러한 센서들은 지형, 날씨, 환경 등의 조건에 따라 정확한 정보를 수집하는 데 한계가 존재한다.⁶⁾ 이러한 센서류의 한계 등을 보완하기 위해 차량 통신을 활용한 차량 및 도로 인프라의 환경 정보를 수집하거나 제공하는 협동형 지능형 교통 시스템(Cooperative intelligent transport system, C-ITS)이 대표적인 응용 사례이다.⁷⁾

협동형 지능형 교통 시스템은 차량과 도로 인프라 간의 정보를 주변 차량 또는 인프라 등에 협력적으로 공유한다. 이러한 협력적 구조를 통해 도로 위 안전사고를 줄이거나 주행 전략의 변화, 도로 인프라 발전을 지원하게 된다. C-ITS 플랫폼을 활용하여 도로 교통안전을 제공하기 위해서는 차량 내 네트워크 통신, 차량과 인프라 간 통신, 차량과 차량 간 통신 등의 무선 통신 기술이 필요하다. 차량 내 네트워크 통신은 CAN(Controller Area Network), Ethernet 등의 프로토콜이 주로 사용된다. 차량과 외부로 통신하는 V2X 통신은 근거리 전용 통신(DSRC), 장거리 셀룰러 통신(C-V2X) 등을 활용한 정보 교환을 위한 협력설비를 활용한다. 이러한 차량 통신 기술은 차량 통신 전용 메시지를 사용해 도로 안전 서비스 및 애플리케이션을 제공한다. 차량 통신 메시지에는 ETSI(European Telecommunications Standards Institute)가 지정한 CAM(Cooperative Awareness Message)과 SAE(Society of Automotive Engineers)가 지정한 BSM(Basic Safety Message)이 대표적이다.⁸⁾ 차량 간에 교환되는 메시지에는 차량의 속도, 방향, 위치 등에 대한 정보가 포함된다. 최근에는 자동차의 전자 제어 장치 등의 수가 증가함에 따라 차량으로부터 수집 가능한 정보들의 수가 증가하였다. 이러한 정보를 활용한 대표적 사례가 사고 기록 장치(Event Data Recorder, EDR)이다. 사고기록 장치는 자동차의 사고가 발생 한 시점에서 전후 일정 시간 동안 엔진 회전수, 스로틀 열림 정도, 제동 페달 작동 여부, 가속 페달 위치, ABS(Anti-lock Brake System) 작동 여부, ESC(Electronic Stability Control) 작동 여부, 조향 핸들 각도 등의 정보를 저장한다. 저장된 데이터는 차량 내 통신 또는 V2X 통신을 통해 내외부로 전달하여 사고 분석 등에 활용 가능하다. 또한 자율주행차의 사고를 대비하여 EDR과 함께 DSSAD(Data Storage System for Automated Driving)에 대한 연구도 진행 중이며, 이는 자율주행시스템에 대한 작동 여부와 시스템 정보 등이 저장되어 EDR과는 다르게 물리적인 사고뿐만 아니라 자율주행시스템 이상에 대한 정보까지도 저장 가능하다. 고도화되고

있는 차량 통신 기술은 기존 무선랜 기술을 기반으로 한 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments) 방식과 3GPP에서 기존 이동통신 기술을 기반으로 한 Cellular-V2X 방식이 있다. 이러한 통신 기술을 바탕으로 자율주행차 또는 커넥티드 카의 다양한 응용 사례들이 연구되고 있다.^{9,10)}

본 논문에서는 자율주행차의 운행정보 기록을 위한 차량 통신 시스템의 데이터 수집 구조를 제안한다. 제안하는 차량 통신 데이터 수집 구조는 통신 인프라가 구축된 도심지 실증지역을 바탕으로 차량 통신 데이터 수집 구조의 실측 성능을 비교 분석하고 이를 바탕으로 적합한 통신 방식 및 구조를 도출하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 자율주행차 또는 커넥티드 카의 차량 통신 기술에 대한 관련 선행 연구를 분석한다. 3장에서는 자율주행을 위한 차량 통신 시스템의 표준 규격과 통신방식을 소개한다. 4장에서는 자율주행차를 위한 차량 통신 시스템의 송수신 메시지와 시험 방법을 제안한다. 5장에서는 제안하는 차량 통신 및 성능 분석 방식의 도심지 실증 결과를 분석한다. 마지막으로 논문에서 제안한 시험 방법과 분석 결과를 요약하고 향후 연구 방향을 논의한다.

2. 선행 연구 조사

자율주행차 또는 커넥티드 카에서 활용되는 차량 통신은 WAVE, Cellular V2X 등으로 개발되었으며, 현재 국내외 다양한 연구와 실험이 진행 중이다. 최근에는 IEEE와 3GPP에서 폭넓은 차량 통신 서비스를 지원하기 위한 IEEE 802.11bd와 5G NR V2X 등으로 통신 표준이 확장되고 있다. 이러한 기술 발전의 흐름은 실증 환경에서 검증과 다양한 시나리오에서 테스트가 필수적이다. 미래 모빌리티의 기술 도약을 위해 차량 통신은 필수적인 요소이며 이에 따른 기술 개발과 검증 사례들이 국내외에 여러 차례 소개되고 있다.

2021년 한국교통공단 자동차안전연구원에서는 K-City 내에서 V2V(Vehicle-to-vehicle) 통신환경에 관한 연구를 진행하였다.¹¹⁾ 이 연구에서는 WAVE 표준이 적용된 차량 통신 단말기를 활용하여 V2V 주행 시나리오를 설정하고 거리별 BSM 수신 감도를 비교 분석하였다. 송수신된 BSM 로깅 데이터로부터 위치값과 수신 신호 세기를 수집하여 분석하였다.

미국 교통부에서는 C-ITS 및 V2X 통신 관련 연구와 테스트를 진행 중이다. 크게 LTE(Long-Term Evolution) C-V2X 분석과 DSRC(Dedicated Short Range Communication) V2X 분석으로 나누어 각각 테스트 유형과 시나리오를 설계하고 계획 및 접근 방법을 소개하고 있다.¹²⁾ 잠재적

인 허가되지 않은 무선 신호의 간섭이 있는 경우, 250대 이상의 단말이 존재하는 혼잡 환경, 실제 도로 환경, 고속 및 저속 이동 환경 등을 정의하고 패킷 수신 오류율 연속 패킷 손실, 송신 지연 시간, 채널 혼잡도 등을 주요한 교통 상황에서 안정성을 보장하는지에 관한 실험을 진행 중이다.

유럽에서는 ETSI(European Telecommunications Standards Institute)의 ITS-G5와 3GPP의 C-V2X 통신 방식을 고속 도로에서 V2I와 V2V 시나리오를 설계하고 실험하였다.¹³⁾ 각각 30 km, 8 km 구간을 선정하고 V2I(Vehicle-to-Infrastructure) 테스트는 총 8개의 RSU(Road Side Unit)를 구간별로 배치하였다. 실제 주행 시험을 통해 거리별 패킷 전송률, 중단 간 단방향 지연 시간, 수신 신호 세기 등의 성능을 비교 및 분석하였다. ITS-G5와 C-V2X 통신 방식별 성능 차이는 존재하지만, ITS 안전 서비스 및 애플리케이션을 지원하기 위한 임계 기준을 초과하지 않는 결과를 나타내었다.

본 논문에서는 국내외 사례 연구를 바탕으로 더 실질적인 자율주행차와 커넥티드 카에 활용되는 차량 통신 데이터의 수집 구조를 제안하고 이를 바탕으로 실증 지역 내 실험을 통해 추후 상용화를 위한 테스트 단계를 완성하고자 한다.

3. 자율주행을 위한 차량 통신 표준

자율주행을 위한 차량 통신 표준은 크게 2가지로 분류된다. 단거리 전용으로 고속 이동 환경에서 통신을 지원하는 WiFi 기반의 DSRC 방식과 원거리 전용으로 LTE 기반의 차량 통신방식이 대표적인 차량 통신 표준으로 소개되고 있다. 최근에는 기존 차량 통신 표준을 바탕으로 높은 신뢰성, 짧은 지연 시간, 대용량의 통신을 지원하는 방향으로 차량 통신이 발전하고 있다.

Table 1은 차량 통신방식별 표준 및 규격 비교이다. 각 차량 통신 표준은 IEEE 802.11p와 그 확장 표준인 IEEE 802.11bd, LTE-V2X 3GPP Rel.14, 5G-NR V2X Rel.17 등으로 사용자의 요구 성능을 충족하는 방향으로 계속해서 발전하고 있다. 각 차량 통신 표준 방식은 ITS용 5.9 GHz 주파수 대역을 사용하는 것은 동일하며 최근에는 mmWave 대역의 주파수를 사용하는 것도 논의 중이다.¹⁴⁾ 각 통신 표준별 커버리지, 지연시간, 전송용량 등의 차이가 존재한다. 초기에 표준화된 WAVE와 LTE-V2X 표준은 Broadcast 방식만을 지원하고 NGV(Next Generation V2X)와 5G-NR V2X 표준은 Groupcast 및 Unicast의 다양한 전송 방식을 지원한다. 이러한 차량 통신 표준의 규격은 차량 통신의 기능 요구사항들에 따라 발전하고 있다.

Table 1 Comparison of specifications by vehicular communication standard

	WAVE	LTE C-V2X	NGV	5G NR V2X
Standard	IEEE 802.11p	3GPP Rel.14/Rel.15	IEEE 802.11bd	3GPP Rel.16/Rel.17
Frequency	5.9 Ghz	5.9 Ghz	5.9 Ghz	5.9 Ghz & mmWave
Coverage	500 m	N km	1 km	N km
Latency	100 ms	100 ms	100 ms	1 ms
Speed	200 kmph	160 kmph	250 kmph	500 kmph
Data rate	3 to 27 Mbps	3 to 100 Mbps	N Mbps	N Gbps
Mode	Broadcast	Broadcast	Broadcast, Groupcast	Broadcast, Groupcast, Unicast

기능 요구사항들은 차량 통신을 응용한 자율주행차 또는 커넥티드 카의 서비스에 기반한다. 대표적인 서비스는 기본 안전 메시지의 송수신, 차량의 센서 정보 공유, 다 채널 차량 통신, 도로상의 다른 장치 간 정보 공유, 협력 주행 등이 있다.

자율주행차와 커넥티드 카 등을 지원하는 차량 통신 표준은 표준화된 메시지 규격을 사용해 차량에 필요한 정보와 차량으로부터 생성된 정보를 주고받는다. 메시지 표준은 SAE J2735 메시지 세트가 가장 대표적으로 사용되고 있다.¹⁵⁾ SAE J2735 표준의 메시지는 차량 통신의 다양한 응용에서 공통으로 사용할 수 있는 메시지들을 정의하고 있다. BSM, PVD(Probe Vehicle Data) 등을 포함하여 총 17개의 차량 통신 메시지가 존재하며 데이터 엘리먼트와 데이터 프레임용을 통해 각 메시지를 정의할 수 있다. 차량 통신의 다양한 응용에 따라 메시지에 포함되는 데이터 엘리먼트는 필수 및 선택 항목으로 구분된다.

4. V2X 기반 차량 데이터 수집 구조 및 종류

본 논문에서 제안하는 V2X 기반 차량 데이터 생성 및 수집 구조는 하이브리드 통신방식으로 사전에 정의된 데이터를 메시지화하고 양방향 통신을 통해 차량과 차량 간 통신, 차량과 인프라 간 통신, 차량과 센터 간 통신을 지원할 수 있다. Fig. 1은 V2X 기반 차량 데이터 생성 및 수집 구조의 블록다이어그램이다. 차량으로부터 생성되는 데이터는 각각의 전자제어장치 또는 임베디드 시스템을 통해 생성 및 처리된다. 본 논문에서 제안하는 V2X 기반 차량 데이터 수집 구조는 WAVE 통신, LTE V2X(PC5) 통신, 5G-Sub6 통신을 동시에 지원하는 하이브리드 형태이다. WAVE 통신과 LTE C-V2X 통신은 하

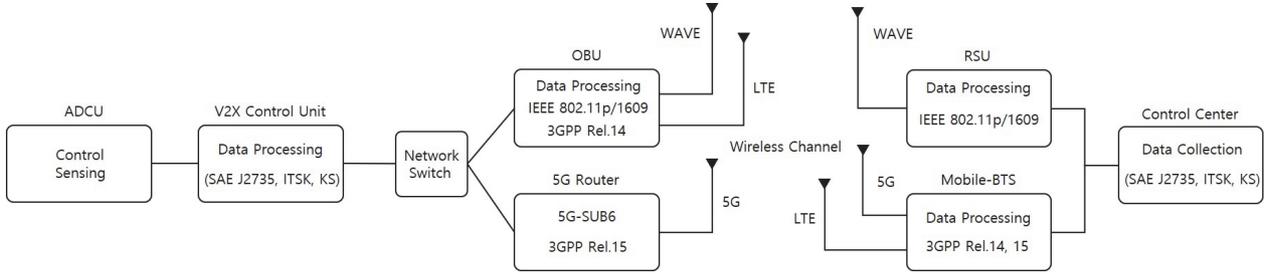


Fig. 1 Diagram of vehicle data generation and collection architecture based on V2X communication

이브리드 OBU(On-Board Unit)로 데이터 송수신이 가능하며 5G-Sub6 통신은 5G 전용 단말기를 사용해 데이터를 송수신한다. 자율주행차 또는 커넥티드 카는 엔진 제어, 스티어링 제어, 스로틀 제어 등의 기능들을 수많은 전자제어장치를 통해 제어하게 된다. 이렇게 다양한 전자제어장치는 입력과 출력값을 갖게 되며 이를 차량 내 외부에 전달하는 역할이 차량 통신의 기능이다.

본 논문에서는 제안하는 V2X 기반 차량 데이터 수집 구조는 자율주행차의 통합형 전자제어장치를 이용한 차량 데이터 수집과 V2X 기반 차량 데이터 송수신의 기능을 포함한다. Fig. 1에서 ADCU(Autonomous Driving Control Unit)는 자율주행차의 통합형 전자제어장치를 의미한다. 제안하는 V2X 기반 차량 데이터 수집 구조는 ADCU로부터 자율주행 관련 정보, 차량 거동 정보를 V2X control unit으로 전달하게 된다. V2X control unit에서는 ADCU로부터 제공받은 자율주행차의 전체 데이터를 SAE J2735, ITSK, KS 등 차량 통신 메시지 표준에 맞게 실시간 V2X 메시지로 생성하게 된다. ADCU로부터 데이터를 추출하여, 실시간으로 송신할 데이터만 메시지로 생성하고, 그 외 데이터는 별도 저장 공간에 적재하여 추후 데이터 검증 등으로 활용할 수 있다.

V2X control unit은 생성된 V2X 메시지를 네트워크 스위치를 통해 OBU와 5G 라우터에 전달한다. OBU는 IEEE 802.11p/1609의 WAVE 방식과 3GPP Rel.14 LTE C-V2X 방식으로 각각 송신된다. 제안하는 V2X 기반 차량 데이터 수집 구조는 V2V, V2I, I2V 통신을 지원하며 표준 규격의 V2X 메시지인 BSM, PVD, TIM(Traveler Information Message), RSA(Road Side Alert Message), SPaT(Signal and Phase and Timing), MAP(Map Data Message), RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Service)과 비표준 규격의 V2X 메시지만 자체 메시지를 생성 및 송수신한다. 비표준 규격의 자체 메시지는 초당 약 20 MB의 자율주행차의 인지, 제어, 판단, 센서 정보를 추출하여, 실시간으로 송신할 데이터만 메시지로 생성한다. 자체 메시지의 생성 및 전송 주기는

1,000 ms이다. 생성된 자체 메시지는 V2X control unit을 통해 OBU의 LTE C-V2X 또는 5G 라우터로 관제 센터 및 수집 서버로 전달된다. 추후 데이터 조회 및 결과 분석에 활용할 수 있다.

자율주행차에 장착된 V2X control unit은 ADCU를 통해 자율주행 관련 정보, PVD 생성을 위한 거동 정보를 추출하고, 추출한 데이터를 기반으로 V2X control unit에서 SAE J2735 규격의 PVD 메시지를 생성한다. 생성된 PVD 메시지는 자율주행차 내부의 OBU가 수신하여 WAVE, LTE 통신을 통해 외부 차량과 관제 센터에 수집되거나 5G 라우터의 5G 통신을 통해 센터에 수집된다.

V2X control unit은 ADCU를 통해 차량의 거동 정보를 추출한다. 추출한 데이터를 기반으로 V2X control unit에서 SAE J2735, ITSK, KS 표준 규격의 BSM 메시지를 생성한다. 생성된 BSM 메시지는 차량 내 OBU가 수신하여 WAVE 브로드캐스팅을 통해 주변에 WAVE 통신이 가능한 OBU 차량에 V2V 송신한다. BSM 메시지를 수신한 V2X control unit은 BSM 메시지를 ASN.1 디코딩 하여 자율주행차의 ADCU로 전달하고, 자율주행차는 BSM의 데이터를 자율주행 인지, 판단, 제어에 활용하여 차량을 제어한다. BSM 메시지는 0.1초 주기로 생성 및 전송이 이루어진다. 이외에도 도로 주변 인프라를 통해 생성되는 데이터를 자율주행차 또는 커넥티드 카에 제공하기 위한 메시지 규격이 있다. 가장 대표적인 메시지 규격은 SPaT이다. SPaT는 도로 현시 정보를 의미하며 신호제어 기로부터 수집되는 신호 원시정보를 활용하여 SAE J2735 또는 C-ITS 규격의 SPaT 메시지로 생성된다. 생성된 SPaT 메시지는 WAVE, LTE, 5G 통신을 통해 자율주행차로 전달된다. 자율주행차의 위치, 진행 방향과 SPaT 메시지 제공 판단 기준을 고려하여 SPaT 메시지를 수신하게 된다. SPaT 메시지를 수신한 V2X control unit은 ASN.1 디코딩 하여 자율주행차의 ADCU로 전달하고, 자율주행차는 SPaT 메시지의 데이터를 자율주행 인지, 판단, 제어에 활용하게 된다. SPaT 메시지의 생성 및 전송 주기는 교차로를 통과하는 차량의 속도 등을 고려하여

결정한다.

TIM 메시지는 인프라로부터 수집되는 정보와 API 연계를 통해 수집되는 정보를 활용하여 SAE J2735 또는 C-ITS 규격으로 TIM 메시지를 생성한다. 생성된 TIM 메시지는 관제 센터 등에서 자율주행차로 제공되며, 자율주행차의 위치와 이벤트 발생 지점, TIM 메시지 제공 판단 기준에 따라 전달된다. TIM 메시지를 수신한 V2X control unit은 TIM 메시지를 ASN.1 디코딩 하여 자율주행차의 ADCU로 전달하고, 자율주행차는 TIM 메시지의 데이터를 자율주행 인지, 판단, 제어에 활용하게 된다. TIM 메시지는 구간 진입 전 300 ~ 500 m 지점에서 송신을 시작하며 구간을 통과할 때까지 특정 주기로 송신하게 된다. MAP 메시지는 관제 센터에서 GeoServer에 등록된 정밀지도 속성 정보를 활용하여 SAE J2735 또는 C-ITS 규격의 MAP 메시지를 생성한다. 생성된 MAP 메시지는 자율주행차의 위치와 MAP 메시지 제공 판단 기준에 따라 전달된다. MAP 메시지를 수신한 V2X control unit은 ASN.1 디코딩 하여 자율주행차의 ADCU로 전달하고, 자율주행차는 MAP 메시지의 데이터를 자율주행 인지, 판단, 제어 등에 활용하게 된다. MAP 메시지는 다양한 유형의 지리적 도로 정보를 포함한다. 교차로, 도로 유형 등의 데이터 요소들은 변동성이 크지 않고 많은 정보를 포함하고 있기 때문에 다른 메시지보다 생성주기를 길게 설정하게 된다. 또한 WAVE 통신 시, 각 RSU가 보유하고 있는 해당 구역에 대한 최신 MAP 정보를 RSU에 접속하는 차량이 있을 때마다 제공하며, 일반적으로 MAP 메시지가 전송될 때 SPaT 메시지도 함께 제공한다. 원거리 차량 통신의 경우 최신의 전체 MAP 정보를 초기 주행 시작 시 기지국 또는 서버를 통해 제공한다. RTCM 메시지는 측위보정기준국으로부터 수집되는 정보를 활용하여 SAE J2735 또는 ITSK 규격에 맞추어 생성된다. 생성된 RTCM 메시지는 WAVE 통신을 통해 자율주행차에게 제공된다. RTCM 메시지는 측위보정기준국 서버에서 측위보정정보를 송신할 때마다 RSU가 정한 반경 내에 위치한 자율주행차로 전달된다.

본 논문에서 제안하는 하이브리드 방식의 V2X 통신 데이터 생성 및 수집 구조는 총 3가지의 통신 규격을 지원하며 기존 SAE J2735 등 표준화된 메시지뿐만 아니라 자체 메시지를 지원하여 자율주행차 또는 커넥티드 카의 데이터를 안정적이고 효율적으로 제공할 수 있는 장점이 있다. 또한 도심지 통신 환경을 고려한 송수신 주기 조절이 가능하다.

5. 차량 통신 데이터 수집 구조 실험 및 결과

본 논문에서는 실제 도심지 환경에 구축된 차량 통신

인프라와 자율주행차에 적용된 차량 통신 단말을 사용하여 V2X 기반 차량 데이터 수집 구조에 관한 실험을 진행하였다. 실험이 진행된 지역은 Fig. 2와 같다. 이 지역은 상업 및 주거 지역이 혼재된 대구시의 자율주행 테스트 베드 중 한 곳이다. 실험이 진행된 자율주행 테스트 베드는 총 15개의 RSU가 운영중이며 자율주행 관제센터를 통해 관리되고 있다. 이외에도 영상, 레이더, 카메라 등의 센서를 이용한 도로 위 돌발 상황 감지 등 자율주행차의 도심지 운행을 위한 지원 인프라가 구축되어 있다.¹⁶⁾

Fig. 3은 자율주행 테스트베드 내 노변 기지국의 모습이다. 노변 기지국은 WAVE 통신을 지원하며 IEEE 802.11p, 1609.2/3/4의 통신 스택으로 구성된다. 중심 주파수는 5.9 GHz 대역을 사용하며 송신 전력은 23 dBm,

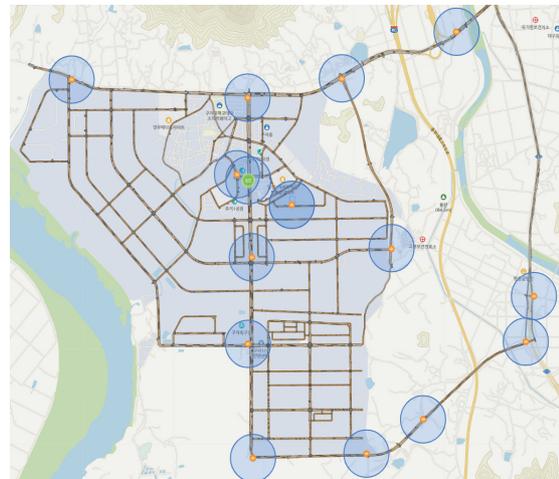


Fig. 2 Location of RSU in autonomous driving demonstration area and Coverage of WAVE communication



Fig. 3 RSU in autonomous driving demonstration area

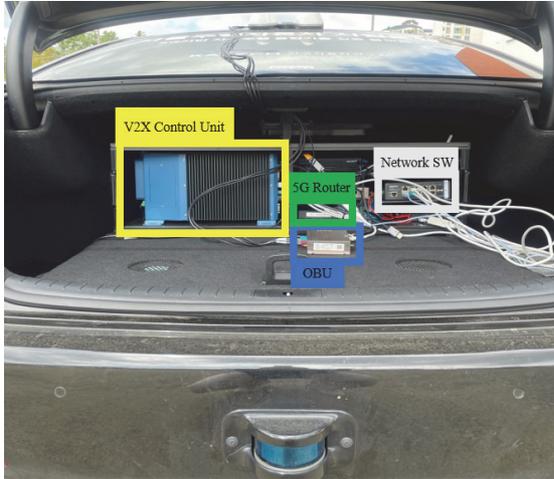


Fig. 4 V2X communication data collection system using autonomous vehicle

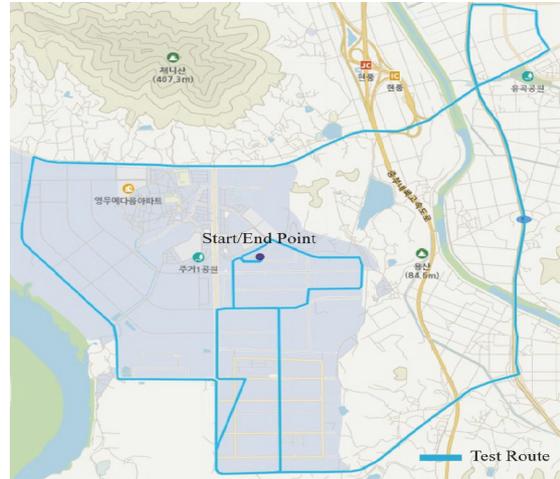


Fig. 5 RSU in autonomous driving demonstration area

수신 감도는 -97 dBm 이다. Fig. 4는 실험에 사용된 자율주행차와 차량 통신 단말 및 안테나의 모습이다. 차량 통신 단말기는 WAVE와 C-V2X를 동시에 지원하는 하이브리드 구조이며 WAVE 방식은 IEEE 802.11 p, 1609.2/3/4, SAE J2945, J2735의 통신 스택으로 구성된다. LTE는 3GPP Rel. 14를 지원한다. 최대 송신 파워는 23 dBm이며 5.8 GHz 대역의 주파수를 사용한다. 5G 통신은 Qualcomm SDX55 칩이 탑재된 5G용 모바일 라우터를 사용했다. LTE와 5G는 각각 KT와 LG유플러스의 이동통신망을 사용하며 최종적으로 자율주행 관제센터와 자율주행차 간 V2X 메시지를 통신하게 된다.

본 논문에서는 자율주행 테스트베드 내에서 자율주행차가 주행하면서 생성 및 전송하는 PVD 메시지를 자율주행 관제센터에서 수집하는 구조를 실험하였다. 차량 통신 데이터 수집 실험에 사용된 통신방식은 WAVE, LTE C-V2X, 5G 통신이다. 자율주행차는 약 30 Km 구간을 평균 시속 50 Km로 주행하면서 WAVE 통신은 노변 기지국 장치, LTE C-V2X 및 5G 통신은 이동통신 기지국을 통해 PVD 메시지를 자율주행 관제센터로 전달하게 된다. Fig. 5는 자율주행 테스트 베드 내 통신 메시지를 기반으로 자율주행차의 경로를 나타낸 그림이다. Fig. 6은 자율주행차로부터 수신된 SAE J2735 표준의 PVD 메시지이다. 실제 수집된 PVD 메시지는 자율주행차에서 PVD 메시지가 생성된 시점의 시간 정보, 차량의 절대속도, 위·경도 좌표, 변속기 상태, 헤딩 등을 포함한다.

본 논문에서 제안하는 차량 통신 데이터 수집 구조의 성능 분석을 위하여 수집된 PVD 메시지를 디코딩 하여 각 통신 방식별 지연 시간을 비교하였다. 일반적인 데이터 통신의 지연 시간은 식 (1)과 같다.

```
{
  "vehicleType": {},
  "@timestamp": "2023-01-19T09:32:18.087Z",
  "testId": "DzzVExH2I5EA",
  "centerTime": 1674120738085,
  "startVector": {
    "heading": 90,
    "long": 128.4225195,
    "lat": 35.6535368,
    "speed": {
      "speed": 0,
      "transmission": "park"
    },
    "elevation": 92.61,
    "utcTime": {
      "day": 19,
      "hour": 18,
      "offset": 0,
      "minute": 32,
      "year": 23,
      "month": 1,
      "second": 15
    }
  },
  "commType": "WAVE",
  "verifyId": "FzpaOSlpq1ab",
  "relayTime": "1674120737057",
  "vehicleId": "katech_001",
  "msgSpec": "SAE",
  "drivingTime": 10840569,
  "snapshots": [
    {
      "thePosition": {
        "long": 128.4225195,
        "lat": 35.6535368
      }
    }
  ]
}
```

Fig. 6 SAE J2735 standard PVD message collected from the autonomous driving control center

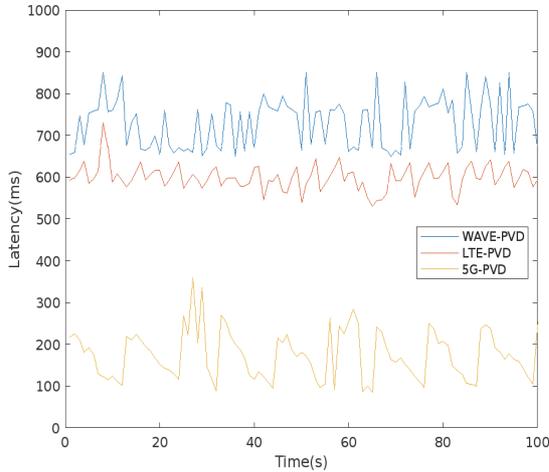


Fig. 7 Comparison of vehicle data collection delays for each communication method

$$T_{Latency} = T_{proc} + T_{queue} + T_{trans} + T_{prop} \quad (1)$$

여기서 $T_{Latency}$ 는 총 지연 시간을 의미한다. T_{proc} 는 라우터에서 발생하는 지연 시간, T_{queue} 는 라우터에서 대기하는 시간, T_{trans} 는 패킷 전송에 걸리는 시간, T_{prop} 는 출발지부터 목적지까지 패킷이 전달되는 시간을 의미한다. 본 논문에서는 차량 통신 데이터를 생성하고 수집할 때 시간 정보를 포함하기 때문에 식 (2)를 통해 차량 통신 데이터 수집 구조의 지연시간을 계산할 수 있다.

$$T_{Latency} = T_{Center} - T_{Vehicle} \quad (2)$$

여기서 $T_{Latency}$ 는 V2X 메시지의 지연 시간이다. $T_{Vehicle}$ 는 자율주행차에서 V2X 메시지를 생성한 시간이다. T_{Center} 는 자율주행 관제센터에서 메시지를 수신한 시점의 시간이다. 지연 시간의 단위는 ms이다. PVD 메시지 내 각 시간 정보는 Unix Time으로 표현된다. 지연 시간 계산을 위해 협정 세계시로 변환하여 수 ms 단위까지를 비교하게 된다. Fig. 7은 자율주행차가 실제 주행하면서 약 100초 동안 각 통신 방식별 차량 데이터 수집 구조의 지연시간을 비교한 결과이다. 2장에서 소개된 차량 통신 표준의 지연시간은 무선 신호 관점의 종단 간 지연 시간을 의미한다. 본 연구에서는 자율주행차에서 생성 및 수집되는 데이터의 효율성을 판단하기 위해 실제 데이터가 생성되고 최종 사용되는 시점을 기준으로 지연 시간을 측정하였다. 그 결과 5G 통신을 통해 수집된 PVD 메시지의 지연시간이 평균 169 ms로 가장 낮은 지

Table 2 Results of PVD message reception delay time in vehicular communication data collection experiment

	WAVE	LTE C-V2X	5G
Number of Msg	3,582		
Avg	757	624	169
Std	62	41	50
Max	960	882	443
Min	637	518	84

연시간을 제공하였다. 다음으로 LTE C-V2X가 평균 624 ms, WAVE 통신의 경우 757 ms의 지연시간을 제공하였다. 차량 통신의 성능은 자율주행차 또는 커넥티드 카의 주행 제어 등과 밀접한 관계를 갖기 때문에 낮은 지연시간을 확보하는 것이 매우 중요하다. 하지만 통신 음영, 신호 간섭 등으로 안정적인 통신 환경을 확보하는 것은 현실적인 어려움이 존재한다. Table 2는 자율 주행 실증 지역 내에서 약 1시간의 주행을 통해 수집된 PVD 메시지의 수신 지연 시간의 분석 결과이다. 수신된 PVD 메시지는 약 3,600개로 1초 주기로 생성 및 수집된 메시지를 비교하였다. 5G 통신의 경우 최소 지연시간으로 84 ms의 성능을 보였으며 WAVE 통신의 경우 960 ms의 최대 지연시간을 나타내었다. LTE C-V2X 통신의 지연시간은 약 40 ms의 표준 편차로 다른 통신방식에 비해 지연시간의 변화 폭이 가장 작은 것을 확인하였다.

본 실험을 통해 도심지 환경에서 제안하는 차량 통신 데이터 수집 구조의 각 통신 방식별 지연 시간 성능을 비교 분석 하였다. 실험 환경은 자율주행차와 커넥티드 카를 위한 임베디드 기반의 차량 통신 송수신 시스템이 활용되었다. 실제 도로 노면 기지국과 이동 통신 기지국 등을 통해 송수신되는 차량 통신 데이터의 지연 시간은 통신 방식과 환경에 따라 차이를 보였으며 이는 각 데이터의 사용 방식과 이용자의 요구 성능에 따라 선택적으로 활용 가능하다.

6. 결론

자율주행의 발전으로 인해 모빌리티 편의성은 극대화되고 사용자의 자유도도 높아졌다. 이러한 과정에서 차량에서 생성되는 데이터, 차량으로 수집되는 데이터의 양과 종류도 증가하였다. 특히 차량 통신을 바탕으로 다양한 데이터가 차량과 차량, 차량과 인프라, 차량과 보행자 등 V2X 통신 서비스 관점으로 활용되고 있다. 본 논문에서는 자율주행차, 현장 인프라, 관제 센터 관점에서 활용할 수 있는 실제 차량 통신 데이터를 송수신하기 위한 구조를 제안하였다. 구현된 테스트 베드를 활용한 검

증을 완료하였으며 자율주행차의 교통사고 분석 등의 목적으로 다양한 데이터 요소를 포함하는 메시지 구조와 넓은 커버리지, 짧은 지연시간을 제공하는 LTE C-V2X 또는 5G 통신 방식이 적합함을 확인하였다. 특히 실도로 도심지 검증 연구를 통해 향후 관제센터에 수집된 인프라 정보와 자율주행차에 장착되는 EDR/DSSAD 데이터 융합을 통하여 자율주행 교통사고 시나리오 개발 등의 향후 연구도 가능할 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 2023년도 경찰청의 재원으로 과학치안진흥센터 및 자율주행기술개발혁신사업단의 지원을 받아 수행하였습니다(092021D74000000, 자율주행 기록장치 데이터 추출 및 분석시스템 개발).

References

- 1) J. Bhatia, Y. Modi, S. Tanwar and M. Bhavsar, "Software Defined Vehicular Networks: A Comprehensive Review," *International Journal of Communication Systems*, Vol.32, No.12, e4005, 2019.
- 2) M. H. C. Garcia, A. Molina-Galan, M. Boban, J. Gozalvez, B. Coll-Perales, T. Şahin and A. Kousaridas, "A Tutorial on 5G NR V2X Communications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.23, No.3, pp.1972-2026, 2021.
- 3) A. Rammohan, "Revolutionizing Intelligent Transportation Systems with Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X) Technology: Current Trends, Use Cases, Emerging Technologies, Standardization Bodies, Industry Analytics and Future Directions," *Vehicular Communications*, Paper No.100638, 2023.
- 4) W. Anwar, N. Franchi and G. Fettweis, "Physical Layer Evaluation of V2X Communications Technologies: 5G NR-V2X, LTE-V2X, IEEE 802.11bd, and IEEE 802.11p," 2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference(VTC2019-Fall), pp.1-7, 2019.
- 5) J. Cui, L. S. Liew, G. Sabaliauskaite and F. Zhou, "A Review on Safety Failures, Security Attacks, and Available Countermeasures for Autonomous Vehicles," *Ad Hoc Networks*, Vol.90, Paper No. 101823, 2019.
- 6) J. Kim, D. S. Han and B. Senouci, "Radar and Vision Sensor Fusion for Object Detection in Autonomous Vehicle Surroundings," 2018 Tenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks(ICUFN), pp.76-78, 2018.
- 7) Z. Hameed Mir and F. Filali, *C-ITS Applications, Use Cases and Requirements for V2X Communication Systems—threading through IEEE 802.11 p to 5G, Towards a Wireless Connected World: Achievements and New Technologies*, pp.261-285, 2022.
- 8) L. Lusvarghi, C. A. Grazia, M. Klapez, M. Casoni and M. L. Merani, "Awareness Messages by Vulnerable Road Users and Vehicles: Field Tests Via LTE-V2X," *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 2023.
- 9) Y. H. Kwon, "Improving Multi-channel Wave-based V2X Communication to Support Advanced Driver Assistance System (ADAS)," *Int. J. Automotive Technology*, Vol.17, pp.1113-1120, 2016.
- 10) L. Sun, A. Jafaripournimchahi and H. Wusheng, "A Forward-looking Anticipative Viscous High-order Continuum Model Considering Two Leading Vehicles for Traffic Flow through Wireless V2X Communication in Autonomous and Connected Vehicle Environment," *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, Vol.556, Paper No.124589, 2020.
- 11) B. Jo, D. Kim, J. Shin, S. Kim and S. Cho, "A Study on V2V Communication Environment in K-city," *Journal of Auto-vehicle Safety Association*, Vol.13, No.1, pp.26-30, 2021.
- 12) U. S. Department of Transportation, *Testing Long-Term Evolution Vehicle-to-Everything (LTE-V2X) Radio Performance Capabilities within the 5.9 GHz Safety Band*, https://www.its.dot.gov/research_areas/emerging_tech/htm/ITS_V2X_Testing.htm, 2023.
- 13) 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, 2021.
- 14) K. Z. Ghafoor, L. Kong, S. Zeadally, A. S. Sadiq, G. Epiphaniou, M. Hammoudeh, A. K. Bashir and S. Mumtaz, "Millimeter-wave Communication for Internet of Vehicles: Status, Challenges, and Perspectives," *IEEE Internet of Things Journal*, Vol.7, No.9, pp.8525-8546, 2020.
- 15) SAE, *V2X Communications Message Set Dictionary*, J2735, 2020.
- 16) H. Kang, T. Kim and S. Kwon, "A Study on FOT of Core Parts and Systems of Autonomous Vehicles by Using Open Urban Autonomous Driving Test-bed," *KSAE Fall Conference Proceedings*, pp.1255-1257, 2022.