

자율협력주행을 위한 차량용 통신기술 개발 동향 및 차량간 협력주행 서비스를 위한 실도로 성능 분석에 관한 연구

송현수, 전준혁, 이영서, 이신경, 송유승
한국전자통신연구원

요 약

대표적인 차량용 통신기술인 WAVE 기술과 C-V2X 기술은 C-ITS 및 자율협력주행 서비스에서 요구하는 통신성능을 만족하기 위해 계속해서 새로운 표준 기술을 개발하고 있다. 그뿐만 아니라 세계 각국에서는 진화되고 있는 V2X 통신기술 검증을 위해 여러 프로젝트와 실증사업을 확대해 가고 있다. 본 고에서는 최근 V2X 기술의 표준화 동향, 각국의 정책 방향 및 국내외 실증사례 등을 살펴본다. 또한, C-V2X 기반 자율협력주행 서비스를 위해 실제 차량에 C-V2X 통신장치를 탑재하고 실도로 환경에서 차량간 통신 실험을 통해 5GAA에서 요구하는 교차로 및 일반주행도 환경에서 자율협력주행 서비스 요구사항을 만족할 수 있는지 실험을 통해 분석하였다.

I. 서 론

차량용 통신기술인 WAVE 및 C-V2X에 대한 현재까지의 표준화 진행, 국내외 정책 및 다양한 실증 동향을 1장에서 살펴본다. 2장 본론에서는 5GAA에서 발표한 자율협력주행 유즈케이스를 바탕으로 자율협력주행 서비스를 위한 C-V2X 통신장치의 성능 검증을 위해 실도로 실험을 통한 결과를 분석한다. 3장에서는 본 고의 결론을 제시한다.

1. 표준화 동향

지금까지의 V2X 차량용 통신기술은 IEEE 802.11 표준 기반의 WAVE 기술과 3GPP LTE/NR 표준 기반의 C-V2X 기술로 크게 구분되며 상호 호환되지 않고 각기 통신기술에 대한 로드맵을 기반으로 진화하고 있다[1].

WAVE 기술은 2016년에 개정된 차량용 IEEE 기술 표준으로 물리계층과 MAC 계층은 IEEE 802.11 표준과 네트워크계층, 상위 응용계층 및 보안 계층은 IEEE1609.1~4 표준을 사용한다. IEEE 802.11p 규격 기반의 WAVE 1세대 통신 기술은 최대

27Mbps 전송속도, 100ms 이하의 지연시간 및 시속 250km/h를 지원하도록 설계되었다. C-ITS 관련 서비스 진화에 따른 네트워크 요구사항을 만족시키기 위해 Next Generation V2X(NGV) 후속 표준이 현재 진행 중이다. NGV 통신기술은 IEEE802.11bd 규격을 기반으로 하고 있으며 5.9GHz 대역을 기본으로 사용하고 60GHz 대역을 선택적으로 사용한다[2]. 대역폭을 20MHz까지 지원하며 WAVE보다 2배 이상의 전송속도를 목표로 하고 있다. 미드앰플을 사용하여 채널추정 성능을 개선하였으며 60GHz 대역을 사용하여 고속 패킷 전송 및 위치추정 정확도를 향상 시켰다.

C-V2X 기술은 LTE-V2X, LTE-eV2X 그리고 5G-NR-V2X 기술로 진화하고 있다. 3GPP Release 14 규격을 기반으로 C-ITS 서비스 지원을 위한 LTE-V2X 기술은 Uu 인터페이스 및 PC5 인터페이스를 통해서 V2N 및 V2V(V2I) 서비스를 제공한다. Uu 인터페이스는 상향링크 채널을 동시에 8개까지 활성화할 수 있다[3]. 3GPP Release 15 기반의 LTE-eV2X 기술은 Release 14 대비 짧은 지연시간, 높은 전송 신뢰도, 높은 데이터 전송률을 갖는다. 이를 위해 단말이 전송 자원 sensing 소요 시간 개선, 다중 주파수 채널 사용, 64 QAM 지원, 다중 주파수 채널에서 패킷 중복 전송을 지원한다[4]. 3GPP Release 16 기반 NR-V2X 시스템은 유니캐스트, 그룹캐스트와 같은 다양한 통신모드를 지원하고 피드백 기반 패킷 재전송을 통한 통신 신뢰성 향상, 256 QAM 변조 방식 및 40MHz 채널 대역폭 지원을 통한 데이터 전송률 향상 등을 통해 자율주행과 같은 고도화된 네트워크 서비스 성능 요구사항을 지원하기 위한 기능들이 추가로 정의되었다. 더욱 진화된 통신 기술을 위해 3GPP Release 17에서는 사이드 링크에서의 전력 저감 기술과 고신뢰 저지연 기술에 대한 필요성이 제기되었으며 그에 따른 표준화 아이템들이 승인되었다. 주요 사항으로는 자원 할당 기능 향상, 사이드 링크 DRX(Discontinuous Reception) 지원, 단일 캐리어 동작을 위한 새로운 사이드 링크 주파수 지원 등이 있다[5][6].

2. 국내외 기술 개발 동향

미국은 세계 최초로 5.9 GHz 대역의 75MHz 대역폭(5.850 ~

5.925GHz)을 ITS 서비스 용도로 할당하였으나 2020년 11월 최종 상위 30MHz를 C-V2X 용도로 할당하고 하위 45MHz를 Wi-Fi 용도로 할당하는 방안으로 수정되었다[5]. 이후 2021년 5월 FCC에서는 미국의 V2X 통신기술에 대한 단일 표준으로 C-V2X 방식을 채택하였다. Qualcomm 테크놀로지는 2017년에 3GPP Release 14 기반의 9150 C-V2X 칩셋 개발에 성공하고 최근에는 Release 15까지 지원이 가능한 SA515 칩셋을 상용화하면서 해당 칩셋을 탑재한 통신장치들이 속속 출시되고 있다.

중국에서는 C-V2X 상용화를 매우 적극적으로 추진하고 있으며 이미 2016년에 C-V2X를 표준으로 채택하였다. 2018년 10월 중국 정보기술산업부에서는 LTE-V2X 대역으로 5.9GHz 대역의 20MHz 대역을 C-ITS 서비스를 위해 할당하였다. 이 중에서 상위 10MHz는 V2V 통신을 위한 대역으로, 하위 10MHz는 V2I 통신을 위한 대역으로 배정하였다. 그러나 5GAA에서는 점차 발전하는 5G-V2X 유즈케이스를 위해 대략 70MHz의 대역폭을 C-V2X를 위해 권고하고 있다[7][8]. 중국의 Quectel에서는 Qualcomm 칩셋이 탑재된 C-V2X 모듈인 AG 시리즈 제품을 출시하고 있다.

유럽은 5.9GHz 대역의 70MHz를 ITS 서비스 용도로 지정하였으나 2020년 10월 도시 철도 ITS 서비스를 위해 상위 10MHz를 추가 할당하였다. 이러한 결정에 따라 EU 회원국은 ITS 주파수 대역을 5.875~5.935 GHz로 지정하였다. 도로 ITS에 5.875~5.925GHz, 도시 철도 ITS에 5.915~5.935GHz로 각각 지정하였다[9]. 유럽은 V2X 무선통신 기술의 국가 표준을 지정하지 않고 통신방식의 결정권을 시장에 맡기는 것으로 선택하였다[5][10]. 유럽의 대표적인 회사인 NXP사는 WAVE(DSRC)용 SAF 5400 모델 및 V2X 플랫폼인 OrangeBox를 출시하고 있다.

국내의 경우 별도의 통신방식에 대한 표준 지정 없이 2016년 5.9GHz 대역에 70MHz 대역을 ITS 용도로 할당하였다[9]. 이후 LTE-V2X 방식과 WAVE 기술에 대해 시범 사업을 통하여 단일 V2X 통신방식을 선정하기로 하고 2023년 12월 C-ITS 단일 통신방식 결정 전문가 위원회에서 국내 C-ITS를 위한 단일 통신방식으로 C-V2X 기술을 채택하였다. 이에 따라 과학기술정보통신부와 국토교통부는 기술기준을 조속히 개정하여 C-ITS 통신방식의 제도화 등 후속 조치를 추진할 예정이다[11, 12]. 캠프로닉스를 비롯한 여러 업체에서 C-V2X와 WAVE를 지원하는 Hybrid OBU를 개발하였으며 Ettifos에서는 2023년도에 세계 최초로 3GPP Release 16 기반의 5G-V2X 플랫폼인 SIRIUS 개발에 성공하면서 자율협력주행 서비스 상용화에 한층 더 가까워졌다고 할 수 있다[13].

3. 국내외 실증 동향

미국은 정부 및 다양한 기업들이 참여하는 V2X 서비스 상용화를 준비하고 있다. C-V2X 기술 채택에 따라 Qualcomm을 중심으로 다양한 기업과 주요 자동차 제조사, DOT 등의 협력으로 진행되고 있다. 주요 사례로는 2021년에 LTE-V2X를 활용한 통학버스 안전서비스를 제공하고 2020년에는 북부 버지니아 도로와 하와이주 Nimitz 고속 도로에 V2X를 구축하였다. 또한, 2022년부터 출시되는 포드 신형 차 모델에 LTE-V2X 장치 탑재 계획을 발표하였다[14].

유럽은 LTE와 5G-NR을 기반으로 간접통신방식 및 직접 통신방식의 V2X 프로젝트를 국가 간 경제 지역에서 진행 중이다. C-ROADS, CONCORDA, NordicWay, InDid 등의 프로젝트가 투자받아 수행되고 있으며, 유럽 경제위원회에서는 자율주행차 국제 표준화 조직을 만들어서 활동을 진행하고 있다. 시범 서비스로는 C-Roads 프로젝트, CONCORDA 프로젝트, SCOOP 프로젝트, InterCor 프로젝트 등이 다양한 교통수단 간의 연계성을 강화하고 교통 안전성을 향상 시키기 위해 진행되고 있다. V2X 실증 동향으로는 NordicWay 프로젝트, Data for road safety 프로젝트, 이탈리아 ANAS smart mobility 사업 등이 대표적이다[15].

중국에서는 Huawei와 Datang을 중심으로 C-V2X 칩셋 및 통신 기술에 대한 확보가 선도적이며, 장비 제조사 및 통신 사업자와 지자체의 협력으로 중국에서의 C-V2X 실증이 활발하게 진행되고 있다. MIIT 지원으로 국가 레벨 테스트 베드가 구축되고 있으며, 다양한 V2X 파일럿 프로젝트가 진행 중이다. 연결형 자동차의 생태계 조성 및 인프라 구축을 위해 중국은 3가지 형태(4개의 국가 시범지역, 18개의 ICV 실증 지역, 16개의 파일럿 시티)의 시범 및 실증 지역을 선정하여 운영 중이다[4][16].

국내에서는 2013년에 추진된 국토교통부의 첨단 도로 안전 체계 및 차세대 ITS 활성화 추진계획에 따라 2014년 대전-세종 간 C-ITS 시범 사업을 시작으로 제주도를 포함한 서울, 광주, 울산 등 전국 대도시에서 다양한 실증사업이 전개되고 있다. 각 사업의 대표적 특징으로 대전-세종 시범 사업에서는 15개의 교통안전 서비스, 서울 실증사업에서는 자율주행 연계 서비스, 제주에서는 14개 실증서비스 및 4개 특화 서비스, 광주에서는 교통안전 등의 24개 서비스 그리고 울산에서는 대중교통 등 23개 서비스를 제공하게 된다. 이 외에도 SKT는 2018년에 K-City에서 5G C-V2X 기술을 활용한 자율협력주행 시연을 통해 향후 새로운 서비스 가능성을 보여주었으며 KT는 5G-V2X 기반의 C-ITS 자율주행 서비스를 위한 실증 인프라를 대구에 구축하였다. LGU 플러스는 강릉시와 함께 지능형교통체계 기반을 구축하고 2026년 ITS 세계총회 대회 준비 및 미래 모빌리티 사업을 위한 고도

화 사업을 수행하고 있다[17][18][19]. 앞으로도 5G-NR-V2X 기술개발과 함께 계속해서 국내외적으로 자율협력주행 기술 및 서비스 상용화에 획기적인 발전이 예상된다.

II. 본 론

본 장에서는 C-V2X 통신장치를 활용하여 실제 다양한 교차로와 복잡한 도심로 환경에서 5GAA에서 제시한 자율협력주행에 요구되는 서비스 요구사항을 만족할 수 있는지를 검증한다. 특히, 네트워크 성능 관점에서 V2V를 통한 차량 간 통신 실험을 통해 패킷 수신율, 지연시간, 전송속도 등을 측정하고 분석한 결과를 소개한다.

1. 실험 시나리오 및 조건

본 고에서는 5GAA에서 제시한 차량 간 협력주행 유즈케이스(UC)에서 'Cooperative traffic gap (UC1)', 'Cooperative maneuvers of autonomous vehicles for emergency situations (UC2)', 'Cross-traffic left-turn assist (UC3)'등을 참조하여 실험 주행 도로를 결정하고 시나리오를 작성하였다. 위 3가지 유즈케이스에 대해 5GAA에서 제시하는 통신장치의 요구사항(SLR)은 <표.1>과 같다[22][23].

표 1. 차량간 협력주행 유즈케이스 성능요구사항

SLR List	Cooperative Traffic Gap, (UC1)	Cooperative Maneuvers of AV for Emergency Situation, (UC2)	Cross-Traffic Left-Turn Assist, (UC3)
Range	1,310~2,200m	1,500 m	300 m
Data Rate	2 Mbps	45 Kbps	1,000 Bytes
Latency	100 ~ 50 ms	10 ms	10 ms
Reliability	99.90%	99.90%	99.90%
Velocity	79.2 km/h	70/120/250 km/h (Urban/Rural/Highway)	100 km/h
Density	400 km ²	12000/9000/4500 km ² (Urban/Rural/Highway)	1500 km ²
Positioning Accuracy	1.5 m	0.2 m	1.5 m

UC1과 UC2의 경우 차량 간 협력주행 메시지를 통해 자율주행 차량이 안전하게 끼어들기 및 차선 변경 등을 수행할 수 있도록 한다. 또한, UC3의 경우 교차로 진출입 정보를 제공하여 타 차량이 안전하게 교차로에 진입할 수 있도록 협력하게 된다. 먼저 UC3에 대한 통신성능 요구조건 검증을 위해 차량 통행량으로서 다른 3곳의 교차로 지역을 대표로 선정하였다.

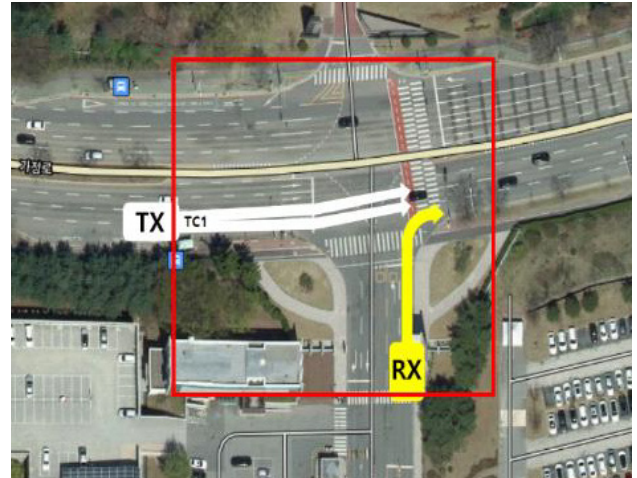


그림 1. ETRI 정문 실험 환경(통행량 적음)

<그림 1>은 비교적 교통 통행량이 낮은 ETRI 정문 교차로에서의 실험 환경 및 주행 시나리오(TC1)를 설명한다. 교차로 진입차량(TX)은 연구소 정문 앞에 있는 버스정류장을 지날 때 우합류 차량(RX)에게 주행 정보 데이터를 전송한다. 붉은색 박스 지역이 주 데이터 송수신 테스트 지역이 된다. 우합류 차량(RX)은 데이터를 수신하면서 우합류 주행을 수행한다. 데이터 송신차량은 40~50km의 속도로 주행하고 수신차량은 0~30km/h의 속도로 진입한다. TC1의 실험 교차로 크기는 대략 가로 35m, 세로 40m이다.

<그림 2>에서는 통행량이 보통 정도에 해당하는 연구단지 네거리에서의 실험 환경 및 주행 시나리오(TC2, TC3)를 설명한다. 교차로에 진입하여 데이터를 전송하는 차량(TX)은 4차선과

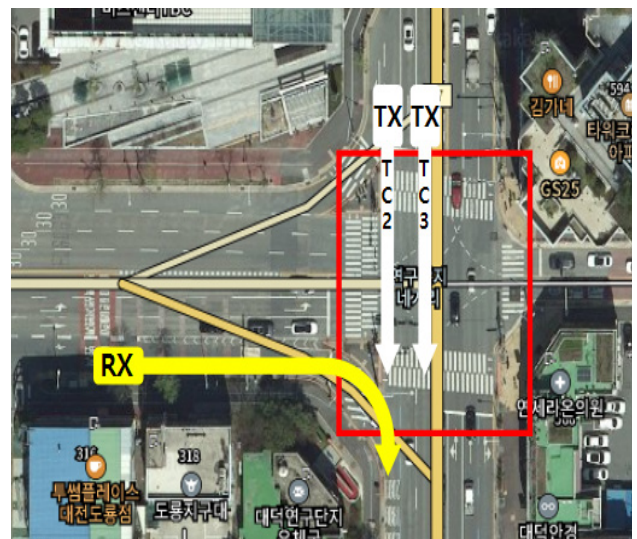


그림 2. 연구단지네거리 실험 환경(통행량 보통)

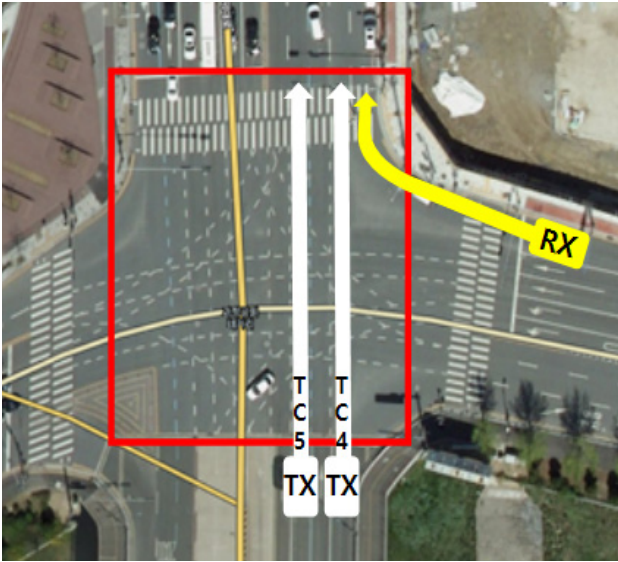


그림 3. 과학공원네거리 실험 환경(통행량 많음)

2차선으로 진입하는 경우로 각각 TC2, TC3로 구분하여 실험하였다. 데이터 수신 시 TC2에 비해 TC3의 경우 송수신 차량 간 더 많은 주변 차량의 간섭으로 전파전파(wave propagation)에 대한 방해가 받게 된다. 어린이 보호구역으로 지정되어 있어 데이터 송신 차량은 20~30km/h의 속도로 주행하고 수신차량은 10~30km/h의 속도로 진입한다. 교차로의 크기는 대략 가로 30m, 세로 35m이다.

〈그림 3〉에서는 통행량이 매우 많은 과학공원 네거리에서의 실험 환경 및 주행 시나리오(TC4, TC5)를 설명한다. 교차로에 진입하여 데이터를 전송하는 차량(TX)는 4차선과 2차선으로 진입 경우로 각각 TC4, TC5로 구분하였다. 데이터 송신 차량은 50km/h의 속도로 주행하고 수신차량은 20~30km/h의 속도로 진입한다. 교차로의 크기는 대략 가로 55m, 세로 75m이다.

〈표 2〉는 실험일 기준 오후에 교차로를 통과한 차량의 대수를 평균으로 나타낸 것이다. 실험 교차로의 개체별 통행량 자료는 대전 교통 빅데이터 플랫폼에서 제공되며 교차로에 설치된 CCTV를 통해 1시간 단위로 교차로를 지나간 차량의 정보를 수집한다[20]. ETRI 연구소 정문의 경우 가장 근접한 다름고개삼거리 값을 참조하였으며 전체 통행량은 821 vehicle/h이며 특히, 통신성능에 직접적으로 영향을 미칠 것으로 판단되는 대형차량(벤, 트럭, 버스) 통행량은 121 vehicle/h이다. 연구단지 네거리의 경우 전체 통행량은 2,826 vehicle/h이며 대형차량(벤, 트럭, 버스)의 통행량은 378 vehicle/h이다. 과학공원 네거리에서 평균 통행량은 4,270 vehicle/h이며 대형차량(벤, 트럭, 버스)의 통행량은 520 vehicle/h로 무선통신 환경에 간섭 요인이 증가함을 알 수 있다.

표 2. 실험지역 교차로에서의 개체별 통행량 분석

교차로	승용차	SUV	벤	트럭	버스	이륜	합계
ETRI정문 네거리	441	255	47	39	35	4	821
연구단지 네거리	1,565	871	133	158	87	13	2,826
과학공원 네거리	2,426	1301	179	217	123	23	4,270

마지막으로 UC1과 UC2에 대한 통신성능 검증을 위해 통행량이 서로 다른 2곳의 도심로 지역을 선정하였으며 GPS 음영 구간에서의 성능 분석을 위해 일부 구간에 대해서는 터널 구간이 포함되도록 〈그림 4〉와 같이 실험 주행 도로 구간을 설정하였다.

1번 구간(TC6)의 특징은 정부청사네거리(대덕대로(남북방향)) ~ 용문역네거리(계룡로(동서방향)) 구간으로 중심 상업 지구가 밀집한 도심 협곡 지역이다. 2번 구간(TC7)의 경우 아파트 단지 및 관공서 및 연구단지 등으로 구성되어 상대적으로 쾌적한 도심 환경을 갖는다. 또한, 1번 구간에는 대략 110m 정도의 탄방지하차도가 존재하고 2번 구간에는 520m 정도의 긴 대덕터널 구간이 존재 한다. 데이터 송수신 시 실험 차량의 주행속도는 교통량에 따라 30~50km/h의 속도로 주행하였다.

〈표 3〉에서는 TC6과 TC7 실험 시 주행한 도로의 교차로 구간 및 통행량을 나타낸다. 1번 구간이 2번 구간에 비해 더 혼잡한



그림 4. V2V 성능검증을 위한 주행구간

표 3. 도심주행도로에서의 통행량 분석

구간	도로명	교차로 명	평균 교통량(대)
1번	대덕대로	청부청사⇔방죽⇔파랑새⇔ 은하수⇔큰마을	1,582
	계룡로	큰마을⇔송어리⇔탄방⇔용문	1,636
2번	대덕대로	정부청사⇔만년⇔과학공원⇔ 연구단지⇔도룡	1,107

교통 상황임을 알 수 있다.


현재까지 설명한 실험 시나리오 및 참조 유즈케이스에 대해 <표 4>와 같이 실험 케이스로 분류하고 분석하였다.

표 4. 실험 환경 및 케이스 분류표

Test case	실험환경	참조 유즈케이스
TC1	ETRI 정문 교차로	UC3
TC2	연구단지네거리(4차로)	UC3
TC3	연구단지네거리(2차로)	UC3
TC4	과학공원네거리(4차로)	UC3
TC5	과학공원네거리(2차로)	UC3
TC6	정부청사네거리~용문역네거리	UC1, UC2
TC7	정부청사네거리~ETRI 정문	UC1, UC2

본 실험 진행을 위해 사용된 C-V2X 통신장치는 Cohda wireless 사의 MK6 OBU 제품이며 대표적인 특징 및 제품 사진은 <표 5>와 같다.

표 5. MK6 OBU제품 특징

Product	Features
	<ul style="list-style-type: none"> • WAVE with SAF5400 chipset • C-V2X with Qualcomm SA515 chipset supporting 3GPP R15, 5G • Cellular 5G NR with 4G/3G/2G fall back • MAX TX power: 22dBm • Bandwidth: 10, 20 MHz

MK6 OBU는 C-V2X를 위해 3GPP Rel. 15 규격을 지원하는 Qualcomm SA515 칩셋을 탑재하고 있으며 최대수신감도는 3Mbps에서 -99dBm이고, Max Tx Power는 C-V2X의 경우 +21.5dBm(Class 3)이다[21]. 변조 방식(MCS)은 차량의 이동속도와 데이터 트래픽의 혼잡도에 따라 자동으로 변경되도록 작동된다.

V2V 차량 간 통신 실험을 위해 사용된 차량은 <그림 5>와 같다. 차량 내 실험에 필요한 통신장치, 응용 프로그램 구동을 위한 노트북 그리고 5.9GHz 대역 무선 데이터 송수신 및 GPS 정보



그림 5. V2V 통신성능 검증을 위한 실험 차량

수신을 위한 RF shark 안테나를 차량 루프에 장착하였다. 본 차량 간 협력주행 서비스를 위한 성능 실험에 사용된 주요 파라미터는 <표 6>과 같다.

표 6. 통신성능 실험 파라미터

Parameter	Unit	Values
TX Packet Interval	ms	5
Transmit Power	dBm	21.5
MCS Index	-	[0 ~ 11] auto change
Packet Size	byte	300, 1000, 2000, 3000
Data Rate	Mbps	0.48, 1.6, 3.2, 4.8
Vehicle Heights	m	1.47(TX), 1.42(RX)

2. 실도로 시험 결과

UC3에 대한 TC1~TC5의 결과에 대해 먼저 비교 분석한 결과를 소개하고, UC1, UC2에 대한 TC6, TC7의 결과를 이어 설명한다.

<그림 6>에서는 전송 패킷의 크기에 따른 수신율의 성능을 보여준다. 기본적인 안전메시지인 BSM의 통상적인 크기인 300 bytes에서는 TC1 ~ TC5 모두 100% 수신율을 보였다. TC1 ~ TC3의 경우, 패킷 크기 1,000 ~ 2,000 bytes에서는 99.9% 이상, 3000 bytes에서는 99% 이상의 수신율을 보였다. TC4와

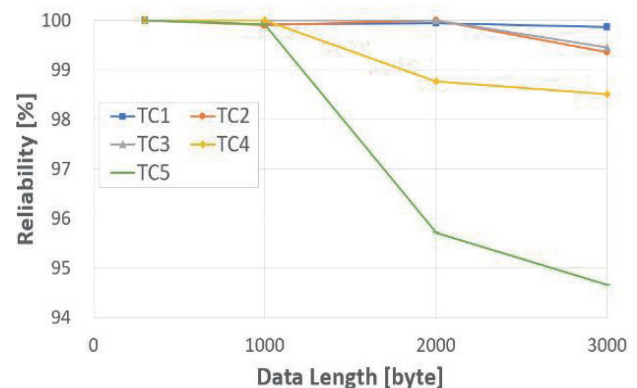


그림 6. TC1 ~ TC5에 대한 데이터 수신율 성능

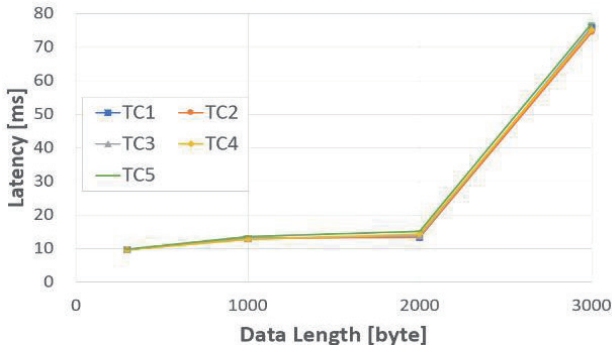


그림 7. Data Length 별 Latency

TC5의 경우 패킷 크기 1,000 bytes에서는 99.9% 이상을 보였으나 2,000 bytes 이상에서는 99% 이하의 수신율을 보였다. 특히 TC5의 경우 2,000 bytes 이상에서 급격한 수신율 저하가 발생하였다. 교차로 환경에서는 데이터의 수신율 성능이 교차로의 크기와 데이터 전송차량의 주행 차선 그리고 주변 차량의 통행량과 관련이 있다는 것을 알 수 있다.

〈그림 7〉에서는 각 실험 시나리오에서 측정된 데이터 송수신 지연시간을 보여준다. 교차로의 특징과 차량 통행량과는 크게 상관없이 지연시간을 전송 패킷의 크기와 매우 관련성이 높다는 것을 알 수 있다. TC1 ~ TC5 모두 300 bytes에서는 10ms, 1,000 ~ 2,000 bytes에서는 12~15ms 그리고 3,000 bytes에서는 급격히 75ms 정도로 지연시간 성능을 보였다. 일반적으로 전송 패킷의 크기가 커지게 되면 나누어 전송하게 되므로 불가피하게 지연시간이 증가하게 된다. 참고로 해당 제품에서는 전송 패킷의 크기가 2,109 bytes에서 급격히 증가하였다.

TC6, TC7의 경우 1번 구간과 2번 구간으로 분류하여 도심로를 송수신 차량이 함께 주행하며 차량 간 통신성능을 분석하였다. 참고로, TC6의 경우 1번 구간에서 왕복 6km의 도심로를 주행하였으며 TC7의 경우 2번 구간에서 편도 9.6km의 도로를 주행하면서 성능 실험을 진행하였다. TC6, TC7 모두 패킷 크기 300 ~ 3,000 bytes에서 99.9% 이상의 수신율을 보였다. 지연시간의 성능은 TC1 ~ TC5의 경우와 같다. 특이점으로는 1구간(TC6)에 존재하는 110미터 탄방 지하차도 주행 시 데이터 송수신이 끊김이 없이 수행되었으나 2구간(TC7)에 존재하는 520미터 대덕터널의 경우 진입 후 200미터 정도에서부터 데이터 송수신이 불가하였다. 따라서, 대략 100미터 미만의 터널(지하차도)의 경우 지속적인 데이터 서비스가 가능하다는 것을 알 수 있다.

〈표 7〉에서는 TC1~TC7 시나리오를 통해 측정된 통신장치 성능 결과를 〈표 1〉의 참조 유즈케이스에 제시된 SLR 요구사항과 비교하여 만족하는 조건을 설명한다. 패킷 크기가 300 bytes 이내에서는 TC1~TC5 조건에서 수신율과 지연시간 모두를 만족하

표 7. 5GAA 유즈케이스 SLR vs. TC 성능 비교

Test case	참조 유즈케이스	SLR 만족 조건
TC1	UC3	~300bytes: 수신율, 지연시간 만족 ~2,000bytes: 수신율만 만족
TC2	UC3	
TC3	UC3	
TC4	UC3	~300bytes: 수신율, 지연시간 만족 ~1,000bytes: 수신율만 만족
TC5	UC3	
TC6	UC1 UC2	~3,000bytes: UC1의 수신율, 지연시간 만족 ~300bytes: UC2의 수신율, 지연시간 만족 ~3,000bytes: UC2의 수신율만 만족 UC1의 2Mbps 전송속도 만족 UC2의 45Kbps 전송속도 만족

였다. 그러나 TC1~TC3는 2,000 bytes까지 그리고 TC4~TC5는 1,000 bytes까지 수신율만 만족한다. TC6~TC7의 경우 3,000 bytes까지 UC1의 수신율과 지연시간 모두를 만족한다. 그러나 UC2의 지연시간을 만족하기 위해서는 300 bytes까지 패킷 전송이 가능하다는 것을 알 수 있다.

III. 결론

본고에서는 최근 V2X 표준 현황, 기술개발과 실증 동향을 살펴보고 C-V2X OBU를 차량에 탑재하여 교차로 및 실도로 환경에서 자율협력주행 서비스 제공에서 요구되는 통신성능을 측정하고 분석하였다. C-V2X 기술은 최근 Release 17을 통해 저전력, 고신뢰 및 자원 할당 기능 등을 더욱 고도화하기 위한 표준을 개발하고 있다. 국내외적으로 C-ITS를 위한 주파수 할당 정책을 완료하고 5G-V2X 기술 상용화에 박차를 가하고 있으며 다양한 프로젝트와 실증 개발을 통해 V2X 기술 상용화를 앞당기고 있다.

자율협력주행 서비스에 적합한 통신성능 검증을 위해 5GAA에서 제시한 3가지 유즈케이스를 참조하여 도심 환경에서 7가지의 실험 시나리오를 정의하고 C-V2X 통신 실험을 진행하였다. 본 실험을 통해 유즈케이스 요구사항을 만족할 수 있는 통신 서비스 조건을 도출하였다. 서비스 패킷의 수신율은 대체로 요구조건을 만족하였으나 전송 패킷의 크기에 따라 지연시간의 증가는 해결해야 할 이슈 사항으로 제시되었다. 또한, 더 높은 전송속도를 요구하는 편이 및 자율주행 유즈케이스에 대한 통신성능 검증은 추후 과제로 남아있다. 계속해서 진화되고 있는 통신 기술과 함께 다양한 자율협력주행 서비스 기술이 교통 문제를 해결하고 자율주행 서비스 안전에 더욱 크게 이바지할 것으로 기대한다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 차세대 자율주행 차량통신 기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2022-0-00199, 커넥티드 자율주행을 위한 5G-NR-V2X 성능 검증]

참고 문헌

- [1] 노고산, 김일규, “차량 통신을 위한 3GPP 5G NR V2X 표준화 동향”, 2019.
- [2] 자율주행자동차V2X 통신 표준화 현황, 국가표준코디네이터 사무국, 2020.
- [3] 정소이, 이동구, 김재현, “자율주행을 위한 C-V2X 표준화 동향”, 2018.03
- [4] 5G 포럼 교통융합위원회 백서, January 2019.
- [5] 한국정보산업연합회, “국내외 표준화·실증 동향 분석 기술 문서”, 2022.
- [6] M. M. Saad, M. A. Tariq, J. Seo and D. Kim, "An Overview of 3GPP Release 17 & 18 Advancements in the Context of V2X Technology," 2023 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC), Bali, Indonesia, 2023, pp. 057-062.
- [7] 5GAA, Visionary Roadmap for Advanced Driving Use Cases, Connectivity Technologies, and Radio Spectrum Needs, 2020.09
- [8] Shanzhi Chen, Jinling Hu, Yan Shi, Li Zhao, and Wen Li, A Vision of C-V2X: Technologies, Field Testing, and Challenges With Chinese Development, 2020.05
- [9] 김경환, 서상준, 차태영, 김상현, 국제C-ITS 동향과 향후 국내V2X 기술 도입에 대한 고찰, 2021.02
- [10] 5GAA, Deployment band configuration for C-V2X at 5.9GHz in Europe, 2021.06
- [11] 장경희, 완전자율주행을 위한C-V2X의 표준 및 미래 전망과 생태계, 2021
- [12] 과학기술정보통신부(보도자료), ‘C-ITS 단일 통신방식 결정 전문가 위원회’, C-ITS 통신방식을LTE-V2X로 하기로, 2023
- [13] 정소이, 이동훈, 자율주행을 위한 국내외 각 기업의C-V2X 기술 개발 동향, 2023
- [14] 빈미영, 경기연구원 정책연구 2022-23 “자율주행자동차운행을 대비한 경기도 교통운영 관리방안”, 2022.08.31, pp. 16.
- [15] 박동주 TD(에릭슨엘지), 5G-NR-V2X 통신 기반 국내외 표준화·실증 동향 분석, “국·내외 V2X 표준화 기반 실도로 테스트 및 실증 동향”, 2022, pp. 17-19
- [16] 5GAA, C-V2X Pilot and Demonstration Areas in China, 2022, pp. 6.
- [17] SK 텔레콤(보도자료), “SKT, 서울시C-ITS 실증사업 완수”, 2021.06.08
- [18] KT Enterprise, DX Story, “C-ITS, 교통사고 제로화 이끄는 차세대 지능형 교통 시스템”, 2022.03.03
- [19] LGU+, Smart Mobility, “C-ITS”, 2023
- [20] 대전 교통 빅데이터 플랫폼 (<https://tportal.daejeon.go.kr/>)
- [23] 5GAA, C-V2X Use Cases and Service Level Requirements Volume II, 2021.02.
- [21] Cohda Wireless, MK6 OBU Product Brief Sheet
- [22] 5GAA, C-V2X Use Cases and Service Level Requirements Volume I, 2020.12.

약 력



송 현 수

2022년~현재 창원대학교 전자공학전공 학부생
2024년 한국전자통신연구원 연구연수생
관심분야: 차량통신, C-ITS, 자율주행, 이동통신, 무선통신



전 준 혁

2018년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 학부생
2024년 한국전자통신연구원 연구연수생
관심분야: 차량통신, C-ITS, 자율주행



이 영 서

2024년 고려대학교 전기전자공학부 학사
2024년 한국전자통신연구원 연구연수생
관심분야: 차량통신, 5G, C-ITS, 자율주행



이 신 경

1999년 전남대학교 전산학과 학사
2001년 전남대학교대학원 전산학 석사
2000년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원 근무
관심분야: 차량통신, WAVE, C-ITS, 자율주행



송 유 승

2001년 Wichita State University 박사 졸업
2001년~2005년 삼성전자 통신연구소 책임 연구원
2011년~2016년 과학기술연합대학원대학교 겸임교수
2005년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
주관심분야: 차량통신, C-ITS, WAVE, 5G, 자율주행