

ITS 및 자율 주행 서비스를 위한 V2X 통신기술 표준화 동향

오현서 ITS/차량ICT 프로젝트그룹(PG 905) 의장, ETRI 자율주행지능연구실 책임연구원

송유승 ETRI 자율주행지능연구실 책임연구원

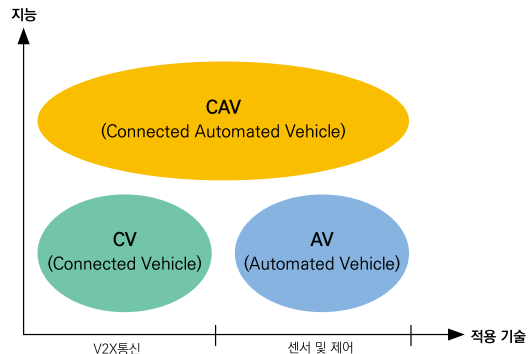
1. 머리말

자동차는 ICT 기술과 융합되어 기능이 고도화되고 있으며 적용되는 V2X 통신기술, 차량 센서와 제어기술에 따라 CV(Connected Vehicle), AV(Automated Vehicle) 그리고 CAV(Connected & Automated Vehicle)라고 부른다. 본고에서는 자동차 ICT 기술융합개념 과 ITU-R WP5A에서 추진하고 있는 ITS 응용서비스를 위한 V2X 통신주파수 조화연구 내용을 소개한다. 그리고 대표적인 V2X 통신 기술인 IEEE NGV(Next Generation V2X) 통신과 3GPP C-V2X 통신기술에 대한 최근 표준화 현황, 그리고 물리 계층과 MAC 계층 규격을 설명한다. 끝으로 IEEE V2X, 3GPP C-V2X 통신기술개발에 따른 현안과 향후 전망을 살펴 본다.

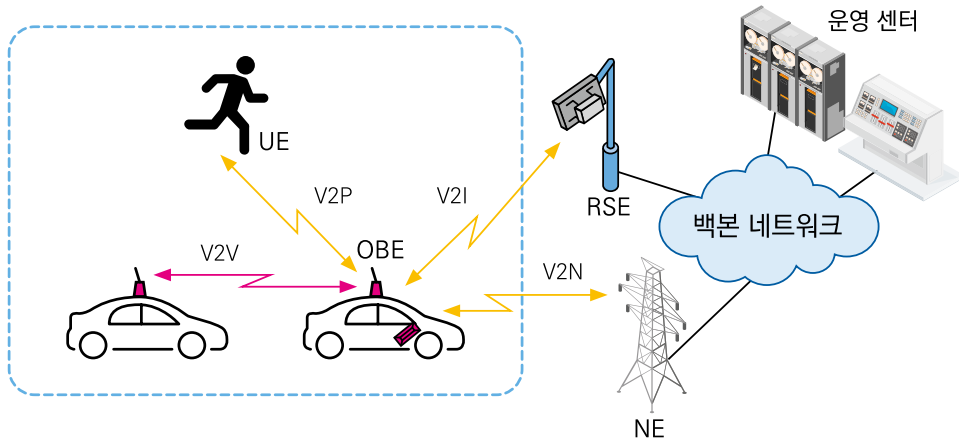
2. 자동차 ICT 기술 개념

자동차는 ICT 기술과 융합하여 자동차의 지능이 고도화되는 방향으로 발전하고 있다. [그림 1]에서 보

는 바와 같이 차량에 적용되는 ICT 기술에 따라서 CV, AV, CAV로 구분할 수 있다. 차량에 V2X 통신 단말이 부착되어 차량 간 통신과 차량과 인프라 간 통신이 가능하고 차량 안전 및 C-ITS 서비스를 제공할 수 있는 차량을 CV라고 부른다. 차량에 차량 센서가 부착되어 차량 주변 상황을 인식하고 목적지를 향하여 스스로 자율 주행을 제어할 수 있는 차량을 AV라고 말한다. 그리고 CAV는 CV와 AV 기능이 통합된 형태를 말한다. 차량 센서 정보와 V2X 통신을 이용하여 주변 차량 정보와 교통 인프라 정보를 공유하며 자율 주행을 하므로 궁극적인 자율 주행 자동차의



[그림 1] 자동차와 ICT 기술융합 개념



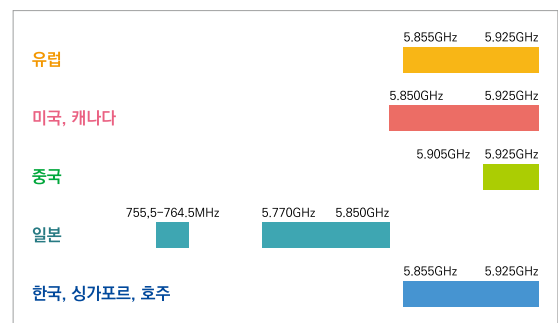
[그림 2] 서비스를 제공하는 V2X 통신기술 개념

모습이 될 것으로 전망하고 있다[1]. 본고에서는 CV와 CAV에서 필요한 V2X 통신 주파수 연구와 V2X 통신기술의 표준 현황, 그리고 주요 현안 이슈들에 대하여 소개한다.

3. ITU-R ITS 주파수 연구 동향

ITU-R WP5A ITS 연구그룹에서는 ITS 시스템을 국제적으로 널리 사용하고자 V2X 통신에 쓰이는 국제 주파수 조화를 위한 가이드라인, 권고, 보고서 및 핸드북을 개발하고 있다. ITS 서비스를 제공하는 V2X 통신은 [그림 2]와 같이 차량을 중심으로 볼 때 차량 간 통신(V2V), 차량과 인프라 간 통신(V2I), 차량과 네트워크 장치 간 통신(V2N), 차량과 보행자 간 통신(V2P)이 있다. V2V와 V2I, 그리고 V2P는 차량 및 보행자 안전에 관련된 서비스를 제공한다. 따라서 전파 간섭을 허용하지 않는 전용 주파수 대역을 사용해야 하므로 5.9GHz 주파수 대역을 활용하는 연구가 진행되었다. 그리고 V2I와 V2N은 모두 차량과 인프라 간 통신이지만 V2I 통신은 5.9GHz 전용 주파수 대역을 사용하고 V2N은 이동통신 상용 주파수 대역을 사용하는 측면에서 통신 방식에 차이가 있다.

ITU-R은 2015년 결의한 WRC-19 의제에 따라 ITS 서비스를 위한 V2X 통신 주파수 연구를 2015년부터 4년간 추진하였다. 이러한 연구를 통하여 제정된 권고 ITU-R M.2221에서는 차량 안전과 C-ITS 서비스를 제공하는 V2X 통신 주파수 대역으로 5.855~5.925GHz 주파수 대역을 사용할 것을 권고하고 있다[2]. 이 권고의 부록에서는 미국과 유럽, 한국, 중국, 싱가포르, 호주는 5.855~5.925GHz 주파수 대역을, 일본은 700MHz 주파수 대역과 기존 5.770~5.850GHz ITS 주파수 대역을 이용하는 현황을 설명하고 있다. 그리고 V2X 무선통신에 대한 권고 ITU-R M.2084에서는 V2X 통신 주파수 대역에서 통신기술의 규격은 ETSI, IEEE, 3GPP, ARIB, TTA 등의 산업 표준을 준용할 것을 권고하고 있다[3].



[그림 3] ITS 서비스용 V2X 통신 주파수 권고

2019년 결의한 ITU-R WP5A 회의에서는 CAV를 위한 V2X 통신 요구사항 연구를 채택하였다. CAV 연구에서는 CAV에 대한 명확한 서비스 개념과 연구 범위를 정립할 것과 CAV를 제공하기 위한 V2X 통신 요구사항, 차량 레이더를 포함한 센서 연구를 2020년부터 추진할 계획이다.

4. IEEE NGV 통신 표준화 현황

IEEE에서는 차량 안전 및 ITS 서비스를 위한 대표적인 V2X 통신기술로 IEEE 802.11p 통신 표준을 2016년에 표준화하였다. IEEE 무선랜 기술이 지속적으로 발전함에 따라 IEEE 802.11p 기술의 성능을 향상할 필요가 있어 2019년부터는 IEEE 802.11p와 호환되면서 기능과 성능을 향상시키는 IEEE 802.11bd 표준을 2021년까지 완료할 목표로 진행 중이다. IEEE 802.11bd는 Next Generation V2X(NGV)라고 부르며 이 표준은 5.9GHz 주파수 대역을 기본적으로 사용하고 60GHz 주파수 대역을 선택적으로 사용할 수 있다. 성능의 목표는 다음과 같다[4].

- IEEE 802.11p 대비 2배 이상의 전송 속도
- 차량 이동속도는 최대 250km/h(근접 시 500km/h)
- IEEE 802.11p 대비 최소 3dB 감소 향상
- 위치 추정 기술 지원
- OCB 디바이스와 상호 호환성 및 공존, Backward compatibility 지원

IEEE 802.11bd에서 제공하는 응용 서비스는

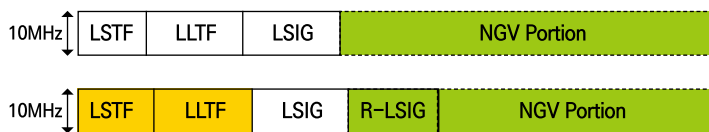
BSM(Basic Safety Message), 멀티 채널 동작, 인프라 서비스와 같이 기존의 IEEE 802.11p 응용 서비스와 센서 정보 공유, 차량의 위치 정보 제공, 자율 주행 지원 등과 같은 자동차 자율 주행 서비스와 기간 통신 서비스를 포함하고 있다. IEEE 802.11 NGV 그룹에서는 IEEE 802.11bd 성능 목표를 만족하기 위한 물리 계층과 MAC 계층에 대한 기술 제안과 규격화 작업이 진행되고 있으며 내용은 다음과 같다.

4.1 물리 계층 규격

무선 전송 속도를 2배 이상 증가시키기 위하여 256QAM 기술과 20MHz 채널을 사용한다. 256QAM 변조 방식은 64QAM에 비해 데이터 속도가 2배 증가한다. 그리고 20MHz 주파수 대역 전송은 이웃한 10MHz 주파수 채널 2개를 묶어서 전송하는 방식을 사용한다. 무선 채널로 인한 수신 성능을 개선하기 위하여 LDPC 코딩 기술과 패킷 반복 전송, 그리고 두 개 안테나 전송 방식을 사용한다. 그리고 다경로 페이딩 채널 환경에서 채널 추정을 위해 미드엠블 신호를 주기적으로 전송하며 OFDM 신호의 PAPR을 개선하기 위해 송신 신호 변조 시 DCM(Double Carrier Modulation) 방식을 적용한다. 또한, 고속 패킷 데이터 전송과 cm급 거리 추정을 위하여 60GHz 전송 기술을 선택적으로 사용할 수 있다.

4.2 MAC 계층 규격

자동차의 안전 및 자율 주행에 있어서 자동차 간



[그림 4] 패킷 신호 전송 신호

상대 거리를 아는 것은 반드시 필요하므로 Ranging 기능을 지원한다. Ranging 기능은 5.9GHz 주파수 대역에서 10/20MHz 주파수 채널에서 가능하며 cm 급의 정밀한 Ranging 방식을 사용할 수 있다. 그리고 IEEE 802.11p와 IEEE 802.11bd 패킷 프레임 간 패킷을 구분하고 상호 통신이 가능하게 프레임 구조를 정하며 전송 신호의 규격은 [그림 4]와 같다. 패킷 전송 신호는 패킷 초기 동기화 및 동작 모드 세팅을 위해 Training Sequence와 Signal 정보를 포함한다. 또한 다수의 단말이 통신하는 경우에 혼잡(Congestion)이 발생하지 않게 한다.

5. 3GPP C-V2X 표준화 현황

5G 이동통신은 ITU-R 비전그룹에서 IMT-2020이라 부르고 있으며 개인당 1Gbps 고속 데이터 전송이 가능하고 1ms latency를 제공하며 많은 디바이스 간 통신을 지원하는 것으로 목표로 하고 있다. 이러한 목표에 따라 3GPP는 2020년 상반기를 목표로 Rel.16 표준화를 추진하고 있으며 주요 핵심 기술로는 초고속 광대역 기술(eMBB, enhanced Mobile Broadband), 고신뢰 및 초저지연 기술(URLCC, Ultra-Reliable and Low Latency Communication), 초연결 기술(mMTC, massive Machine Type

Communication) 도메인이 있다. 5G 이동통신 분야 중에 V2X 응용 서비스에는 ITS 서비스와 자율 주행 서비스를 포함하고 있으며 대표적인 응용 서비스에는 차량 군집 주행, 차량 센서와 맵 정보 공유, 원격 제어 등 27가지의 서비스를 제시하고 있다. 그리고 이러한 서비스를 제공하기 위한 V2X 통신기술에는 LTE V2X, LTE eV2X, 5G NR V2X 기술이 있다. LTE V2X 기술은 Rel.12와 Rel.13에서 표준화된 D2D 기술을 바탕으로 개발된 Rel.14 LTE V2X가 있고 Rel.15 LTE eV2X, 그리고 Rel.16 NR V2X 기술로 발전하고 있으며 기술의 주요 특징은 <표 1>과 같다.

Rel.14 LTE V2X 기술은 ITS 서비스를 지원하며 도로 안전 메시지를 반복적으로 전송하고 운전자에게 경고하는 서비스를 말하며 End-to-End Latency가 100ms 이내이고 PER이 10% 이내의 성능을 제공한다. Rel.15 LTE eV2X 기술은 ITS 서비스와 자율 주행 서비스를 제공하며 군집 주행과 Advanced Driving, Extended Sensor, Remote Driving 서비스를 제공할 수 있도록 End-to-End latency가 5ms 이내이고 PER이 1% 이내를 만족하는 규격이다. Rel.16 NR V2X는 Rel. 15 LTE eV2X에 비해 Unicast와 Groupcasting 기능이 추가되었고 자율 주행 서비스를 지원할 수 있도록 메시지 지연시간과 통신 신뢰성을 크게 향상시키는 기술을 포함하고 있다.

<표 1> C-V2X 기술의 특징

항목	Rel.14(LTE V2X)	Rel.15(LTE eV2X)	Rel.16(5G NR V2X)
대표 서비스	도로 안전 메시지 방송 (CAM, DENM, BSM)	<ul style="list-style-type: none"> • 군집 주행 • Advanced Driving • Extended Sensor • Remote Driving 등 	<ul style="list-style-type: none"> • Rel.15 서비스 • Unicast, Groupcasting 지원
End-to-End Latency	100ms	5ms 이내	
PER (Packet Error Rate)	10%	1% 이내	

5G V2X 통신기술은 OFDMA 무선접속방식을 사용하며 차량 환경에서 채널 추정이 가능하도록 파일럿 신호를 주기적으로 전송하며 물리 계층의 주요 특징은 다음과 같다.

- 다중 접속: OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)
- 신호 파형: SC-OFDM(Single Carrier OFDM)
- 채널 코딩: LDPC Coding
- MIMO Technology
- 고속 이동 환경을 고려한 프레임 구조

5G NR V2X의 물리 계층은 차량의 고속 이동 환경과 밀리미터파 대역을 사용하는 것을 고려하여 채널 추정을 위하여 복조 시 위상 추정에 도움이 되는 Demodulation Reference Signal(DMRS), 밀리미터파 전송 시 위상 보정에 도움이 되는 Phase Tracking Reference Signal(PTRS), 그리고 Up/Down Link 채널 추정을 위한 Sounding Reference Signal(SRS)와 Channel State Information Reference Signal(CSI-RS) 기술을 포함한다.

5G 이동통신에서 상용 주파수를 사용하는 V2N 통신에 있어서 차량과 서버 간 통신은 코어 망을 통해 접속되어야 하므로 코어 망을 통한 시간 지연이 발생하기에 짧은 지연시간이 요구되는 서비스 품질을 만족하기 어려울 수 있다. 차량 안전과 자율 주행 서비스에 있어서 시간 지연과 신뢰성 제공이 매우 중요하므로 이를 만족하기 위해 필요한 기술이 에지 컴퓨팅과 네트워크 슬라이싱 기술이다. 자율 주행 차량이 이동하면서 서버에서 정보를 차량에 제공하려면 코어 망을 통하여 전송 지연이 발생하므로 저지연을 요구하는 영상 정보, LDM 등은 노변 기지국에 로컬 서버를 차량에 서비스를 제공하게 함으로써 지연을 줄일 수 있는데 이러한 기술을 에지 컴퓨팅 기술이라고 부른다. 네트워크 슬라이싱 기술은 서비스별로 차

별화된 서비스 품질(QoS)을 제공하기 위해 물리적인 네트워크를 가상화하고 논리적으로 다중화하는 네트워크 기술이다.


6. 맺음말

ITS 응용 서비스를 제공하기 위한 V2X 통신용 주파수 대역은 ITU-R 연구를 통하여 5.855~5.925GHz 주파수 대역으로 사용할 것을 권고하고 있다. 이 주파수 대역을 이용하여 국제적으로 C-ITS 시범 사업이 추진되어 왔고 자율 주행 자동차와 연계하는 시도가 이루어지고 있으나 IEEE 802.11p/bd 기술과 C-V2X 기술 진영 간의 논쟁으로 사업이 연기되거나 표류하고 있다. EU의 경우 2019년 초에 5.855~5.925GHz 주파수 대역에서 V2X 통신기술로 ITS G5 기술 표준을 채택하려고 했으나 LTE V2X를 지지하는 5GAA 진영의 반발로 ITS G5 기술의 채택이 무산되었으며 그로 인하여 C-ITS사업이 표류하고 있다. 그리고 미국 연방통신위원회(FCC)도 2019년 12월에 5.855~5.925GHz 주파수 대역에 대한 정책을 발표하였는데, 5.9GHz 75MHz 주파수 대역 중에서 45MHz 주파수 대역은 무선랜과 공유하고 20MHz 주파수 대역은 C-V2X 용, 그리고 10MHz 주파수 대역은 DSRC(WAVE) 용도로 할당한다는 것이다. 이에 미국 의회에서는 타당한 근거가 없이 추진되었다는 공식적인 의견을 발표하였고 IEEE 802.11 무선랜 표준화 단체에서도 공식적인 의견을 준비하고 있다.

5.855~5.925GHz 주파수 대역에서 어떠한 V2X 통신 기술을 사용할 것인지에 대한 결정은 하나의 통신 방식을 결정하는 것이 좋으나 두 가지 기술을 모두 수용할 수 있는 방안을 마련하는 것도 필요하다고 생각한다. 통신기술은 지속적으로 발전하고 있어 새로운 기술을 수용할 수 있어야 하고 혁신할 수 있는 기회가 주어져야 하기 때문이다. IEEE 802.11p/

bd 기술과 LTE V2X/5G V2X 기술 간의 수준과 우수성에 대한 검토와 함께 성능 향상이 필요하지만 두 기술을 모두 사용할 수 있는 주파수 공유 연구를 하거나 추가적인 주파수 발굴 연구를 적극적으로 추진할 필요가 있다. 그리고 서로 다른 기술을 수용할 수 있도록 차량과 인프라에서의 통신 플랫폼을 마련하고 정보를 교환할 수 있는 표준을 마련하는 것도 필요하다.

국내외적으로 자율 주행 서비스 실증 사업이 진행

되고 있으며 자율 주행을 위한 무선통신은 5ms 이내의 저지연 응답과 99% 이상의 통신 신뢰성, 그리고 차량과 인프라 센서에서 발생하는 고속데이터 전송을 특징으로 한다. 이러한 기술적 요구사항을 만족하기 위해서 5G 이동통신의 적용과 59~61GHz 주파수 대역에서 광대역 전송 기술과 레이더 연구가 논의되고 있다. 이러한 통신기술에 대한 연구와 함께 ITU-R 국제 표준화, IEEE/3GPP 통신기술 표준화 그리고 국내 표준화가 추진되어야 할 것이다. 

※ 본 연구는 국토교통부의 스마트도로 조명 플랫폼 개발 및 실증연구(국가과제고유번호 1615011494, 부처과제고유번호 153349)의 연구비지원에 의해 수행됨.

참고문헌

- [1] 오현서, 'V2X 통신기술 현황' 산업기술연구소 세미나 자료, 2019.4.23.
- [2] Recommendation ITU-R M.2121-0, 'Harmonization of frequency bands for intelligent transport systems in the mobile service', January 2019.
- [3] Recommendation ITU-R M.2084, 'Radio interface standards of vehicle to vehicle infrastructure two way communications for intelligent transport systems', November 2019.
- [4] 802.11bd Functional Requirements Document, March, 2019.
- [5] 3GPP TS 22.185 'Service requirements for V2X services', 2016.
- [6] 3GPP TS 22.186 'Service requirements for enhanced V2X services', 2018.
- [7] 3GPP TS 38.885 'Study on NR V2X', 2019.

주요용어풀이

- C-ITS(Cooperative Intelligent Transport Systems): 협력형 지능형 교통 시스템
- LDPC(Low Density Parity Check code): 저밀도 패리티 체크 코드
- OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access): 직교 주파수 분할 다중 접속
- DMRS(Demodulation Reference Signal): 차량이 고속으로 이동하는 채널 환경에서 신호수신 채널 추정을 위한 기준 신호이며 업링크와 다운링크에 모두 사용
- PTRS(Phase Tracking Reference Signal): 밀리미터파의 오실레이터 위상 잡음으로 시스템 성능에 영향을 주는 위상 에러가 발생하므로 위상 에러를 검출하고 추적하기 위한 기준 신호이며 업링크와 다운링크에 모두 사용
- SRS(Sounding Reference Signal): UE 와 gNB 구간의 무선채널의 산란, 페이딩, 감쇄 등의 채널 특성을 파악하기 위하여 UE가 송신하는 채널 측정 기준신호이며 업링크에만 적용
- CSI-RS(Channel State Information Reference Signal): UE와 gNB 구간의 무선채널의 산란, 페이딩, 감쇄 등의 채널 특성을 파악하고 UE가 gNB에 통보하기 위하여 gNB가 송신하는 채널 측정 기준신호이며 다운링크에만 적용
- LDM(Local Dynamic Map): ITS 시스템에서 사용하는 전자 지도 정보를 말하며, 경밀한 전자 지도상에 신호등 정보, 차량 및 보행자 정보 등의 동적 정보가 매핑된 정보를 의미