

CAV(Connected Automated Vehicle)를 위한 통신기술 동향

글. 오현서 ETRI 자율주행지능연구실 책임연구원

머리말

자동차는 ICT 기술과 융합되어 점진적으로 기능이 고도화되고 있으며 적용되는 V2X 통신기술과 차량 센서 및 제어 기술에 따라 CV(Connected Vehicle), AV(Automated Vehicle) 그리고 CAV(Connected & Automated Vehicle)라고 부른다. 본 고에서는 자동차 ICT 기술 융합 개념과 ITU_R WP5A에서 추진하고 있는 ITS 응용 서비스를 위한 V2X 통신 주파수 조화 연구 내용을 소개한다. 대표적인 V2X 통신기술인 IEEE NGV(Next Generation V2X) 통신과 3GPP C-V2X 통신기술에 대한 최근 표준화 현황, 그리고 물리 계층과 MAC 계층 규격을 설명한다. 그리고 방송기술을 이용한 자동차 위치 정보와 OTA(Over-The-Air) 서비스를 설명한다.

자동차 ICT 기술 개념

자동차는 ICT 기술과 융합하여 자동차의 지능이 고도화되는 방향으로 발전하고 있다. [그림 1]에서 보는 바와 같이 차량에 적용되는 ICT 기술에 따라서 CV, AV, CAV, IoT 기반 CAV로 구분할 수 있다. CV(Connected Vehicle)는 차량에 V2X 통신 단말이 부착되어 차량 간 통신과 차량 간, 인프라 간 통신이 가능하고 차량 안전 및 C-ITS 서비스를 제공할 수 있는 차량을 의미한다. AV(Automated Vehicle)는 차량에 차량 센서가 부착되어 차량 주변 상황을 인식하고 목적지를 향하여 스스로 자율 주행을 제어할 수 있는 차량을 말한다. 그리고 CAV는 CV와 AV 기능이 통합된 형태를 말하며, 차량 센서 정보와 V2X 통신을 이용하여 주변 차량 정보와 교통 인프라 정보를 공유하며 자율 주행을 하므로 궁극적인 자율 주행 자동차의 모습이 될 것으로 전망하고 있다[1]. IoT 기반 CAV는 IoT 기술이 접목되어 디지털 플랫폼을 구축하여 정보를 교환하면서 자율 주행을 하는 차량을 말하며 차량에 V2X 통신기술, 센서 및 제어 기술 그리고 IoT 기술이 융합되어 차량의 지능을 고도화하는 방향으로 발전하고 있다. 본 고에서는 CV와 CAV에서 필요한 V2X 통신 주파수 연

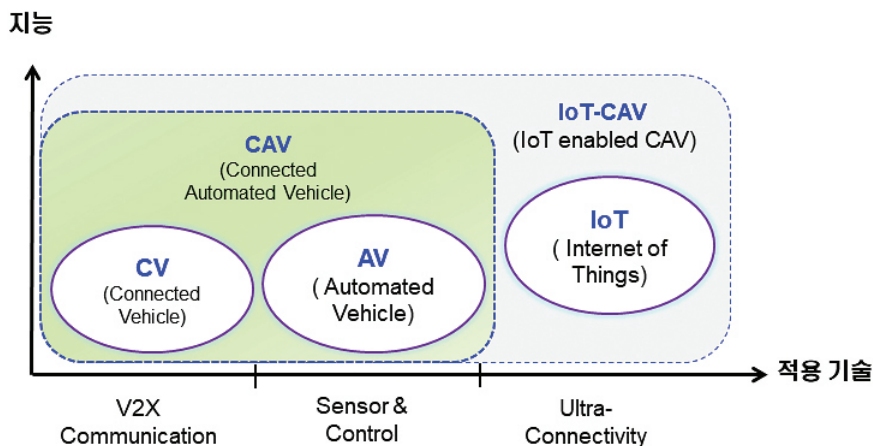


그림 1. 자동차와 ICT 기술 융합 개념

구와 V2X 통신기술의 표준 현황, 방송기술을 설명하고, 주요 현안 이슈에 대하여 소개한다.

ITU-R ITS 주파수 연구 동향

ITU-R WP5A ITS 연구그룹에서는 ITS 시스템을 국제적으로 널리 사용하기 위하여 V2X 통신 관련하여 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 제공하므로 전파 간섭을 허용하지 않는 전용 주파수 대역을 사용할 필요성이 대두되었고, 5.9GHz 주파수 대역을 활용하는 연구가 진행되었다. 그리고 V2I와 V2N은 모두 차량 간 인프라 간 통신이지만 V2I 통신은 5.9GHz 전용 주파수 대역을 사용하고, V2N은 이동통신 상용 주파수 대역을 사용하는 측면에서 통신 방식에 차이가 있다.

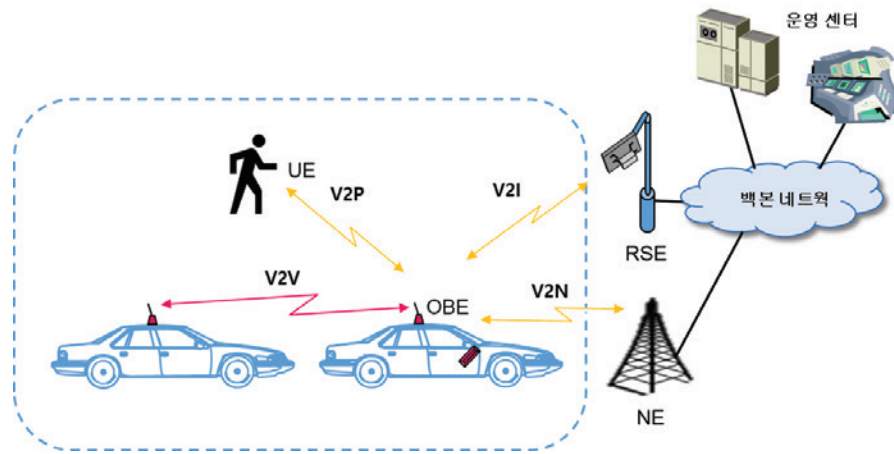


그림 2. ITS 서비스를 제공하는 V2X 통신기술 개념

ITU-R은 2015년 결의한 WRC-19 의제에 따라 ITS 서비스를 위한 V2X 통신 주파수 연구를 2015부터 4년간 추진하였고, 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 Appendix에서는 미국과 유럽, 한국, 중국, 싱가포르, 호주는 5.855~5.925GHz 주파수 대역 사용하고 일본은 700MHz 주파수 대역과 기존 5.770~5.850GHz ITS 주파수 대역을 사용하는 현황을 설명하고 있다. 그리고 V2X 무선통신에 대한 권고 ITU-R M.

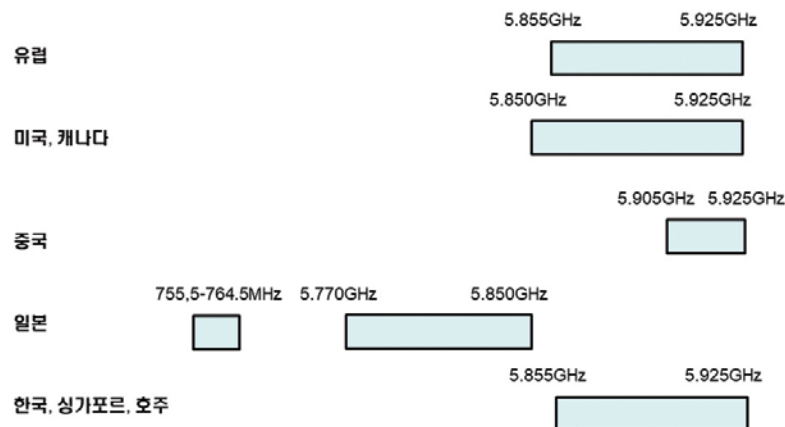


그림 3. ITS 서비스용 V2X 통신 주파수 권고

2014에서는 V2X 통신 주파수 대역에서 통신기술의 규격은 ETSI, IEEE, 3GPP, ARIB, TTA 등의 산업 표준을 준용할 것을 권고하고 있다[3].

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 2020년 7월부터 추진하고 있다.

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 지속해서 발전함에 따라 IEEE 802.11p 기술 성능 향상의 필요성이 대두되어 2019년부터는 IEEE 802.11p와 호환성을 제공하면서 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 전송속도
- 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), 멀티채널 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 기차 간 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.

물리 계층 규격

무선 전송속도를 2배 이상 증가시키기 위하여 256QAM 기술과 20MHz 채널을 사용한다. 256QAM 변조 방식은 64QAM에 비해 2배의 데이터 속도가 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 다 경로 페이딩 채널 환경에서 채널 추정을 위해 미드 엠블 신호를 주기적으로 전송하며 OFDM 신호의 PAPR을 개선하기 위해 송신 신호 변조 시 DCM(Double Carrier Modulation) 방식을 적용한다. 또한 고속 패킷 데이터 전송과 Cm 급 거리 추정을 위하여 60GHz 전송 기술을 선택적으로 사용할 수 있다.

MAC 계층 규격

자동차의 안전 및 자율 주행에 있어서 자동차 간 상대 거리를 아는 것은 꼭 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 동작 모드 세팅을 위해 Training Sequence와 Signal 정보를 포함한다. 또한 다수의 단말이 통신하는 경우에 혼잡(Congestion)이 발생하지 않게 한다.

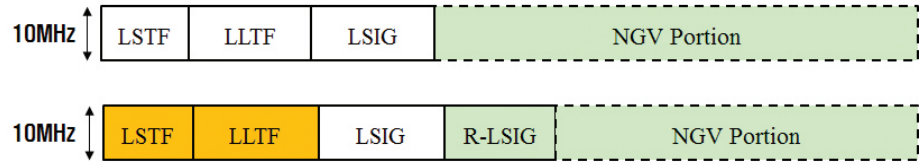


그림 4. 패킷 신호 전송 신호

3GPP C-V2X 표준화 현황

5G 이동통신은 ITU-R 비전그룹에서 IMT-2020이라 부르고 있으며 개인당 1Gbps의 고속 데이터 전송이 가능하고 1msec latency를 제공하며 많은 디바이스 간 통신을 지원하는 것을 목표로 삼고 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 V2X가 있다. LTE V2X 기술은 Rel. 12과 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 다음과 같다.

항목	Rel.14(LTE V2X)	Rel.15(LTE eV2X)	Rel. 16(5G NR V2X)
대표 서비스	도로 안전 메시지 방송 (CAM, DENM, BSM)	· 군집 주행 · Advanced Driving · Extended Sensor · Remote Driving 등	· Rel. 15 서비스 · Unicast, Group cast 지원
End-to-End Latency	100msec	5msec 이내	
PER (Packet Error Rate)	10%	1% 이내	

표 1. C-V2X 기술의 특징

Rel.14 LTE V2X 기술은 ITS 서비스를 지원하며 도로 안전 메시지를 반복적으로 전송하고 운전자에게 경고하는 서비스를 말하며 End-to-End Latency가 100msec 이내이고 PER이 10% 이내의 성능을 만족해야 한다. 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 5msec 이내이고, PER이 1% 이내를 만족하는 규격이다. Rel. 16 NR V2X는 Rel. 15 LTE eV2X에 비해 Unicast와 Group Casting 기능이 추가되었고 자율 주행 서비스를 지원할 수 있도록 메시지 latency와 통신 신뢰성을 크게 향상시키는 기술을 포함하고 있다.

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(Singe 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)과 Channel State Information Reference Signal(CSI-RS) 기술을 특징으로 한다.

5G 이동통신에서 상용 주파수를 사용하는 V2N 통신에 있어서 차량과 서버 간 통신은 코어 망을 통해 접속되어야 하므로 코어 망을 통한 시간 지연이 발생하고 Mission critical 한 서비스 품질을 만족하기 어려울 수 있다. 차량 안전과 자율 주행 서비스에 있어서 시간 지연과 신뢰성 제공이 매우 중요하므로 이를 만족하기 위해 필요한 기술이 엣지 컴퓨팅과 네트워크 슬라이스 기술이다. 자율 주행 차량이 이동하면서 서버에서 정보를 차량이 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 기술은 엣지 컴퓨팅 기술이라고 부른다. 네트워크 슬라이싱 기술은 서비스 별로 차별화된 QoS를 제공하기 위해 물리적인 네트워크를 가상화하고 논리적으로 다중화하는 네트워크 기술이다.

방송기술 동향

방송기술은 방송국에서 단말로 음성이나 데이터, 영상 정보를 전송하는 기술로 단방향 통신이기는 하나 최대 100km 정도의 광역으로 정보를 전송할 수 있는 장점이다. 방송기술은 아날로그 방식에서 디지털 방식으로 전환이 되고 방송 채널을 이용한 디지털 전송 기술이 개발됨에 따라 방송 채널을 이용한 차량 안전 및 자율 주행 서비스에 활용이 가능하게 되었다.

방송기술에는 대표적으로 FM DARC(Data Radio Channel)와 RDS(Radio Data System), DMB(Digital Multimedia Broadcasting) 기술이 있다. FM DARC 기술은 60~94 KHz FM 방송 주파수 대역에서 디지털 데이터를 전송하는 기술로 LMSK(Level Controlled Minimum Shift Keying) 변조 방식을 이용하여 최대 16Kbps 데이터 패킷을 전송할 수 있다. DMB 기술은 디지털 TV 방송기술로 디지털 음성, 데이터, 영상을 보낼 수 있으며 Eureka DAB를 기반으로 영상 정보를 추가로 보낼 수 있는 기술이다.

이러한 디지털 방송 채널은 광역으로 제공하므로 교통 정보, MAP 다운로드, 그리고 GPS 보정 정보를 제공할 수도 있도록 TPEG(Transport Protocol Experts Goup) 국제 표준이 개발되었다. TPEG 표준을 사용하여 차량 안전 및 자율 주행 서비스에서 차량에서는 정확한 위치 정보가 요구되므로 방송 채널을 이용하여 위치 보정 정보를 제공하는데 도움을 줄 수 있다. 또한 차량이 자율 주행 기능이 제공됨에 따라 차량의 SW 비중이 증가하게 되었고 SW 안정성과 업그레이드 문제가 대두되었으며, 무선통신망을 이용한 펌웨어 업그레이드와 소프트웨어 다운로드가 필요하므로 통신망 또는 방송망을 이용한 SW 업그레이드

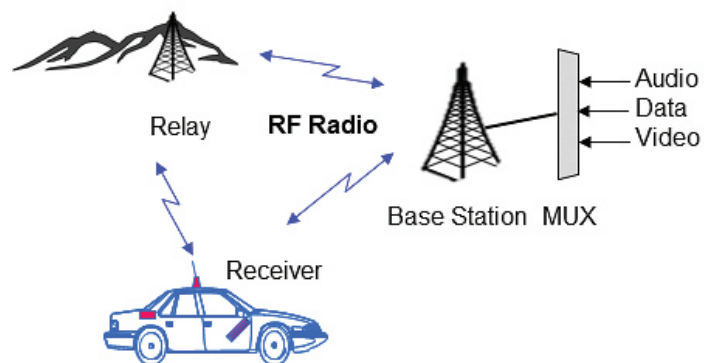


그림 5. 광역 방송 시스템

가 필수적인 기능으로 요구되며 기본 기능으로 자리를 잡고 있다. 따라서, 차량에서의 위치 정보에 대한 보정과 차량의 SW 업그레이드, 정보 다운로드 서비스에 방송망을 연계하여 활용하는 연구가 추진되어야 한다.

맺음말

ITS 응용 서비스를 제공하기 위한 V2X 통신을 위한 주파수 대역은 ITU-R 연구를 통하여 5.855~5.925GHz 주파수 대역으로 국제적으로 사용할 것을 권고하고 있다. 이 주파수 대역을 이용하여 국제적으로 C-ITS 시범 사업이 추진되어 왔고 자율 주행 자동차와 연계하는 시도가 이루어지고 있으나 이 주파수 대역에서 IEEE 802.11p/bd 기술과 C-V2X 기술 진영 간의 논쟁으로 인하여 사업이 연기되거나 표류하고 있다. EU 경우 2019년도 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-ITS 사업이 표류하게 되었다. 그리고 미국 FCC도 2019년 12월에 5.855~5.925GHz 주파수 대역에 대한 정책을 발표하였는데, 그것은 5.9GHz 75MHz 주파수 대역 중에서 45MHz 주파수 대역은 무선 랜과 공유 대역으로 할당하고 20MHz 주파수 대역은 C-V2X용으로, 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 공식적으로 대응하고 있다.

5.855~5.925GHz 주파수 대역에서 어떠한 V2X 통신기술을 사용할 것인지에 대한 결정은 하나의 통신 방식을 결정하기보다는 두 가지 기술을 모두 수용할 방안을 마련하는 것이 필요하다고 생각한다. 통신기술은 지속해서 발전하고 있으며 새로운 기술을 수용할 수 있어야 하고, 혁신할 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 진행되고 있으며, 자율 주행을 위한 무선통신의 특징은 5msec 이내의 저지연 응답과 99% 이상의 통신 신뢰성을 확보하는 것과 차량과 인프라 센서에서 발생하는 고속데이터를 전송 능력이다. 이러한 기술적 요구사항은 만족하기 위해서 5G 이동통신의 적용과 60GHz 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.

방송기술은 방송국에서 단말로 음성이나 데이터, 영상 정보를 전송하는 기술로 단방향 통신이기는 하나 최대 100km 정도의 광역으로 정보를 전송할 수 있는 장점이 있으므로 방송기술을 차량에 적용이 가능하다. 방송 채널을 이용하여 차량의 GPS 위치 정보를 보정하고 맵 정보 다운로드가 가능하므로 이러한 연구도 진행되어야 한다. 

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.
- [8] ITU-R WP5A 'CAV 기술 보고서', 2020.