

Chapter

01

차세대 차량 통신 기술개발 동향

노고산_한국전자통신연구원 책임연구원

정희상_한국전자통신연구원 책임연구원

5G 기술이 발전하고 시장이 성숙해지면서 사람 대 사람(Human-to-human) 간 통신을 넘어서 사물 간 통신(Internet-of-Things: IoT)으로 영역을 확장하고 있다. 사물 간 통신에서는 기존과는 다른 요구사항을 만족시키는 것이 필요하므로 이에 적합한 기술 개발이 필수적이다. 사물 간 통신에서의 대표적인 예로는 차량 통신을 들 수 있다. 차량 통신은 차량 충돌 사고 방지, 자율주행 구현, 인포테인먼트 서비스 등의 다양한 목적을 위해 해당 서비스 시나리오에 적합한 기술을 갖추어야 한다. 본 고에서는 5G에서의 차량 통신 요구사항, 표준화, 기술 개발에 대한 동향을 바탕으로 하여 차세대 6G에서 예상되는 차량 통신 기술에 대한 전망을 살펴보고자 한다.

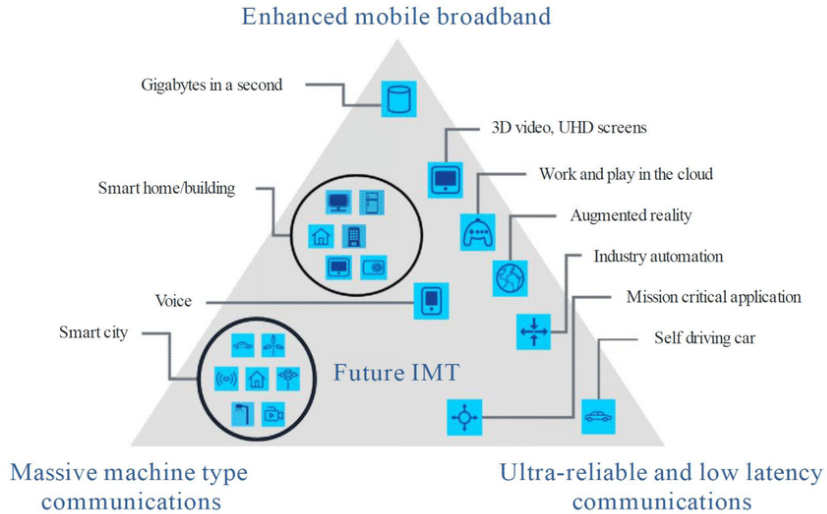
I. 서론

5G 이동통신은 기존 4G LTE(Long Term Evolution)와 다양한 측면에서 차별화가 이루어지도록 개발되었다. 우선 성능 측면에서 수십 Gbps급 최대 데이터 전송률(Peak data rate), 수백 Mbps급 사용자 체감 데이터 전송률(User experienced data rate), ms급의 지연(Latency), 매우 높은 신뢰성(Reliability), 매우 높은 전송 밀도(Connection density), 매우 높은 이동성(Mobility) 등을 지원해야 한다[1]. 위와 같은 다양한 성능 목표치는 새로 개발된 다양한 5G 서비스들을 효과적으로 지원하기 위해 제시되었다. 이러한 5G 서비스들은 다음과 같이 3가지 사용 예(Use case)로 분류할 수 있다[1]. 각 사용 예에 대한 대표적인

* 본 내용은 노고산 책임연구원(☎ 042-860-1183, gsnoh@etri.re.kr)에게 문의하시기 바랍니다.

** 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

***이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2018-0-00792, 통신비 부담 경감을 위한 대중교통수단에서의 공공와이파이 체감 품질 개선 기술 개발)



〈자료〉 ITU, Recommendation ITU-R M.2083-0, Sep. 2015.

[그림 1] 5G 사용 예 및 대표 서비스

서비스들을 [그림 1]에 나타내었다.

- eMBB(enhanced Mobile Broadband): 고속의 대용량 전송을 위한 서비스로 높은 데이터 전송률 및 높은 사용자 밀도 제공을 목표로 하며 주로 사람을 대상으로 하는 서비스에 해당한다. eMBB 서비스의 예로는 대용량 데이터 전송, 3D 비디오 스트리밍, 고화질 영상 전송 등을 포함한다.
- URLLC (Ultra-Reliable Low-Latency Communications): 매우 높은 전송 신뢰도와 매우 낮은 전송 지연이 필요한 서비스 지원을 목표로 하며, 대표적인 예로는 차량 통신, 공공 안전 및 재난 통신, 원격 의료, 산업 자동화 등을 포함한다.
- MTC(Massive Machine Type communications): 사람을 대상으로 하는 것이 아닌 기계 간 통신을 위한 서비스 지원을 위해 매우 높은 전송 밀도, 저전력, 넓은 커버리지 지원 등을 목표로 한다. MTC의 예로는 원격 센서, 모니터링 장치 등을 포함한다.

상기 5G의 대표 서비스 중 차량 통신은 5G 응용 분야 중 시장성과 성장성이 매우 큰 분야이며, 구체적으로는 안전주행 및 자율주행 안전과 관련된 URLLC 서비스 및 인포테인먼트 제공 등의 편의와 관련된 eMBB 서비스 등으로 분류할 수 있다. 차량 통신은 통신 대상에 따라 차량 대 차량(Vehicle-to-Vehicle: V2V), 차량 대 인프라(Vehicle-to-Infrastructure:

V2I), 차량 대 네트워크(Vehicle-to-Network: V2N), 차량 대 보행자(Vehicle-to-Pedestrian) 등을 포괄하여 통칭하는 차량 대 만물(Vehicle-to-Everything: V2X) 통신의 영역을 대상으로 한다[1].

이러한 차량 통신과 관련하여 본 고에서는 현재 5G에서의 V2X 개요를 바탕으로 하여 현재의 기술 개발 동향 및 표준화 현황을 소개하고, 앞으로의 6G에서 등장할 차세대 차량 통신 기술에 대한 전망을 제공하고자 한다.

II. 5G V2X 개요

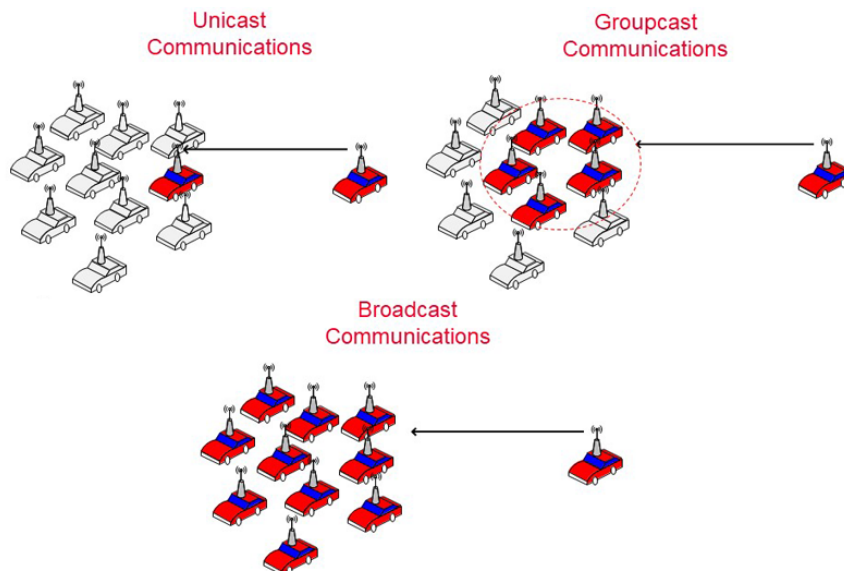
5G V2X는 3GPP 5G NR(New Radio)을 기반으로 하여 차량용 통신으로 범위를 확장하였다. 5G V2X는 차량 간 통신을 위한 LTE V2X의 영향을 받았으며 5G NR 기술을 기반으로 서비스 범위, 가용 주파수, 성능 향상 등의 다양한 부분에서 진화가 이루어졌다.

5G V2X가 대상으로 하는 주요 서비스는 3GPP SA1(System Aspects Working Group 1)에서 정의되었으며, 총 25개 사용 예를 정리하면 다음과 같이 크게 4가지 분류로 나누어질 수 있다[2],[3].

- 군집 주행(Vehicles Platooning): 차량들이 군집을 형성하여 운행할 수 있게 해 준다. 군집 내의 차량들은 군집 내 리더 차량으로부터 제어 정보를 얻어 군집 내 차량들이 좁은 간격을 유지하면서 주행할 수 있도록 한다.
- 확장된 센서(Extended Sensors): 차량 간 또는 도로변 장치(Road side unit: RSU) 및 보행자 등으로부터 수집한 센서 데이터 또는 영상 정보를 차량에 제공해 줌으로써, 차량은 주변 환경에 대한 인식 능력을 향상시킬 수 있다. 가공되지 않은 많은 양의 센서 데이터 전송이 필요하므로 높은 데이터 전송률이 요구된다.
- 고도화된 주행(Advanced driving): 반자율 또는 완전자율주행을 가능하게 한다. 이를 위해, 각 차량은 주변 차량과 센서 정보 및 주행 정보를 교환하며 주행 경로를 조율한다.
- 원격주행(Remote driving): 운전자가 없거나 멀리 떨어져 있는 경우의 차량 운전을 원격으로 가능하게 한다. 실시간으로 차량 주행 조작이 이루어져야 하므로 통신 링크의 높은 신뢰성과 낮은 지연이 필수적이다. 또한, 원격주행센터에서 차량의 영상 정보 등을 전달받아야 하므로 높은 상향링크 전송률이 확보되어야 한다.

상기 5G V2X의 대표적인 서비스들을 지원하기 위해 5G V2X(Release 16)는 사이드링크 지원 측면에서 기존 LTE V2X와 비교하여 상당한 수준의 기술적인 향상을 이루었으며 2020년에 규격화가 완료되었다. 대표적인 5G V2X의 새로운 기술은 다음과 같다[4].

- 다양한 전송 방식 지원: LTE V2X 사이드링크 전송에서 송신 단말이 주변의 모든 수신 단말에게 전송하는 브로드캐스트(Broadcast) 방식만 지원하던 것과 비교하여 5G V2X에서는 [그림 2]와 같이 브로드캐스트뿐만 아니라 일대일 전송이 가능한 유니캐스트(Unicast) 및 일대다 전송이 가능한 그룹캐스트(Groupcast) 전송을 지원한다[5]. 그룹캐스트 전송의 경우 군집 통신에서 군집의 리더 단말이 나머지 군집 멤버 단말들에게 전송하는 시나리오 등에 적용될 수 있다.
- 다양한 주파수 및 대역폭 지원: 5G NR의 상향 및 하향 링크에서와 같이 가변 길이의 부반송파 간격(Subcarrier spacing)을 지원함으로써 저주파 대역(FR1: 410MHz~7.125GHz)과 고주파 대역(FR2: 24.25~52.6GHz)을 모두 지원할 수 있으며 고속 이동성에 따른 도플러 확산(Doppler spread) 등에 강인하도록 설계할 수 있다[6]. 또한, 고주파 대역에서 민감하게 발생하는 위상 잡음(Phase noise)에 의한 영향을 보상할



<자료> J. Cavazos, "3GPP Release 16: What are the key enhancements and new features?" EDN, Mar. 2021.

[그림 2] 5G V2X에서의 다양한 전송 방식

수 있도록 PT-RS(Phase tracking reference signal)를 지원한다. 한편, 고주파 대역에서 확보 가능한 광대역 주파수 사용에 적합하도록 사이드링크 BWP(Bandwidth part) 설정이 가능하다[5].

- HARQ(Hybrid Automatic Repeat reQuest) 지원: 사이드링크 전송 신뢰성 향상을 위해 LTE V2X에서는 수신 성공 여부에 관계없이 무조건 2번씩 전송하는 블라인드 재전송(Blind retransmission) 기법이 사용되었다. 그러나 이러한 방식은 첫 번째 전송에 성공하는 경우에도 재전송하기 때문에 불필요한 주파수 자원 및 전력을 소모하게 된다. 이로 인한 단점을 극복하기 위해 5G V2X에서는 HARQ 동작을 설정할 수 있도록 지원한다. HARQ 동작을 위한 제어 정보(HARQ processing ID, NDI(New data indicator), RV(Redundancy version)) 등이 SCI(Sidelink Control Information)에 포함되어 전달된다[7]. 수신 단말은 해당 제어 정보를 바탕으로 수신한 데이터에 대한 HARQ 동작을 수행하며, 5G V2X에서 새롭게 정의된 PSFCH(Physical Sidelink Feedback Channel) 채널을 통해 데이터 복호 성공 여부에 대한 피드백을 송신 단말에 전달해줌으로써 필요한 경우 송신 단말이 재전송 동작을 할 수 있게 한다[8]. 이러한 사이드링크 HARQ 동작은 유니캐스트 및 그룹캐스트 전송에 적용될 수 있으며 브로드캐스트에는 적용되지 않는다. 또한, 그룹캐스트 전송의 경우에는 송수신 단말 간의 거리 등의 기준에 따라 HARQ 피드백 전송 여부를 설정할 수 있다[8].
- 전력 제어 지원: 5G V2X는 유니캐스트 및 그룹캐스트 전송 시 전력 제어를 통해 커버리지 확보 및 간섭 완화를 통한 사이드링크 성능 향상을 가능하게 한다. 제어 채널(Physical Sidelink Control Channel: PSCCH), 데이터 채널(Physical Sidelink Shared Channel: PSSCH), 및 피드백 채널(PSFCH) 등에 대해 경로 손실(Path loss) 추정을 통한 개루프(Open-loop) 전력 제어를 지원한다[8].
- 자원 할당: 5G V2X의 사이드링크 자원 할당 방법은 기지국에 의해 자원 할당을 받는 모드(Mode) 1과 단말이 스스로 자원을 할당하는 모드 2를 지원한다. 이는 LTE V2X의 모드 3, 모드 4와 대응된다고 할 수 있다. 모드 1의 경우 기지국이 송신 단말에게 동적 승인(Dynamic grant) 또는 설정된 승인(Configured grant) 방식으로 전송하도록 할 수 있다[9]. 동적 승인의 경우 전송할 데이터가 발생할 때마다 기지국은 하향 링크 제어 정보(Downlink Control Information: DCI)를 통해 자원 할당을 해 주어야 한다. 설

정된 승인 방식의 경우 기지국은 처음에 자원 할당 정보와 전송 주기 등을 정해주면 이후에는 기지국 제어 없이 단말이 전송을 지속할 수 있다. 또한, 모드 1에서는 송신 단말이 수신 단말로부터 받은 HARQ 피드백을 PUCCH(Physical Uplink Control Channel)를 통해 기지국에 전달해준다. 모드 2의 경우에는 주기적인 전송만 가능한 LTE V2X의 센싱 기반 SPS(Semi-persistent scheduling) 외에 동적 스케줄링 방식도 지원해준다. 동적 스케줄링의 경우 사이드링크 자원을 정해진 시간이 아닌 필요에 따라 사용하기 때문에, 이를 위한 센싱 기법에서의 향상이 이루어졌다. 사이드링크 전송을 위한 자원 선택을 위해 자원 풀(Resource pool) 내에 센싱 윈도우(Sensing window)와 선택 윈도우(Selection window)로 나누어서 모드 2 자원 할당 동작을 실행한다[9]. 이때, 센싱을 위해 SCI를 두 단계로 나누어 전송하는 방식을 사용하며 첫 번째 SCI에 센싱을 위한 자원 정보 및 우선순위(Priority) 정보를 포함한다. 이를 통해 자원 예약 및 자원 선점(Preemption) 등이 가능하다.

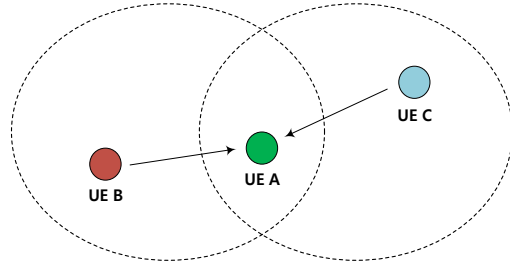
III. 5G V2X 기술의 진화

3GPP Release 16에서 5G V2X 지원을 위한 기본적인 사이드링크의 구조 및 동작에 대한 표준화가 이루어졌다. 여기에 더하여 Release 17에서는 “NR sidelink enhancement”의 WI(Work Item)으로 사이드링크 기능 향상에 대한 표준화가 진행되고 있다. Release 17은 2020년에 표준화가 시작되었으며 2022년 상반기 중으로 완료될 예정이다[5]. 이어서 시작될 Release 18에서 “NR sidelink evolution” WI로 추가적인 사이드링크 진화를 위한 표준화가 예정되어 있으며 2024년 상반기까지 완료할 계획이다[10].

1. Release 17 동향

Release 17에서의 사이드링크 향상을 위한 표준화는 2020년에 시작되어 현재 진행 중이며 2022년 상반기 중으로 마무리될 예정이다. Release 17에서는 사이드링크에서의 전력 저감 기술과 고신뢰 저지연 기술에 대한 필요성이 제기되었으며 그에 따른 표준화 아이템들이 승인되었다. 주요 사항들을 정리하면 다음과 같다.

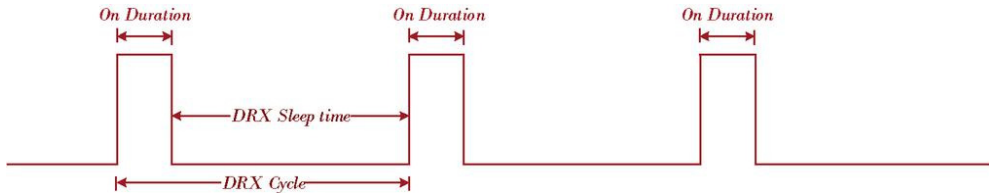
- 자원 할당 기능 향상: 단말의 전력 소모 감소를 위해 모드 2 자원 할당 개선을 목표로 진행하였다. 또한, 모드 2의 신뢰성 향상과 지연 감소를 위해 단말 간 협력 방법에 대한 표준화도 진행하였다[5]. 구체적으로는 [그림 3]과 같이 숨겨진 노드 문제(Hidden node problem), 반이중(Half-duplex) 제약 또는 무선 환경 등의 차이로 발생하는 단말 간의 센싱 능력 차이를 극복하기 위해 단말 간에 센싱 관련 자원 정보를 공유하거나 자원 사용 시 충돌이 예상되는 상황에 대한 정보를 공유함으로써 센싱 성능 향상을 가능하게 한다.



* UE B는 UE C의 전송을 모니터링할 수 없음
 <자료> 한국전자통신연구원 자체 작성

[그림 3] 숨겨진 노드 문제의 예

- 사이드링크 DRX(Discontinuous Reception) 지원: Uu 링크에서 데이터 트래픽이 없을 때 [그림 4]와 같이 ‘Sleeping’과 “Wake up” 상태를 주기적으로 반복시켜 단말의 전력 소모를 감소시킬 수 있는 DRX에 대한 필요성이 사이드링크에서도 제기되었다[5]. 이에 따라 브로드캐스트, 그룹캐스트, 유니캐스트에 대한 DRX 동작을 정의하며, 특히 On/Off 기간과 DRX 절차 및 타이밍에 대한 규격화를 진행하였다.



<자료> K. Ganesan, P. B. Mallick, and J. Lohr, “NR sidelink enhancement in 3GPP release 17,” Journal of ICT Standardization, 2(2), May 2021, pp.79–90.

[그림 4] 단말의 DRX 동작

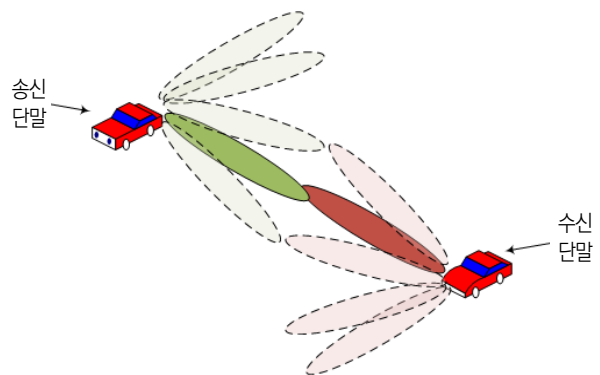
- 단일 캐리어 동작을 위한 새로운 사이드링크 주파수 지원: 면허(Licensed) 주파수 대역에서 사이드링크 및 Uu 링크 간 공존이 가능한 사이드링크 주파수 지원에 대한 규격화를 진행하였다.

2. Release 18 전망

Release 18에서의 사이드링크 진화를 위한 표준화는 2021년 12월에 승인되어 2022년 2분기에 시작될 예정이다. Release 18에서는 사이드링크 데이터 전송률 향상 및 새로운 사이드링크 주파수 대역의 지원에 대한 요구사항이 제기되었다. 예를 들어, 자율주행 등의 상황에 필수적인 차량 간 센서 및 영상 정보 공유를 위해 매우 높은 데이터 전송률이 필요하게 되며 이에 따라 FR2의 고주파수 영역을 활용한 사이드링크 동작이 필요하게 되었다. 또한, 긴 차량 구매주기를 고려하여 LTE V2X와 5G V2X 간 공존의 필요성이 제기된다. 그러므로 동일 주파수 대역에서 LTE V2X와 5G V2X 단말 간 간섭 없이 효율적으로 자원을 공유하는 방법에 대한 요구가 제기되었다.

상기 요구조건을 만족시키기 위해 Release 18에서의 사이드링크 진화를 위한 주요 표준 아이템은 다음과 같이 선정되었다.

- 사이드링크 반송파 결합(Carrier aggregation): LTE 사이드링크에서의 반송파 결합 방식을 NR 사이드링크에 적용하며 FR1의 면허 대역과 ITS(Intelligent Transport Systems) 대역을 대상으로 한다[10].
- 비면허(Unlicensed) 대역에서의 사이드링크 지원: NR-Unlicensed의 채널 사용 동작 방법을 기반으로 사이드링크를 비면허 대역에서 동작시키는 것을 목표로 한다[10]. 특히, 사이드링크 자원 예약 방법의 적용을 고려하며 관련한 물리 계층 채널 설계를 포함한다.
- FR2 면허 대역에서의 사이드링크 동작 향상: Release 17까지의 사이드링크에서는 FR2에 대한 빔 관리 기법을 명시적으로 지원하지 않았다. Release 18에서는 NR Uu 링크에 적용된 FR2 빔 관리 기법을 기반으로 하여 사이드링크 빔 관리 동작 방법의 정의를 목표로 한다. [그림 5]와 같이 사이드링크



〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

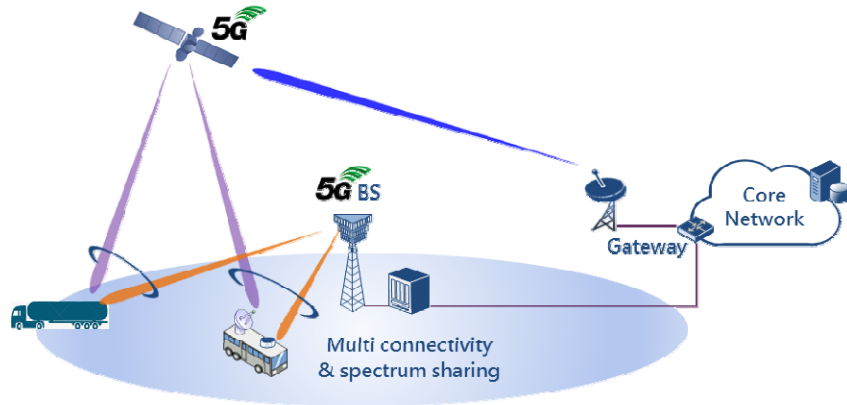
[그림 5] 사이드링크에서의 단말 간 빔 관리

- 빔 관리는 유니캐스트 전송에 적용할 수 있으며 초기 전송 빔 선택, 단말 이동에 따른 빔 변경, 빔 실패 복구(Beam failure recovery) 절차 등을 포함한다[10].
- 동일 주파수 대역에서의 LTE와 NR 간 사이드링크 공존: LTE 사이드링크와 NR 사이드링크를 동일 주파수 대역에서 공존시키는 것을 목표로 하며 Release 16에서 정의된 단말 내 공존 관련 설계를 기반으로 한다[10].

IV. 6G 차량 통신 전망

5G 이후 6G 이동통신이 상용화될 시점에서는 무인 완전자율주행 등 5G V2X보다 더욱 진화된 차량 통신 인프라 및 단말 기술이 필요할 것으로 예상된다. 앞으로 차량에 수백 개의 센서를 비롯해 비디오카메라, 적외선 카메라, 레이더, 라이더 등이 탑재될 것으로 예측된다 [11]. 이러한 센서 관련 데이터는 완전자율주행 또는 차량 사고 방지 등에 이용될 것이며, 데이터 전송 속도가 1Gbps 이상 필요할 것으로 예측된다. 이에 따라 기존 FR1 위주의 동작을 하는 5G V2X로는 만족시키지 못할 것으로 보인다. 이러한 문제를 해결할 수 있도록 예상되는 기술들을 아래에 정리하였다.

- 저주파-고주파 캐리어 결합: 대용량 전송과 고신뢰 저지연 특성을 동시에 만족시키기 위해 안전 관련한 메시지들은 저주파 대역에 전송하고 대용량 트래픽은 mmWave 또는 Sub-THz 대역에 할당하는 방법을 적용할 수 있다[11]. 이를 위한 메시지 별 우선순위를 고려한 자원 스케줄링이 필요하며 특히, 저주파 대역과 고주파 대역을 동시에 고려한 캐리어 결합 방식 및 스케줄링 기법에 관한 연구가 필요하다.
- AI 기반 센서 퓨전(Sensor fusion): 많은 수의 차량으로부터 대량의 센서 데이터를 융합하여 처리할 필요에 따라 머신 러닝(Machine learning) 또는 딥러닝(Deep learning) 기술을 이용할 필요성이 있다[12]. 특히, 스마트 교차로(Smart intersection) 등 센서 퓨전을 담당하는 도로변 장치 등에서 MEC(Mobile edge computing) 기능을 통합한 네트워크 구조에 대한 고려가 필요하다.
- 높은 이동성을 고려한 빔 관리 기법: 차량의 주행 중에 차량의 방향, 속도, 또는 방해물 등의 주변 환경(터널, 교량 등)의 변화가 빠르므로 고속 빔 관리가 필요하다. 또한, 차량의 센서 정보 또는 예상 경로 등을 이용한 빔 관리 기법을 적용할 수 있다. 이와 관련한



〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

[그림 6] 지상 네트워크와 비지상 네트워크 간 다중 연결성의 예

여 측위(Positioning) 기술의 적용이 필요하다[13].

- 비지상 네트워크(Non-terrestrial network)와의 협력 통신: 이동성이 높은 차량의 특성상 차량이 지상 네트워크(Terrestrial network)의 커버리지 밖의 지역(시골 지역 또는 사막 등 오지)으로 갈 수 있으며, 이 경우 원활한 V2X 서비스가 어려워진다. 그러므로 위성 또는 HAPS(High Altitude Platform Station) 등 비지상 네트워크와의 링크 지원을 통해 V2X 서비스가 가능하게 할 수 있다. 이때, [그림 6]과 같이 차량에는 지상 네트워크와 비지상 네트워크에 모두 연결할 수 있도록 다중 연결성(Multi connectivity)을 구성할 수 있다[14]. 이 경우, 차량 단말은 지상 네트워크와의 연결이 끊어지는 경우 커버리지가 넓은 비지상 네트워크와 연결된다.

V. 결론

본 고에서는 5G V2X를 바탕으로 하여 그 동안 진행되었던 3GPP Release 16/17 표준화 현황 및 Release 18에서의 표준화 전망을 살펴보았다. 또한, 차세대 차량 통신을 위한 6G 이동통신에 적용될 것으로 예상되는 기술들에 대해 논의하였다. 5G에서는 LTE V2X보다 더 진보된 사이드링크 통신 기술을 가능하게 하였으며, 이를 바탕으로 더욱 진화하여 5G에서 제시된 기술 목표들을 다양한 서비스 시나리오에서 만족시킬 것으로 예상된다. 더 나아가

6G에서는 차량의 완전자율주행 기술 구현에 맞추어 이에 필요한 매우 높은 데이터 전송률, 매우 높은 신뢰도, 매우 낮은 지연시간, 어디에서나 가능한 서비스 등을 달성할 것으로 예상된다.

● 참고문헌

- [1] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Skold, "5G NR – The Next Generation Wireless Access Technology," Academic Press, London, 2018.
- [2] 3GPP, "Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services (Release 15)," 3GPP TR 22.886, V15.3.0, Sep. 2018.
- [3] 3GPP, "Study on NR Vehicle-to-Everything(V2X) (Release 16)," 3GPP TR 38.885, V16.0.0, Mar. 2019.
- [4] M. H. C. Garcia, A. Molina-Galan, M. Boban, J. Gozalvez, B. Coll-Perales, T. Sahin, and A. Kousaridas, "A tutorial on 5G NR V2X Communications," IEEE Communications Surveys & Tutorials, 23(3), 3Q, 2021, pp.1972–2026.
- [5] RP-193231, "New WID on NR sidelink enhancement," Dec. 2019.
- [6] 3GPP, "NR Physical channels and modulation (Release 16)," 3GPP TR 38.211, V16.3.0, Sep. 2020.
- [7] 3GPP, "NR Multiplexing and channel coding (Release 16)," 3GPP TS 38.212, V16.3.0, Sep. 2020.
- [8] 3GPP, "NR Physical layer procedures for control (Release 16)," 3GPP TS 38.213, V16.5.0, Mar. 2021.
- [9] 3GPP, "NR Physical layer procedures for data (Release 16)," 3GPP TS 38.214, V16.3.0, Sep. 2020.
- [10] RP-213678, "New WID on NR sidelink evolution," Dec. 2021.
- [11] H. Tataria, M. Shafi, A. F. Molisch, M. Dohler, H. Sjolund and F. Tufvesson, "6G wireless systems: Vision, requirements, challenges, insights, and opportunities," Proceeding of IEEE, 109(7), Jul. 2021, pp.1166–1199.
- [12] M. E. Morocho-Cayamcela, H. Lee, and W. Lim, "Machine learning to improve multi-hop searching and extended wireless reachability in V2X," IEEE Communications Letters, 24(7), Jul. 2020, pp.1477–1481.
- [13] S.-W. Ko, H. Chae, K. Han, S. Lee, D.-W. Seo, K. Huang, "V2X-based vehicular positioning: Opportunities, challenges, and future directions," IEEE Wireless Communications, 28(2), Apr. 2021, pp.144–151.
- [14] J. Kim et al., "Design of cellular, satellite, and integrated systems for 5G and beyond," ETRI Journal, Vol.42, No.5, Nov. 2020, pp.669–685.