

비면허 대역에서 NR 사이드링크 통신 동향

이준영, 이준수, kwakhyunjun, choihinhyuk, limsuyeon, kimchaeyeon, yunseungha, leehanjan, kimyounggil
서울시립대학교

ygkim72@uos.ac.kr

Trends on NR Sidelink Communication in Unlicensed bands

Lee Junyoung, Lee Junsu, Kwak Hyunjun, Choi Inhyuk, Lim Suyeon, Kim Chaeyeon, Yun Seungha, Lee Hanjun, Kim Younggil
University of Seoul

요약

본 논문은 3GPP에서 NR에서 지원하는 사이드링크 통신에 대해 간략히 알아보고 특히, 최근 NR에서 6GHz를 포함해서 비면허 대역의 활용성이 증가하는 상황에서 Rel-18부터 지원되는 비면허대역 사이드 링크에서 사용자 시나리오를 효과적으로 지원하기 위한 주요 기술 내용에 대해서 살펴보려고 한다.

I. 서론

3GPP Rel-14 표준에서 도입된 LTE V2X는 기존 LTE 네트워크의 확장으로, 직교 주파수 분할 다중 접속(OFDMA)과 자원 블록의 재사용을 통해 V2X 통신을 지원한다. 주요 모드에는 기지국 기반의 모드 3와 기지국 없이 작동하는 모드 4가 있다. 3GPP NR Rel-16에서는 새로운 V2X 애플리케이션을 지원하기 위해 LTE V2X 대비 사이드링크 통신이 업그레이드되었다. Rel-17에서는 사이드링크 통신의 전력 효율성, 데이터 속도, 신뢰성, 그리고 다양한 응용 분야에 대한 지원을 대폭 개선했다. 이는 공공 안전, 상업적 서비스, 고도의 자동 운전 등 다양한 사용 사례에 필요한 요구사항을 충족하는 데 기여한다.

Rel-18은 기존에 비해 더 높은 데이터 속도를 지원한다. 예를 들면, 고도의 자동 운전을 지원하는 차량 간 비디오와 같은 센서 정보를 공유하는 애플리케이션에 필요하다. 이는 ITS 대역 n47에 대한 사이드링크 캐리어 집적 지원(CA) 및 비면허 대역(n46 및 n96/n102), 즉 5GHz 및 6GHz 비면허 대역 지원을 통해 달성될 수 있다. 또한, FR2에서의 사이드링크 작업을 개선하여 데이터 속도를 더욱 효율적으로 지원할 수 있다. 또한, LTE V2X와 NR V2X 장치가 동일한 주파수 채널에서 공존해야 하는 V2X 배포 시나리오에서는 두 기술의 자원 할당을 효율적으로 관리하고 각 기술의 운영에 부정적인 영향을 미치지 않는 메커니즘도 고려된다. 이 논문에서는 NR 사이드링크(SL) 통신에 대해서 간략히 살펴보고, Rel-18 표준부터 포함되고 있는 비면허 대역 사이드링크 통신(SL-U)의 주요 기술 내용에 대해서 다루고자 한다.

II. 본론

A. NR 사이드링크 통신

NR 사이드링크는 5G 네트워크에서 사용자 단말간 직접 통신을 가능하게 하는 기술이다. 이 기술은 차량 간 통신(V2X) 및 공공 안전 네트워크와 같은 시나리오에서 중요한 역할을 한다. NR 사이드링크는 다중 반송파 파형,

즉 Cyclic-Prefix Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (CP-OFDM)을 사용하여 설계되었다. NR 사이드링크는 다양한 주파수 범위에 따른 서브캐리어 간격을 지원하여 도플러 효과에 대한 강건성을 제공한다. Rel-16은 V2X 패킷 전송을 위한 두 가지 작동 모드를 지원한다. NR 사이드링크는 두 가지 모드로 작동한다. 모드 1은 gNB가 사이드링크 자원을 스케줄링한다. 네트워크 범위 내에서 단말이 V2X 통신을 시작할 때마다 gNB로부터 스케줄링 결정을 받아야 한다. 모드 2는 자율적으로 자원 선택을 수행한다. 센싱 및 적절한 후보 자원을 찾는 방식으로 자원을 선택한다. NR 사이드링크의 주요 채널들을 살펴보면, Physical Sidelink Control Channel (PSCCH)은 Sidelink Control Information (SCI)를 전달한다. 시간 다중화되어 Physical Sidelink Shared Channel (PSSCH)과 함께 사용된다. Physical Sidelink Shared Channel (PSSCH)은 데이터 패킷(Transport Block, TB)을 전송한다. PSCCH에서 받은 정보를 바탕으로 자원을 사용한다. Physical Sidelink Feedback Channel (PSFCH)은 SL-HARQ 피드백을 전달한다. 슬롯의 마지막 한두 개의 OFDM 심볼에 전송된다. 모드 2에서 자원 할당은 Semi-persistent Sensing (SPS) 방식을 사용한다. 이 방식은 주기적 메시지와 고정된 패킷 크기를 가지는 트래픽에 적합하다. 동기화는 네트워크 내 단말간 메시지 교환을 위한 필수적인 단계이다. Sidelink Synchronization Signal Block (S-SSB)을 특정 단말이 전송한다. S-SSB는 Sidelink Primary Synchronization Signal (S-PSS)와 Sidelink Secondary Synchronization Signal (S-SSS)로 구성되며, 또한 Physical Sidelink Broadcast Channel (PSBCH) 신호도 포함된다. S-PSS는 초기 시간 및 주파수 동기화에 사용되며, S-SSS는 후속 프레임 타이밍을 설정하는 데 사용된다. S-SSB는 사이드링크 자원 풀 외부의 알려진 자원에서 전송되어 복잡한 자원 검색 과정 없이 초기 동기화를 수행할 수 있다.

B. NR 비면허 대역 사이드링크 통신 동향

위에서 설명했듯이 NR 사이드 링크 통신에서는 모드 1 과 모드 2 를 사용한다. 모드 2 는 네트워크 커버리지 외부 또는 네트워크 인프라가 없는 환경에서도 통신이 가능하게 한다. 반면에 대역에서는 네트워크 인프라가 항상 존재하지 않기 때문에 자율적인 자원 선택이 가능한 모드 2 가 아주 중요하다. 3GPP 비면허대역 NR 사이드링크 통신은 3GPP NR 비면허대역 통신(NR-U)에서 확립된 채널 액세스 방법을 사용한다. 채널 액세스 방법은 두가지 타입이 있는데, 타입 1 은 랜덤 백오프 기반 액세스 방식으로, 채널 센싱 시간은 랜덤하다. 이는 '듣기 전에 말하기'(Listen Before Talk, LBT)로도 알려져 있으며, CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 알고리즘을 사용하며, 유연성이 있지만 간섭이 많은 환경에서는 지연이 발생할 수 있다. 타입 2 는 결정론적(Deterministic) 액세스 방식으로, 고정된 채널 센싱 시간을 사용한다. 이는 예측 가능성과 효율성이 높으며, 시간 민감형 애플리케이션에 적합하다. 일반적으로 타입 2A 전송은 동기화 목적으로 짧은 탐색 burst 를 보내는 데 사용되며, 타입 2B 및 타입 2C 전송은 단말로부터의 전송 후 메시지 교환에 사용된다.

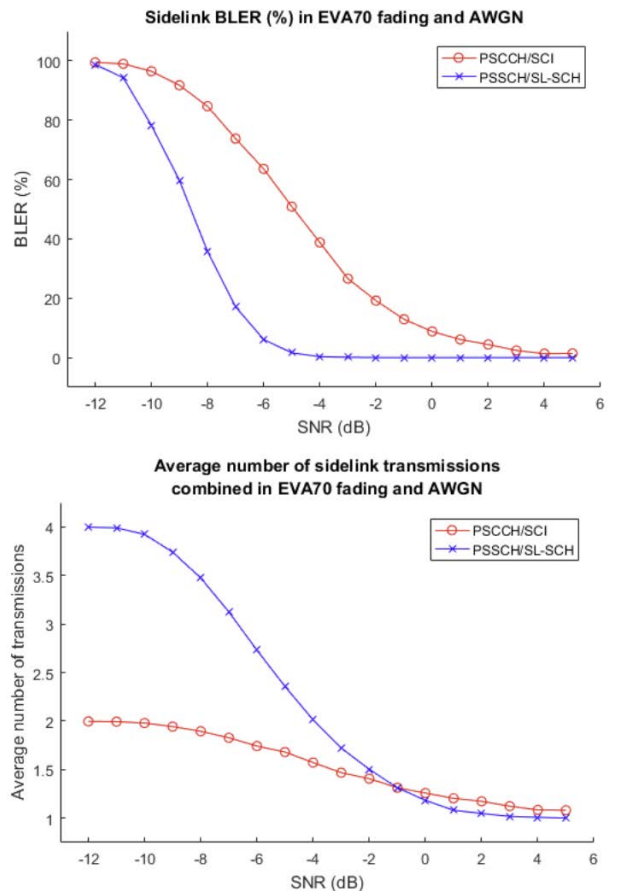
NR-U 에서 채널 센싱을 위한 최소 슬롯 크기는 9 μ s 이다. 또한, NR-U 는 전송이 OFDM 심볼 위치에서 시작할 수 있도록 미니슬롯을 사용한다. 반면에, 사이드링크의 시간 슬롯 크기가 250 μ s 이고, 사이드링크 전송 시점이 슬롯 경계여서, 채널 센싱 후에 SL-U 단말이 전송하지 않는 갭 구간이 발생할 수 있다. 전송이 상대적으로 유연한 NR-U/WiFi 단말이 경쟁에서 승리하여 이 갭 구간 동안 채널에 전송을 시작할 수 있어 사이드링크 단말이 채널 액세스 기회를 잃을 수 있다. NR-U 시스템에서는 최대 전송 시간이 Maximum Channel Occupancy Time (MCOT) 구간으로 제한되지만, SL-U 단말의 전송 구간은 채널의 각 접근 시점에서 일정 시간으로 제한되기 때문에, 연속 슬롯 구간 전송이 어려웠다. 각 SL-U 단말은 일정 구간 전송후에 매번 채널 액세스를 위해 경쟁해야 하기 때문에, NR-U/WiFi 단말대비 불리할 수 있다. 그래서 SL-U 단말이 연속 슬롯 블록에서 전송할 수 있도록 하고 또한 사이드링크 슬롯 내에서의 다중 시작 위치가 지원된다[1]. 서로 다른 전송 시스템들이 존재하고 서로 경쟁하여 채널을 점유하기 때문에 SL-U 전송에서 불리한 점이 발견되면 지속적으로 개선이 필요하다.

S-SSB 전송은 사이드링크 단말들의 타이밍을 동기화하는 데 사용되므로, 단말들이 알고 있는 특정 시간에 전송되어야 한다. SL-U 에서의 S-SSB 전송은 채널 액세스를 위해 경쟁해야 하며, 이로 인해 일부 S-SSB 전송의 지연이나 손실이 발생할 수 있다. 그래서 지정된 시간에 타입 2A 채널 액세스 메커니즘을 사용하지만 추가적으로 S-SSB 전송을 위해서 최상위 Channel Access Priority Class (CAPC) 레벨로 타입 1 채널 액세스 메커니즘을 사용할 수 있다. 참고로 HARQ 피드백 보고를 위한 PSFCH 전송도 동일 메커니즘을 사용한다. Cyclic Prefix Extension (CPE)를 사용하여 OFDM 심볼 지속 시간을 확장하는 것은 NR 파형에서 지원된다. 그래서 PSCCH/PSSCH, PSFCH, 그리고 S-SSB 블록 전송에도 CPE 을 적용하여 최소한의 채널 센싱 구간 후에 신속하게 OFDM 신호를 전송하여 채널을 유지하는 데 도움을 줄 수 있다. CPE 기능은 가드 심볼 구간을 줄이거나 제거하는 데에도 사용될 수 있다. SL-U 단말은 여러 CPE 길이를 지원할

수 있다. 우선 순위가 높은 트래픽이 차단되거나 우선 순위가 낮은 트래픽과 충돌하는 것을 방지하기 위해, 우선 순위가 높은 트래픽을 가진 단말은 채널에 액세스 할 때 더 긴 CPE 길이를 선택할 수 있다. 결과적으로 SL-U 에서 전송 타이밍에 대한 유연성을 제공하여 전체적인 시스템 성능을 향상시킬 수 있다[2]. 단말간 COT 공유는 시스템 자원 활용의 효율성을 증가시킬 수 있는데, SL-U 에서 이 기능을 지원하는 주요 근거는 라이선스가 없는 대역에서의 작업을 위해 유럽 규정을 준수해야 하는 요구 사항을 명시한 표준 ETSI EN 301 893 이 단말간 COT 공유를 위한 프레임워크를 지정하기 때문이다. 예를들면, 타입 1 절차를 사용하여 채널에 액세스하여 COT 를 확보하고 남은 COT 를 여러 사용자에게 공유가 가능하다. 이때 공유 대상에 포함된 사용자들은 COT 를 공유한 사용자를 포함해서 서로에게 유니캐스트/그룹캐스트/브로드캐스트 전송을 지원할 수 있다. 반면에 대역에서의 전송은 규제 요구 사항으로 Occupied Channel Bandwidth (OCB) 및 PSD (Power Spectral Density) 제한을 충족해야 합니다. 따라서 PSCCH/PSSCH/PSFCH, S-PSS, P-SSS, 및 PSBCH 와 같은 사이드링크 물리 채널은 Interlace FDM 구조를 지원한다. Interlace FDM 구조에서는 자원이 전체 LBT 대역폭에 균등하게 분포된다[3].

C. 컴퓨터 모의실험 결과

그림 1 에서는 Release 12 에서 사이드링크 PSCCH 와 PSSCH 의 Throughput 을 볼 수 있다. SNR 이 증가함에 따라 Block error rate (BLER)이 감소하며 PSSCH 의 BLER 이 좀 더 낮은 것을 확인할 수 있다.



[그림 1] Release 12 에서 사이드링크 PSCCH 와 PSSCH 의 Throughput

III. 결론

SL-U 는 사용자 핵심 시나리오들을 지원하기 위해 지속적으로 발전될 것이며, 다중 채널 접근 향상, COT 공유 내의 자원 할당, 채널 접근 시 UE 간 서로 차단하는 문제 등 광범위한 주제들이 계속 다루어질 것이다. 3GPP Rel-18, Rel-19 V2X 기술들은 향후 6G V2X 의 기반이 되고 있다. 6G 는 지능형 V2X 네트워크 구축, 복잡한 환경에서의 안전 강화, V2X 통신 효율성 향상을 목표로 하고, 이를 위해 제한된 스펙트럼 효율성, 고속 통신 요구, 초고신뢰성 및 보안 문제를 해결하는 혁신적인 기술들의 도입이 예상된다. 또한, 간섭 문제, 다양한 무선 접속 기술 통합을 해결하기 위해 하이브리드 Radio Frequency-Visible Light Communication (RF-VLC) 시스템, 고급 자원 할당, 다중 반송파 방식, UAV/위성 지원, 통합 컴퓨팅 및 통신 기술들을 활용할 것으로 보인다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 첨단분야 혁신융합대학사업(차세대통신)의 연구 결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] Physical layer procedures for shared spectrum channel access (Release 18), 3GPP TS 37.213 V18.2.0 (2024-03)
- [2] NR; Physical channels and modulation (Release 18), 3GPP TS 38.211 V18.2.0 (2024-03)
- [3] NR; Physical layer procedures for control (Release 18), 3GPP TS 37.213 V18.2.0 (2024-03)