chapter 1

5G 릴레이 기술 동향

노고산 ‖ 한국전자통신연구원 선임연구원
정희상 ‖ 한국전자통신연구원 책임연구원

5G 상용화가 성숙 단계에 이르면서 기본적인 5G 서비스 제공뿐 아니라 다양한 환경에서 다양한 사용예에 대한 요구를 만족시키는 것이 중요해지고 있다. 이를 위해 릴레이 기술은 커버리지 확장, 주파수 사용 효율 증대, 전력 사용 감소 등의 다양한 장점을 가져다줄 것으로 예상된다. 특히, 고정형 릴레이를 통한 무선 백홀 기반의 고밀집 셀 구축이 가능해지며 모바일 릴레이를 이용한 기차 및 버스에서의 대용량 전송 서비스가 가능해진다. 이에 본 고에서는 5G에서의 릴레이 기술 동향과 관련하여 3GPP 표준화가 진행 중인 NR IAB, NR Sidelink Relay 및 모바일 릴레이 기술 개발 동향에 대해 살펴보려고 한다.

I. 서론

이동통신에서 릴레이 기술은 커버리지 영역 확장을 가능하게 하며, 특히 백홀 등의 인프라 구축 없이 저비용으로 통신망을 구축하는 것을 가능하게 해 준다. 이러한 장점으로 인해 이동통신망 구축 시 광범위하게 고려되었으며, LTE(Long Term Evolution)에서 릴레이 구축을 위한 아키텍처, 프로토콜, 시그널링 등에 대한 표준화가 이루어졌다[1].

* 본 내용은 노고산 선임연구원(☎ 042-860-1183, gsnoh@etri.re.kr)에게 문의하시기 바랍니다.
** 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.
***이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2018-0-00792, 통신비 부담 경감을 위한 대중교통수단에서의 공공와이파이 체감 품질 개선 기술 개발)

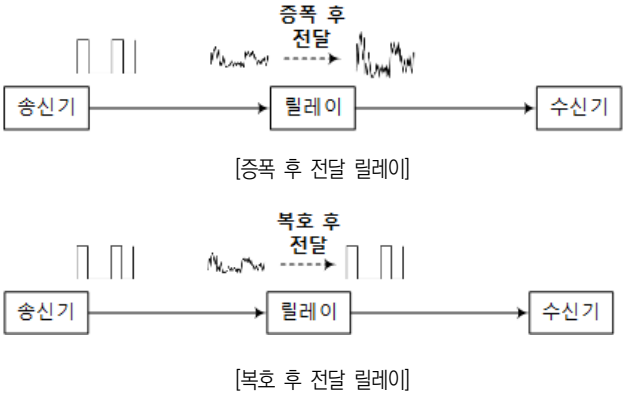
OPEN 공공누리 출처표시 상업용금지 공공저작물 자유이용허락

이어서 5G NR에서도 릴레이를 이용한 액세스 링크와[1] 백홀 링크의[2] 통합적 운영을 위한 IAB(Integration of Access and Backhaul)에 대한 규격화도 이루어지고 있다[2].

릴레이의 형태는 [그림 1]과 같이 크게 증폭 후 전달(Amplify-and-Forward: AF) 방식과 복호 후 전달(Decode-and-Forward: DF) 방식으로 나뉜다[1]. 증폭 후 전달 방식의 릴레이는 반복기(Repeater)라고도 하며 기능적으로는 수신한 신호를 증폭하여 다시 송신하는 역할을 한다. 릴레이에서 변복조 과정이 생략되므로 규격과 상관없이 동작이 가능하며 구현이 간단하다는 장점이 있다. 그러나 릴레이에서의 증폭 과정에서 신호 성분뿐 아니라 노이즈도 같이 증폭되므로 최종 수신단에서 신호 대 잡음 비(Signal-to-Noise Ratio: SNR)가 낮아지게 되는 단점이 있다.

복호 후 전달 방식의 릴레이는 릴레이가 수신 신호를 복조 및 복호한 후 다시 부호화 및 변조 과정을 거쳐서 송신하게 된다. 그러므로 릴레이에서는 노이즈를 억제할 수 있게 되며 최종 수신단에서의 SNR 손실이 발생하지 않는다. 그러나 릴레이에서의 복호 과정에 오류가 발생하게 되면 해당 오류가 그대로 최종 수신단에 전달되게 되는 오류 전파(Error propagation) 효과가 발생하게 된다. 또한, 복조 후 전달 방식에서는 릴레이에서의 변복조 동작에 의한 시간 지연이 발생하게 된다.

한편, 릴레이의 이동성 여부에 따라 고정형 릴레이와 모바일(이동형) 릴레이로 나눌 수



〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

[그림 1] 릴레이 개념

1) 액세스 링크(Access link): 릴레이와 단말 사이의 링크
2) 백홀 링크(Backhaul link): 기지국과 릴레이 사이의 링크

있다. 고정형 릴레이는 특정 위치에 고정으로 설치되어 기지국과 단말 사이를 중계해주는 역할을 하며 기지국에 가까운 운영 방식이 적용된다[1]. 반면, 모바일 릴레이는 릴레이가 차량 탑재 등의 방식으로 이동 중에 기지국과 단말 사이를 중계한다[3]. 그러므로 모바일 릴레이는 단말에 가까운 운영 방식이 적용되며 세부적으로는 이동성 지원을 고려한 링크 설계 및 핸드오버 지원 등이 필요하다.

또한, 기지국과 릴레이 간 백홀 링크와 릴레이와 단말 간 액세스 링크에 동일한 주파수를 사용하는 경우 내대역(Inband) 릴레이, 서로 다른 주파수를 사용하는 경우 외대역(Outband) 릴레이로 구분할 수 있다[1]. 내대역 릴레이는 효율적인 주파수 사용이 가능한 반면 간섭에 의한 링크 품질 저하가 발생할 수 있다. 반대로 외대역 릴레이는 간섭의 영향을 받지 않는 반면 주파수 사용 효율이 떨어지게 된다.

본 고에서는 상기 다양한 릴레이 특성을 고려하여 5G에서의 릴레이 기술 동향을 살펴본다. 구체적으로, II장에서 3GPP 5G NR에서의 릴레이 기술 표준화 동향을 정리하고 III장에서 모바일 릴레이 기술 개발 동향에 대해 자세히 살펴보도록 한다. IV장에서는 본 고의 결론을 제시하며 마무리하도록 한다.

II. 3GPP 릴레이 표준화 동향

3GPP 표준에서 릴레이의 본격적인 적용은 LTE Rel-10으로부터 시작되었다[1]. 릴레이는 액세스 링크를 통해 단말을 대상으로 기지국 역할을 하게 되며 백홀 링크를 통해 eNodeB와 연결된다. 특히, 단말이 eNodeB에 연결하거나 릴레이에 연결하는 것에 상관없이 동일하게 서비스를 받을 수 있으므로 Rel-8 단말의 경우에도 Relay의 지원을 받는데 문제가 없도록 설계되었으며 최대 2개의 홉(Hop)과 고정형 릴레이 지원이 고려되었다. 관련한 기술적 이슈로는 내대역 릴레이에서 백홀 링크 설계, 액세스 링크와 백홀 링크 간의 HARQ(Hybrid Automatic Repeat reQuest) 동작, 백홀 링크 제어 채널 설계, 액세스-백홀 링크 동기화 등이 있다[1],[4],[5].

5G NR에서는 5G 시스템의 필수적인 기능 지원에 대한 규격화를 Rel-15에서 완료하였으며, 여기에 더하여 추가적인 기능 지원을 위한 규격화를 Rel-16과 Rel-17에서 하고 있다[6]. Rel-16 규격화는 2017년도 4분기에 Study Item을 시작하여 2019년 12월에

RAN freeze, 2020년 3월에 ASN.1을 완료할 예정이며 구체적인 아이템으로는 MIMO, V2X, NR Unlicensed, NR positioning, NR IAB(Integration of Access and Backhaul), Mobility enhancements, URLLC 등이 있다[7]. Rel-17 표준화 아이템들은 2019년 12월에 승인되어 이후 15개월간 표준화가 진행될 예정이다[8]. 승인된 아이템들은 MIMO enhancements, IAB enhancements, Sidelink enhancements, Industrial IoT/URLLC enhancements, NR over NTN(Non-terrestrial networks), Sidelink relay 등을 포함한다[8]. 본 장에서는 상기 아이템 중 릴레이와 밀접하게 관련된 Rel-16/17 NR IAB와 Rel-17 Sidelink relay에 대한 표준화 동향에 대해 살펴보도록 한다.

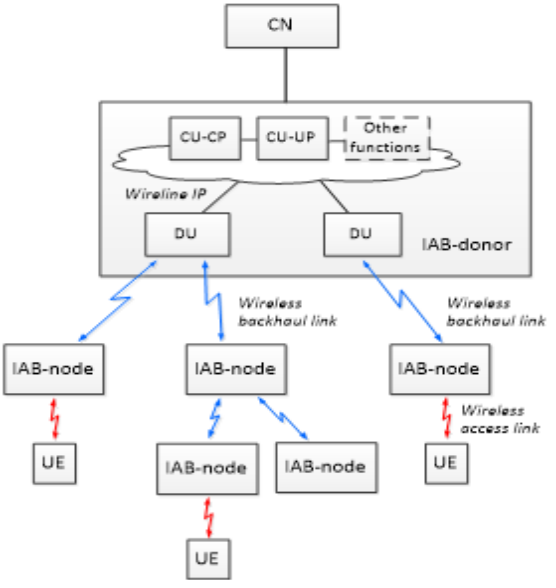
1. NR IAB

NR에서 IAB의 주요 사용 예는 무선 백홀에 연결된 릴레이를 이용하여 유선 백홀 구축 없이 소규모의 셀을 구축하는 것이다[2]. 이러한 소규모 셀은 실내 또는 실외에 구축될 수 있으며 버스, 기차 등의 이동체에도 적용 가능하지만 Rel-16 IAB에서는 고정형 릴레이에 집중하여 규격화를 진행하였다. 또한, 내대역 및 외대역 백홀 릴레이 모두를 대상으로 하며 SA(Standalone) 및 NSA(Non-standalone) 구축 방식을 모두 고려한다. 주요 요구사항으로는 다중 홉 지원, 링크 변화 및 트래픽 변화에 따른 위상(Topology) 적응, L2 및 L3 릴레이 지원, IAB 노드 간 시간 동기 등이 있다.

IAB의 기본적인 설계구조는 [그림 2]와 같다[2]. 코어망과 기지국 역할을 하는 IAB-donor 노드 및 단말의 변화는 없으며 IAB-donor 노드로부터 Uu 링크를 통해 무선 백홀로 연결된 IAB 노드가 추가되어 단말들에 대한 릴레이 연결을 해 준다. IAB 노드 간에는 다중 홉 연결이 가능하다.

IAB의 물리 계층에서는 기본적인 Rel-15 NR 구조를 최대한 재사용하되 아래의 추가적인 기능을 지원한다[2].

- Backhaul link discovery and measurements: IAB 노드에 대한 초기 접속, IAB 노드 간 측정, RACH(Random access), 링크 관리 절차 포함
- Scheduling and resource allocation/coordination: 액세스 링크와 백홀 링크에 대한 스케줄링, 다중화(TDM/FDM/SDM), 자원 조율 포함



〈자료〉 3GPP TR 38.874

[그림 2] 기본적인 IAB의 설계 구조

- IAB-node synchronization and timing alignment: IAB 노드 및 IAB-donor 노드 간 슬롯/심볼 단위시간 동기화 지원
- Cross-link interference measurement and management: 액세스 링크와 백홀 링크 간 간섭 관리를 위한 참조 신호 설계, 자원 관리 등 지원

IAB의 위상 적응(Topology adaptation)의 목표는 IAB 노드가 연결된 백홀 링크가 끊기더라도 연결 가능한 위상 변경을 통해 서비스를 유지하도록 하는 것이다. 위상 적응을 위한 동작은 아래와 같이 단계적으로 적용된다[2].

- Information collection: 일정 IAB 위상 영역에서 백홀 링크 품질, 트래픽 로드, 신호 세기 등의 정보를 수집하는 단계
- Topology determination: 상기 수집한 정보를 바탕으로 최적의 위상을 결정하는 단계
- Topology reconfiguration: 결정된 위상으로 재설정하는 단계

상기와 같은 Rel-16 IAB 규격화에 더하여 Rel-17에서 IAB enhancements를 통해 추가적인 기능 지원을 할 예정이다[9]. 특히, 강인성(Robustness), 부하 균형(Load

balancing), 주파수 효율, 다중 홉 지연, 말단 간 성능에 대한 향상된 목표를 달성하려고 한다. Rel-17에서의 IAB는 구체적으로 아래와 같은 기능들을 지원하려고 한다[9].

- Duplexing enhancements: IAB 노드의 백홀 링크와 액세스 링크의 동시 송수신을 통해 자원의 다중화 향상 지원 및 이를 위한 IAB 노드 간 시간 동기화, 전력 제어, 간섭 측정 지원
- Topology adaptation enhancements: 신호 부하 감소를 통한 IAB 노드 간 Migration 지원, 서비스 중단 시간 감소, CP(Control plane)와 UP(User plane) 분리를 통한 위상 중복성 지원
- Topology, routing and transport enhancements: 공평성(Fairness), 다중 홉 지연 및 혼잡(Congestion) 완화

2. NR Sidelink Relay

Rel-16에서 V2X 서비스 지원을 위해 NR sidelink가 규격화되었다[10]. 이를 통해 차량 간 통신이 가능하게 되었다. 차량 통신 특성상 커버리지의 중요성이 대두되었으며 이를 위해 릴레이 기술의 적용이 필요하다. 이를 위해 사이드링크 기반 릴레이 기술의 규격화가 필요하게 되었다[11]. 사이드링크의 커버리지 확장은 아래의 두 가지 시나리오에 적용될 수 있다.

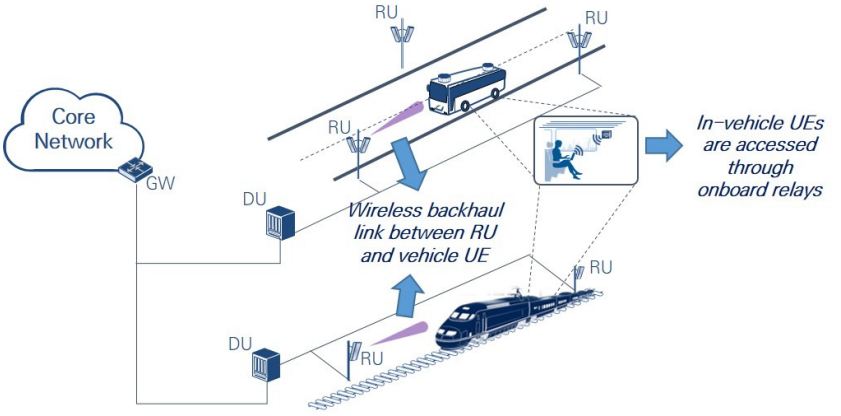
- UE-to-network coverage extension: Uu 링크의 커버리지 확장을 위해 릴레이를 사용
- UE-to-UE coverage extension: 단말 간 사이드링크의 커버리지 확장을 위해 릴레이를 사용

상기 시나리오에서의 목표 달성을 위한 Rel-17에서의 NR 기반 사이드링크 릴레이는 아래와 같은 목적을 달성하려고 한다[11].

- UE-to-network/UE-to-UE relay 지원: 릴레이 선택 기준 및 과정, UE 승인, QoS 보장, 서비스 연속성 등 고려
- 상위 레이어 동작 지원: Layer-3 또는 Layer-2 릴레이 지원에 따른 절차 개발

III. 모바일 릴레이 기술 개발 현황 및 전망

모바일 릴레이는 [그림 3]과 같이 기차 또는 버스 등의 이동수단에 장착되어 실내의 승객들에게 무선 서비스를 제공하는 용도로 사용될 수 있다. 모바일 릴레이는 지상의 기지국과 무선 백홀로 연결된다.



〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

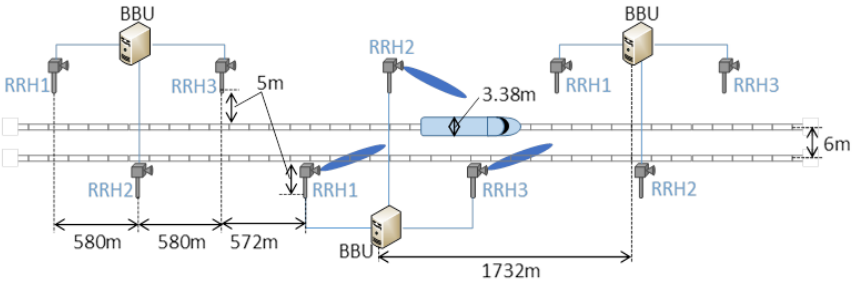
[그림 3] 모바일 릴레이 시스템 구조의 예

이러한 모바일 릴레이 구조를 통해 무선 서비스를 하는 것이 모바일 릴레이를 거치지 않고 기지국으로부터 차내 승객들에게 직접 액세스를 제공하는 것에 비해 가지는 장점은 아래와 같다[12].

- 차체에 의한 경로 손실 극복 가능: 직접 액세스 방식의 경우 강철 재질로 이루어진 차체에 의해 20~35dB 정도의 신호 감쇄가 이루어지므로 차상 단말을 이용하여 이러한 신호 감쇄를 회피할 수 있음
- 핸드오버 효율 향상: 직접 액세스의 경우 셀 경계 지역에서 매우 많은 수의 단말이 동시에 핸드오버를 실행하기 때문에 발생하는 비효율이 존재하는 반면 모바일 릴레이를 이용하면 릴레이만 핸드오버를 실행하면 되기 때문에 효율적인 핸드오버가 가능함

1. 모바일 릴레이 표준화 동향

3GPP 5G NR에서는 초기 시나리오 정의 단계에서부터 다양한 사용 예와 구축 시나리



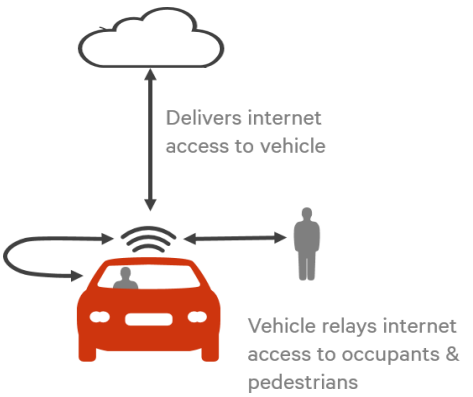
〈자료〉 3GPP TR 38.913

[그림 4] High speed train 시나리오 기지국 배치의 예

오에 대해 정의하였다[13]. 그 중, High speed train 시나리오는 최대 500km/h의 초고속으로 달리는 고속 열차 내부의 승객들에게 무선 서비스를 제공하는 것을 목표로 하며 기지국으로부터 객차 내의 승객들에게 직접 액세스를 제공하는 방식과 객차에 설치된 모바일 릴레이를 거치는 방식을 모두 고려한다. 기지국으로부터 릴레이까지의 백홀 링크에는 4GHz 또는 30GHz 대역을 고려하며 릴레이로부터 단말까지의 액세스 링크에는 4GHz, 30GHz, 70GHz 등을 고려한다. 기지국 레이아웃은 [그림 4]와 같이 철로를 따라 선형으로 기지국을 배치하는 것을 기본으로 한다.

상기 High speed train 시나리오에서의 백홀 링크의 구현은 5G NR의 기본적인 Uu 링크 구조를 그대로 이용하는 것이 가능하다. 5G NR에서는 Rel -15부터 고속 이동성 지원이 가능하도록 규격이 개발되었다[6]. 예를 들어, Scalable Numerology를 통해 고속 이동성에 적합한 부반송파 간격(Subcarrier spacing)을 설정해 줄 수 있고 빠르게 변화하는 채널을 추정할 수 있는 시간 영역에서의 고밀도 참조 신호 배치를 가능하게 한다.

3GPP 5G NR에서 모바일 릴레이의 또 다른 주요 예는 차량 통신에 적용되는 V2X(Vehicle-to-Everything)이다. 5G V2X에서의 주요 사용 예는 차량 운행 안전을 위한 군집 주행(Vehicle platooning), 센서 데이터 공유, 원격 주행(Remote driving), 자율주행을 위한



〈자료〉 3GPP TR 22.886

[그림 5] 차량을 통한 테더링 사용 예

정보 공유 등이 있다[14]. 한편, V2X에서의 모바일 릴레이의 사용 예는 차량을 통한 테더링(Tethering via vehicle)으로서 [그림 5]와 같이 차량이 기지국과 백홀 링크를 통해 연결되어 있으며 차량 내부 또는 차량 근처의 단말에 무선 서비스를 연결시켜 준다. 이를 통해 단말의 통신 거리 감소로 인한 단말 전력 사용 효율 증가 등을 달성할 수 있다.

2. 모바일 릴레이 기술 개발 현황

상기 설명한 것과 같이 모바일 릴레이 기술은 열차 또는 버스 등 교통수단에 적용하였을 경우 그 효용이 극대화된다[3],[12]. 또한, 하나의 모바일 릴레이가 다수의 사용자를 지원해야 하므로 대용량의 무선 백홀 링크가 지원되어야 한다. 그러므로 광대역 주파수 확보가 가능한 밀리미터파(mmWave) 대역을 사용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 또한, 릴레이를 거친 내부의 승객에게는 WiFi 접속을 가능하게 하는 것이 사용자 접근성 및 경제성 측면에서 바람직하다고 할 수 있다.

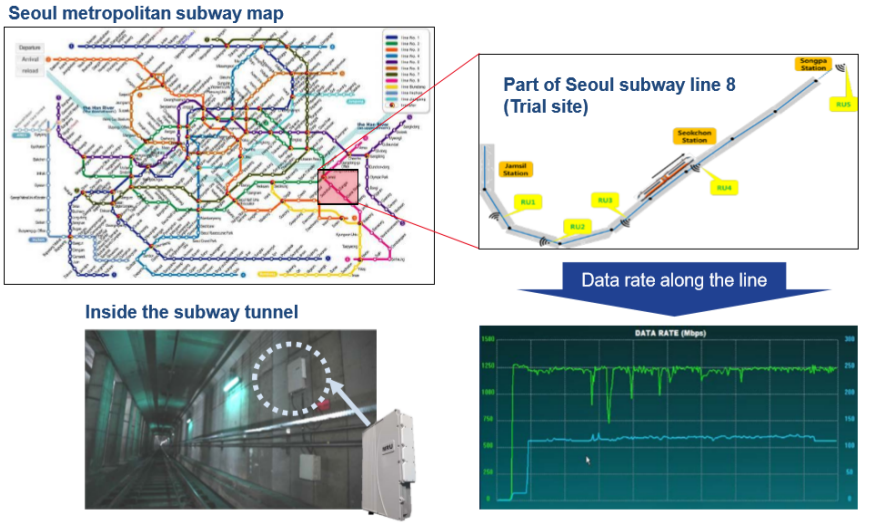
이러한 밀리미터파 기반 모바일 백홀 지원을 위해 ETRI는 MHN(Mobile Hotspot Network) 시스템을 개발하고 시험하였다[12]. 고속 이동성 및 고주파 광대역 서비스 달성을 위해 [표 1]과 같은 시스템 파라미터를 고려하였으며 이를 기존 LTE-A 및 5G NR 시스템과 비교하였다.

상기 개발된 시스템을 이용하여 [그림 6]과 같이 서울 지하철 8호선 터널 환경에서 시험하였으며 500MHz 대역폭에서 1.25Gbps의 데이터 전송률을 달성하였다.

[표 1] MHN 시스템 파라미터

파라미터	MHN 시스템	LTE-A	5G NR
캐리어 주파수	25.6GHz	Below 6GHz	Below and above 6GHz
컴포넌트 캐리어 대역폭	125MHz	1.4~20MHz	5~400MHz
컴포넌트 캐리어 개수	2~8	1~5	1~16
부반송파 간격	180kHz	15kHz	15~240kHz
FFT 크기	1024	Up to 2048	Up to 4096
샘플링 빈도	184.32MHz	1.92~30.72MHz	7.68~491.52MHz
OFDM 심볼 길이	5.56us	66.67us	4.17~66.67us
Cyclic Prefix 길이	0.69us	4.69us	0.30~4.76us

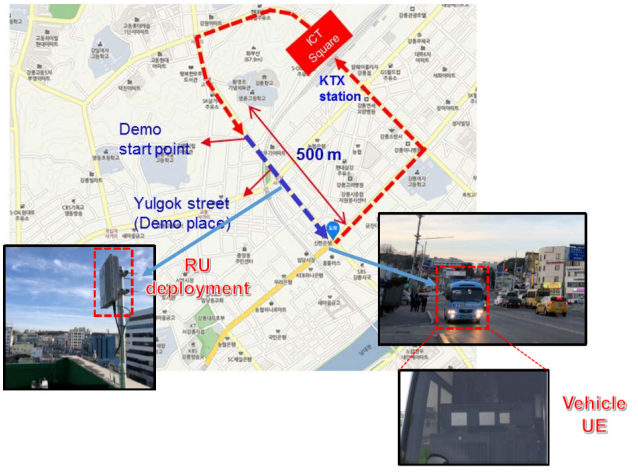
〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성



〈자료〉 G. Noh, J. Kim, H. Chung, and I. Kim, "Realizing multi-Gbps vehicluar communication: Design, implementation, and validation," IEEE Access, 7, 2019, pp.19435-19446.

[그림 6] MHN 모바일 릴레이 시스템의 지하철 시험

이어서 [그림 7]과 같이 강릉 시내 도심 환경에서 버스에 모바일 릴레이 시스템을 탑재하여 시험하였다. 1GHz의 대역폭을 사용하여 최대 5Gbps, 평균 2~4Gbps의 데이터 전송률을 달성하였다.



〈자료〉 G. Noh, J. Kim, H. Chung, and I. Kim, "Realizing multi-Gbps vehicluar communication: Design, implementation, and validation," IEEE Access, 7, 2019, pp.19435-19446.

[그림 7] MHN 모바일 릴레이 시스템의 버스 시험

IV. 결론

본 고에서는 5G 릴레이 주요 기술 및 표준화 동향에 대해 논의하였다. 특히, 릴레이에 대한 3GPP 표준화 동향 및 모바일 릴레이에 대한 기술 개발 동향에 대해 살펴보았다. 3GPP에서는 5G NR Uu 링크를 기반으로 릴레이를 지원하는 Rel-16/17 NR IAB와 사이드링크를 기반으로 릴레이를 지원하는 Rel-17 NR sidelink relay에 대해 논의하였다. 모바일 릴레이의 경우에는 열차 및 차량에 적용되는 시나리오 및 사용 예를 살펴보았으며 실제 구현 예를 소개하였다. 이를 통해 고정형 및 모바일 릴레이가 5G에서 커버리지 향상, 자원 사용 효율성 증대, 전력 감소 등에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

[참고문헌]

[1] C. Hoymann, W. Chen, J. Montojo, A. Golitschek, C. Koutsimanis, and X. Shen, “Relaying Operation in 3GPP LTE: Challenges and Solutions,” IEEE Communications Magazine, 50(2), 2012, pp.156-162.
[2] “Study on Integrated Access and Backhaul,” 3GPP TR 38.874, 2018.
[3] L. Chen, Y. Huang, F. Xie, Y. Gao, L. Chu, H. He, Y. Li, F. Liang, and Y. Yuan, “Mobile Relay in LTE-Advanced Systems,” IEEE Communications Magazine, 51(11), 2013, pp.144-151.
[4] K. Zheng, B. Fan, Z. Ma, G. Liu, X. Shen, and W. Wang, “Multihop cellular networks toward LTE-advanced,” IEEE Vehicular Technology Magazine, 4(3), 2009, pp.40-47.
[5] K. Loa, C.-C. Wu, S.-T. Sheu, Y. Yuan, M. Chion, D. Huo, and L. Xu, “IMT-Advanced Relay Standards,” IEEE Communications Magazine, 48(8), 2010, pp.40-48.
[6] A. Ghosh, A. Maeder, M. Baker, D. Chandramouli, “5G Evolution: A View on 5G Cellular Technology Beyond 3GPP Release 15,” IEEE Access, 7, 2019, pp.127639-127651.
[7] “Summary from RAN#80 - Release 16” 3GPP, 2018.
[8] “Release 17 package for RAN,” 3GPP, 2019.
[9] “New WID on Enhancements to Integrated Access and Backhaul,” 3GPP RP-193251, 2019.
[10] G. Naik, B. Choudhury, and J.-M. Park, “IEEE 802.11bd & 5G NR V2X: Evolution of Radio Access Technologies for V2X Communications,” IEEE Access, 7, 2019, pp.70169-70184.
[11] “New SID: Study on NR sidelink relay,” 3GPP RP-193253, 2019.
[12] G. Noh, J. Kim, H. Chung, and I. Kim, “Realizing multi-Gbps vehicluar communication: Design, implementation, and validation,” IEEE Access, 7, 2019, pp.19435-19446.
[13] “Study on scenarios and requirements for next generation access technologies,” 3GPP TR 38.913, 2017.
[14] “Study on enhancement of 3GPP support for 5G V2X services,” 3GPP TR 22.886, 2018.