밀리미터파 기반 지하철 무선 백홀 통신 시스템 성능 평가

백승권*, 송재수, 정희상, 김일규
한국전자통신연구원

skback@etri.re.kr, heretic@etri.re.kr, hschung@etri.re.kr, igkim@etri.re.kr

Performance evaluation of mmWave based Subway Wireless Backhaul Communication System

Seungkwon Baek*, Jaesu Song, HeeSang Jung, IlKyu Kim
Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

In this paper, we provide overall description of mmWave based subway backhaul communication system and performance measurement of the system after deployment at commercial subway environment. As result of test, we obtain about 1.8Gbps of maximum downlink throughput. 9ms of round trip transmission latency and 12.5ms of handover interruption time.

Ⅰ. 서 론

5G 이동 통신 시스템은 자동차, 기차, 드론 등과 같은 다양한 이동체를 위한 서비스를 고려하고 있으며, 특히 XR(eXtended Reality)과 같은 높은 데이터 전송율을 요구하는 몰입형 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해 넓은 대역폭 사용이 가능한 밀리미터파 주파수 대역(Millimeter Wave Frequency Band, mmWave)을 고려하고 있다[1]. 이와 더불어 다양한 형태의 휴대형 스마트 기기의 등장으로 인해 언제 어디서나 저비용으로 사용자들에게 모바일 트래픽을 제공하기 위한 공공 와이파이 서비스가 확대되고 있다.

이러한 다양한 형태의 5G 이동 통신 서비스의 진화 및 사용자의 요구 사항을 고려하여 이동 통신 무선 접속망을 유연하고 효율적으로 설치하여 망 설치의 복잡성을 줄이고 비용 효율성을 높일 수 있는 새로운 형태의 무선 백홀(Radio Backhaul) 네트워크의 도입이 필요하다.

본 논문에서는 앞 서 기술한 요구사항을 기반으로 다양한 이동체에 광대역의 백홀 링크를 제공할 수 있는 밀리미터파 기반의 무선 백홀 통신 시스템을 개발하고, 해당 시스템을 상용 지하철 환경에 설치한 후 측정한 시스템 성능을 제시한다.

Ⅱ. 지하철 무선 백홀 통신 시스템

2.1 시스템 구조

밀리미터파 기반의 무선 백홀 통신 시스템은 22GHz 대역의 스펙트럼을 활용하여 고속 열차 및 지하철과 같은 고속의 이동체 환경에서 기가급 데이터 전송 서비스가 가능한 무선 백홀 링크를 제공하는 기술이다. 따라서 객차에서는 지하철 무선 백홀 통신 시스템에서 제공되는 백홀 링크와 와이파이 AP(Access Point) 혹은 이동 통신 소형 셀 기지국을 연동하여 승객들에게 다양한 형태의 몰입형 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있다.

지하철 무선 백홀 통신 시스템은 밀리미터파 기반의 백홀 링크와 6GHz이하의 주파수를 사용하는 액세스 링크로 구성되는 계층적인 네트워크 구조를 갖는다. 지하철 무선 백홀 시스템은 그림 1과 같이 핵심망 기능과 외부망 인터페이스 기능을 수행하는 mGW(metro Gateway), 기지국 기능을 담당하는 mDRU(metro Digital Radio Unit), 그리고 단말 기능을 수행하는 mTE(metro Terminal Equipment)로 구성된다. mGW는 mTE와 연동하여 핵심망 기능을 담당하고 S1 인터페이스를 통해 mDRU와 연동한다. mDRU와 mTE는 RF/안테나 및 모뎀/프로토콜 기능을 포함하며 무선 접속 기능을 통해 밀리미터파 기반의 무선 링크를 형성하여 송/수신 기능을 수행한다. 앞 서 기술한 각각의 기능 노드는 제어 평면 및 사용자 평면 프로토콜을 통해 동작을 수행한다.

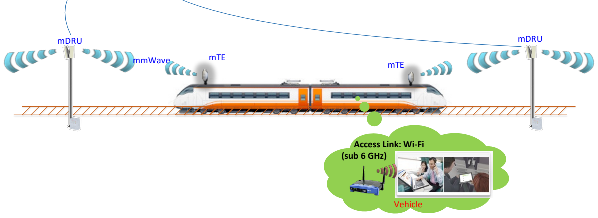

그림 1. 지하철 무선 백홀 통신 시스템 구조

NAS(Non-Access Stratum) 제어 평면 프로토콜은 mGW와 mTE에 위치하여 세션 관리 및 이동성 관리를 수행하며 AS(Access Stratum) 제어 평면 프로토콜은 mDRU와 mTE에 위치한 RRC를 통해 무선 자원 제어 및 설정 기능을 수행한다. mGW와 mDRU간의 사용자 평면 데이터 전송을 위해서 GTP-U가 사용되며 mDRU와 mTE간의 데이터 전송을 위해 PDCP, RLC, MAC과 같은 무선 접속 프로토콜이 사용된다.

2.2 방식 및 절차

지하철 무선 백홀 통신 시스템의 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)기반의 무선 전송 방식을 사용하며 최소 100MHz의 주파수 대역폭을 지원하며 캐리어 집성(carrier aggregation) 기능을 통해 대역폭 확장이 가능하다. 또, 밀리미터파 주파수의 높은 경로 손실을 극복하기 위해 송/수신 빔 형성 기술을 사용하며, 인접한 두 개의 mDRU는 동일한 주파수를 사용하여 서로 다른 데이터를 이동체에 제공 (Single Frequency Multi-Flow: SFMF)함으로써 데이터 효율을 증대시킨다.

지하철 무선 백홀 통신 시스템의 무선 백홀 전송을 위한 주요 기술은 고속 환경에서 끊김없는 유연한 핸드오버 제공을 위한 하향 링크 동기 신호 구조, 빠른 인접 셀 탐색 알고리즘, 그리고 지하철 차량의 일정한 이동 방향을 고려한 효율적인 핸드오버 알고리즘 및 고속 이동에 따른 도플러 쉬프트를 극복하기 위한 효율적인 상향 링크 파일롯 구조 및 이를 이용한 기지국 수신단의 주파수 옵셋 보상 기술 등이 있다[2].

지하철 무선 백홀 통신 시스템은 초기화, 등록 절차, 해제 절차 그리고 핸드오버 절차를 통해 지하철 객차에 무선 백홀 링크를 제공한다. 초기화 절차는 mGW와 mDRU의 초기 동작 파라메터를 설정하고 동기 신호 전송 및 시스템 정보를 방송하는 절차이다, 등록 절차는 mTE가 네트워크에서 제공하는 정보를 기반으로 무선 접속 절차를 통해 서비스가 가능한 mDRU에 접속하고 mGW에 등록하는 절차이다. 해제 절차는 네트워크에 접속한 mTE가 무선 접속 링크를 해제하고 등록 정보를 삭제하는 절차이며 mTE가 시작하는 절차와 mGW가 시작하는 절차로 나누어 볼 수 있다. 핸드오버 절차는 지하철 객차의 이동에 따라 mTE에 접속된 mDRU를 변ㄱ 변경하는 절차이며 mGW에서 경로 변경을 수행하는 S1기반의 핸드오버 방식을 사용한다.

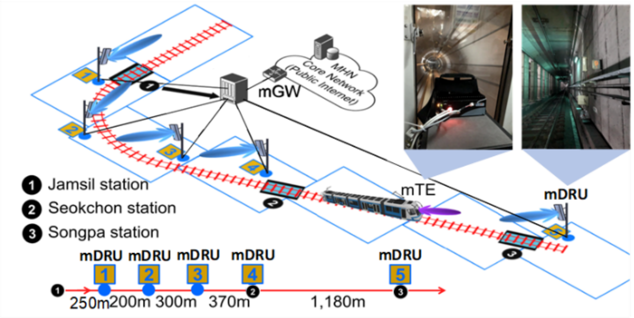

그림 2. 시험 환경 (서울 지하철 8호선)

III. 성능평가

개발된 지하철 무선 백홀 통신 시스템은 그림 2와 같이 서울 지하철 8호선에 설치되어 무선 링크의 성능 평가를 수행하였다. 지하철 무선 백홀 통신 시스템의 mGW는 지하철 통신실에 설치하고 5대의 mDRU는 8호선 잠실역에서 송파역 구간의 터널 구간에 설치되어 서비스 커버리지를 제공하는 기지국 기능을 수행한다. mTE는 실제 운행되는 지하철 객차에 설치되어 mDRU와 무선 접속 기능을 통해 밀리미터파 기반의 무선 링크를 형성하여 데이터 송/수신 기능을 수행한다.

개발된 무선 백홀 시스템의 성능 평가를 위한 성능 지표는 최대 전송율, 지연, 그리고 핸드오버 시 단절 시간을 고려하였다. 표 1은 지하철 시험을 통해 측정한 성능치를 나타낸 것이며 특히 잠실역에서 송파역으로 이동하면서 측정된 전송율은 그림 3과 같다.

IV. 결론

본 논문에서는 22GHz대역의 밀리미터파 기반의 무선 백홀 통신 시스템을 개발하고 상용 지하철에 설치한 후 측정한 시스템 성능을 제시하였다. 향 후 개발된 시스템을 다양한 형태의 몰입형 서비스와 연동하여 응용 수준의 성능을 검증할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2019-0-01460, 고속 열차 환경에서의 초고속 미디어 서비스 지원을 위한 5G 진화 기반 초고주파 무선 전송 기술 공동 연구)

참 고 문 헌

[1] NGMN," Road to 5G: Introduction and Migration," 2018

[2] 정희상, et al. "모바일 핫스팟을 위한 이동무선백홀 기술동향 분석." 전자통신동향분석 Vol. 30 No. 1, 2015: 12-20.

표 1. 지하철 무선 백홀 통신 시스템의 성능 평가

	측정	비고
최대전송율(Gbps), DL/UL	1.8/0.29	Iperf
전송 지연(ms)	4.5	Ping
핸드오버 단절 시간 (ms)	12.5	

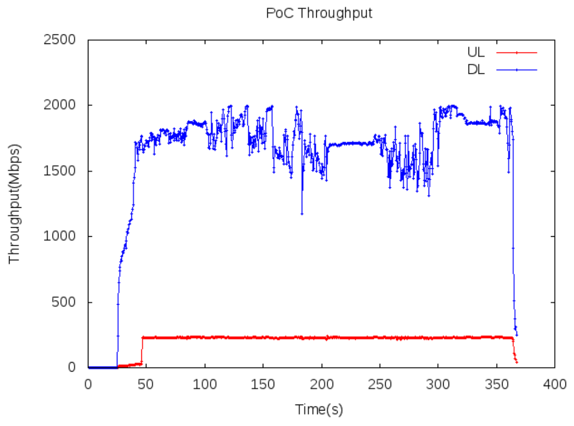

그림 3. 전송율 측정