

한-EU 5G 국제 공동연구를 통한 밀리미터파 주파수 대역 이동무선백홀 개발

정희상[°], 김준형^{*}, 노고산^{*}, 회빙^{*}, 김일규^{*}, 김영진^{**}, 정현규^{***}

Development of Millimeter-Wave-Band Mobile Wireless Backhaul System in a Korea-EU Joint Research on 5G

Heesang Chung[°], Junhyeong Kim^{*}, Gosan Noh^{*}, Bing Hui^{*}, Ilgyu Kim^{*},
Yeongjin Kim^{**}, Hyun Kyu Chung^{***}

요약

통신의 눈부신 발전으로 최대 전송 속도가 1 Gbps에 이르는 4세대 이동통신 네트워크는 이미 상용화 되었으며, 이를 뛰어넘는 20 Gbps에 이르는 전송 속도를 지원하는 5세대 이동통신도 몇 년 이내에 상용화 될 것으로 예측된다. 한편, 2018년 평창에서 치러질 동계 올림픽은 국제적 스포츠 행사에서 더 나아가 5세대 이동통신 분야 기술들의 전시장에 될 전망이다. 이러한 시기에 한국과 유럽연합 소속 국가들 간의 공동 연구를 통하여 5세대 이동통신의 핵심적인 밀리미터파 기반 대용량 전송 및 활용 기술, 위성통신 기술 및 표준화를 선도하는 것은 의미가 크다. 특히, 국제 공동연구팀은 기술 개발과 더불어 평창 동계올림픽 기간 중에 5세대 이동통신 기술들을 시연할 구체적인 계획을 갖고 단계적으로 시행 중이다. 이에 본고에서는 한국과 유럽연합 국가들 사이의 정보통신 기술 분야 공동연구의 일환으로 진행되는 5세대 이동통신 기술 개발과 시연에 대해 기술한다. 특히 한국 측의 액세스 분야는 밀리미터파를 이용하여 최대 5Gbps 백홀 용량과 이동성을 갖는 무선백홀 기술을 개발하고, 이를 이용하여 버스 내의 사용자에게 대용량 데이터를 요하는 초다시점 비디오 서비스를 시연하게 될 것이다.

Key Words : 5G, Mobile Wireless Backhaul, Mobile Hotspot Network, Millimeter Wave, Interoperability, Access Network, Beam Forming

ABSTRACT

The fourth generation networks have been widely spread since the first commercial deployment in 2009. Amid the proliferation the fifth generation mobile networks will be expected to emerge in the late 2019 or early 2020. On the other hand, Korea will hold the world sporting event of PyeongChang Winter Olympics in 2018. The worldwide event will provide not only winter sports games but also technical exhibition opportunities where people can experience diverse fifth generation mobile communication technologies and services in the early stage. As one of Korea-EU joint research topics the fifth generation mobile communication research segment has been designed to deliver fully integrated 5G systems of both sides, inter-operability tests between them and

※ 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. B0115-16-0001, 평창 동계올림픽 5G 통신서비스 지원을 위한 차세대 통신네트워크 기술 개발).

° First and Corresponding Author : Mobile Wireless Backhaul Research Section of ETRI, hschung@etri.re.kr, 정희원

* Mobile Wireless Backhaul Research Section of ETRI, {jhkim41jf, gsnoh, huibing, igkim}@etri.re.kr

** Department of Mobile Application of ETRI, yjkim@etri.re.kr, 정희원

*** 5G Giga Service Research Laboratory of ETRI, hkchung@etri.re.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2017-07-202, Received July 24, 2017; Revised December 6, 2017; Accepted December 15, 2017

proof-of-concept demonstrations of the systems during the Winter Olympics. In this regard, this report details the Korea-EU joint research project on the 5G with special emphasis on the access technology parts of Korea side including research progresses, a field trial, and demonstration plans. The access part of Korea side will develop a 5Gbps mobile wireless backhaul system based on millimeter wave bands, which will be used to demonstrate super multi-view video services in a bus.

I. 서 론

4차 산업혁명의 시대가 눈앞으로 다가왔다¹⁾. 철도 건설과 증기 기관의 발명으로 시작된 1차 산업혁명, 전기와 생산 조립 라인에 힘입은 대량생산으로 대표되는 2차 산업혁명, 반도체, 메인프레임 컴퓨팅 및 인터넷의 발전과 함께한 3차 산업혁명에 이어서 디지털 혁명과 함께하는 4차 산업혁명이 시작된 것이다. 4차 산업혁명은 유비쿼터스 모바일 인터넷, 인공지능, 기계학습 등이 주요 특징이다. 특히 통신 기술에 있어서는 5세대 통신이라고 하는 5G (Fifth Generation of Mobile Telecommunications)와 함께 할 것으로 예상할 수 있다. 4차 산업혁명은 사물인터넷, 인공지능 로봇, 자율주행 자동차, 스마트 홈·시티·팩토리 등으로 대표되는 생활, 산업, 사회의 전반적인 변화를 가져올 것으로 보인다. 이들을 가능하게 하는 것은 바로 대용량 전송, 대규모 연결, 매우 빠른 연결 등의 특징을 갖는 5G 통신 기술이다. 즉, 4차 산업혁명은 5G에 의해서 가능하게 되는 것이다.

5G는 통신의 발전 단계에서 나타난 것이므로 1세대 이동통신 (1G)에서부터 4세대 이동통신 (4G)까지의 발전을 계승하는 또 하나의 통신으로 이해할 수 있다²⁻³⁾. 먼저 기존 이동통신에 대해 간략히 살펴보자. 1G는 아날로그 통신으로써 음성 통화만 가능하면서 부피가 비교적 큰 휴대용 전화를 출현하게 만든 이동통신의 출발점이라고 볼 수 있다. 2G는 아날로그 방식에서 벗어나서 처음으로 시작된 디지털 통신 방식으로써 음성 통화에 더하여 간단한 문자 메시지를 전송할 수 있는 새로운 통신 방식이었다. 비록 국내에서는 더 이상 서비스가 되고 있지 않지만 아직까지도 2G를 사용하는 나라가 있기 때문에 관련 기지국·단말 기술이 유지되고 있다. 3G는 인터넷에 접속이 가능한 단말기인 스마트폰의 출현과 함께 널리 퍼진 통신 기술이다. 3G가 세계적으로 사용 되면서 국내에서만뿐만 아니라 해외에서도 자신의 전화번호를 사용하여 통화하는 국제 로밍이 보편화 되었다. 한 단계 더 나아가 4G는 단지 인터넷 접속에서 그치지 않고 용량이 큰 비디오 콘텐츠를 실시간으로 내려 받을 수 있는 통신

기술로 진화하였다. 4G에 사용되는 표준 기술인 LTE-A (Long-Term Evolution Advanced) 라고 일컫는 것처럼 3G에서부터 약 10년의 기간 동안 꾸준히 진화해온 기술이라고 볼 수 있다. 4G에서의 대표 기술로는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) 전송방식, MIMO (Multiple Input Multiple Output)를 이용한 주파수 효율 증대 기술, 전송오류 보정을 위한 터보 부호 및 복호화 기술, 그리고 전송용량 증대를 위한 주파수 집성 (Carrier Aggregation) 등을 들 수 있다. 4G는 이러한 핵심 기술을 바탕으로 보행자에게 최대 1Gbps의 전송 속도를 제공할 수 있다. 그럼에도 불구하고 폭발적으로 증가하는 무선 데이터에 대한 수요 예측에 따라서 더 빠른 데이터 전송속도에 대한 필요성이 제기되었다. Cisco 백서에 의하면 2016년 기준으로 볼 때 과거 5년 사이에 무선 데이터 트래픽은 18배 증가했으며, 이 중에 69%는 4G 접속에 의한 것이라고 한다⁴⁾. 또한, Cisco 백서는 향후 5년 사이에 2021년까지 7배의 무선 데이터 트래픽 증가를 예측하고 있다. 무선 데이터 트래픽의 증가와 함께 또 하나의 주목할 사실은 무선 단말 혹은 디바이스의 증가이다. 2016년에 이미 전 세계적으로 80억 개의 디바이스가 인터넷에 연결되었으며, 2021년까지 116억 개의 디바이스가 무선 데이터를 사용할 것으로 전망된다. 따라서 3G에 비해 비약적으로 발전한 전송 서비스인 4G 서비스도 위와 같이 예측되는 무선 데이터 용량이나 디바이스 증가를 수용하기에 충분하지 않다는 공감대가 형성되었다. 이러한 배경 하에서 5G의 필요성이 제기되었다고 할 수 있다. 더 나아가 5G는 자율주행, 스마트 홈·시티·팩토리과 같은 산업계의 요구사항까지 반영함으로써 4차 산업혁명을 뒷받침 하는 통신 서비스가 될 것으로 보인다.

UN 산하의 국제통신연합 무선통신 분과 (International Telecommunication Union Radiocommunication: ITU-R)에서는 5G 국제표준에 대한 요구사항, 정의, 평가 및 표준 여부에 대한 판단 등을 총괄한다. 5G 국제 표준 제정을 위해서 먼저 산업계의 다양한 요구사항을 반영한 사용 시나리오를 조사 및 분류하고 이들과 연결된 주요 특성으로써 초고속, 초연결,

초저지연의 세 가치를 도출하였다⁵⁾. 구체적으로는 VR (Virtual Reality)/AR (Augmented Reality), UHD (Ultra High Definition) Video 등과 같이 초고속 전송이 필요한 사용 시나리오, 스마트 홈·시티·팩토리 등과 같이 초연결이 필요한 사용 시나리오, 자율주행, 실시간 게임, Tactile Internet 등과 같이 초저지연이 필요한 사용 시나리오로 구분할 수 있다⁶⁾. 다양한 사용 시나리오가 가능하도록 하는 8개의 KPI (Key Performance Indicator)도 정의하였다. 이들은 최대 전송속도 20Gbps, 사용자 체감 속도 (User Experienced Data Rate: UEDR) 100Mbps, 이동 속도 500km/h, 지연 시간 1ms, 디바이스 연결 밀도 $10^6/\text{km}^2$, 에너지 효율과 주파수 효율 각각 4G 대비 100배, 면적당 트랙백 용량 $1\text{TB}/\text{s}/\text{km}^2$ 등으로 요약된다. 단, 5G에 대한 평가 기준을 정립하는 과정에서 KPI의 세부 목표치는 조정될 여지가 있다. 위에서 알 수 있듯이 5G는 4G에 비해서 더 빠른 전송 속도와 더 많은 기기의 연결 그리고 더 단축된 연결 지연 시간을 제공하는 통신의 진화이며, 4차 산업혁명을 가능하도록 하는 인프라를 제공하게 되리라는 것을 암시한다.

5G가 가져올 사회 전반의 변화를 고려할 때 국제 사회의 5G 선점을 위한 노력이 치열하게 전개될 것으로 짐작할 수 있다. 이동통신 사업자는 세계적으로 800여개에 이르고 있는데, 이들도 5G를 선점하여 경쟁력을 확보하기 위한 다양한 노력을 진행 중이다. 국내의 주요 이동통신 제공 사업자들은 시스템 제공 업체들과 협업을 통해 Mobile World Congress와 같은 국제 행사를 통해 5G 비전과 서비스 역량을 드러내고 있다. 2018년 평창 동계올림픽, 2020년 동경 하계올림픽 등과 같은 세계의 이목이 집중되는 이벤트는 홍보효과를 누릴 수 있는 좋은 기회이기 때문에 산업계에서 큰 관심을 갖고 있다. 산업계 못지않게 학계·연구업계·정부도 많은 관심을 갖고 있으므로 국제 공동연구를 통해 기술 및 표준 개발뿐만 아니라 이들을 시연할 수 있는 기회로 활용하는 것은 당연하다고 하겠다.

본고에서 다루고자 하는 한국과 유럽연합 (European Union: EU)의 공동연구는 전술한 바와 같이 5G를 주제로 유럽 4개국인 프랑스, 벨기에, 핀란드, 독일 내의 8개 업체와 한국 13개 업체가 참여하는 국제 공동연구 중의 하나이다. 이 연구 과정은 5GCHAMPION (5G Communication with a Heterogeneous, Agile Mobile network in the PyeongChang wInter Olympic competition)이라고 약칭 하며 2016년 6월부터 2년간 진행된다. 본문에서

는 전체 연구의 개요를 포함하여 한국 측 연구 내용을 기술한다. 주요 연구 및 시연에 대해서는 한국 측의 무선 액세스 중심으로 상세히 기술한다.

II. 본 론

한국-EU 5G 공동연구팀 구성은 5G 핵심 기술 개발, 시스템 통합, 그리고 평창 동계올림픽 시연이라는 목표에 잘 부합되게 이루어졌다⁷⁾. 먼저, 유럽의 8개 기관을 보면 기초 원천은 OULU 대학, CEA-Leti 연구소, HHI 연구소 등이 담당하고, 시스템 통합 및 시연은 TASF, TPZF, iMINDs, Nokia 등이 맡고 있으며, 표준화는 INTEL이 대응하는 구조이다. 한국의 13개 기관은 ETRI가 전체적인 주관을 하되 12개의 공동연구 기관들이 기초 원천, 통합 및 시연, 표준화 등을 지원하는 구성이다. 한국과 유럽이 각자 연구를 진행하지만 국제 공동연구의 효과를 극대화하기 위해서 코어 네트워크의 상호 운용성 시험과 최종 목표인 2018 평창 시연에 있어서는 국제 공동 시연 시나리오를 발굴하였다. 이어지는 세부 절에서는 5GCHAMPION 개요에 대해 기술하고 밀리미터파 (Millimeter Wave: mmWave) 기반 액세스 시스템을 상세히 기술한다. 그리고 개발된 시스템을 이용한 테스트베드 구축과 시연 결과를 비롯하여 향후 평창 동계올림픽 시연을 위한 계획에 대해서도 기술한다.

2.1 5GCHAMPION 개요

한-EU 공동연구 전체를 개략적으로 나타내면 그림 1과 같다. 위성 관련 연구를 제외하면 한국 측과 EU 측은 대칭적인 주제를 다루고 있다. 즉, 각각의 코어 네트워크와 액세스 네트워크를 갖고 있으며, 이들은 학술연구를 위한 국제 망을 통해 연결하도록 구성한다. 각각의 코어 네트워크는 상호 운용성 보장이 되도록 동일한 구성 요소를 갖추면서 국제 규격을 만족한

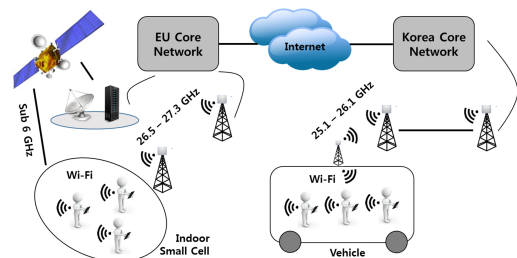


그림 1. 5GCHAMPION 프로젝트 구성
Fig. 1. Project structure of 5GCHAMPION

다. 액세스 네트워크의 경우 EU는 주로 실내 핫스팟과 같이 사용자가 밀집된 장소에 밀리미터파 백홀을 제공하는 반면, 한국의 경우는 이동성을 갖는 지하철, 버스 등과 같은 고속 이동체에 밀리미터파 백홀을 제공한다.

그림 1에 나타난 밀리미터파의 주파수 영역은 평창 동계올림픽 기간에 시연을 위한 주파수로써 상호 간섭을 최소화 하도록 한국은 25.1-26.1GHz 대역, EU는 26.5-27.1GHz 대역을 사용한다. 실내 핫스팟과 차량 내부의 최종 사용자는 본인의 휴대용 기기로서 바로 네트워크 접속을 할 수 있도록 Wi-Fi (Wireless Fidelity) 네트워크가 제공된다.

5GCHAMPION에서는 KPI 및 기능 검증을 위해 다양한 사용 시나리오를 마련하였다. 표 1은 이중에서 한국 단독 혹은 한국-EU 공동으로 준비하는 3개의 시나리오를 정리한 것이다. 시나리오 1은 액세스 네트워크 검증을 위한 것으로 2.5Gbps 백홀 데이터 전송 속도와 100Mbps UEDR을 검증하기 위함이다. 500km/h의 이동성의 경우에는 실제 시험을 위한 환경 구성이 어려움에 따라서 시뮬레이션으로 검증한다. 시나리오 2는 한국과 EU의 코어/액세스를 연동함으로써 시스템 상호 운용성, 2ms 최저 지연시간, 가상 EPC (Virtual Evolved Packet Core)를 사용하는 SDN/NFV 기능을 검증한다. 시나리오 3은 시나리오 2와 마찬가지로 평창에 설치하는 한국과 EU 간의 연동 테스트베드를 기반으로 한다. 이때, 한국 측의 백홀은 60km/h로 이동하는 버스에 설치되며 EU 측의 백홀은 올림픽 관련 부스 내에 설치되어 상호 연동을 통해 실시간 게임, VR/AR, 초다시점 등의 서비스 시연과 함께 관련 KPI를 검증한다.

한국-EU 5G 국제 공동연구는 여러 국가에서 개발한 요소기술과 각각의 통합된 시스템에 대한 검증에

서 시작하여 대륙 간의 코어망 연결을 통한 상호 운용성 시험, 그리고 동계 올림픽이라는 국제 행사에서 차세대 기술 시연을 하는 것을 골자로 하고 있음을 알 수 있다. 더 나아가 21개 참여기관은 국제 공동연구라는 기회를 통해서 기술 교류, 국제 표준화 공조, 상호 기술 홍보에 참여하기 때문에 향후 기술 사업화 과정에서 다양한 진출 기회를 보다 쉽게 얻을 수 있는 효과를 누리게 될 것으로 전망한다.

2.2 밀리미터파 기반 이동무선백홀 시스템 기술

5G의 주요 성능 목표치 중에서 20Gbps 전송 속도를 달성하기 위해서는 주파수 효율을 높이는 것만으로는 부족하기 때문에 4G에서 사용하는 주파수 보다는 매우 넓은 주파수 대역이 필요하다. 실질적으로 넓은 대역의 주파수를 제공하기 위해서는 캐리어 주파수 자체가 높아져야 하며, 이를 위하여 밀리미터파를 활용하는 것이 대안이 될 수 있다. EHF (Extremely High Frequency) 주파수의 경우 30-300GHz 대역을 일컫는데, UHF (Ultra High Frequency) 주파수인 300-3000MHz 대역에 비해서 자유공간 손실이 크고 직진성이 강하기 때문에 셀 구성 시에 커버리지 확보 측면에서 어려운 점이 있다. 또한, 전력증폭기와 같은 핵심 소자의 출력이 작고 비용은 높은 점도 문제점으로 인식된다. 따라서 EHF 주파수의 넓은 대역을 5G에 활용하기 위해서는 이러한 문제점을 극복하는 기술이 필요하다.

5GCHAMPION의 한국 측에서는 30GHz 근처의 주파수를 활용하여 이동성이 큰 기차, 버스와 같은 차량에 무선백홀을 제공함으로써 이동하는 핫스팟의 사용자들에게 100Mbps UEDR를 제공하는 액세스 구조를 연구하고 있다^{8,9)}. 사용자 입장에서는 Wi-Fi와 같은 기존 무선 액세스를 사용하지만 지상 기지국과 기차/버스 사이는 밀리미터파 기반의 백홀을 통해 링크

표 1. 5GCHAMPION의 사용 시나리오
Table 1. Usage scenarios of 5GCHAMPION

Usage scenario	Testbed	KPI and Functionality
1. High user-mobility case	Korea	2.5Gbit/s backhaul data rate 100Mbit/s UEDR 500km/h mobility (simulation)
2. Short-latency applications (e.g. multi-player remote gaming)	Korea-EU Joint (PyeongChang)	2ms latency Inter-system interoperability SDN/NFV in vEPC
3. Broadband applications (e.g. UHD video streaming, 3D VR, Super Multi-view 3D display)	Korea-EU Joint (PyeongChang)	100Mbit/s UEDR 2.5Gbit/s backhaul data rate Inter-system interoperability SDN/NFV in vEPC

가 형성되는 2계위의 액세스 네트워크 구조를 갖는다. 이를 모바일 핫스팟 네트워크 (Mobile Hotspot Network: MHN)로 지칭한다. 본 부절에서는 MHN에 대해 상세히 기술한다.

2.2.1 MHN 시스템 구조

MHN 시스템의 구조는 그림 2와 같다. 기차의 선로를 따라서 설치된 mRU (MHN Radio Unit)와 기차의 앞과 뒤에 설치된 mTE (MHN Terminal Equipment)는 mmWave로 연결되는 무선 구간이다.

내부의 승객들은 mmWave가 아닌 Wi-Fi 기능을 갖는 단말을 통해서 Wi-Fi AP (Access Point)와 연결된다. 그리고 기차에 설치된 mTE는 기차 내부의 망을 구성하여 매 객차마다 설치된 Wi-Fi AP와 연결된다. 승객의 입장에서는 가정이나 사무실에서 사용하는 고정 네트워크로의 오프로딩과 동일한 접속 방식을 이용하는 것이다. 가정이나 사무실의 고정 네트워크란 주로 유선망이기 때문에 100Mbps 이상의 데이터 전송 속도를 어렵지 않게 제공한다. MHN에서도 이와 동등한 데이터 전송 속도를 제공하기 위해서 mmWave 기반의 백홀을 사용하고자 하는 것이다. 가령 10칸으로 구성된 지하철 차량에 1Gbps 이상의 데이터 전송 속도를 지원하는 mTE를 설치하여, 차량마다 최적의 분배를 할 경우 가정에서 사용하는 100Mbps 급의 고정 네트워크로의 오프로딩을 제공할 수 있을 것이다. 그림 2에서 나타난 것과 같이 선로변에 설치된 mRU는 광케이블을 통해서 mDU (MHN Digital Unit)와 연결된다. mDU는 기지국 모뎀의 디지털 처리를 담당하여 한 곳에서 여러 개의 mRU를 관리할 수 있는 집중형 구조를 택하였다. 각 mDU는 EPC와 mGW (MHN Gateway)를 통해서 인터넷과

연결된다.

MHN 시스템은 일반 사용자의 단말에 mmWave를 적용하지 않고 Wi-Fi를 통해서 망에 접속하기 때문에 보편화된 스마트폰을 이용하여 운행 중인 차량 내에서도 가정이나 사무실 등에서처럼 인터넷에 접속이 가능하도록 한다. 그 대신 높은 데이터 전송 용량이 필요한 무선 구간에서는 mmWave의 넓은 주파수 대역을 사용한다. 일반 사용자 단말에 mmWave 송수신기 및 안테나를 적용하기까지는 소형화와 가격 측면에서 몇 년의 시간이 더 걸릴 것이기 때문에 MHN의 2계위 접근 방식은 차량 내의 사용자에게 대용량 데이터를 제공하는 현실적인 방법이 될 것이다.

MHN 시스템을 설계하는데 있어서 두 가지 점을 초점을 두었다. 첫째는 mmWave가 갖는 높은 경로 손실을 보상하여 적절한 커버리지를 확보하는 방법이다. 둘째는 MHN에서 제공하는 mmWave 기반의 백홀은 차량용 단말 장치가 기차와 같이 빨리 움직이는 차량 내부에 설치되므로 핸드오버가 빈번히 발생한다는 점이다. 따라서 핸드오버가 안정적으로 가능하도록 시스템을 설계하고 구현해야 한다. 이 점은 MHN의 기저대역 설계를 반영한 규격에서 반영되었으며 먼저 2.2.2절에서 다룬다. 커버리지 관련한 RF (Radio Frequency) 및 안테나 설계는 2.2.3절에서 다룬다.

2.2.2 MHN 시스템 기저대역 설계 및 규격

MHN 시스템 기저대역 전송방식은 하향링크와 상향링크 모두 CP (Cyclic Prefix)-OFDM을 채택하고 있다. 참고로 3GPP (3rd Generation Partnership Project) 5G NR (New Radio) Study Item 논의에서 하향링크는 CP-OFDM을 사용하나, 상향링크는 CP-OFDM과 함께 PAPR (Peak-to-Average Power

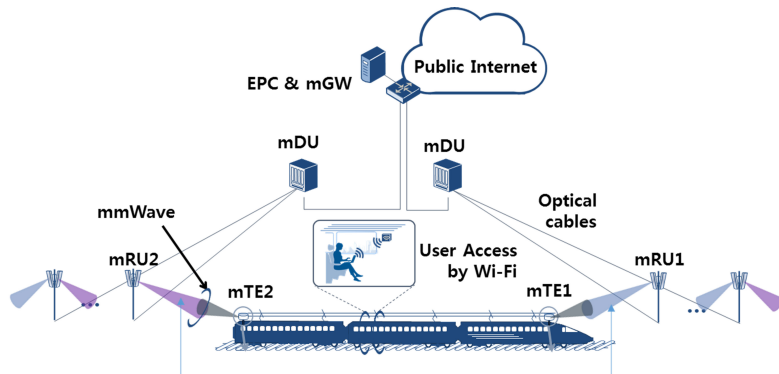


그림 2. MHN 시스템 구조

Fig. 2. MHN system architecture. mGW: MHN Gateway, mRU: MHN Radio Unit, mDU: MHN Digital Unit, mTE: MHN Terminal Equipment

Ratio)이 작은 SC (Single Carrier)-OFDM을 선택적으로 사용할 수 있도록 하고 있다. 그러나 MHN의 경우에는 단말에 해당하는 mTE가 개인용 단말이 아니라 차량용이기 때문에 전력 효율에 대한 부담이 작다. 그렇기 때문에 전력 효율을 우선적으로 고려하기 보다는 구현 복잡도가 낮은 방식을 채택한 것이다. CP-OFDM은 스펙트럼 효율이 높고, 다중 경로 페이딩 (Multi-path Fading)에 강한 특성으로 인해서 4G에서도 채택하고 있는 방식이다. 5G에서도 여러 가지 방식이 논의 되었으나 최종적으로 선택된 방식은 CP-OFDM이다^[10].

한편, MHN 시스템은 mmWave를 사용하기 때문에 UHF 대역에 맞춰 개발된 4G와 달리 OFDM Numerology는 해당 주파수에 맞춰서 조정이 필요하다. 우선적으로 고려할 것은 단말의 이동 속도에 따라 발생하는 Doppler Shift 이다. Doppler Shift는 캐리어의 주파수에 따라서 비례하여 증가한다. 즉, 3GHz 주파수에 비해 30GHz 주파수의 경우 10배의 Doppler Shift가 발생하게 된다. 이를 고려하여 부반송파 간격을 증가시켜야 Doppler Shift에 의한 성능 열화를 최소화할 수 있는 것이다. 그런데, CP-OFDM 방식에서 부반송파 간격의 역수는 시간축 상의 OFDM 심볼의 길이가 되므로 부반송파의 증가는 OFDM 심볼 길이의 감소를 가져온다. 이는 동시에 CP (Cyclic Prefix) 길이의 감소로 이어지므로 결국 커버리지의 감소로 이어지게 된다. 요약하면, MHN은 백홀 용량 증대를 위하여 넓은 주파수 대역을 제공하는 mmWave를 사용하며, 고속 이동성 지원을 위해 부반송파 간격이 증가하게 된다. 이는 OFDM 심볼 길이의 감소에 의한 CP 감소를 가져온다. 그리고 이는 곧 커버리지의 감소로 이어진다. 이러한 특성이 반영된 MHN의 OFDM Numerology는 표 2에 정리하였다. 부반송파

(subcarrier) 주파수는 180kHz로써 LTE/LTE-A에서 사용하는 15kHz에 비해 12배의 값을 갖는다. 이는 LTE/LTE-A의 주파수가 UHF 대역을 위주로 하므로 EHF 대역에 속하는 MHN 시스템을 고려하였다.

부반송파의 역수인 5.56 μ s가 OFDM 심볼 길이가 된다. CP의 길이는 OFDM 심볼의 1/8인 0.69 μ s로 정의하였다. CP의 길이가 길어지면 더 긴 RTT (Round Trip Time)를 보장하게 되므로 커버리지가 넓어질 수 있는 반면에 데이터를 전송할 수 없는 오버헤드 (Overhead)가 커지는 단점이 있으므로, 두 가지를 모두 고려하여 최적의 값을 선택할 필요가 있다. 참고로 0.69 μ s 정도의 CP 길이를 사용할 경우에 1km 이상의 커버리지를 확보할 수 있다. mmWave의 경우 LTE/LTE-A와 달리 1km 정도의 커버리지는 합리적이라고 볼 수 있다. 이 외에 중요한 파라미터로써 TTI (Transmission Time Interval)가 있는데, MHN의 경우 LTE/LTE-A에 비해서 1/4인 250 μ s를 적용함으로써 지연시간 (Latency)을 줄일 수 있는 기반을 마련하였다. 기본적인 대역은 하나의 CC (Carrier Component)가 점유하는 125MHz 이며, CA (Carrier Aggregation)를 적용하여 8배 확장함으로써 최대 1GHz까지 사용할 수 있다. 이로 인하여 백홀 전송용량을 5Gbps 이상으로 늘릴 수 있다. CA는 단지 대역 확장만을 위한 도구는 아니다. 앞서 기술한바와 같이 MHN 기저대역 설계에 있어서 중요한 부분 중의 하나는 핸드오버에 대한 적절한 지원이 가능해야 한다는 점이다. 이를 위하여 CA에 사용하는 여러 주파수 밴드를 3종류로 분류하였다. 각각 PCell (Primary Cell), SCell (Secondary Cell), TCell (Tertiary Cell)로 명명하며 그림 3에 구조를 나타냈다. 가로축은 40개의 OFDM 심볼 시간에 해당하는 250 μ s이다. 세로축은 주파수를 나타낸다. PCell, SCell,

표 2. MHN 시스템의 OFDM numerology
Table 2. OFDM numerology of MHN system

Parameter	Value
Subcarrier spacing (kHz)	180
Sampling rate (MHz)	184.32
System bandwidth of carrier (MHz)	125
Fast Fourier Transform (FFT) size	1024
Number of used subcarriers	600
OFDM symbol duration w/o CP (μ s)	5.56
Cyclic prefix (CP) duration (μ s)	0.69
Number of OFDM symbols per TTI	40
TTI (Transmission Time Interval) (μ s)	250

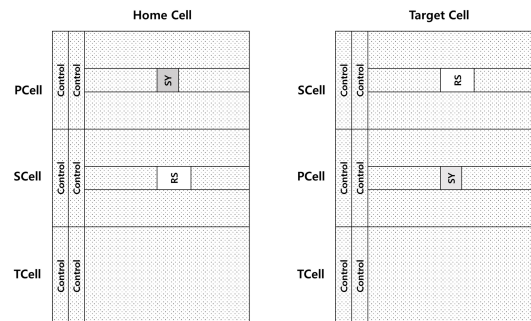


그림 3. 시간-주파수 축 상의 자원 할당
Fig. 3. Time-frequency resource allocations for MHN system. SY: Synchronization, RS: Reserved

TCell은 각각 125MHz 대역을 차지한다. 각각은 시작 부분 2개의 OFDM 심볼을 제어채널로 할당한다.

PCell의 경우 SY로 표시된 부분에 동기신호와 방송채널을 할당한다. SCell의 경우 PCell의 SY 표시 영역보다 약간 넓은 RS로 표시된 영역을 갖게 되는데 이 부분은 신호를 보내지 않도록 한다. TCell의 경우는 SY, RS가 없으며, 세 경우 모두 RS, SY, Control을 제외한 영역에는 데이터를 보내도록 한다. 그런데 Home Cell과 Target Cell에서 PCell의 주파수 위치가 서로 바뀐 것을 알 수 있다. 이렇게 하여 Home Cell에 속한 단말이 Target Cell의 동기신호와 방송채널을 수신하는데 있어서 Home Cell의 간섭을 받지 않도록 하였다. MHN은 차량의 진행 방향이 예측 가능하므로 진행 방향에서 연속하는 Cell 간에 PCell의 위치가 고차하도록 정함으로써 Home Cell에서 안정적으로 Target Cell을 검출하도록 한다. 이로 인해 이웃셀 검출의 성능이 향상된다¹¹⁾.

2.2.3 MHN RF 송수신기 및 안테나 설계

MHN의 RF 송수신 장치와 안테나는 셀 커버리지를 결정하는 주요 요인이라고 볼 수 있다. 전파는 거리뿐만 아니라 주파수가 증가할수록 자유공간 손실이 증가하기 때문에 mmWave를 사용하는 MHN 시스템의 경우에는 LTE/LTE-A의 주파수에 비해 높은 주파수를 사용함으로써 인해 발생하는 추가적인 손실을 보상할 필요가 있다. 표 3은 250 - 1,000 m의 거리에 대해 링크 버짓 (link budget)을 계산한 것이다. 모든 경우에 출력 파워 (Power)는 17 dBm을 가정하고, 출력 안테나 이득은 19 dBi를 가정하였다. 이렇게 가정한 이유는 24-26.5 GHz에 대한 국내 규제가 36 dBm의 EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power)를 규정하고 있기 때문에 실상용화를 위한 구현에 고려하기 위함이다. 대기 손실은 0.2 dB 이하를 고려하였다. 수신 감도 (Sensitivity) -66 dBm은 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation)의 변조 형식과 0.8의 코드율 (Code Rate) 그리고 MMSE (Minimum Means Square Error) 수신기를 사용할 때의 값이다.

표 3. 링크 버짓
Table 3. Link budget

Distance	Free-space path loss	RX power	RX sensitivity	Link margin
1000 m	120.7 dB	-62.9 dBm	-66 dBm	3.1 dB
750 m	118.3 dB	-60.5 dBm	-66 dBm	5.5 dB
500 m	114.7 dB	-56.9 dBm	-66 dBm	9.1 dB
250 m	108.7 dB	-50.9 dBm	-66 dBm	15.1 dB

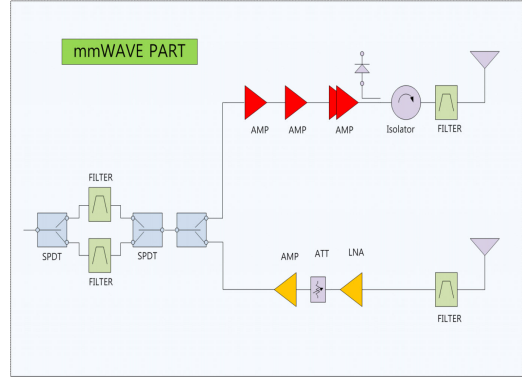


그림 4. MHN RF 송수신기의 블록 다이어그램
Fig. 4. Block diagram for mmWave part of MHN RF transceiver

거리 별로 15.1 - 3.1 dB의 link margin이 가능한 것을 알 수 있다.

그림 4는 MHN RF 송수신기의 밀리미터파 처리 부분에 대한 블록 다이어그램을 나타낸다. 앞서 언급한 EIRP 기준 36 dBm이 되도록 RF 송수신기와 안테나를 설계할 경우 1km 정도의 커버리지를 확보할 수 있다. MHN RF 송수신부는 스위치 SPDT (Single Pole Double Throw)를 이용하여 송신과 수신을 시간으로 나눠서 전환할 수 있도록 함으로써 TDD (Time Division Duplex) 방식을 지원한다. 윗부분은 송신을 위하여 전력증폭기 (Power Amplifier)를 여러 단으로 구성하였고 최종적으로 27dBm 출력을 갖는다. 다만 다중 캐리어 방식에서 발생하는 PAPR에 대하여 10dB back-off를 적용함으로써 평균 출력이 17dBm 되도록 제어한다. 안테나의 경우에는 Slotted Waveguide 안테나를 사용하므로 위상 (Phase)에 대한 조절이 가능하지 않아 고정 방향에 대한 빔으로 사용한다. 출력 안테나는 4x4 array를 이용하여 19 dBi의 안테나 이득을 얻도록 하고, 수신 안테나는 6x6 array를 이용하여 22 dBi의 안테나 이득을 얻도록 한다. 송신과 수신 안테나 이득이 서로 다른 이유는 송신의 경우 EIRP에 대한 규제를 따르기 위한 것이고, 출력의 경우 가능한 시스템 마진 확보를 위한 것이다.

2.2.4 MHN 시스템의 성능 분석

MHN 성능 분석에서는 이동속도에 따른 스펙트럼 효율 (Spectral Efficiency)을 분석한다. 특히, 2.2.2절에서 기술한 OFDM Numerology가 5G NR 표준화 성능분석 관점에서 적절한지를 살펴본다. LTE/LTE-A에서 사용하는 CP 길이는 OFDM 심볼 길이의 7.8% 혹은 7%에 해당한다. 5G NR에서는 6 종류의 부반송파 간격 (Subcarrier Spacing)을 후보로 지정하고 있는데, 각각에 대하여 OFDM 심볼의 길이가 변화하기 때문에 7% 혹은 7.8%의 비율을 유지할 경우에 CP의 길이도 함께 달라진다. 성능 분석을 위한 6 종류의 파라미터 집합을 표 4에 요약하였다. TTI에 해당하는 subframe은 LTE와 마찬가지로 14개의 OFDM 심볼로 이루어진다. 표에서 set 1-6까지 부반송파 간격이 15kHz에서 2배씩 증가하여 480kHz까지 변화함에 따라서 TTI의 길이 또한 1ms에서 31.25μs까지 감소한다. 작은 값을 갖는 TTI는 저지연을 달성하는데 유리하므로, Tactile Internet, remote surgery, real-time gaming 등과 같은 응용 분야에 적용하려면 set 1 보다는 상대적으로 set 6쪽에 가까운 numerology를 적용하는 것이 유리할 수 있다. 또한, set 1에서 set 6으로 갈수록 CP 길이가 짧아지므로 적용 가능한 RTT와 지연 확산 값이 작아진다. 이는 커버리지 관점에서 셀 크기가 점점 작아지는 것을 의미한다. 따라서 6 종류의 numerology 집합은 서로 다른 시나리오에 대해 적용이 가능하다고 볼 수 있다.

MHN은 최대 500km/h의 이동성을 지원하도록 설계하였다. 따라서 6 종류의 numerology 집합이 고속 이동 시에 어떤 성능을 나타내는 분석을 통하여 설계된 MHN 시스템의 적정성을 점검해볼 수 있다. 위의 서로 다른 numerology 집합을 이용하여 3GPP 표준

표 5. 성능 분석을 위한 시뮬레이션 파라미터
Table 5. Simulation parameters for performance analysis

Parameter	Value
Carrier frequency	30 GHz
System bandwidth	80 MHz
Channel coding	LTE Turbo
MCS	16QAM 2/3, 64QAM 3/4, 256QAM 3/4
Number of layers	1
Control channel	None
Channel estimation	Ideal
Equalizer	LMMSE
Channel model ^[12]	TDL-D (10ns, 100ns with K-factor = 13.3 dB)
Phase noise model	Multi-pole/zero model
UE speed	500 km/h

화에서 진행되는 5G NR HST (High Speed Train) 시나리오에 대한 평가 방법을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 링크레벨 시뮬레이션을 위한 파라미터는 표 5에 정리하였다^[13]. 시뮬레이션을 통해 얻은 Spectral Efficiency를 SNR (Signal-to-Noise Ratio)의 함수로 그래프로 나타내면 그림 5와 같다. 500km/h의 이동성 하에서 부반송파 간격이 작을수록 Spectral Efficiency 성능이 떨어지는 것으로 나타난다. 특히 이 경향은 MCS (Modulation and Coding Scheme)가 높은 경우에 두드러진다. 30kHz 이하는 spectral efficiency 성능 저하가 커서 고속 이동성을 지원하기에는 어려움을 알 수 있다. 60kHz 이상이 되는 경우에는 비교적 성능 저하가 작게 나타나며, 120 kHz 이상인 경우가 최적의 성능을 보인다. 따라서 MHN 시

표 4. 성능 평가를 위한 OFDM numerology 집합
Table 4. OFDM numerology sets for performance evaluation

	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5	Set 6
Subcarrier spacing (kHz)	15	30	60	120	240	480
System bandwidth (MHz)	80	80	80	80	80	80
FFT size	8192	4096	2048	1024	512	256
Sampling rate (MHz)	122.8	122.8	122.8	122.8	122.8	122.8
Number of used subcarrier	4800	2400	1200	600	300	150
OFDM symbol length (μs)	66.67	33.33	16.67	8.33	4.17	2.08
CP length of the 1st symbol (μs)	6.05	3.08	1.54	0.82	0.46	0.28
CP length of the 2nd symbol (μs)	4.66	2.33	1.16	0.58	0.28	0.14
Number of symbol per subframe	14	14	14	14	14	14
Subframe length (μs)	1000	500	250	126	62.5	31.25

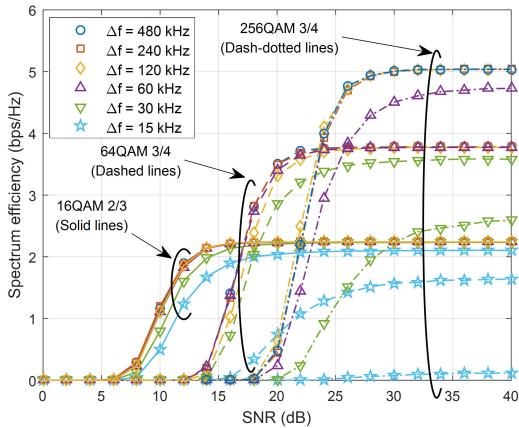


그림 5. 500km/h 속도에서 스펙트럼 효율
Fig. 5. Spectral efficiencies at the speed of 500km/h

시스템이 채택한 부반송파 간격 180kHz는 500km/h의 고속 이동의 경우에도 5bps/Hz의 Spectral Efficiency를 얻을 수 있는 적절한 설계임을 확인할 수 있다. 이는 MIMO를 적용하지 않은 경우로써 편파 (Polarization) MIMO를 적용할 경우에는 이 값의 2배에 해당하는 값을 얻을 수 있다.

2.3 MHN 기술 적용 테스트베드 구축 및 시험

MHN 시스템을 구현하여 사용 시나리오에 따른 테스트베드를 구축함으로써 시스템 기능 및 성능에서부터 필드 적용 가능성 및 안정성 등에 이르는 다양한 검증이 가능하다. 첫 번째 사용 시나리오는 지하철 승객에 대한 Wi-Fi 접속용 이동무선백홀 시나리오이다. 이를 위한 테스트베드는 서울지하철 8호선의 일부 노선에 구축하였으며 2.3.1에서 관련 내용을 기술한다. 두 번째 사용 시나리오는 버스 승객에 제공하는 이동무선백홀 시나리오로써 평창 동계올림픽 기간에 강릉 지역에서 테스트베드를 구축하여 검증을 할 계획이다. 이 부분은 2.3.2에서 기술한다.

2.3.1 서울지하철 8호선 테스트베드 구축 및 시험

서울지하철은 하루 평균 이용객이 800만 명에 이르는 대표적인 대중교통 수단으로써, 통신 관점에서 볼 때 승객들은 모바일 데이터를 소비하는 최종 사용자에게 해당한다. 스마트폰의 대중화로 인하여 지하철 내에서도 인터넷에 접속하여 간단한 업무를 처리하거나 실시간으로 비디오를 본다거나 온라인 게임을 하는 것은 일상이 되었다. 이러한 서비스가 가능하기 위해서 4G 네트워크에 직접 접속할 수도 있고 열차 내부 Wi-Fi AP로의 오프로딩을 할 수도 있다. 세계적으로

모바일 데이터의 오프로딩은 2016년 현재 전체 모바일 데이터의 60%에 이르고 있는데, 이 추세는 점점 더 증가할 것으로 예측된다⁴⁾. 지하철 내에서의 고정 네트워크로의 오프로딩은 두 가지 측면을 갖고 있다. 먼저 성능 측면이다. 우선은 지하철 내에 설치된 Wi-Fi AP의 백홀의 속도가 10-20Mbps 정도로써 많은 승객이 동시에 사용하기에는 용량이 부족하다는 점이다. 반면에 4G 네트워크로의 접속이 100-300Mbps의 용량을 제공하므로 사용자 입장에서 더 원활한 서비스를 받을 수 있다. 두 번째 측면은 경제성과 추세이다. Wi-Fi 접속은 무료로 제공되는 반면에 4G 네트워크는 그렇지 않다는 점이다. 따라서 두 가지를 모두 고려할 때 대용량의 이동무선백홀은 4G가 사용하지 않는 미개척 주파수를 이용하여 시민들에게 보다 나은 서비스를 제공할 수 있을 것이다.

2016년부터 MHN 이동무선백홀 테스트베드를 서울지하철 8호선의 잠실역, 석촌역, 송파역을 잇는 구간에 설치하여 기능 및 성능 시험을 수행하였다. 그림 6은 테스트베드 설치 위치를 표시하고 있다. 총 2.4km의 구간에 5개의 mRU가 설치되었으며, 이중 4개는 매우 가파른 곡선 구간인 잠실역과 석촌역 사이에 설치하였다. 나머지 하나는 직선 구간의 통신을 위하여 송파역 부근에 설치하였다. mRU의 설치 위치는 사전 전파시험을 통해서 전체 구간에서 20dB 이상의 신호대 잡음비를 확보할 수 있도록 선정하였다. 곡선 구간의 커버리지는 300m 정도이나 직선 구간은 1km에 이른다. 모든 mRU는 잠실역 내의 실내에 설치된 mDU와 광케이블을 통해서 연결되며, 각 mDU는 하나의 게이트웨이를 거쳐서 인터넷망으로 접속된다.

그림 7(좌)는 지하철 차량의 기관실에 설치된 mTE를 나타낸다. 실제 운행되는 지하철에 설치되었으며, 전면에 8호선 터널이 드러난다. 그림 7(우)는 mTE와 유선으로 연결된 802.11ac Wi-Fi AP 및 시험용 컴퓨터를 보여준다. 시험용 컴퓨터는 백홀의 기능과 성능을 측정할 수 있도록 DM (Diagnostic Monitor)을 갖

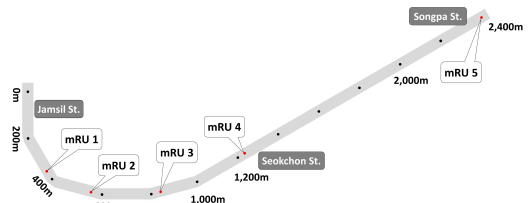


그림 6. 서울지하철 8호선의 MHN 테스트베드 구조
Fig. 6. Testbed structure of MHN system at Seoul subway Line 8

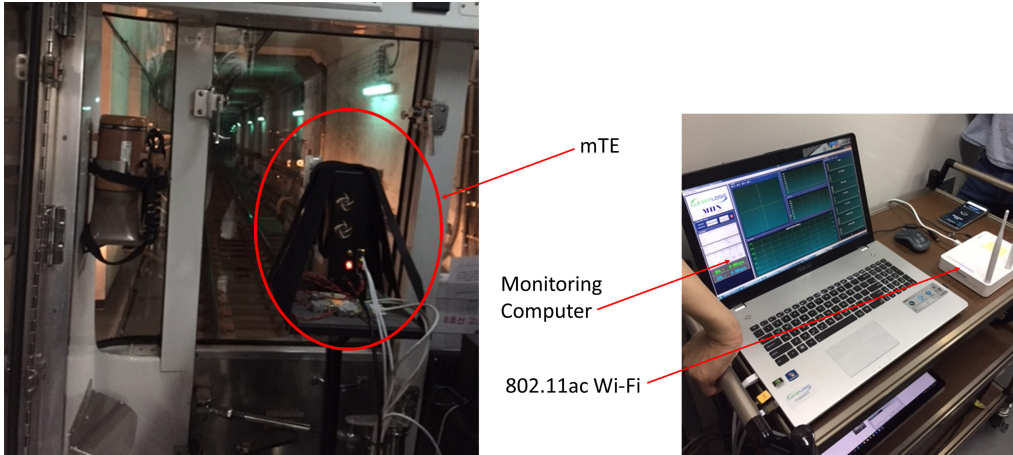


그림 7. 기관실에 설치된 mTE(좌)와 객실에 설치된 Wi-Fi AP(우)
 Fig. 7. mTE in the engine room (left) and control equipment and Wi-Fi AP in the train car (right)

추고 있으며, 802.11ac Wi-Fi AP는 차량 내의 일반 사용자가 직접 스마트폰을 이용하여 오프로딩을 통해 인터넷 접속을 할 수 있도록 한다.

시험용 컴퓨터의 DM을 통해 측정된 백홀의 하향링크와 상향링크 속도가 그림 8의 좌측에 그래프로 표시되었다. 우측은 개인용 휴대단말로 Wi-Fi에 접속하여 속도 측정용 SW를 통해 얻은 결과를 보여준다. 먼저, 좌측의 백홀 속도는 하향링크 최대 1.25Gbps를 나타내고 있으며, 상향링크의 경우 110Mbps 이상을 나타내고 있다. 하향링크와 상향링크는 TDD 방식으로 시간적으로 분리되며, 본 시험에서는 하향링크 데이터를 최대로 받을 수 있도록 비율을 조정하였기 때문에 하향링크와 상향링크 사이의 차이가 크게 나타난 것이다. 특히, 원으로 표시된 4 지점은 핸드오버가 발생하여 순간적으로 데이터 속도가 떨어지는 것을 보여준다. 하지만 모든 경우에 핸드오버 구간에서도 750Mbps 이상의 평균적인 데이터 속도를 나타내고 있다. 그림8의 우측에는 일반 스마트폰에서 측정된 Wi-Fi AP의 내려받기 속도가 360Mbps로 측정된 것

을 나타낸다. 백홀의 하향링크 전송 속도가 1.25Gbps가 이르지만 Wi-Fi 속도가 그것에 미치지 못하는 것은 Wi-Fi 자체의 속도와 접속용 스마트폰의 제한으로 인한 것이다. 사용자 경험치를 최대화하기 위해서는 백홀 속도뿐만 아니라 Wi-Fi 부분의 속도 개선이 필요함을 알 수 있다.

서울지하철 8호선 테스트베드를 통해서 MHN 이동무선백홀의 기본적인 통신 기능 확인은 물론 하향링크 전송 성능, 핸드오버 기능, 그리고 최종 사용자의 단말을 통한 내려받기 속도 성능까지 확인하였다. MHN 이동무선백홀과 802.11ac Wi-Fi를 통해서 일반 사용자의 단말을 통한 운행 중인 지하철 내에서의 모바일 데이터 서비스가 가능함을 확인할 수 있었다.

2.3.2 평창 동계올림픽을 위한 강릉 테스트베드 구축 및 현장 시험 계획

평창 동계올림픽은 2018년 2월에 평창과 강릉에서 개최될 예정이다. 5GCHAMPION 공동연구 팀은 강릉 지역에서 연구 결과를 활용한 5G 서비스 시연을

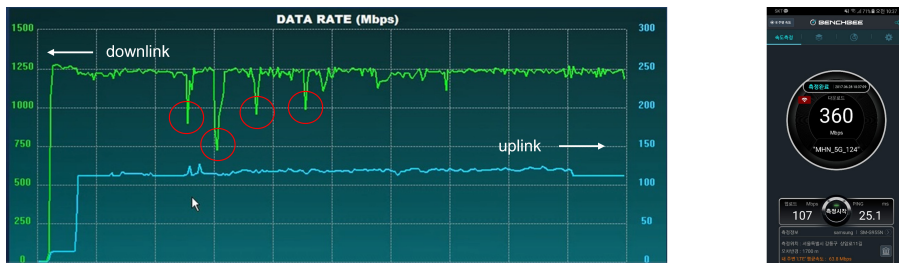


그림 8. MHN 백홀의 데이터 전송률(좌)과 Wi-Fi를 통한 다운로드 속도(우)
 Fig. 8. Data rates of MHN backhaul (left) and download speed through Wi-Fi (right)

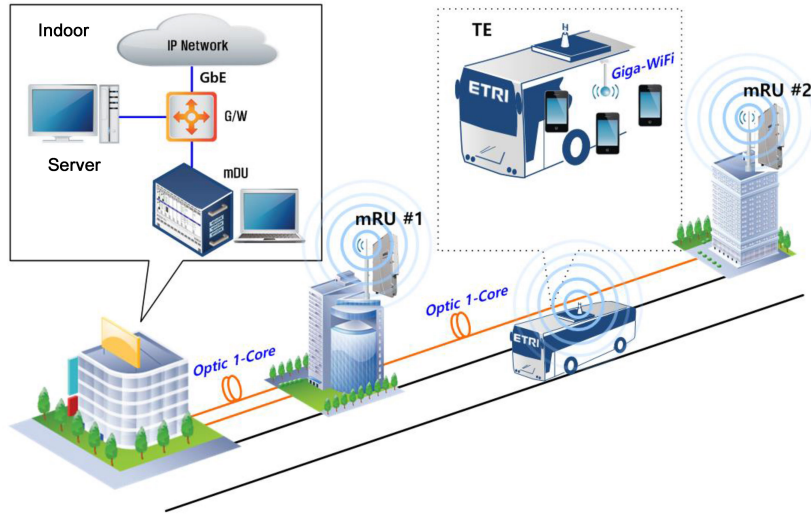


그림 9. 평창 올림픽 기간에 사용될 MHN 시스템 테스트베드의 개념
 Fig. 9. Testbed concept of MHN system during the PyeongChang Olympics

갖고자한다. 특히, 한국의 연구팀은 MHN 이동무선백홀을 포함한 액세스와 SDN/NFV 기능을 갖는 코어네트워크의 연동을 통해 5G 서비스의 일부가 될 시나리오를 공개한다. 본 절에서는 주로 액세스 부분인 MHN 이동무선백홀의 시연 계획을 위주로 설명한다.

그림 9는 강릉 지역에 설치될 테스트베드 개념을 나타내고 있다. 본 테스트베드에서의 이동체는 버스로써 일반도로에서 총 1.2km 거리를 주행하면서 이동무선백홀을 기반으로 한 서비스를 시연하게 된다. 앞 절에서 설명한 지하철 테스트베드는 터널에 설치되며 기차만 전용으로 운행하지만, 일반도로는 건물, 도로 표지판 및 다양한 차량 등이 공존한다. 따라서 지하철 테스트베드와는 매우 다른 채널 환경이 적용될 것으로 보인다. 한편, 개발된 MHN 이동무선백홀 시스템은 mDU, mGW, mRU, mTE 등의 주요 장비로 구성된다. 특히, Usage Scenario에서 백홀 용량 목표치의 2배에 해당하는 5Gbps 백홀 용량을 제공하도록 개발되고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 mDU, mGW 등을 설치할 별도의 건물이 있고, 주행 경로 상의 두 건물 옥상에 mRU를 설치하게 된다. 그리고 mDU와 mRU는 광케이블을 통해서 연결이 된다. 버스에는 mTE가 전면 유리 근처에 설치되며, 제어용 컴퓨터, 상위 프로토콜용 서버, Wi-Fi AP 등도 함께 차량 내에 탑재된다. mDU와 mGW는 강릉 지역에 위치한 별도의 장소의 코어 네트워크와 광케이블을 통해 연결된다. 이는 동 지역의 실내에 설치될 EU의 코어 및 액세스 네트워크와 연구망을 통해 연결한다. 이러한 구

성을 통해서 표 1에서 기술한 사용 시나리오 중에서 2개의 시나리오에 해당하는 시연을 수행할 예정이다. 본 테스트베드를 통해서 한국의 무선이동백홀 지원을 받는 버스 내의 사용자와 EU의 액세스 네트워크 사용자 사이에 실시간 게임과 같은 양방향, 실시간, 그리고 작은 지연시간이 필요한 게임을 수행하는 것이 사용 시나리오의 일부이다. 이외에도 VR/AR, 초다시점 영상 등의 서비스를 차량 내부 혹은 실내에서 밀리미터파 기반 백홀을 통해 시연하려는 것이다. 5G의 대표적인 서비스가 무엇인지에 대해서 단언할 수는 없으나, 동계올림픽과 같은 세계적인 행사를 통해 일부 서비스를 선보이고, 그에 대한 반응을 통해 좀 더 나은 서비스를 탄생시키는 계기가 될 수 있을 것이다.

III. 결 론

한국과 유럽 연합 국가들 사이의 5G에 대한 공동 연구인 5GCHAMPION에 대하여 소개하였다. 한국-EU 간의 5G 관련하여 산업계, 학계 및 연구소 등이 망라되어 5G 핵심 기술 개발에서의 협력은 물론 표준화 및 성과 확산에서의 협력을 통해 향후 산업화에서 실질적인 협력이 이루어질 수 있도록 초석을 다지는 계기를 다지고 있다. 구체적으로는 5G 요소기술을 기반으로 한 시스템 통합, 대륙 간 상호 시스템 운용성 및 호환성 시험에 이어 최종적으로 평창 동계올림픽에서 5G 서비스 시연을 계획 하고 있다.

특히, 이 중에서 MHN 이동무선백홀 시스템은 밀

리미터파 기반으로 개발되는 한국 측 액세스 분야에 해당한다. 5G에서 요구하는 20Gbps 데이터 전송 속도를 달성하기 위해서는 밀리미터파 사용이 필요하며, MHN은 바로 밀리미터파의 넓은 대역을 이용하는 전송 핵심 기술을 개발한다. 밀리미터파를 사용함에 있어서 최소 1km 커버리지를 확보할 수 있는 대안이 마련되어야 한다. MHN 시스템은 밀리미터파 단말을 실질적으로 적용할 수 있는 차량을 목표로 연구를 진행하였으며, 차량의 경로에 고정 빔을 사용하는 방식으로 24-26.5 GHz 대역에 적용되는 국내 규제를 만족하는 범위 내에서 송수신 RF 및 안테나를 설계 및 구현하였다. 특히, 열차와 같이 이동성이 큰 차량을 대상으로 규격을 설계함으로써 향후 500km/h까지 이동성을 지원할 수 있도록 하였다. 높은 이동성을 보장하기 위해서는 핸드오버를 적절히 지원할 수 있는 물리계층 규격이 필요하므로 이에 대하여 CA 기반의 셀탐색이 가능하도록 규격화 하였다. 500km/h 이동성에 대한 검증은 실제 시험 환경을 갖추기 힘든 점 때문에 시뮬레이션을 통한 검증에 주력하였으며, 이를 통해 MHN 이동무선백홀 시스템의 OFDM Numerology가 매우 적절하게 설계되었음을 확인하였다.

구현된 MHN 이동무선백홀 시스템은 서울지하철 8호선의 일부 구간에 설치하여 검증할 수 있도록 테스트베드를 구축하였다. 실제 운행하는 차량에서 시연을 하였으며, 1.25Gbps 데이터 전송속도, 핸드오버 기능, 스마트폰 단말기의 Wi-Fi를 통한 360Mbps 전송속도 등을 확인하였다. 테스트베드에서 사용된 시스템은 500MHz 대역이 사용되고 MIMO 기술이 적용되지 않았지만, 추후 1GHz와 편파 MIMO 기능을 구현하여 1단계에서 구현하여 시연했던 시스템에 비해 4배 증가한 5Gbps 데이터 전송속도를 구현할 예정이다. 구현된 2단계 이동무선백홀 시스템은 2018년 평창 동계올림픽에서 시연하려고 하는 5G 서비스 테스트베드에 적용하여, 5G 서비스의 후보라고 불리는 VR/AR, 초다시점, 실시간 온라인 게임 등의 서비스 등을 선보이게 될 것이다.

아시아와 유럽을 잇는 대륙 간 네트워크를 연결하고 상호 운용성 시험을 할 수 있는 환경은 한국-EU 간의 국제 공동연구가 제공해주는 장점이다. 양 측에서 개발한 연구 결과물을 상호 연동하여 검증하는데 그치지 않고 서비스까지 개발 할 예정이므로 연구에 참여하는 중소기업들에게 기술 및 서비스 개발의 동기를 제공할 것이다. 향후 과제로는 현재 계획하고 있는 테스트베드에서의 성공적인 시연에 집중하는 것이다. 이를 통해서 한국과 EU 양측의 5G 액세스와 네트

워크 기반으로 요소 기술 및 상호 운용성 검증은 물론 서비스 시연까지 이루어질 수 있을 것이다.

References

- [1] K. Schwab, *The Fourth Industrial Revolution*, 1st Ed., World Economic Forum, 2016.
- [2] J. Korhonen, *Introduction to 3G mobile communications*, 2nd Ed., Artech House, 2003.
- [3] E. Dahlman, *LTE/LTE-Advanced for mobile broadband*, 2nd Ed., Academic Press, 2014.
- [4] White Paper, *Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2016-2021*, Feb. 2017.
- [5] White Paper, *NGMN 5G White Paper*, Feb. 2015.
- [6] ITU-R Recommendation M.2083-0, *IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond*, Sept. 2015.
- [7] M. Mueck, E. Calvanese Strinati, I.-G. Kim, A. Clemente, J.-B. Doré, A. De Domenico, T. Kim, T. Choi, H. K. Chung, G. Destino, A. Pärssinen, A. Pouttu, M. Latva-aho, N. Chuberre, M. Gineste, B. Vautherin, M. Monnerat, V. Frascolla, M. Fresia, W. Keusgen, T. Haustein, A. Korvala, M. Pettissalo, and O. Liinamaa, "5GCHAMPION - Rolling out 5G at 2018 winter olympic games," *Globecom 2016*, Washington DC USA, Dec. 2016.
- [8] S.-W. Choi, H. S. Chung, J. Kim, J. Ahn, and I. G. Kim, "Mobile hotspot network system for high-speed railway communications using millimeter waves," *ETRI J.*, vol. 38, no. 6, pp. 1052-1063, Dec. 2016.
- [9] J. Kim, I. G. Kim, and Y. Han, "Performance evaluation of mobile hotspot network system for high-speed railway communication using millimeter waves," in *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 579-580, Jan. 2017.
- [10] F. Schaich and T. Wild, "Waveform contenders for 5G - OFDM vs. FBMC vs. UPMC," *ISCCSP*, pp. 457-460, May 2014.
- [11] J. Kim, et al., "Mobile hotspot network

enhancement system for high-speed railway communication,” *EuCAP 2017*, pp. 2885-2889, Mar. 2017.

- [12] 3GPP TR 38.900, *Channel model for frequency spectrum above 6GHz*, v. 1.0.1, Jun. 2016.
- [13] 3GPP R1-1609607, *Numerology design and link-level simulation results for high speed scenario*, Oct. 2016.

정 희 상 (Heesang Chung)



1993년 2월: KAIST 물리학과 졸업
 1995년 2월: 충남대학교 물리학과 석사
 1999년 8월: 충남대학교 물리학과 박사
 1999년 9월~현재: ETRI

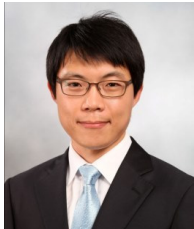
<관심분야> 이동통신, 5G New Radio, 이동무선백홀

김 준 형 (Junhyeong Kim)



2008년 7월: Tsinghua 대학교 전자공학과 졸업
 2011 2월: KAIST 전기및전자공학과 석사
 2011년~현재: ETRI
 <관심분야> 이동통신, 밀리미터파 통신, 5G New Radio

노 고 산 (Gosan Noh)



2007년 2월: 연세대학교 전기전자공학부 졸업
 2012년 2월: 연세대학교 전기전자공학부 박사
 2012년 3월~2013년 2월: 연세대학교 전자정보통신연구소 박사후연구원

2013년 3월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
 <관심분야> 무선통신, 5G, 밀리미터파 통신

회 빙 (Bing Hui)



2005년 7월: 중국 동북대학교 정보통신공학과 공학사
 2009년 7월: 인하대학교 정보통신대학원 석사
 2013년 7월: 인하대학교 정보통신대학원 박사
 2013년~2014월: 인하대학교 전자공학과 박사후연구원

2014년~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원

<관심분야> 3GPP LTE/NR systems, mmWave wireless backhauling, massive MIMO, HST communication with mobile relay

김 일 규 (Ilgyu Kim)



1990년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 졸업
 1995년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 석사
 2009년 9월: 한국과학기술원 정보통신공학과 박사
 2000년 2월~현재: ETRI 이동무선백홀연구실 실장

<관심분야> 이동통신, 이동무선백홀

김 영 진 (Yeongjin Kim)



1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 졸업
 1983년 2월: 고려대학교 전자공학과 석사
 2011년 8월: 공주대학교 정보통신학과 박사
 <관심분야> 이동통신, IoT, 네트워킹

정 현 규 (Hyun Kyu Chung)



1988년 2월: KAIST 전기 및
전자 공학과 석사

2000년 12월: Polytechnic Insti-
tute of NYU 박사

2001년 10월~현재: ETRI 5G
기가서비스연구부문 부문장
<관심분야> 이동통신, 전파공
학, 초고주파 채널모델