



5G Technologies and Its Wayforward

5G Technologies and Its Wayforward

한국전자통신연구원 5G기가서비스연구부문

Abstract

5G 통신은 4G 이동통신에서 추구했던 유선 수준의 서비스와 성능의 목표를 넘어 기존 서비스 향상과 새로운 서비스 실현을 목표로 한다. 한국전자통신연구원(ETRI)은 2020년경 초기 상용화가 예상되는 5G 통신에 대한 비전을 실현하기 위한 선도형 핵심 기술들 (Leading Core Technologies)을 개발하고 있으며, 5G의 이 후를 준비하기 위한 새로운 요구사항과 미래형 핵심기술을 준비하고 있다. 본 고에서는 대표적인 5G 서비스인 향상된 모바일 광대역 (enhanced Mobile Broadband) 서비스, 초신뢰성 및 저지연 (Ultra-high reliable and low-latency) 서비스, 그리고 대규모 사물인터넷 (massive Internet of Things) 서비스에 대해 한국전자통신연구원에서 개발 중인 핵심기술 개발 내용을 설명한다. 또한, Beyond 5G를 위해 연구개발 방향을 초밀도 네트워크, 임무기반 네트워크, 이동 네트워크로 구분하고, 이를 위해 한국전자통신연구원에서 집중할 몇 가지 핵심 요소기술들에 대해서 소개한다.

Contents

Introduction	2
1. 5G Scenarios	3
1.1 5G Requirements and Deployments	3
1.2 5G Leading Technologies	8
1.3 5G Way Forward	10
2. 5G Leading Technologies	12
2.1 Enhanced Mobile Broadband	12
2.2 Ultra-reliable & Low Latency	20
2.3 Massive Internet-of-Things	27
2.4 Moving Xhaul Networks	38
2.5 Core Networks	44
3. 5G Way Forward	48
3.1 Ultra Density	48
3.2 Mission-specific communications	51
3.3 Moving Network	57
Conclusions	62
References	62

Introduction

이동통신 기술의 역사를 돌아보면, 무선전송기술 및 네트워크 아키텍처 측면에서의 차별화를 바탕으로 10년 단위의 진화를 거듭해 왔다. 즉, 2G는 음성 디지털화, 3G는 데이터 서비스의 보편화, 4G는 패킷형태의 데이터 중심의 서비스를 위한 기술의 도입으로 특징 지워질 수 있다. 이와 더불어 사용자들에게 제공되는 단말도 지속적인 변화가 있었으며, 현재에는 스마트폰 도입으로 데이터 사용량이 급증하고 있다. 또한 웨어러블 단말, M2M 단말, 센서/액추에이터(actuator)의 확대와 함께, 과거 사람과 사람 사이의 통신이 인간과 기계 및 기계와 기계간 통신으로 확대되고 있다.

ITU-R에서는 이동통신의 역사와 단말의 다양성을 기반으로, 새로운 세대(5G)의 이동통신을 위해 2012년 6월 5G 비전 연구를 시작하였으며, 2015년 6월에는 5G 이동통신의 큰 방향을 결정하는 비전 권고 문서를 완료하였으며[1], 2020년을 목표로 5G의 기술 성능 요구사항 및 평가방안을 마련하고, 기술제안 접수 및 평가작업 등을 통해 5G 이동통신(IMT-2020라고도 부름)을 최종 결정하는 절차를 진행하고 있다[2].

ITU-R의 IMT-2020 일정에 따라 세계의 국가와 관련 기관들은 5G 기술개발을 진행하고 있으며, 조기 상용화 및 생태계 조성을 위해 국가 및 기관간 협력과 경쟁이 심화되고 있는 가운데, 이동통신 표준화 기구인 3GPP에서는 지난 2015년 9월 '3GPP RAN Workshop on 5G'를 통해 5G 표준규격 제정을 위한 절차를 시작하였으며, 2017년 3월 5G New RAT Phase-I를 위한 Study Item 활동을 완료하고, Work Item 활동을 통해 2018년 및 2019년에 5G 표준규격 Phase-I (3GPP Release-15)과 Phase-II (3GPP Release-16)를 완성할 예정이다[3]~[7].

3GPP에서는 5G의 요소기술로서 4G와 차별화되는 기술의 도입보다는, 기존의 OFDM 기반 기술을 중심으로 5G 요구사항 달성을 위해, 새로운 스펙트럼의 활용을 통한 기가급 서비스의 제공, 밀집도가 향상된 셀/송수신점을 이용한 네트워크 용량의 증대, 고신뢰성 및 저지연 서비스, 대규모 IoT 등 새롭게 출현할 차별화된 서비스를 수용하기 위한 유연성과 순방 호환성(Forward Compatibility)를 갖는 액세스 및 네트워크 기술에 초점을 맞추고 있다. 또한, 세계의 관련 기관들은 5G를 활용하여 차량, 스마트팩토리 등의 융합서비스 활성화를 위한 기술 개발에도 집중하며, 융합산업을 위해서 5G의 한계를 넘어서는 요구사항을 제시하고, 이를 극복하기 위한 5G 이후의 기술에 대해서도 논의를 시작하고 있다. [8]~[10].

본 문서는 ETRI에서 고려하는 5G 시나리오를 요구사항과 구축 시나리오를 제시하고, 집중하고 있는 연구개발 내용을 포함하는 주요 핵심기술들을 연구결과와 함께 소개한다. 또한, ETRI에서 예상하는 5G 이후의 기술방향을 제시하고, 이를 달성하기 위해 필요할 것으로 판단되는 핵심기술요소를 소개함으로써 향후 이동통신 R&D 방향을 위한 기초로 삼고자 한다.

더욱 상세하게는, 1장에서는 5G 시나리오라는 이름으로, 5G 비전과 요구사항 및 상용화 구축 시나리오 등을 요약하고, 이를 달성하기 위한 5G 핵심기술을 핵심 서비스로 구분하여 분류하고, 향후 5G 이후 요구될 네트워크를 특성에 따라 구분한다. 2장에서는 5G 핵심 서비스인 모바일 광대역 서비스 (enhanced Mobile BroadBand; eMBB), 초신뢰성 및 저지연 서비스 (Ultra-high Reliable and Low Latency Communication; URLLC), 그리고 대규모 사물인터넷 서비스 (massive Internet-of-Things; mMTC) 별로 요구되는 기술들과 우리가 개발에 집중하고 있는 연구 내용과 결과를 소개한다. 그리고, 3장에서는 5G 이후 요구되는 다양한 융합서비스를 네트워크 관점에서 공통분모를 도출하여 초고밀도 네트워크, 임무 지향형 네트워크 및 이동 네트워크로 분류하고, 이를 달성하기 위해 추구해야할 연구 주제 및 핵심기술을 정리한다. 마지막으로 우리가 집중하고 있으며 집중할 기술분야를 정리함으로써 본 문서를 마무리할 것이다.

1. 5G Scenarios

1.1 5G Requirements and Deployments

5G 통신은 '언제 어디서나 환경의 제약 없이 사람과 사물을 포함한 모든 사용자에게 지연 없이 Gbps급 서비스를 비용/에너지 효율적으로 제공하는 통신'으로서, 이를 통해 2020년경 초기 상용화가 예상되는 미래형 서비스를 제공하는 기술/솔루션을 총칭한다. 5G 통신은 '환경에 제약 없이' 서비스를 제공하기 위해 단말의 위치 및 상황에 상관없이¹⁾ 서비스가 가능해야 하며, 스마트폰을 포함하여 웨어러블 단말, 센서/액추에이터, 카메라, 자동차 등 다양한 단말을 지원해야 한다. 그리고, 원격 조정 등과 같이 지연에 민감한 서비스의 경우, 인간의 감각 중 가장 지연에 민감한 촉각에 대응되는 수 msec 정도의 지연 내에 서비스 제공이 이루어져야 하며, 향후 예상되는 8K UHD 이상의 비디오 또는 다시점/홀로그램 서비스 제공을 위해 사용자당 Gbps급 서비스 제공이 가능해야 한다. 5G 통신은 이러한 서비스를 저렴한 비용으로 에너지 효율적으로 제공하는 것을 목표로 한다.

1.1.1 5G Key Services

ITU-R에서는 5G의 핵심 서비스 (key services)를 '모바일 광대역 서비스 (enhanced Mobile BroadBand; eMBB)', '초신뢰성 및 저지연 서비스 (Ultra-high Reliable and Low Latency Communication; URLLC)', 그리고 '대규모 사물인터넷 서비스 (massive Internet-of-Things; mMTC)'로 분류하고, 그림 7과 같이 5G를 위한 예상 시나리오를 제시하였다.

향상된 모바일 광대역 (eMBB) 서비스는 5G의 대표적인 사용 예로서 고속·고품질의 멀티미디어 서비스를 언제, 어디서나 사용자가 경험할 수 있도록 하는 서비스로서, 온라인 게임, 스마트 워크 등과 결합된 가상현실 (VR; Virtual Reality) 및 증강현실 (AR; Augmented Reality), 고품질 4K/8K UHD 영상 등의 서비스를 포함한다.

초신뢰성 및 저지연 (URLLC) 서비스는 천분의 1초 이하의 지연시간을 요구하는 촉각 인터넷, 의료 및 산업용 로봇의 원격제어, 자율 이동체 등에 활용되는 서비스를 포함한다. 또한, 대규모 사물인터넷 (mMTC) 서비스는 대규모의 다양한 IoT 장치들간의 대규모의 연결성을 저전력, 저가격으로 안정적으로 제공하는 통신 기술 위에서 새롭게 출현하게 될 다양한 서비스들을 포함한다.

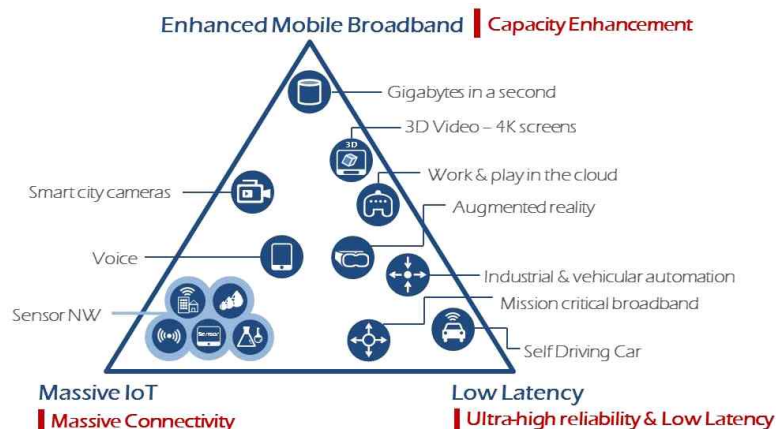


그림 7 5G 및 그 이후의 예상 서비스 시나리오

1) 예: 고속열차 이동 시 또는 월드컵 경기를 응원하는 혼잡환경 등

1.1.2 5G Key Performance Indicator

ITU-R WP5D에서는 5G 및 그 이후를 위한 비전을 연구하고, 2015년 6월 권고안 ITU-R M.2083을 개발하였다[1]. [1]은 기존의 권고안인 ITU-R M.1645에 기술된 것보다 향상된 제공능력이 필요함을 인식하고, 그에 대한 연구결과로서 다양한 사용 예와 시나리오에서 요구되는 제공능력들을 정의하고, 그림 8에 나타난 8개의 핵심 제공능력 (key capabilities)에 대한 목표수치를 정하였으며, 2017년 2월 13개의 기술성능지표 (Key Performance Indicator; KPI) 와 그 지표들의 기술성능 요구사항 및 평가방법을 정의하였다[2].

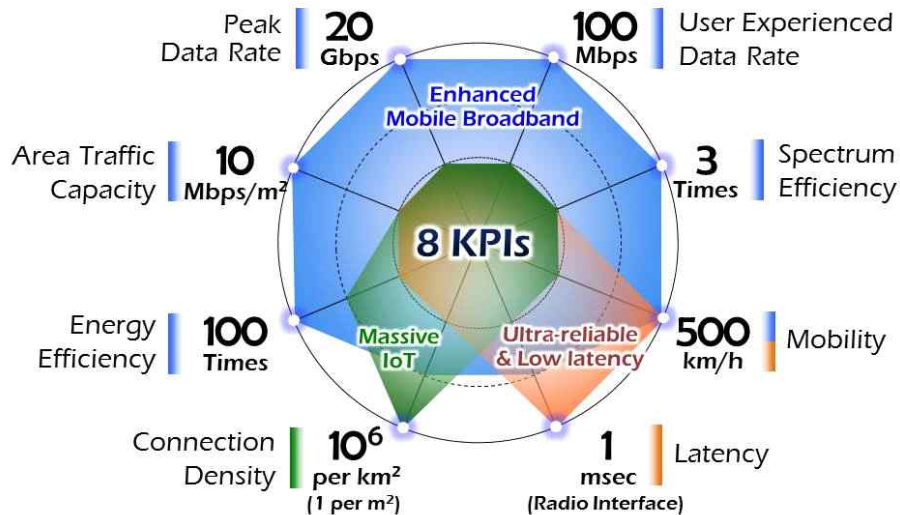


그림 8 5G의 핵심 제공능력

최대 데이터 전송률 (Peak Data Rate) 이상적 상황에서 사용자/단말당 획득 가능한 최대 데이터 전송률로서, 하향링크는 10Gbps, 하향링크는 20 Gbps가 제시되었다.

최대 주파수 효율 (Peak spectral efficiency) eMBB를 평가하기 위한 목적으로 이상적 상황에서 사용자/단말당 획득 가능한 최대 데이터 전송률을 대역폭으로 정규화한 값으로서, 하향링크와 상향링크는 각각 30과 15 bit/s/Hz가 제시되었다.

사용자 체감 데이터 전송률 (User Experienced Data Rate) 커버리지 영역내에서 이동중인 사용자/단말에 대하여 가용한 데이터 전송률로서, 밀집된도심(Dense Urban) 영역에서는 다운링크 100 Mbps, 상향링크 50 Mbps가 제시되었다.

5% 사용자 주파수 효율 (5th percentile user spectral efficiency) 정규화된 단말/사용자 용량 효율의 누적 분포에서 5% 지점에서의 주파수 효율을 의미하며, 주어진 시간에서 단대단 전송용량을 채널 밴드로 정규화한 값으로 정의된다. 구체적인 요구사항은 다음과 같다.

Test environment	Downlink (bit/s/Hz)	Uplink (bit/s/Hz)
Indoor hotspot	0.3	0.21
Dense urban	0.225	0.15
Rural	0.12	0.045

평균 주파수 효율 (Average spectral Efficiency) 주어진 시간동안 셀내의 모든 단말들에 대한 데이터 전송률을 대역폭과 송수신점(Transmission Reception Point)으로 정의된다.

Test environment	Downlink (bit/s/Hz)	Uplink (bit/s/Hz)
Indoor hotspot	9	6.75
Dense urban	7.8	5.4
Rural	3.3	1.6

단위 면적당 트래픽 용량 (Area Traffic Capacity) 단위면적에 제공되는 트래픽 용량의 합으로서, 실내 핫스팟 환경에서 10 Mbps/m²의 요구사항이 제시되었다.

시간지연 (Latency) 소스에서 패킷을 전송하고, 목적지에서 패킷을 수신하는데까지 소요되는 시간 중에서 무선전송에 기인한 시간지연 부분으로서, 초신뢰성 및 저지연 서비스를 위해서는 시간지연 1 ms 이내의 목표가 제시되었다.

연결밀도 (Connection Density) 단위 면적당 접속 가능한 전체 단말의 수로서, 대규모 사물 통신 시나리오에서 10⁶EA/km²의 목표가 제시되었다.

신뢰도 (Reliability) 주어진 시간내에서 주어진 트래픽을 성공적으로 전송할 수 있는 능력을 측정하는 요구사항으로서, 초신뢰성 및 저지연 서비스와 연관된 성능지표로 32 Byte를 1ms 안에서 99.999%의 성공 확률로 전송할 수 있는 요구사항을 제시하였다.

이동성 (Mobility) 정해진 QoS를 지속적으로 제공할 수 있는 단말의 최대 이동속도로서, 500 km/hr의 요구사항을 제시하였다.

이동성 단절 시간 (Mobility Interruption Time) 기지국과 단말 사이에서 사용자 평면 데이터를 교환할 수 없는 최소의 시간 구간으로서, eMBB와 URLLC의 사용자 시나리오에 적용되며 최소 요구시간은 0 ms이다.

대역폭 (Bandwidth) 집성된 최대 밴드폭을 의미하며, 최소 100MHz, 6GHz이상의 고주파를 적용하는 환경에서는 최대 1GHz를 요구사항으로 제시하였다.

에너지 효율 (Energy Efficiency) 네트워크 측면에서는 무선 액세스 네트워크에서 소모하는 에너지당 송수신되는 정보 비트의 양을, 단말 측면에서는 통신용으로 소모되는 에너지당 정보 비트의 양을 의미한다. 현재 구축된 네트워크(IMT)에 비해 에너지 소모량이 증가되지 않아야 하므로, 현재 대비 용량 증대의 역수배로 효율이 높아져야 한다.

1.1.3 5G Deployment Scenario

그림 3은 2020년 초기 상용화가 예상되는 대표적인 5G 무선 액세스의 운용 시나리오를 보여준다. 6GHz 이하 주파수를 사용하는 대형기지국과 6GHz 이하 및 6GHz 이상 대역을 모두 수용하는 소형기지국, 그리고 대형기지국에서 소형기지국을 제어하기 위한 유무선 백홀 링크로 구성될 것으로 예상된다. 특히, 6 GHz 이상 대역 (예, 밀리미터파)을 사용하는 시스템의 구축 시나리오의 예는 다음과 같다.

- mmWave 소형셀은 6 GHz 이하 대역의 매크로셀의 제어를 받고;
- 매크로셀은 사용자의 전반적 제어 및 이동성 관리, 회선방식의 서비스에 중점을 두며;

- mmWave 소형셀은 기가급 초고속 데이터를 제공하는 보완 셀로서 운영

이는 6 GHz 이상의 대역에서는 경로손실이 큰 주파수 특성²⁾으로 인하여 소형셀 위주의 운용이 필요하며, 기가급 광대역 서비스를 제공하기 위해서는 최대 1 GHz 이상의 가용 대역폭을 확보할 수 있는 mmWave 기반 시스템의 도입이 현실적인 대안이기 때문이다.

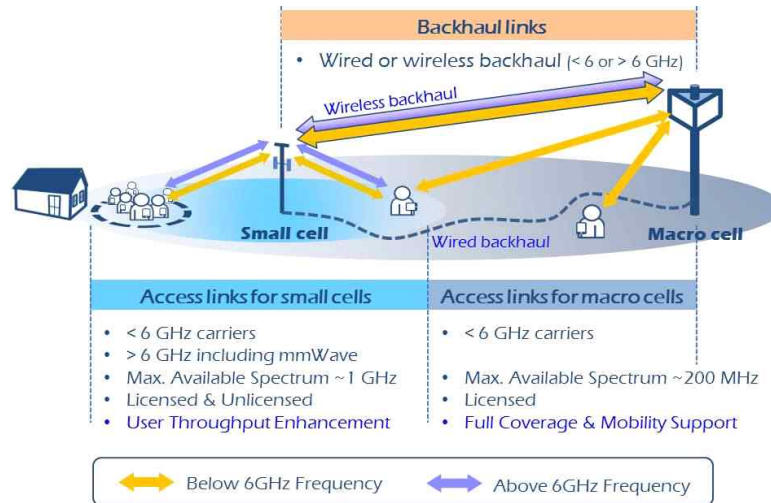


그림 9 5G 무선 액세스 운용 시나리오

따라서, 5G 무선 액세스 네트워크는 상용화 초기에는 기존의 LTE Evolution (예, LTE-Adv. pro) 기반 대형기지국과 용량증대를 위한 5G NR(New RAT) 소형기지국(6GHz 이하 및 6GHz 이상)으로 구축될 것이며, 이후 5G 상용화가 본격적으로 이루어질 시에는 5G NR 기반(6GHz 이하)의 대형기지국과 용량증대를 위한 소형기지국(6GHz 이하 및 6GHz 이상)으로 구축될 것으로 예상된다. 이후, 5G의 고도화 시기에는 5G NR 기반(6GHz 이하 및 6GHz 이상) 대형기지국이 전국적으로 구축될 것이다. 그림 4에서는 5G 무선 액세스의 진화 과정을 도시하고 있다.

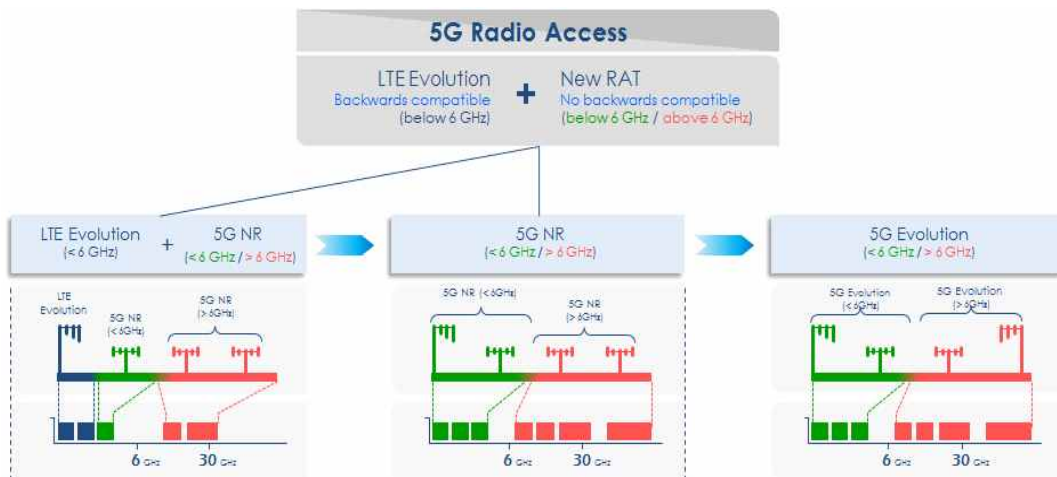


그림 10 5G 무선 액세스 네트워크 구축 시나리오

2) 캐리어 주파수가 10배 증가(예, 3GHz에서 30 GHz로 증가)하면, 송신 및 수신기간 거리와 관계없이 고주파에서는 추가적으로 20 dB의 경로손실이 발생한다.

1.1.4 5G Spectrum

앞서 언급한 바와 같이, 5G에 요구되는 많은 주파수를 확보하기 위해 기존 대역에서의 주파수의 활용도를 향상시키기 위한 방안과 새로운 주파수 대역을 확보하기 위한 연구가 동시에 진행되어야 한다.

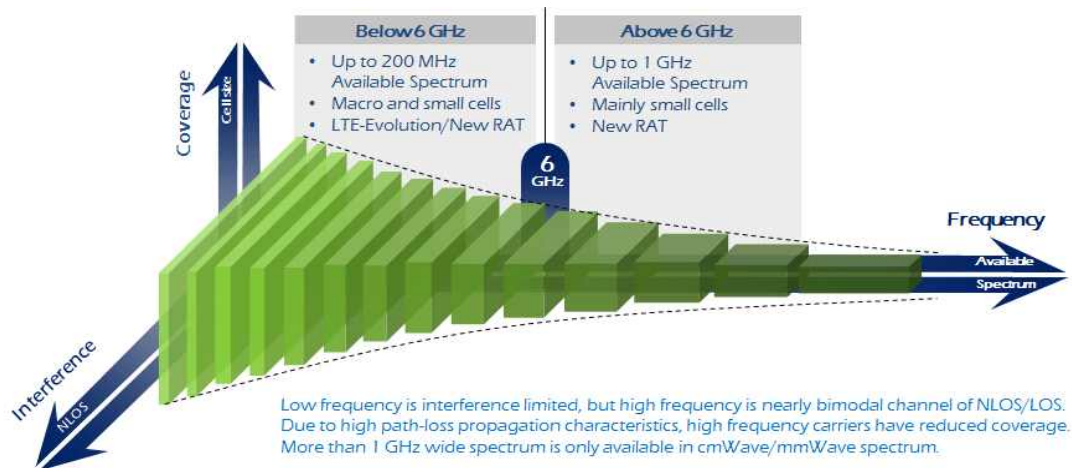


그림 11 Below 6GHz 주파수 대역과 Above 6GHz 주파수 대역의 비교

사용자에게 평균 1Gbps 이상, 최대 20Gbps를 제공하기 위해서는 1GHz 대역폭을 확보할 수 있는 밀리미터파와 같은 새로운 주파수 대역을 개척하는 것이 필수적인 방법이다. 이를 위해, 우리는 그림 11에 나타난 바와 같이, 6GHz를 기준으로 주파수를 나누어 커버리지, 간섭 및 유용한 주파수 대역 등의 특성을 비교하고, 이를 고려하여 새로운 주파수 대역 활용 시나리오를 수립하였다.

또한, 기존 면허 대역의 부족 문제를 극복하기 위한 방안의 하나로써 6GHz 이하의 비면허 대역을 활용하는 방법을 고려하고 있는데, 이를 위한 대표적 기술인 LAA (Licensed-Assisted Access)은 비면허대역에서 기존의 장치들과 공존하기 위한 방법³⁾을 적용함으로써 비면허대역을 보조 주파수 대역으로 사용하는 방안이다. 또한, 시간적 또는 공간적으로 활용도가 높지 않은 면허대역을 공유하는 방법(ASA⁴⁾)도 주파수의 활용도를 높이기 위해 주목받고 있다.

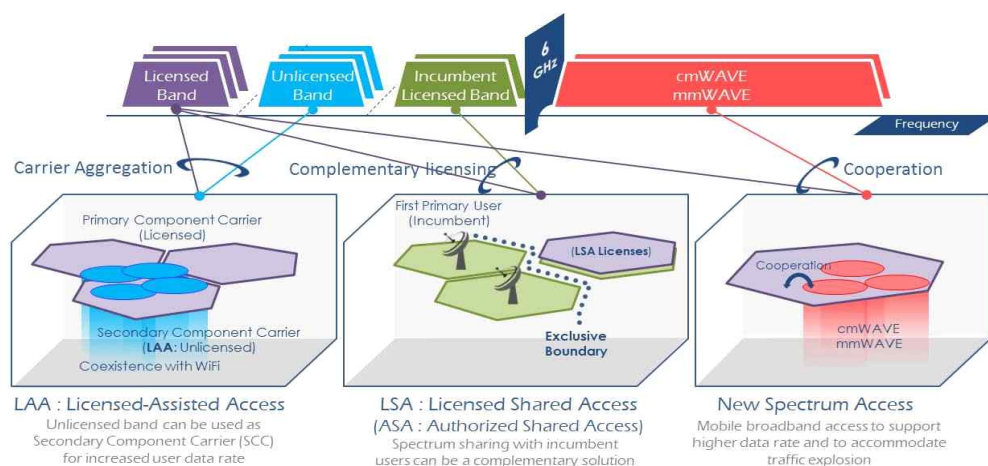


그림 12 5G 주파수 활용 시나리오

3) 예: Listen-Before-Talk

4) Authorized Shared Access 또는 Licensed Shared Access (LSA)

1.2 5G Leading Technologies

앞서 언급한 바와 같이, 5G 이동통신의 핵심 서비스인 모바일 광대역, 초신뢰성 및 저지연, 대규모 사물통신을 위해 각 서비스를 효과적으로 지원하는 5G 핵심기술의 개발을 요구한다. 그림 6에서는 핵심 서비스별로 요구되는 5G 핵심기술들 중에서 우리가 집중적으로 개발하고 있는 기술의 개념을 기술하고 있다. 이 서비스들은 별도의 요구사항을 필요로 하므로, 이 핵심기술들은 기술 영역별로 독립적으로 개발되고 있다.

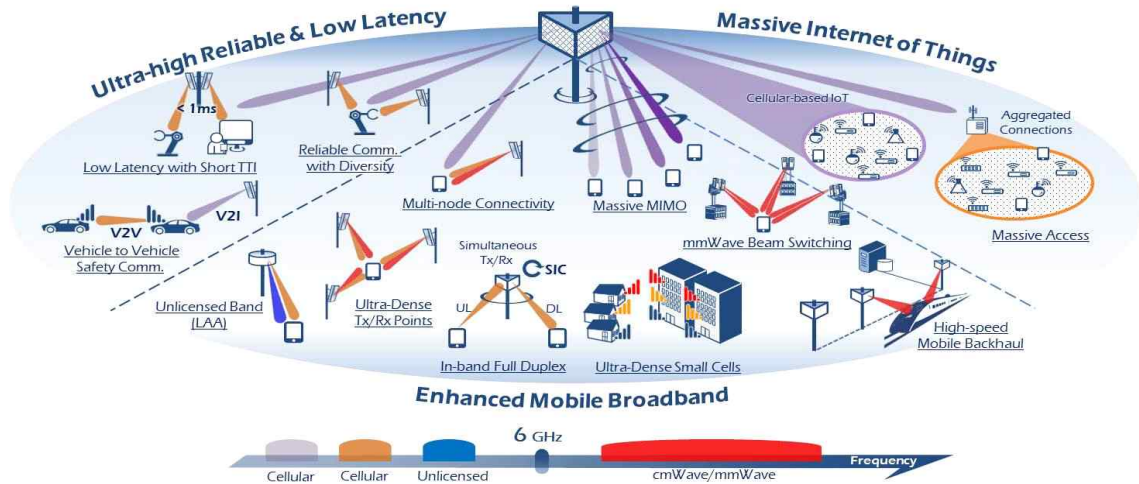


그림 13 5G 무선 액세스를 구성하는 핵심 기술들

1.2.1 enhanced Mobile Broadband (eMBB)

향상된 모바일 광대역 서비스를 위한 핵심 기술에는 주파수 효율을 향상시키기 위한 대규모 다중안테나 (massive MIMO) 기술; 단위면적당 용량 증대, 주파수 효율성 향상 및 사용자 전송을 향상을 위한 기술인 초고밀도 네트워크 (Ultra Dense Network) 기술; 주파수 효율을 최대 2배까지 증대시킬 수 있는 전이중통신 (In-band Full Duplex) 기술; 밀리미터파 주파수의 광대역 대역폭을 이용하여 사용자 당 기가급의 전송속도를 제공하기 위한 핵심 기술인 mmWave 전송 기술; 고속으로 이동 중인 차량⁵⁾에 대한 기가급 광대역 백홀 (High-speed Mobile Backhaul) 제공 기술 등이 포함된다.

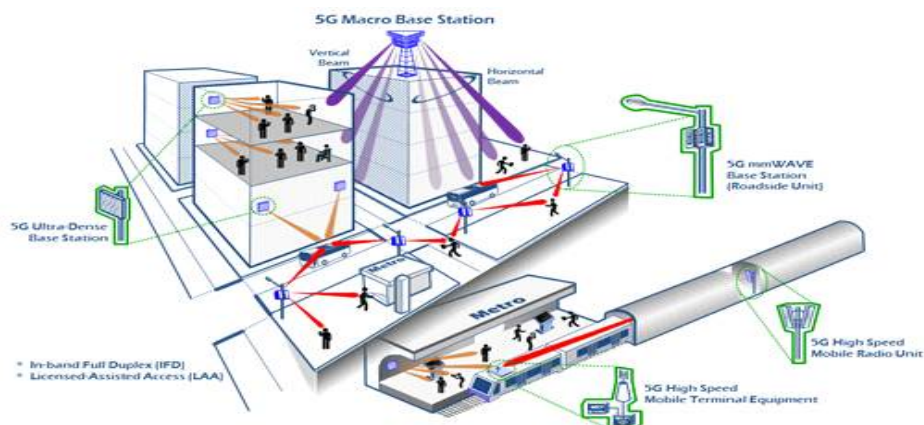


그림 14 enhanced Mobile Broadband 서비스 일례

5) KTX, 지하철 등

1.2.2 Ultra Reliability and Low Latency Communications (URLLC)

초신뢰성 및 저지연 서비스를 위한 핵심 기술에는 대표적으로 1 ms 이내의 무선구간 지연을 목표로 하는 짧은 전송단위 시간을 가지는 저지연 (Low Latency with short TTI) 무선 액세스 기술; 5 ms 이내의 차량간 통신 지연을 제공하기 위한 저지연 차량간 통신 기술; 그리고 초신뢰도 제공을 위한 통신 (Ultra-high reliability communication) 기술 등이 해당된다. 특히 초신뢰성 및 저지연 서비스는 초지연과 저신뢰라는 대치되는 요구사항을 동시에 만족시키는 핵심기술을 활용하여야 하는 복합적인 핵심기술을 요구하는 분야이다.

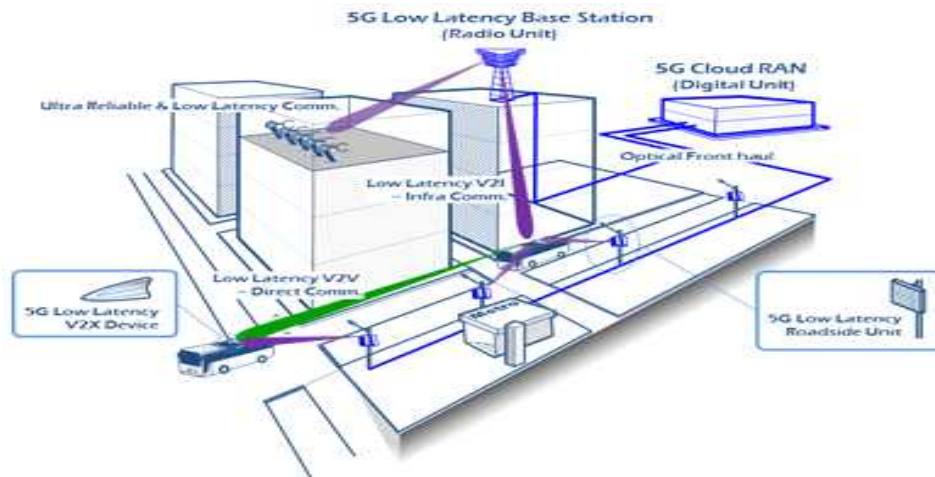


그림 15 Ultra Reliability and Low Latency Communications 서비스 일례

1.2.3 massive Machine Type Communications(mMTC)

대규모 사물인터넷 서비스를 위한 핵심 기술에는 저가격, 저복잡도, 저전력을 위한 셀룰러 기반의 사물인터넷 기술; 비셀룰러 기반의 근접연결성(local connectivity)과 셀룰러 기반의 광역연결성 (wide connectivity)를 동시에 지원하는 집적연결 (aggregated connections) 기술; 초소형 고효율의 단일 RF 체인 MIMO 기술; 초소형 단말을 위해 안테나 집적도를 높이는 다중대역 단일 안테나 기술; 그리고 대규모 사물인터넷을 위한 새로운 파형 및 새로운 무선 액세스⁶⁾ 기술 등이 포함된다.

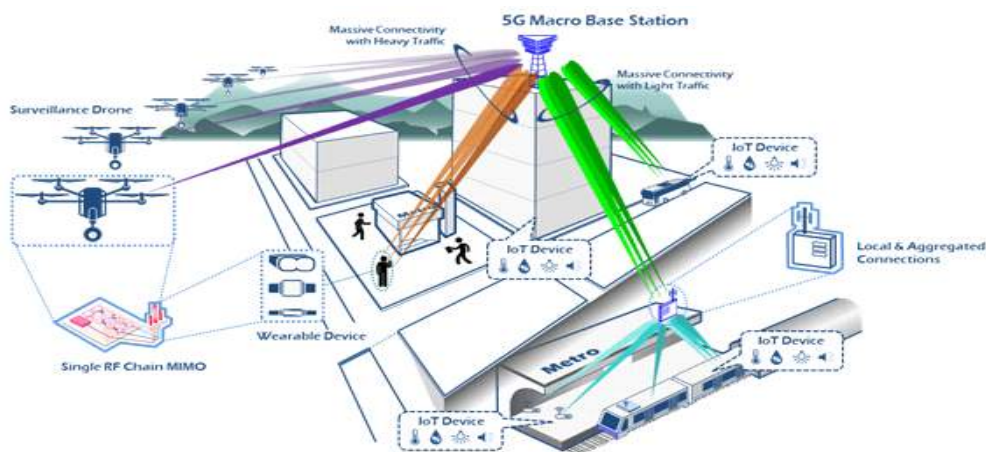


그림 16 massive Machine Type Communication 서비스 일례

6) new waveform and new radio access

1.3 5G Way Forward

모바일 광대역 서비스, 초신뢰성 및 저지연 서비스, 대규모 사물인터넷 서비스로 대표되는 5G 핵심서비스는 개별적인 5G 핵심기술 개발을 통해서 상용화로 이어질 것이다. 특히, 5G 기술은 기존의 4G 기술과의 후방 호환성(Backward Compatibility)을 제공할 필요가 없는 반면, 5G 이후의 기술들을 손쉽게 적용할 수 있는 전방 호환성(Forward Compatibility)을 갖는 특징이 있기 때문에, 다양한 5G 기술의 진화를 통해 더욱 폭넓은 서비스로 확대될 것으로 예상된다[8]~[10].

우선적으로 기존의 이동통신 진화방향과 동일하게, 5G는 광대역 서비스를 확대하는 방향으로 진화할 것이다. 차세대 이동통신에서는 전세대 이동통신의 용량 한계를 극복하기 위해 충분한 전송용량을 달성하지만, 새로운 서비스 발굴에 의해 조만간 용량 부족의 현상을 맞이하게 된다. 따라서, 5G 상용화가 이루어지면 요구되는 전송 용량을 초과하게 되지만, 홀로그램 등과 같이 더욱 높은 전송용량을 요구하는 서비스가 발굴되는 과정에 따라 용량 증대의 수요가 발생하게 될 것이다.

다음으로, 5G에서 개별적으로 이루어지는 각 핵심 서비스별 기술들의 융합으로 나타날 것이다. 즉, 모바일 광대역 서비스와 초신뢰성 및 저지연 서비스의 결합을 통해 버드뷰(Birdview)나 원격 의료진료와 같은 실시간 동영상 서비스가 이루어질 수 있으며, 초신뢰성 및 저지연 서비스와 대규모 사물인터넷 서비스의 결합을 통해 스마트 팩토리와 같은 산업용 IOT 서비스도 가능할 수 있다.

그리고, 5G 이후에는 변혁적인 네트워크 구조에 대한 수요가 발생할 것으로 예상된다. 2G에서부터 이어오던 네트워크 구조의 후방 호환성에 의해 매우 무거운 구조를 채택하고 있지만, 5G 이후에는 통합된 네트워크 구조가 아닌 산업계(Verticals)의 수요에 따라 가볍고 특화된 네트워크 구조에 대한 필요성이 제기될 것으로 판단된다.

이러한 5G 이후의 서비스 및 기술적 수요를 반영하여 한국전자통신연구원에서는 5G 이후를 고려한 새로운 비전과 서비스를 예측하고, 이를 달성하기 위한 기술 개발을 위한 방향을 제시하고자 한다. 그림 7에서는 5G 이후의 무선 액세스를 구성하는 핵심기술들을 도식적으로 설명하고 있다.

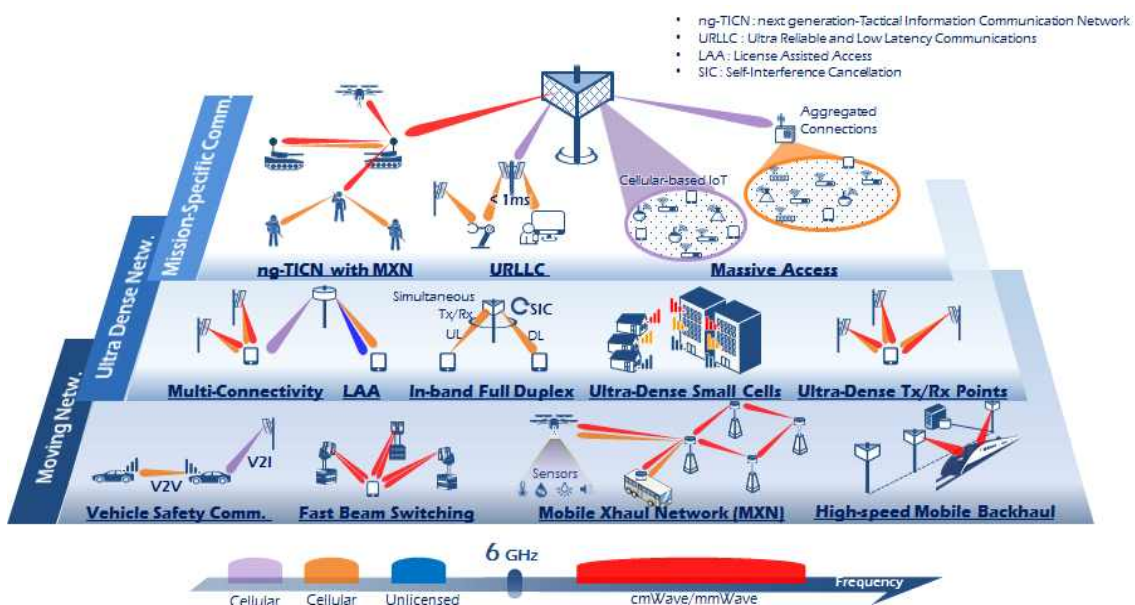


그림 17 5G 이후 무선 액세스를 구성하는 핵심 기술들

1.3.1 초고밀도 네트워크 (Ultra Density)

5G 이후의 광대역 서비스를 위한 기술 방향을, 더 이상 전송기술에 국한되지 않고 네트워크 구성을 통한 용량 증대에 초점을 맞출 것으로 예상된다. 5G까지 적용될 매크로셀과 소형셀의 결합으로 이루어진 이종계층 네트워크(Heterogeneous Network)를 넘어서서 수많은 전송점들을 이용하여 기존의 셀룰러 개념을 탈피한 초고밀도의 네트워크 구성을 위한 기술이 필요할 것이다. 이 기술은 5G에서도 시도하였던 분야이긴 하지만, 상용화로 이어지기 위해서 해결해야 할 문제가 산적하고 있기에, 우리는 5G 이후 기술분야로 초고밀도의 네트워크를 선정하였다.

이러한 초고밀도 네트워크 기술에는 전송점들 신호간 간섭을 억제할 수 있는 전송방식과 전력제어 방식, 전송점 신호가 중복되는 지점(Cell-Edge)에서의 전송용량을 유지하는 토폴로지 기술(Edgeless Topology), 단말 중심의 셀 구성 방식 등이 포함된다.

1.3.2 임무 지향형 네트워크 (Mission-Specific Network)

4G와 달리 5G에서 추가한 핵심 서비스인 초신뢰성 및 저지연 서비스와 대규모 사물인터넷 서비스는 각각 특화된 5G 융합서비스의 핵심 요소를 포함하고 있다. 즉, 종래의 광대역의 요소를 벗어나 5G를 통해서만 지원될 수 있는 초신뢰, 저지연 및 초연결이라는 핵심 요소를 달성함으로써 임무형 서비스를 원활하게 제공할 수 있는 특성을 가지고 있다. 이를 위해, 우리는 5G 이후 기술분야로 임무에 특화된 네트워크 구성에 필요한 통합된 핵심요소 기술을 선정하였다.

임무 지향형 네트워크 기술은 산업형 서비스나 공공성 서비스와 같이 특정 임무 서비스를 수행하기 위한 네트워크 기술로서, 자율이동체 통신을 위한 초신뢰와 저지연의 결합, 산업형 IOT를 위한 저지연과 초연결의 결합, 재난극복형 서비스를 위한 초신뢰와 초연결의 결합 등을 포함한다.

1.3.3 이동 네트워크 (Moving Network)

5G 이동통신에서는 모든 이동하는 개체는 단말로 정의하고, 모든 네트워크의 노드들은 고정된 형태로서 유선을 통해서 연결된 네트워크를 활용하고 있다. 하지만, 이와 같은 기존의 네트워크 구성으로는 비효율적인 CAPEX/OPEX가 필연적이며, 특히 모든 이동하는 단말의 수가 폭발적으로 증가하는 5G 이후 서비스에서는 바람직하지 않다.

5G 이후에는 네트워크의 노드들의 일부가 유선이 아닌 무선으로 연결되고, 따라서 무선으로 연결된 노드들이 이동할 수 있도록 구성함으로써 매우 동적이고 유기적인 네트워크 구성을 이룰 수 있다. 이를 위해, 우리는 5G 이후 기술분야로 이동 네트워크 기술을 선정하였다. 이동 네트워크 기술에는 기존의 셀룰러 네트워크를 무선으로 대체하는 이동 셀룰러 네트워크 기술, 이동하는 개체를 네트워크 노드로 구성하는 이동 엑스홀 네트워크, 네트워크 노드간 유연성을 제공하는 이동 메쉬 네트워크 기술 등이 포함될 수 있다.

이외에도, 5G 이후에는 다중 계층과 다중 연결을 제공함으로써 네트워크 유연성을 제공하는 기술과 에너지 효율성 향상을 통한 그린에너지 기술 등이 포함될 수 있지만, 이 기술들은 다소 구현의 이슈로 판단되어, 한국전자통신연구원에서는 앞서 언급한 초고밀도 네트워크, 임무 지향형 네트워크 및 이동 네트워크를 5G 이후 핵심기술로 선정하고, 이와 관련된 기술에 집중할 계획이다.

2. 5G Leading Technologies

2.1 enhanced Mobile Broadband

2.1.1 Massive MIMO

Massive MIMO는 수십 내지 수백 개의 송신 안테나를 이용하여 다수의 단말들에게 동일한 시간 및 주파수 자원에서 고속 데이터 전송을 제공하는, 모바일 광대역 서비스를 위한 대표적인 기술이다 [11]. 그림 18에서와 같이 massive MIMO는 2차원 능동형 안테나 어레이를 갖는 FD-MIMO (Full Dimension MIMO) 기술을 통해 수평 방향뿐 아니라 고층 건물에 위치한 사용자에게 수직 방향의 빔 형성을 제공함으로써 매우 높은 주파수 효율과 에너지 효율을 제공하고, 공간적 측면에서 높은 집적도를 갖기 때문에 현재 5G 주요 기술로 주목 받고 있다. 특히, 5G의 향상된 모바일 광대역 서비스(eMBB)를 위한 3가지 핵심 제공능력들⁷⁾을 달성하기 위해서는 10 bps/Hz/macro cell area 이상의 단위 면적 당 주파수 효율을 만족시키는 massive MIMO 기술의 실현이 필수적으로 요구된다.

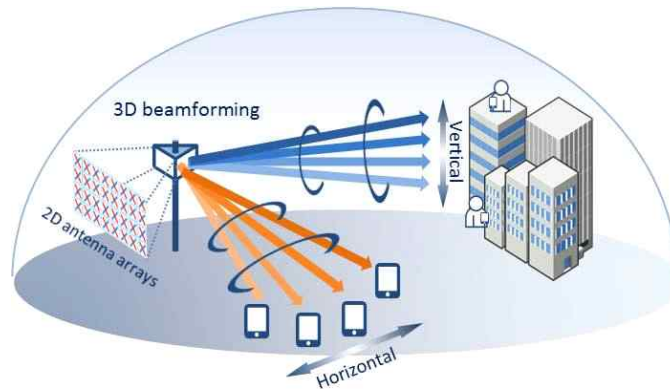


그림 18 FD-MIMO의 3D 빔포밍

상대적으로 단순한 피드백만으로 적용할 수 있는 TDD 기반 massive MIMO를 FDD 기반 LTE 시스템의 하향링크에 적용하기 위해, ETRI에서는 코드북 (codebook) 기반의 피드백과 DOBF (Double Opportunistic Beamforming) 기술을 적용한 다중사용자 MIMO (Multi-User MIMO) 기술을 개발하였다.

종래의 기회적 빔형성 기술 [8]은 고정된 빔에서 단말을 선택하는 점에서 단일 기회적 방식인 반면, ETRI에서 제시한 기술은 단말과 빔형성 벡터를 이중적으로 선택하게 하고 MUI (Multi-User Interference Indicator) 피드백을 통해 단말의 피드백 부하를 크게 줄임으로써 시스템 성능을 크게 향상시키는 장점이 있다. RVQ (Random Vector Quantization)를 포함한 양자화 기반의 종래 기술은 기지국에서 추정하는 채널품질이 실제 단말에서 측정한 채널품질과 불일치하는 문제로 인해 시스템 성능이 저하되는 현상을 보이는 반면, DOBF의 MUI 피드백은 이러한 채널품질 추정 오류를 크게 완화시키는 장점이 있다. 그림 19는 DOBF 기술의 효과를 입증하는 실험 결과로, LTE Rel-10 피드백 기술 대비 성능 이득을 보여준다.

7) 100 Mbps의 사용자 체감 전송률, 10 Mbps/m²의 면적 당 용량, 20 Gbps의 최대 데이터 전송률

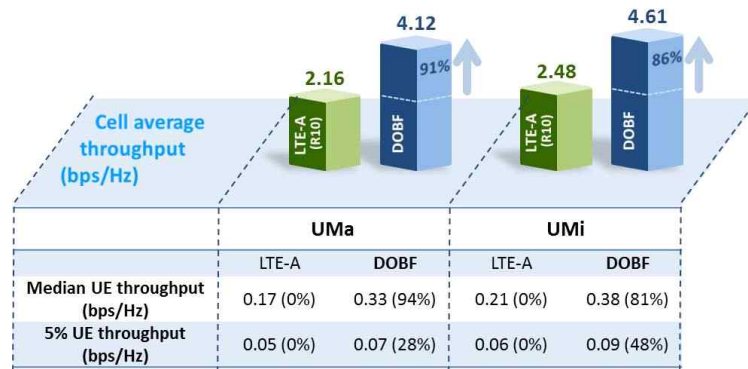


그림 19 3D 빔포밍 (DOBF) 기술의 시뮬레이션 결과

또한, 변혁적 관점의 massive MIMO 기술을 실현하기 위해, JSMD (Joint Spatial Division and Multiplexing) [12]와 같은 보다 근본적인 변화를 가져오는 기술을 적용하고 안테나 캘리브레이션 (calibration) 오류가 해결된 상·하향 채널 상호성 (reciprocity) 기반의 TDD 시스템 기술을 연구하고 있다. ETRI에서는 현재까지의 연구개발 내용을 활용하여, 5G massive MIMO 기술 진화를 위해 추가적으로 해결되어야 할 기술 개발에 집중하고 있다.

우선, 향후 안테나 배열의 확장에 따라 빔형성에 이용되는 안테나 수가 커질수록 단말의 정확한 채널 추정이 반드시 필요하므로 이를 위한 고밀도의 RS (Reference Signal) 설계가 요구된다.⁸⁾ 동시에 RS 포트 수의 확장에 따른 오버헤드 증가를 해소하기 위해 채널 추정 방식 개선에 대한 연구가 필요하다. RS의 공간 다중화 방식이나 데이터 보조 채널 추정 기법 등을 후보로 고려할 수 있다.

또한, Massive MIMO 기술에 있어서 주요한 이슈 중 하나는 ICI (Inter-Cell Interference)에 대한 제어이다. 현재에는 Soft FFR (Soft Fractional Frequency Reuse) 및 CRE (Cell Range Expansion) 등 기존 기술을 개선하는 형태로 논의가 이루어지고 있지만, 단말이 증가함에 따라 스케줄링 복잡도가 문제가 될 수 있다. 이를 극복하기 위해, 인접 셀 간섭을 고려한 외적 프리코딩 (outer-precoding)과 셀내 간섭을 고려한 내적 프리코딩 (inner-precoding)으로 구성된 계층적 프리코딩 (hierarchical precoding) 구조 등이 고려되고 있으며, 이에 대한 심도 깊은 연구가 필요하다. 또한 에너지 효율성을 증대하기 위해 평균 전송전력뿐만 아니라 PAPR 등의 지표도 고려해야 하므로, 새로운 변조방식의 도입과 연계하여 설계할 수 있다. 그리고 보다 가까운 시기에는 R-TDD (Reverse Time Division Duplex)를 지원하기 위한 고민이 있을 수 있다.

2.1.2 Ultra Dense Network

고밀도 군집 네트워크 (Ultra Dense Networks; UDN)는 보다 작은 셀/송수신점을 고밀도 군집 형태로 구축하여 단위 면적당 용량 및 주파수 효율을 증대시킬 수 있는 기술이다 [8]. UDN의 핵심 기술은 그림 20과 같이, 고밀도 군집 셀/송수신점이 사용자 입장에서 형성되는 사용자 중심 가상셀 형성 기술 (UE-centric virtual cell formation), 다중 송수신점을 활용한 다중점 다중계층 송수신 기술 (multi-point multi-layer Tx/Rx), 이중망 클라우드 (HetNet Cloud) RAN 구조 및 가상화 기술, 그리고 UDN을 자동으로 구성하고 최적화 하는 SON (Self Organizing Network) 기술 등이 있다.

8) 현재 3GPP LTE-A Rel-13 FD-MIMO는 가상 섹터당 최대 16개의 CSI-RS 안테나 포트를 지원한다.

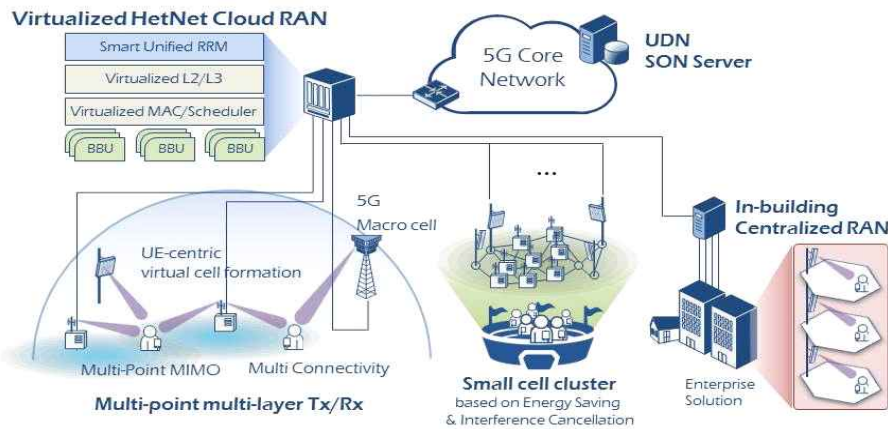


그림 20 고밀도 군집 네트워크 (UDN) 개념 및 핵심 기술

사용자 중심 가상 셀 형성 (UE-centric virtual cell formation) 기술은 셀 형성의 관점이 종래 셀 중심에서 사용자 중심으로 변화되는 것을 의미한다. 셀 중심 관점에서는 고정된 셀 영역으로 인해 셀 경계지역이 발생하고 그곳에 위치한 사용자는 셀간 간섭으로 데이터 전송률이 크게 제한된다. 반면, 사용자 중심 관점에서는 개별 사용자가 최적의 송수신점을 선택하여 가상 셀을 형성하고 이러한 셀의 중심에 위치하므로 사용자당 전송률이 크게 증가할 수 있다. UDN에서 가상 셀의 송수신점들은 클라우드 RAN에 기반한 다중점 다중계층 송수신 (multi-point multi-layer Tx/Rx) 기술을 통해 단말과 데이터를 교환한다. 다중점 다중계층 송수신 기술은 가상 셀을 구성하는 다수 개의 송수신점에서 복수 개의 데이터 스트림(다중계층)을 송신하는 것으로, 단말은 다중 안테나를 활용하여 신호를 수신한다. 이를 통해 종래 셀 중심 시스템에 비해 사용자당 전송률을 획기적으로 증대시킬 수 있다. 이를 위해서는 다중 송수신 점과 단말 간의 채널상태를 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 아울러 다중점간 간섭 및 다중사용자간 간섭을 효과적으로 완화 및 제거하는 것이 중요하다.

UDN을 위한 RAN 구조는 계층적으로 촘촘하게 구축된 셀들을 통합하여 관리하고 안테나와 기저대역 (baseband) 영역이 분리된 이종망 클라우드 (HetNet Cloud) RAN 형태로 구성될 때 비용 및 자원의 활용성을 높일 수 있다. 이종망 클라우드 (HetNet Cloud) RAN은 제어 평면과 사용자 평면의 분리를 통하여 계층적으로 다른 셀들간의 협업을 제공함으로써 전체적인 자원 효율성을 증대시킨다.⁹⁾ 또한 도심 환경에서 수천/수만개의 소형 셀 구성에 따른 CAPEX/OPEX 문제를 해결하기 위하여 NFV/SDN (Network Functions Virtualization/Software Defined Network)으로의 진화가 필요하며, SON 기술이 더욱 각광받을 것으로 예상된다.

2.1.3 In-band Full Duplex

전이중 (In-band Full Duplex; IFD) 통신은 5G 통신의 핵심 제공능력 중 하나인 주파수 효율 (spectrum efficiency)을 획기적으로 증대시킬 수 있는 기술이다. 기존의 반이중 통신 방식은 송신과 수신 주파수를 서로 다르게 사용하는 방식 (FDD) 또는 동일 주파수 대역에서 송신과 수신시간을 서로 다르게 할당하는 방식 (TDD)을 사용하는 반면, 전이중 통신은 동일 주파수 대역에서 동시에 신호 송수신이 가능하게 함으로써, 반이중 통신 방식에 비하여 주파수 이용효율을 최대 2배까지 향상시킬 수 있다[13]~[15].

전이중 통신에서는 두 가지 간섭 문제를 해결해야 한다. 먼저 송신신호가 자신의 수신기로 다시 유입되어 유효 수신 신호에 강한 간섭을 미치는 자기 간섭(Self-Interference, SI)을 제

9) 예를 들어, 사용자는 다중 연결 (multi-connectivity)을 통해 제어 시그널은 매크로 셀에서 제공받고 데이터는 다수의 소형 셀에서 제공받을 수 있다.

거해 주어야 한다. 특히 다중 안테나 IFD 통신 환경에서는, 각 안테나의 송신신호가 인접 안테나로 유입되어 발생하는 SI도 함께 제거해 주어야 한다. 자기간섭은 RF 아날로그 영역과 디지털 영역에서 제거될 수 있으며, 일반적으로는 RF 아날로그 영역에서의 자기간섭 제거와 디지털 영역에서의 SIC를 함께 적용하여 자기간섭을 제거한다.

또한, IFD 기술을 다중노드/다중셀 환경에 적용했을 경우에는 동일 채널 간섭(co-channel interference, CCI)의 증가 문제를 해결해 주어야 한다. IFD 통신을 기반으로 동작하는 다중노드/다중셀 환경에서는 각 셀에서 하향링크(downlink, DL)와 상향링크(uplink, UL)가 동시에 동작하게 되므로 반이중 통신을 기반으로 동작하는 기존의 다중노드/다중셀 환경에 비해 간섭원의 수가 증가하게 된다. 특히 이러한 CCI 중 일부는 성능을 심각하게 저하시킬 수 있으므로, CCI를 제어할 수 있는 기술의 개발이 요구된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 그림 11에 도시된 바와 같이 MIMO IFD를 위한 디지털 영역에서의 SIC 기술과 다중노드/다중셀 IFD 통신 환경에서 DL 성능 향상을 위한 간섭 제어 기술의 개발에 대한 연구를 수행하였다.

IFD 통신에서 발생하는 SI는 power amplifier (PA), low noise amplifier (LNA)등에서 유입되는 harmonic 성분과 IQ-imbalance 등으로 인해 비선형성을 띄게 된다. 특히 MIMO IFD에서는 안테나간 누화(cross talk)로 인해 이러한 SI의 비선형성 크게 증대된다. 비선형성에 의한 자기간섭 신호를 제거하기 위하여, 그림 11과 같이 전송 신호 성형과 디지털 영역에서의 SIC를 결합하여 자기 간섭을 보다 효율적으로 제거할 수 있는 방법을 제시하였다. 특히, 이를 위한 MIMO IFD 송수신기 구조와 MIMO IFD 송수신기에 특화된 전송 신호 성형 장치의 구조 및 동작 알고리즘, 그리고 SI의 비선형성을 보다 정확히 묘사하기 위한 비선형 모델을 개발하였으며, 시뮬레이션을 통해 그 성능 및 유용성을 확인하였다.

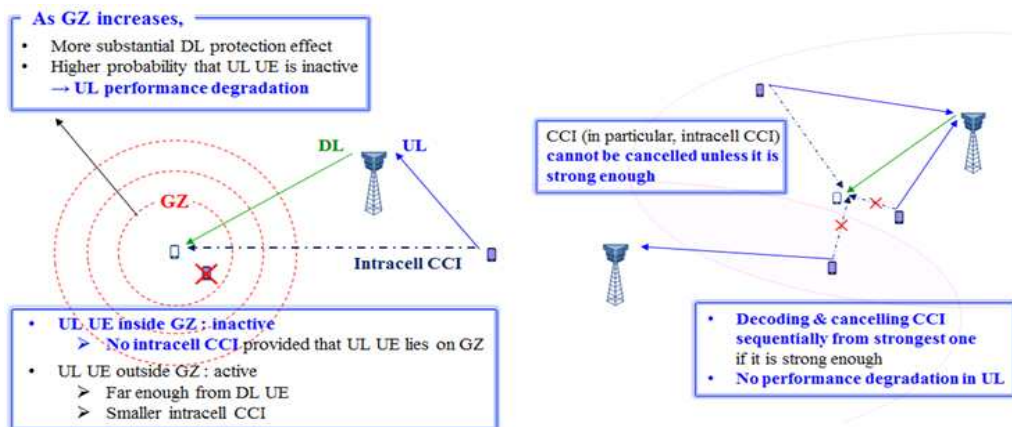


그림 21 다중노드/다중셀 IFD 네트워크에서 DL 보호구역 설정 기반 CCI 제거

다중노드/다중셀 IFD 통신네트워크에서는, 한 셀의 UL 전송이 동일 셀에서의 DL 전송에 간섭을 미쳐 DL 성능을 심각하게 저하시키게 된다. 이러한 동일 셀의 UL 간섭으로 인한 DL 성능 저하를 해결하기 위해, 그림 21에 도시된 바와 같이 DL 단말에 대한 보호 구역 설정과 DL 단말에서의 CCI 제거를 통한 간섭 제어 기법에 대한 연구를 수행하고 그 feasibility를 평가하였다. 특히, 상기 두 기법을 결합하여 더욱 효율적으로 UL 전송이 DL에 미치는 CCI를 제어할 수 있는 방법을 개발하였으며, 시뮬레이션을 통해 상기 방법의 성능 증대 효율성을 확인하였다.

MIMO-IFD에서 자기간섭 제거 기술을 적용하여 PoC를 구현할 예정이며, 다중노드/다중셀 IFD 통신네트워크에서의 간섭 제어 기술을 고도화 하고, DL과 UL간 트래픽 비대칭에 의한 성능 열화를 해결하기 위한 자원할당 및 스케줄링 기술을 함께 연구할 예정이다. 이와 더불어 IFD 송수신 기술의 다양한 응용 기술을 개발함으로써 그 활용폭을 확대할 예정이다.

2.1.4 Millimetre Wave Mobile Broadband

밀리미터파 (mmWave) 전송 기술은 기존 상용 이동통신용으로 주로 사용되는 주파수 대역¹⁰⁾보다 높은 30 GHz 부근 또는 그 이상의 높은 주파수 대역¹¹⁾에서 보다 넓은 대역폭을 이용해 전송속도를 증대시키는 기술이다. 6 GHz 이하의 기존 주파수 대역은 현재 포화상태이며 유휴 주파수도 파편화되어 있어 5G 통신을 위한 넓은 주파수 대역폭을 확보하기가 어렵다. 이에 따라 광대역 주파수 확보·할당이 용이한 초고주파 주파수 대역을 활용하는 mmWave 기술이 5G 통신의 중요한 핵심 기술로 대두되었다 [16].

그러나, mmWave는 직전성이 뛰어난 반면 회절성이 매우 낮은 특성으로 인해 송·수신 거리에 따른 전파 감쇄가 심하여 장거리 통신용으로 활용하기 어렵다는 단점이 제기되어 왔다. 따라서 mmWave 기술이 5G 통신의 주축 기술로서 자리매김하기 위해서는, 제한된 커버리지와 단말의 이동성에 따른 제약을 보완하기 위한 요소 기술들의 연구·개발이 필요하다.

우리는 mmWave 기술의 높은 경로감쇄 특성 및 낮은 RF 효율에 기인하는 셀룰러 대비 좁은 커버리지를 극복하기 위해 복수의 빔을 활용하고 있고, 채널 변화 및 단말 이동에 대응하기 위해 빠른 빔 스위칭 (Fast Beam Switching) 기술과 무선링크실패 (Radio Link Failure; RLF) 복구 기술, 신뢰성이 높은 핸드오버 기술 등을 중점 연구하고 있다 [17].

빠른 빔 스위칭 (Fast Beam Switching) 기술은 복수의 빔을 제공하는 이동통신 시스템에서 기지국과 단말이 매 순간 최적 빔을 선택하고 빠르게 스위칭함으로써 무선링크실패 발생을 최소화하고 1 Gbps의 사용자 체감 전송률을 보장하기 위한 기술이다. 단말 피드백 기반으로 상하향 빔을 실시간으로 선택함으로써 단말이 고속 이동 상황에서도 최적의 빔으로부터 서비스를 받도록 하며, 그림 14에서와 같이 활성/인접 (active/neighbor) 빔을 관리하는 빔 스위칭 (Beam Switching) 기술을 통해 매 순간 활성 빔의 무선링크실패 상황에서도 인접 빔에서 서비스 받도록 함으로써 무선링크실패 발생을 최소화한다.

무선링크실패 복구 기술은 단말이 기지국 빔에 접속하여 통신하고 있는 상태에서 현재 활성 빔의 연결에 문제가 발생했을 때, 무선링크 상태를 진단하고 서비스의 끊김을 최소화하기 위해 무선링크를 복구하는 기술이다. mmWave 특성상 무선링크가 기존 셀룰러 시스템에 비해 상대적으로 취약하므로 무선링크실패가 발생 할 수 있는 시나리오를 분석하고, 각 시나리오 별로 특화된 절차를 수행하게 된다. 기본적으로 활성 빔을 기준으로 무선링크실패 발생시 접속할 확률이 높은 인접 빔과 기지국에 단말의 컨텍스트 (context)를 공유함으로써 무선링크실패에 의한 복구 시 복구 시간을 최소화 하도록 한다.

또한 mmWave 기술은 빔간 끊김없는 (seamless) 핸드오버를 지원하기 위해 이동성에 강건하고 핸드오버로 인해 발생하는 핸드오버 단절 시간 (handover interruption time)을 최소화 할 수 있는 기술이 요구된다. 이에 따라, 우리의 mmWave 기술을 위한 핸드오버는 사용자 체감 전송률과 저지연의 핵심 제공능력 측면에서 핸드오버 핑퐁 (ping-pong) 발생 확률을 기존 핸드오버보다 낮게 유지하면서도 핸드오버 실패 확률을 최소화하는데 초점을 맞췄다.

mmWave Channel Measurement and Modeling

우리는 mmWave 주파수 대역에서 무선채널 필드측정 및 데이터 수집을 위한 mmWave 채널 사운더 (mmWave Channel Sounder)를 개발하였다. mmWave 채널 사운더는 28 GHz 주파수 대역에서 최대 500 MHz의 대역폭(시간 분해능 2ns)을 가진 채널측정용 신호를 송/수신하여 실제 필드에서의 경로손실 및 다중경로 성분들의 분포 등 시공간 무선채널 특성을 측정·분석할 수 있는 광대역 무선채널 측정용 시스템이다 [18]. 이 채널 사운더는 그림 22와

10) 800 MHz, 900 MHz, 1.8 GHz, 2.1 GHz, 2.6 GHz 등

11) ETRI에서 개발한 mmWave 5G 시스템은 28 GHz 대역을 활용함.

같이 기저대역 모듈 (BBM), IF 신호처리모듈 (TRXM), 타이밍 모듈 (TIM), 28 GHz RF 모듈 (RFM) 및 송수신 혼 (horn) 안테나로 구성된다. 우리는 이러한 mmWave 채널 사운더를 이용하여 실제 필드에서 최대 170 dB까지의 경로 손실을 측정하였다.

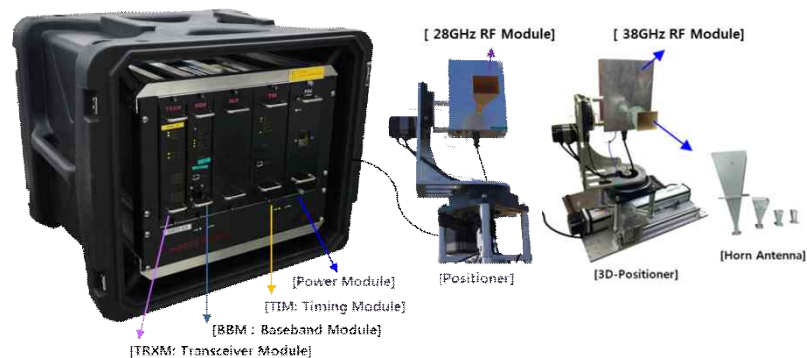


그림 22 ETRI mmWave 채널 사운더 형상

28 GHz 주파수 대역에서 채널 사운더를 이용하여 국내 다양한 환경에서 무선채널 측정 캠페인을 실시하였다. 측정 지역으로 옥내 (indoor)의 경우 인천공항과 서울역사를 선정하였고 옥외 (outdoor)의 경우 대전 및 서울 강남지역을 선정하였다. 그림 23는 옥내 및 옥외 지역에서의 채널 측정 캠페인을 위한 시나리오를 도시한 것으로서, mmWave 채널 사운더의 송신기 및 수신기를 이용한 LoS 및 NLoS 측정 위치를 각각 표시하고 있다. 채널 측정 시 모든 방향에서의 채널 임펄스 응답 (channel impulse response)을 획득하기 위하여 수신 혼 (horn) 안테나¹²⁾를 수직방향 $-10^{\circ}, 0^{\circ}, 10^{\circ}$ 에 대하여 각각 수평방향으로 10° 간격으로 360° 회전하면서 수신 데이터를 수집하였다. 안테나 이득을 제외한 RF 송신 전력은 29 dBm이었으며, 최대 측정 거리는 옥내의 경우 약 300 m, 옥외의 경우 약 340 m 거리였다.

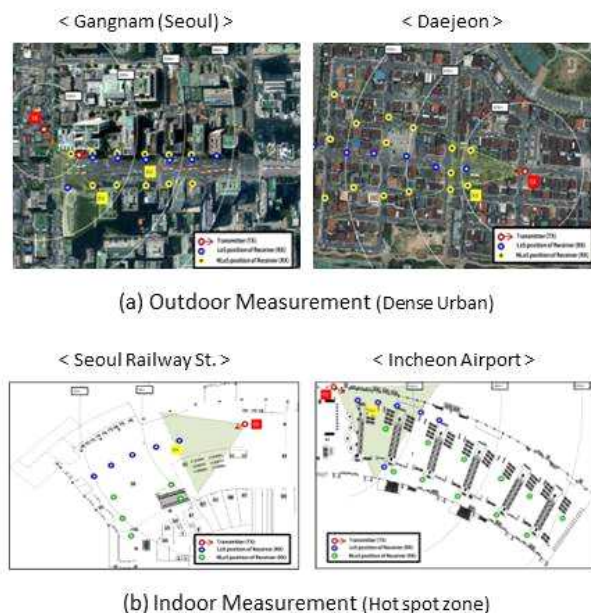


그림 23 옥내 및 옥외 무선채널 측정 캠페인

12) 옥외용은 30°빔폭, 옥내용은 60°빔폭의 혼 (horn) 안테나를 사용한다.

무선채널 측정 캠페인을 통해 수집된 데이터를 이용하여 경로손실 (path loss) 및 다중경로 (multipath) 성분들의 시간 및 공간적 분포 특성 등을 분석하였다. 그 결과, LoS 환경의 경우 경로손실지수 (Path Loss Exponent; PLE)가 2.0 ~ 2.1 (1 m 기준손실 기준)¹³⁾, NLoS의 경우 수신 안테나의 회전 방향에 따라 경로손실지수가 2.68에서 4.5까지 분포하는 것을 확인하였다 [19]~[21]. 또한, 그림 24에서 확인할 수 있듯이, 도로의 코너 (1-turn corner) 영역에서 수신 전력이 급하게 감소하는 것으로 확인되었는데¹⁴⁾, 이는 mmWave 대역의 경우 건물에 의한 회절손실 (diffraction loss)이 비교적 큰 것을 확인할 수 있다 [22].

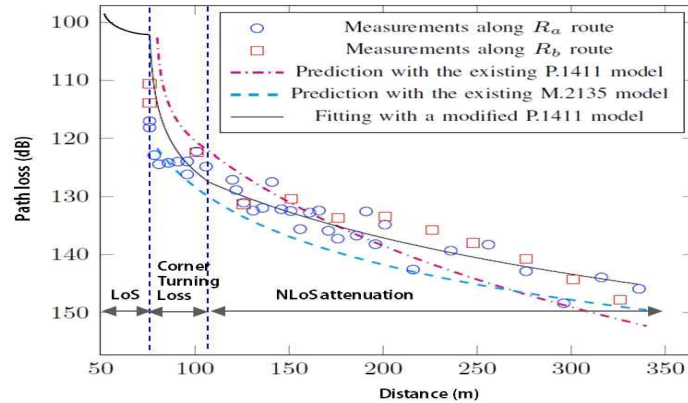
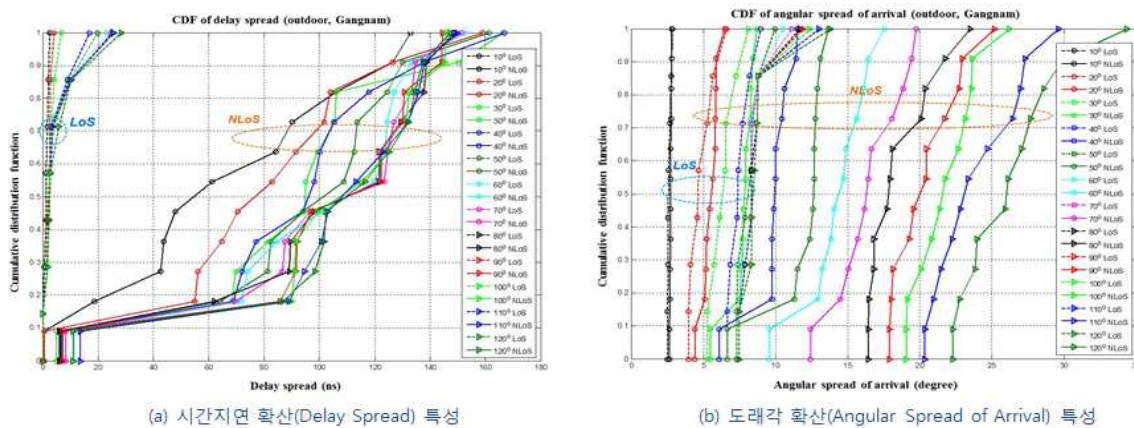


그림 24 경로감쇄 측정 결과 및 1-turn corner 감쇄 모델

그림 17에서는 수신 안테나의 빔폭에 따른 mmWave 채널 측정 결과를 보여준다. 그림 17 (a)는 수신 안테나의 빔폭에 따라 LoS 및 NLoS 환경에서의 다중경로 성분들의 지연 확산 특성에 대한 측정 결과로서, 빔폭이 넓어질수록 지연 확산이 점점 증가하는 상관성을 확인할 수 있다[23][24].¹⁵⁾ 그림 17(b)는 다중경로 성분들의 도래각 확산 (angular spread of arrival) 특성에 대한 측정 결과로서, 도래각 확산도 안테나의 빔폭과의 상관성이 뚜렷함을 확인할 수 있다. 또한 LoS의 경우 약 50°이상의 빔폭부터는 도래각 확산이 증가하지 않는 결과를 통해 LoS 환경에서 직접파 (direct path) 성분의 영향이 매우 큼을 알 수 있다. 이상의 결과들은 모두 채널모델링을 위한 기초자료로 사용될 예정이다.



(a) 시간지연 확산(Delay Spread) 특성

(b) 도래각 확산(Angular Spread of Arrival) 특성

그림 25 수신 안테나 빔폭에 따른 채널특성 측정 결과

13) 이론적 자유공간 손실 (PLE=2)에 근접한 수치로, 28GHz 대역에서 1m 기준손실은 약 61dB이다.

14) 실측 결과치로 약 24.5 dB의 경로 손실이 발생

15) LoS의 경우 지연 확산의 평균치는 10 ns을 넘지 않는 것으로 관찰되며, NLoS의 경우에는 좁은 빔폭과 넓은 빔폭에서의 지연 확산 값의 차이가 매우 큼을 확인할 수 있다.

5G mmWave Testbed

우리는 기가급 모바일 서비스를 제공하기 위한 5G mmWave 테스트베드의 1단계를 개발하였다. 5G mmWave 테스트베드의 1단계에서는 시스템 성능이 20 Gbps 급이며, 단말의 용량을 최대 1.5 Gbps로 구현하여 기술검증을 완료하였으며, 2단계에서는 1단계 테스트베드를 기반으로 기존의 고정형 빔형성을 적응형 빔형성으로 확대하고 및 10 Gbps 단말 용량을 확보하는 것으로 확장한다.

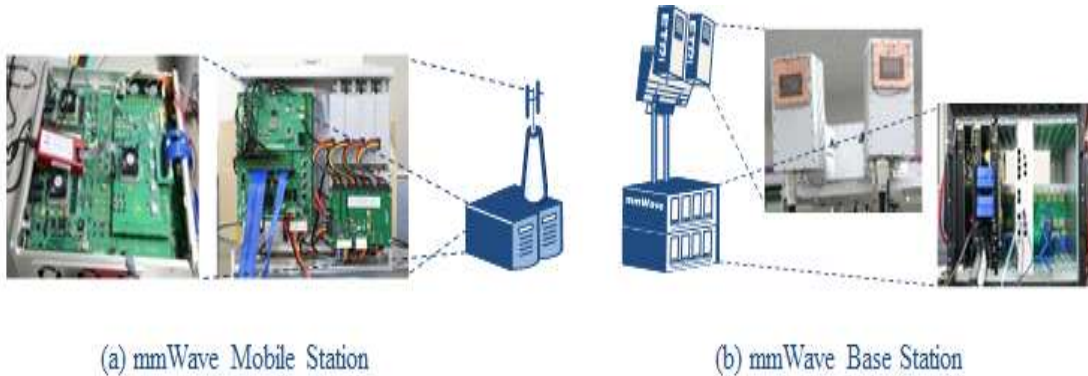


그림 26 5G mmWave 1단계 테스트베드 형상: 기지국 및 단말

그림 18은 우리가 개발한 5G mmWave 테스트베드 형상으로서, 기지국은 약 2.5 Gbps 전송 용량을 갖는 빔을 16개를 운용함으로써 20 Gbps 및 그 이상의 성능을 제공하게 되며, 고정형 빔으로 구성되어 운용된다. 이 테스트베드에는 빔 스위칭 기능 및 빔 핸드오버 기능을 통해 기지국 내 및 기지국간의 단말 이동 시에도 끊김 없는 서비스 제공이 가능하며, 대역폭은 125 MHz 단위로 8개의 FA (Frequency Allocation)로 구성 되어 최대 1 GHz 대역폭까지 확장 가능하다. 개발된 기능들은 각각 모듈화된 형태로 구성하여, 새로운 알고리즘이나 규격 변경 등의 적용이 용이하다. 그림 27와 같이, 네트워크 연결을 위한 코어 네트워크는 에뮬레이터 형태로 구성하였으나, 코어 네트워크의 모든 기능이 구비 되어 있으며, 가상화 기반으로 구현 되어 있다.



그림 27 ETRI mmWave 5G 시스템: EPC 에뮬레이터

2.2 Ultra Reliability and Low Latency Communication (URLLC)

초신뢰성 및 저지연 (Ultra-reliable & Low Latency) 통신은 인체 촉감이 반응하는 정도의 실시간 연결성을 제공하는 유·무선의 전송 기술¹⁶⁾로서, 종단간 소요되는 지연시간을 매우 짧게 하면서도 신뢰성이 높은 무선 전송을 제공하는 것이다 [1]. 우리는 무선 구간에서 단방향 1 ms 이하의 전송지연과 종단간 5 ms 이하의 왕복시간 전송지연¹⁷⁾을 목표로 초신뢰성 및 저지연 통신 요소 기술들을 개발하였다[25].

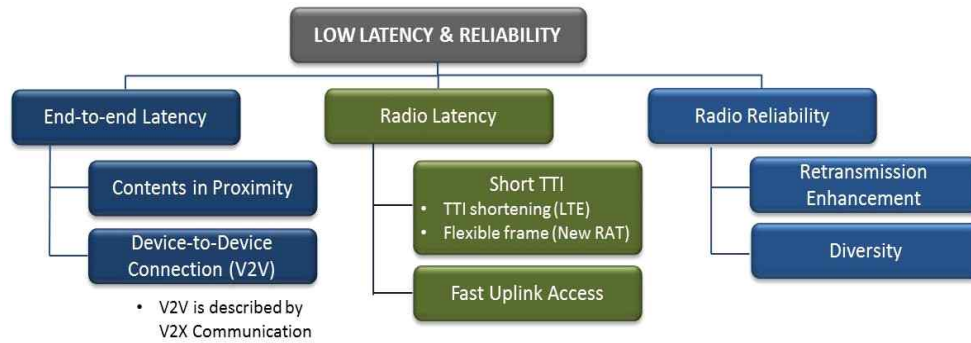


그림 28 초신뢰성 및 저지연 통신을 구성하는 핵심 기술

그림 28에서와 같이, 초신뢰성 및 저지연 통신을 달성하기 위한 기술 이슈들을 분류하면 종단간 지연 감소 및 무선구간 지연 감소, 무선 신뢰성 향상으로 나눌 수 있다[26][27]. 종단간 지연 감소는 종단간 연결경로를 축소시켜 패킷 전송지연을 감소시키는 구조적인 변형에 관한 것으로, 요소 기술로는 서비스를 제공하는 서버를 무선 구간에 근접하게 위치시키거나, 단말간 직접통신 (Device-to-Device; D2D)을 활용한 차량간 통신 (Vehicle-to-Vehicle; V2V) 기술이 있다. 무선구간 지연 감소는 무선구간에서 물리계층 전송시간 단위를 짧게 구성하여 송수신 전송을 빠르게 수행하거나 상향링크에서 연속되지 않은 패킷을 경쟁기반 분산 전송 (contention-based distributed transmission) 방식을 통해 빠르게 전송하는 기술이 요구된다.

무선구간 신뢰성 향상은 주로 송수신 데이터를 신뢰성 있게 전송하는 것으로 무선구간 전송에서의 데이터 송수신 성공확률을 높이는 기술들로 달성되며, 이를 위한 요소기술로는 무선구간에서 활용할 수 있는 주파수·시간·공간의 자원을 사용하는 다이버시티 기술과 시간이 단축된 재전송 기능을 활용하는 기술이 있다.

2.2.1 Ultra Low Latency Communication

Scalable Transmission Time Interval

무선 구간에서의 물리계층 전송지연은 송신 및 수신에 필요한 기능요소들이 갖는 시간들의 합으로 구성된다. 이러한 무선 구간의 송수신 지연시간 감소에 가장 많은 영향을 미치는 기능요소는 물리계층 전송시간 단위 (Transmission Time Interval; TTI)이다. 따라서 우리는 5G 저지연 서비스의 지연 요구사항을 만족시키기 위하여 무선 구간의 물리계층 전송시간 단위를 짧게 구성하는 확장형 전송시간 단위 (scalable TTI) 기술을 고안하였다.¹⁸⁾

16) 원격의료, 원격 제어, 차량간 통신, 가상현실 등의 실시간 서비스뿐만 아니라 사용자의 안전 및 체감 품질이 필요한 서비스에 초신뢰성 및 저지연 통신 기술에 대한 요구는 더 늘어날 것으로 예상된다.

17) 전송 지연뿐만 아니라 네트워크 노드들의 프로세싱 지연과 서버처리 지연시간을 모두 포함한다.

18) 확장형 TTI 기술은, 저지연 시스템이 backward compatibility와 서비스에 맞는 효율적인 전송을 위해, 새롭게 구성되는 짧은 TTI들 뿐만 아니라 기존 3GPP LTE 규격에서 정의하고 있는 1 ms

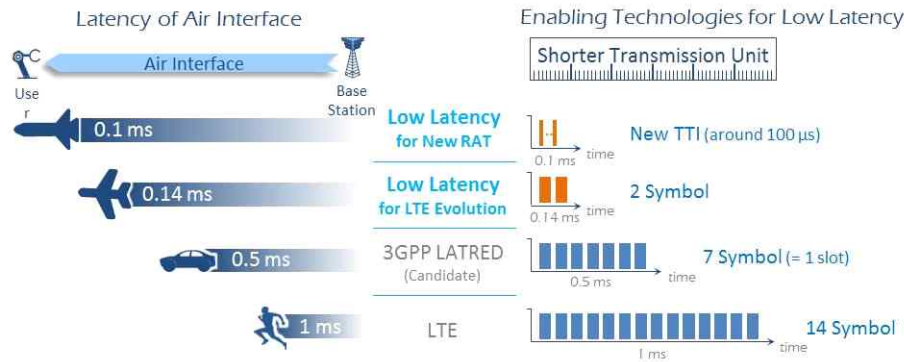


그림 29 확장형 전송시간 단위 (scalable TTI) 적용 기술

그림 29에서와 같이, 물리계층 전송시간 단위는 무선구간 단방향 전송지연 시간과 비례하는 특성을 갖고 있기 때문에, 무선 구간 단방향 1 ms 전송지연을 달성하기 위해서 물리계층 전송시간 단위는 100 μ s 정도의 크기로 설계되어야 한다. 물리계층 전송시간 단위를 짧게 구성함으로써 발생하는 성능저하¹⁹⁾ 문제를 해소하기 위해 물리채널의 특성을 추정하는 참조 신호 (RS)를 앞부분에 배치하고 인터리빙 개선을 포함하는 빠른 디코딩 기술에 대한 연구개발이 요구된다. 또한 상향링크에서 짧은 전송시간 단위로 인해 단말의 상향링크 커버리지가 감소할 수 있다.²⁰⁾ 따라서 저지연 시스템에 짧은 전송시간 단위 (sTTI)를 적용하기 위해서는 다중 안테나를 통해 이득을 높이는 기술 또는 짧은 커버리지를 제공하는 셀 구조 기술과, 연속할당을 통해 제어 오버헤드 감소 방식을 적용함으로써 물리계층에서의 오버헤드를 최대한 제거하는 기술 도입도 필요하다.

부가적으로, 핸드오버 단절 시간을 최소화하는 저지연 핸드오버 기술 및 기저대역 동작 클럭 속도 향상, 디지털 데이터를 빠르게 처리하는 하드웨어 기술 등의 요소 기술들이 무선 구간 전송지연을 감소시키는데 일조할 것이다.

우리는 무선구간에서 단방향 전송지연 1 ms 달성을 목표로 송수신 처리시간과 전송시간 단위의 확장성을 고려하여, 2-symbol로 구성된 짧은 전송시간 단위 (sTTI)를 설계·구현²¹⁾하고 이에 따른 저지연 요소기술들을 개발하여 셀룰러 주파수에서 검증하였다. 제안된 새로운 저지연 무선 액세스 기술은 셀룰러 대역뿐만 아니라 cmWave 및 mmWave 대역에 적용할 수 있도록 OFDM 파라미터를 정의하고 물리계층 프레임을 구성하였다.

Fast Uplink Access

빠른 상향링크 접속 (Fast Uplink Access)은 단말에서 송신할 데이터를 기지국까지 짧은 시간에 전송하는 목표를 갖고 공유된 자원에서 경쟁기반으로 데이터를 전송하는 방법이다. 이동통신은 무선자원 할당을 기지국이 수행하므로, 상향링크 데이터 전송시, 단말기가 대역요청을 기지국에게 전달하는 요청 단계와 기지국이 상향링크 자원을 단말에게 할당하는 단계의 선행이 요구되는 구조이다. 비록 하드웨어 및 소프트웨어의 발전으로 송수신 처리 시간

TTI를 동시에 지원하는 것을 의미한다.

19) RS 및 제어 오버헤드, 단말의 송신전력 제약 등으로 인한 성능 저하

20) 짧은 전송시간 단위 (sTTI)는 하나의 단말이 1-sTTI내에서 전송할 수 있는 데이터가 많아지기 때문에 송신전력이 충분하지 못하여 상향링크 커버리지가 감소될 수 있다.

21) 2-symbol로 구성된 짧은 전송시간 단위 (sTTI)는 5G 서비스 시나리오에 따라 정수배로 확장이 가능하도록 물리계층 프레임을 구성한다.

이 감소되더라도, 데이터 전송시 선행하는 단계들로 인한 시간 소요를 피할 수 없다.

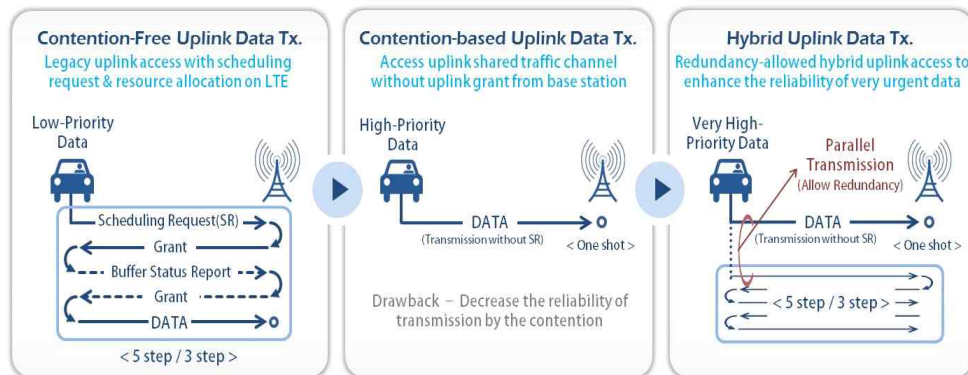


그림 30 빠른 상향링크 접속 기술

이를 극복하는 방법으로 자원 요청 및 할당 단계를 생략하고 데이터를 전송하는 방법에 대한 연구를 진행하고 있다. 현재 활발히 연구되고 있는 자원 요청 및 할당 단계를 생략한 빠른 상향링크 접속 기술은, 그림 30에 도시된 바와 같이 기지국이 단말에게 자원 요청 단계 없이 지속적으로 자원을 할당하는 SPS (semi-persistent scheduling) 기반의 상향링크 데이터 전송 방식과 그룹에 속한 다수 단말들에게 동일한 상향링크 자원을 할당하고 단말들은 경쟁 방식으로 데이터를 전송하는 경쟁기반 상향링크 데이터 전송 방식 (contention-based uplink data transmission)이 있다.

자원 요청 단계와 할당 단계가 없이 단말의 결정으로 데이터 전송이 분산적으로 결정되는 경쟁기반 상향링크 데이터 전송 방식은 다수 단말들이 자원을 공유하므로 충돌이 발생할 수 있다. 그러나 분산 환경과 달리 셀룰러 환경에서의 경쟁 기반 데이터 전송 방식은 자원의 위치 및 사용량, MCS (Modulation and Coding Scheme) 등과 같은 기지국이 디코딩에 필요한 정보들은 각각의 단말들이 아닌 기지국에 의하여 결정되고 제어되는 특징이 있다. 따라서, 기지국이 디코딩에 필요한 정보들 중의 일부를 각각의 단말마다 다르게 설정해 놓는다면, 충돌이 발생할 경우 기지국은 데이터 수신은 못하더라도 충돌된 각각의 단말들을 식별할 수 있다. 이후 식별된 단말들에 대하여 시간 지연을 야기하는 전통적인 백오프 (backoff) 대신 충돌없는 자원을 각각의 단말들에게 전용으로 할당하여 재전송을 충돌 없이 수행할 수 있도록 하는 하이브리드 상향링크 데이터 전송 방식에 대한 연구가 추가적으로 요구된다.

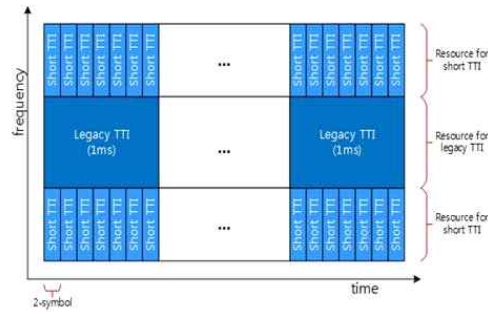
Retransmission Enhancement

무선 구간에서 정해진 시간내에 패킷을 성공적으로 송수신하기 위해서는, 가변적인 무선채널 상황에 적응적으로 전송하는 링크정합 (link adaptation) 향상 기술뿐만 아니라 수신상태 정보에 기반한 재전송 향상 기술이 요구된다.

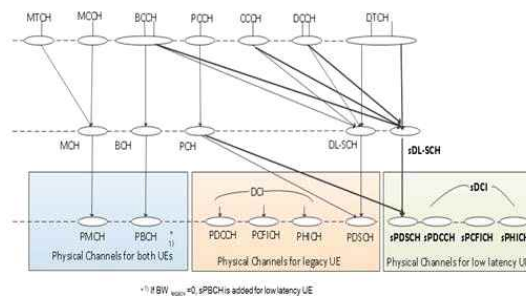
재전송 향상 기술은 송수신시 패킷 처리시간을 단축하고 빠르게 HARQ (Hybrid ARQ) 피드백을 처리하는 것으로, 수신된 패킷의 오류 정보를 HARQ 피드백으로 송신기에 전송하여 송신기가 해당 패킷을 재전송할 때 HARQ RTT (Round Trip Time)를 감소시키는 것이다. 이를 통해 빠른 재전송이 가능할 뿐 만 아니라, 재전송 기회의 증가로 인해 패킷 전송 오류 확률을 감소시킬 수 있다.

Testbed for Low Latency Radio Access

우리가 개발한 저지연 무선액세스 테스트베드는 5G의 저지연 요구사항을 만족하는 무선 액세스 기술을 설계하고 이를 검증하는 것으로 목표로, 단말과 기지국간 단방향 1 ms의 전송 지연을 달성하기 위해 Scalable TTI 기술 개념을 도입하였다. 4G LTE에서는 단말과 기지국간 무선구간 단방향 전송지연은 4 ms이상 소요되는데 반해, 새롭게 개발하여 저지연 무선 액세스 테스트베드에 적용된 규격에서는 5G 저지연 요구사항을 만족하기 위하여 2-symbol 기반의 TTI (약 140 us)를 수용할 수 있다. 즉, LTE의 OFDM 물리계층 구조를 기본으로 하되 전송단위를 2-symbol 구조에 맞게 신호를 재배치하고 복호 시간을 줄일 수 있는 형태로 제어 채널들을 할당하였다.



(a) Short TTI와 기존 TTI를 동시 지원하는 무선 프레임 구조



(b) Short TTI를 위한 채널 구조

그림 31 저지연 무선 액세스 규격 설계

무선 프레임의 경우 저지연 단말만 액세스 할 수 있는 저지연 전용 무선프레임뿐만 아니라, 기존 (legacy) LTE 단말도 함께 수용할 수 있는 역방 호환성 (backwards compatibility)을 가지는 무선프레임을 지원하도록 설계하였다. 그림 31의 (a)와 같이 주파수 영역에서 중심 주파수를 중심으로 기존 영역을 위치시키고, 저지연 영역은 주파수의 양쪽 끝에 위치시키고, 이 정보를 시스템 정보를 통해서 알려주도록 구성했다. 무선 채널의 경우, 기존의 LTE 물리 채널에 더하여 저지연용 물리채널과 전송채널을 새롭게 정의하였으며, 그림 31의 (b)는 하향링크 채널을 나타낸다.

저지연 액세스를 위한 테스트베드는 그림 32과 같이 단말 (5G mobile terminal)과 기지국 (5G base station), 모바일 에지 클라우드 (MEC) 서버, 응용 서버 (application server)로 구성하였다. 2.6 GHz 셀룰러 대역 주파수를 사용하며 총 20 MHz의 대역폭을 가지며, 이 중에서 중심부 5 MHz는 기존 액세스 시스템 용도로 사용하며 나머지 15 MHz는 저지연 액세스 용도로 사용한다. 구조적으로 로컬 게이트웨이와 MEC 서버 개념을 무선 액세스 망에 도입하였다. 즉, 기지국 내에 로컬 게이트웨이 기능을 둬으로써 동일 기지국내의 단말간 트래픽은 기지국내에서 로컬하게 라우팅되도록 하였고, MEC 서버는 로컬 응용 서버 기능과 콘텐츠

캐싱 기능을 제공함으로써 종단간 전송 지연을 감소시키는 효과가 있다. 단말은 인터넷에 위치하는 응용 서버를 통하여 서비스를 제공받거나 기지국에 인접한 MEC 서버를 통하여 서비스를 제공할 수 있다.

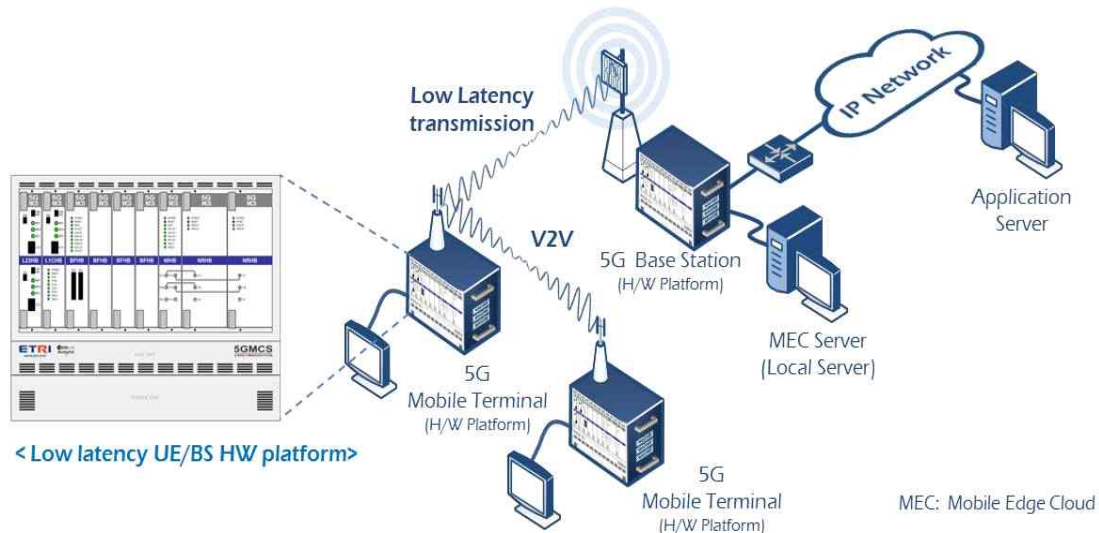


그림 32 저지연 액세스를 위한 테스트베드 구조

무선구간의 전송 지연 1 ms을 달성하기 위해서는 전송시간 단위를 짧게 하는 것 외에 단말과 기지국에서의 내부 처리 시간을 최소화하는 것이 필수적이다. 따라서, 단말 및 기지국에서 모뎀 기능은 FPGA 상에서 복호 시간과 IFFT 처리 시간을 줄이고 인접 기능 모듈간 병행 처리가 최대화될 수 있도록 설계하였고, 상위 제어 기능은 DSP 상에서 데이터 전달을 위한 메모리 사용을 zero-copy로 유연성을 가지고 구현하였다. 또한, 기능 모듈간 메시지 전달이 최소화되도록 내부 시그널링 절차 및 IPC (Inter-Processor Communication) 메커니즘을 최적화하고, 개발된 소프트웨어는 다수의 코어 (multi-core)간에 분산 구현되어 부하분담과 병행처리가 이루어지도록 설계하였다.

2.2.2 Low Latency V2X Communication

V2X (Vehicle-to-Everything) 통신 기술은 초신뢰성 및 저지연 통신 기술의 대표적인 활용 사례 중 하나로, 그림 33에서 보인 것처럼 안전/자율 주행 및 미래형 차량 인포테인먼트 (Infotainment) 서비스 제공을 위한 초신뢰성 및 저지연 V2X 차량 통신 기술이다 [28].

현재 3GPP를 비롯하여 연구기관 및 업체에서 5G 차량 통신의 핵심 성능 지표인 송신 지연을 최소화하여 차량간 V2V (Vehicle-to-Vehicle) 서비스 요구사항²²⁾을 만족시킬 수 있는 차량 통신 연구가 진행 중이다. 우리는 최대 280 km/h의 속도²³⁾를 갖는 차량 이동환경에서 전송지연 5 ms 이하의 V2V 통신 기술 개발과 차량 이동환경에서 데이터의 에러율을 최소화하여 BLER (Block Error Rate) 10^{-3} 의 신뢰도를 갖는 V2X 통신 기술 개발을 목표로 한다 [29][30]. 본 고에서는 현재 연구가 진행되고 있는 저지연 V2X 통신의 요소 기술들 중 아래 대표적인 3가지 기술들을 소개한다.

22) safety service: 5ms, enhanced V2X service: 1 ms

23) 3GPP Rel-14 V2X의 Vehicle Velocity 요구사항

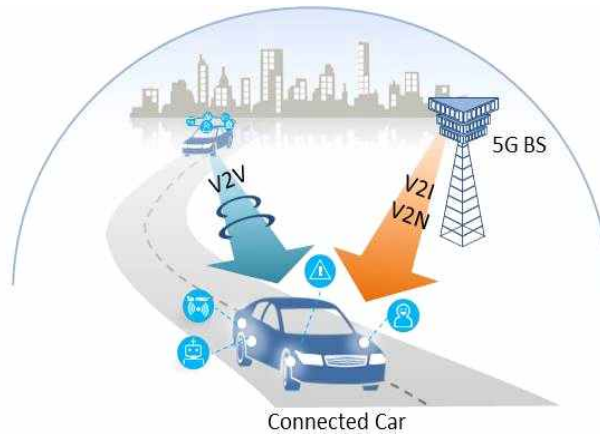


그림 33 V2X (Vehicle-to-Everything) 통신 개념

Minimized & Compressed Transmission

기존의 3GPP LTE D2D 직접통신 규격은 사이드 링크 제어 채널 (Physical Sidelink Control Channel; PSCCH)과 사이드 링크 데이터 채널 (Physical Sidelink Shared Channel; PSSCH)로 구성된 형태의 V2V 물리 채널 구조를 기반으로 하고 있으며, 수신 성능을 높이기 위해 각 채널을 재송신 (반복 전송 또는 재전송)하는 특징을 가진다 [31]. 하지만, 밀집된 환경에서 모든 차량이 V2V 메시지를 전송하는 V2V 통신 특성에 따라, V2V 데이터를 송신하려면 많은 시간 (8 ms ~ 40 ms)이 소요되어 지연이 커지는 단점이 있다.

따라서, 그림 34과 같이, 저지연 V2V 통신을 지원하기 위해 V2V 메시지 특성 (주기성 및 크기), 반이중 (half-duplex) 통신 방식, 충돌 확률, 이동 환경 등을 고려하여 무선자원 구조와 주기 등을 개선하기 위한 연구가 진행 중이다. 연구 방향으로 PSSCH의 재전송 횟수를 감소하는 방법, PSCCH의 전송 횟수를 감소하는 방법, 제어 채널과 데이터 채널을 동시에 송신하는 방법 등이 있다.

하지만, 이 기술들은 지연 요소만을 향상시키기 위한 기술들로서, 이상의 연구내용들은 V2V에서 요구되는 신뢰성과 단말의 밀집성 등을 보장하도록 개발이 이루어져야 비로소 의미있는 결과로 활용될 수 있을 것이다.

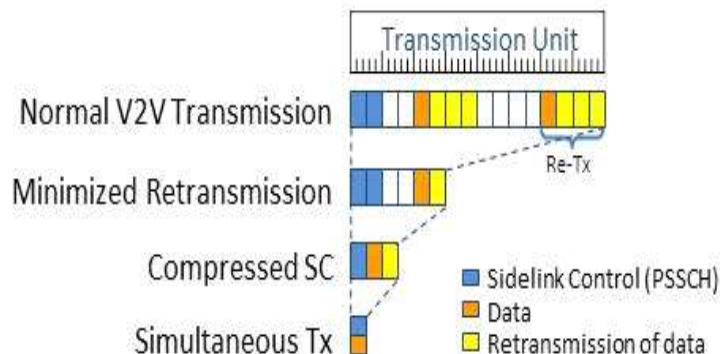


그림 34 최소 및 압축 전송 기술

Adaptive Resource Allocation

V2V 통신은 LTE의 단말간 직접통신 (D2D) 구조를 사용하므로 송신 단말이 임의로 무선 자원을 선택하는 분산 방식에 따라 송신 자원 충돌이 불가피하며, 도심 환경과 같이 차량이 밀집된 환경에서는 충돌로 인한 지연 및 성능 저하가 발생하는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 기존의 LTE D2D 자원 할당 기술을 개선하기 위한 연구가 진행 중이며, 기지국이 차량 통신 무선 환경 및 트래픽 특성 정보를 수집하여 V2V 통신에 적합하도록 무선 자원을 할당하는 기술 연구가 진행 중이다.

High Reliable V2V Communication

LTE 기반 V2V 통신을 위해 3GPP에서는 Rel-12 D2D를 기반으로 성능 평가 및 V2V에 적합한 기술을 개발하고 있다. 요소 기술로는 초신뢰성 및 저지연을 위한 자원 할당, 고속 이동에 대한 대처, 동기 설정 등이 있다. 이 중에서도 특히 신뢰도 향상을 위한 고속 이동에서의 대처 방안에 대한 필요성이 대두되고 있다. V2V 통신에서는 6 GHz 이하의 반송파 주파수에서 최대 280 km/h의 상대 속도를 고려하므로, 이를 극복하기 위해 낮은 변조 방식과 부호화 방식의 사용, 재전송 횟수의 증가, 데이터 복조 참조신호(DMRS)의 개수를 증가시키는 방식 등을 고려할 수 있다. 그러나 이 방식은 데이터 전송에 필요한 자원의 양을 증가시킴으로써 지연 시간이 길어지거나 간섭의 영향이 커지게 되어 신뢰도 성능이 상대적으로 저하될 수 있다.

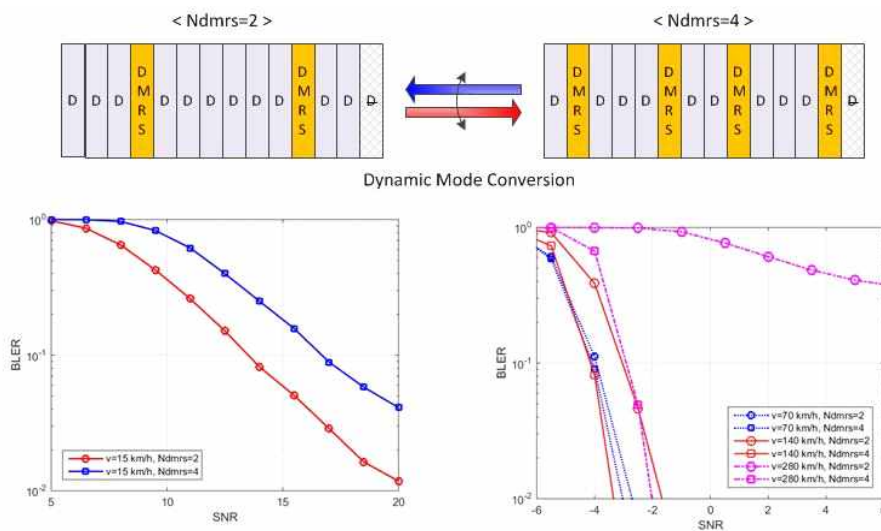


그림 35 이동속도에 대해 각 DMRS 개수에 따른 성능 결과

그림 35은 DMRS의 수에 따른 데이터 채널 구성과 임의의 변조와 부호화에 대해 이동 속도에 따른 각 데이터 채널의 성능을 보이고 있다. 그림 35에서 보듯이 고속 이동에 대해 DMRS 수의 증가가 필요하며 2개보다 4개가 적합함을 알 수 있다. 이와 함께 DMRS의 수가 적을 경우에 저속 이동 환경에서 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.²⁴⁾ 다시 말해 이동 속도와 채널 추정의 정확도, 그리고 부호화율의 상관 관계에 따라 성능이 결정된다. 결과적으로 이동 속도에 따라 적합한 개수의 DMRS를 사용하는 데이터 채널을 송신함으로써 최적의 성능을 얻을 수 있다. 이에 따라 V2V 통신에서 신뢰도 향상을 위해 이동 속도 또는 위치 기반의 DMRS 모드 변경 알고리즘을 적용할 수 있다.

24) V2V 통신은 저속 이동에 대한 성능도 고려되어야 한다.

2.3 Massive Connectivity Communication (mMTC)

현재 IoT 통신을 위한 무선전송기술로 비면허대역에서 Weightless™, SIGFOX 등의 저전력 통신방식이 상용화되어 있고, 면허대역에서는 3GPP Rel-13 eMTC²⁵⁾와 NB-IoT²⁶⁾ 표준화가 완료되었다. 하지만, 현재까지 도출된 기술만으로는 5G mMTC의 요구사항을 만족시키는데 한계가 있다. 따라서, 이러한 한계를 극복하고 5G mMTC를 달성하기 위해 초다수 MTC/IoT 디바이스 수용을 위한 셀룰러 중심의 대규모 무선 접속 및 전송 기술이 필요하게 되며, ITU-R에서 정의한 5G 핵심 제공능력 (key capabilities) 중 하나인 km²당 10⁶개의 통신연결 밀도 (connection density) 달성을 목표로 연구·개발이 진행되고 있다.

일반적으로 IoT 디바이스는 협대역 주파수 자원을 통해 간헐적으로 소량의 데이터를 전송하는 특성을 갖는다고 알려져 있다. 그러나 최근 부각되고 있는 스마트카 및 스마트 글라스, 드론 등의 미래 5G 서비스 시나리오를 고려해 본다면, 대용량 고속 데이터 전송이 가능한 IoT 디바이스에 대한 연구도 massive IoT 통신의 중요한 핵심 기술로 평가되어야 한다. 또한, 대규모 연결성을 제공하는 IoT 통신을 위한 디바이스는 10초 이상의 시간 지연을 용인하는 저속 데이터 전송의 트래픽 특성을 가지며 커버리지 향상과 10년 이상의 배터리 수명을 지원해야 한다[42].

본 고에서는 대규모 사물통신에 적합한 파형 신호(Waveform) 기술, 대규모 단말을 수용하기 위한 비직교성 다중접속방식(Non-Orthogonal Multiple Access), 협대역 주파수 자원 환경에서의 초다수 IoT 디바이스들의 통신을 지원하기 위한 기술, 초소형 단말에 다중대역과 광역의 커버리지를 제공하기 위한 다중대역 단일 안테나 기술(Multiband Single Antenna), 그리고 대용량 고속 데이터 전송에 적합한 IoT 디바이스를 구현하기 위한 주요 기술 중 하나인 초소형·저비용·고효율 구조를 갖는 전송 기술 (Single RF Chain MIMO)을 소개한다.

2.3.1 New Waveforms

상향링크 동기를 맞추기 위해서는 단말이 개별적으로 전송한 프리앰블을 기지국이 수신하여 타이밍 오프셋을 추정하여 단말에게 TA (Timing Advance)를 제공하는 절차가 필요하다. 하지만, 다수의 단말 연결을 지원하는 대규모 사물통신에서는 이러한 절차가 사물통신의 소형 패킷 전송 특성을 고려하면 오버헤드가 상대적으로 급격히 증가하는 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 느슨한 동기에서도 효율적으로 전송이 가능한 파형을 설계하는 것이 필요하다.

통상 파형의 설계는 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio), OOB (Out-Of-Band Emission), 지연시간 등의 특성들을 고려하여 설계한다. Gabor 이론[32]에 따르면, 하나의 원형필터 (Prototype Filter)를 주파수-시간 공간상으로 천이하여 무선자원 공간에 할당할 수 있는데, 이러한 다양한 원형필터를 새롭게 정의함으로써 신호파형의 성능을 향상할 수 있다[33][34].

주파수-시간 자원 (m, k) 에 L 개의 복소심볼 $d_{l,m,k}$ ($l = 0, 1, \dots, L-1$)을 전송하는 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y_{m,k}(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \exp\left(j2\pi \frac{a_0 m + a_1 k}{T} t\right) s_l(t - (a_2 m + a_3 k)T) d_{l,m,k}$$

여기서 L 개의 송신용 원형필터 $s_l(t)$ 와 계수 a_n ($n = 0, \dots, 3$)가 신호파형을 설계하는데 사용되는 파라미터이다. 각 단말들이 서로 다른 자원을 사용하여 전송한 신호는 각각의 주파수

25) further Enhancement for Machine Type Communication

26) Narrow-Band Internet of Things

및 시간 오프셋을 가지고 기지국에 도달하고, 기지국은 상관 연산을 통해 데이터를 추정하는데, 이때 수신 원형필터를 $u_l(t)$ 인 경우, 모호함수 (Ambiguity Function)가 원점 부근에서 $\delta(l-n)$ 그리고, $((a_0m + a_1k)/T, (a_2m + a_3k)T)$ 부근에서 0에 가까운 값을 가지는 것이 수신 성능에 바람직하다 ($m \neq 0$ 또는 $k \neq 0$). 원형필터는 기존의 Nyquist 펄스의 선형조합으로 구성함으로써 탐색공간을 줄일 수 있다.

$$C_{l,n}(\nu, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u_l^*(t - \tau) s_n \exp(j2\pi\nu t) dt, 0 \leq l, n < L$$

Time Localized Waveforms

시간 구간 $(0, T)$ 에 대부분의 에너지를 가지는 함수 $p(t)$ 에 대해 아래에 기술된 형태의 원형 필터를 고려할 수 있는데, 해당 파형은 지연시간 측면에서 우수한 특성을 가진다. 이 원형 필터는 L 개의 부반송파가 서브밴드에 대응되고, $h(t)$ 의 대역폭을 사용한다.

$$s_l(t) = \sum_{n=0}^{L-1} w_{l,n} h(t)^* \left\{ \exp\left(j2\pi \frac{n-0.5(L-1)}{T} t\right) p\left(\frac{t}{T}\right) \right\}, \begin{bmatrix} a_0 & a_1 \\ a_2 & a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

여기에서, 선형조합 계수 $w_{l,n} = \delta(l-n)$ 을 가정하고, 신호 대 간섭 전력비의 기대값을 최대화도록 $h(t)$ 와 $p(t)$ 를 구함으로써 최적의 시간제한된 파형을 결정할 수 있다. 그림 36과 그림 37에서 확인할 수 있듯이, $L=48$ 이고, $p(t)$ 가 Nyquist Window, $h(t)$ 가 Truncated Hanning Window로 선택한 경우, 서브밴드내 심볼간 간섭(intra-subband inter-symbol interference, IBISI)에 따른 신호대 간섭 전력비의 성능 결과는 종래의 신호파형에 비해 제한된 기술의 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

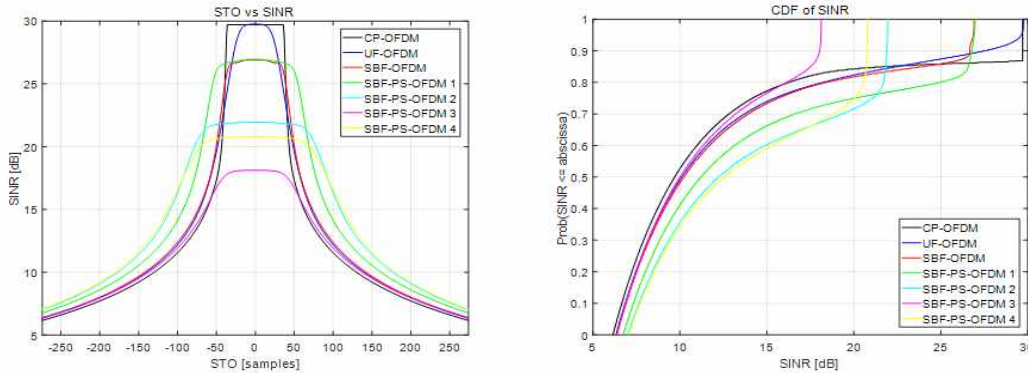


그림 36. IBISI가 있는 경우, 타이밍 오프셋 대비 SINR (좌)과 SINR 누적분포 (우)

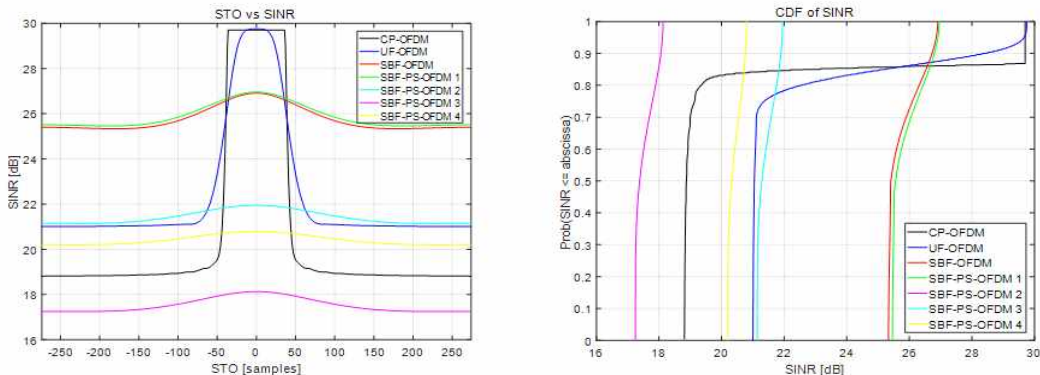


그림 37. IBISI가 없는 경우, 타이밍 오프셋 대비 SINR (좌)과 SINR 누적분포 (우)

Frequency Localized Waveforms

주파수 구간 $(0, W)$ 에 대부분의 에너지를 가진 함수 $p(t)$ 에 대해 아래에 기술된 형태의 원형 필터를 고려할 수 있는데, 해당 파형은 L 개의 심볼이 서브슬롯에 대응되고, $h(t)$ 의 파형은 시간축에 제한 (time-bounded) 되도록 하는 윈도우 함수이다.

$$u_l(t) = s_l(t) = \sum_{n=0}^{N-1} w_{l,n} h(t) p\left(\frac{M}{T}t - n + \frac{N-1}{2}\right), \begin{bmatrix} a_0 & a_1 \\ a_2 & a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & L \end{bmatrix}$$

$M=4, N=16, p(t) = \text{sinc}(t), h(t) = 1(-3 \leq t < 3)$ or 0 other이고, $L=2$ 인 경우와 $L=3$ 인 경우 각각의 설계로 통해 얻은 파형과 성능 평가는 그림 38과 그림 39와 같다.

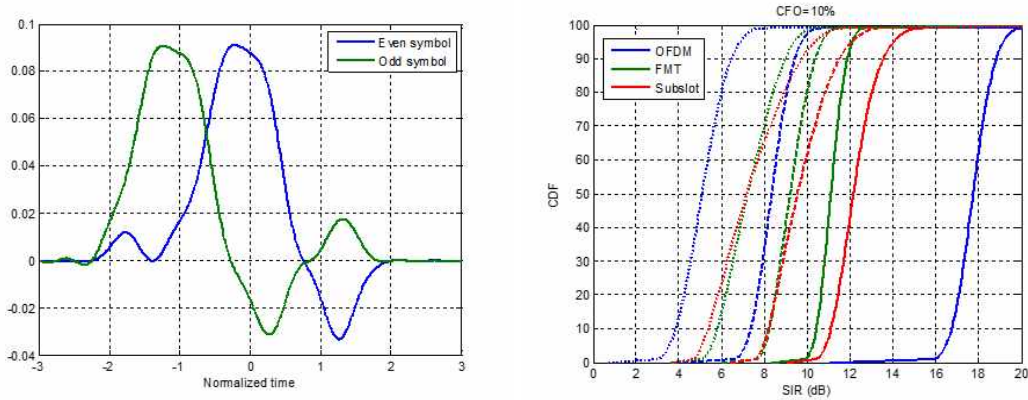


그림 38. $L=2$ 인 경우 파형 예 (좌) 및 SIR 분포 (우)

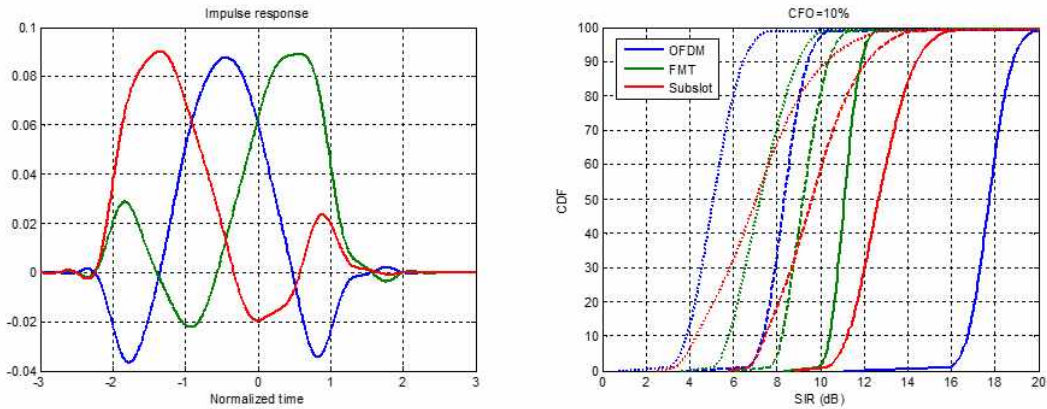


그림 39. $L=3$ 인 경우 파형 예 (좌) 및 SIR 분포 (우)

2.3.2 Non-orthogonal Multiple Access

5G 대규모 사물통신 (mMTC)은 통상적으로 저가의 저전력 소모를 갖는 단말을 요구하고 이들 단말이 생성하는 트래픽은 전송 빈도가 낮은 작은 크기의 패킷을 가정한다. 이러한 관점에서 기지국의 자원할당 등 스케줄링 지시 (Grant) 없이 단말이 바로 전송하는 방식 즉, 비할당 (Grant-free) 전송 방식은 시그널링 오버헤드의 감소, 저전력 소모 측면에서 매우 유리한 전송방식이다. 비할당 전송을 수행하는 단말은 미리 정해져 있는 무선자원에서 기지국이 미리 지정한 혹은 단말이 선택한 자원을 사용하여 전송이 필요한 경우에 전송을 수행한다. 단말 당 매우 낮은 전송률을 갖는 전송 환경에서는 복수의 단말이 동일한 무선자원에

전송하도록 허용하는 경쟁 (Contention) 기반의 비직교 전송 (Non-orthogonal Transmission) 이 직교 전송에 비해 무선자원의 효율적 이용을 높이는데 더 유리할 수도 있다.

이와 관련하여, 대규모 사물통신을 위해서 새로운 다중접속방식에 대한 요구가 증대되고 있으며, 제안되고 있는 다양한 기술들을 정리하면 아래의 표와 같다.

다중접속방식	특징	예	비고
직교다중접속	단말간 서로 직교하는무선자원 (주파수, 시간, 공간, 코드 등) 을 사용하는 접속	TDMA, FDMA, SDMA, Synchronous CDMA, OFDMA	정확한 동기화 필요
비직교 다중접속	복수의 단말이 같은 자원을 사용하며 단말간 상호간섭이 존재하는 비직교 형태 접속	LDS-CDMA[35]/ SCMA[36], RSMA[37], MUSA[38], Asynchronous CDMA	방식에 따라서는 정확한 동기화 불필요

새롭게 제안되는 비직교 다중접속 방식은 단말이 데이터의 전송시점을 결정하는 단말 주동적 (Autonomous) 전송, 비할당 전송 및 경쟁기반 전송의 특징을 갖는다. 특히 비직교 다중접속방식에서는 단말 간 상호 간섭이 존재하는 환경에서 단말 데이터 검출이 용이하도록 비교적 낮은 부호화율을 갖는 채널코딩을 사용하고 단말 구별을 위해 단말 신호는 단말 고유의 시그니처 (Signature)를 포함하여야 하고 일단 검출된 단말의 신호는 수신 신호에서 제거되어 다른 단말의 신호 검출을 용이하게 할 수 있어야 한다.

Low-rate code and Signature based Shared Access

ETRI에서 제안하고 있는 비직교 다중접속방식인 Low-rate code and Signature based Shared Access (LSSA) 기법은 Interleave Division Multiple Access (IDMA)[39] 개념을 활용한다. LSSA는 낮은 채널부호화율과 고유한 시그니처를 단말에게 부여하고, 자원 할당없이 고유 시그니처에 기반하여 짧은 길이의 비트 레벨 인터리빙 (bit-level interleaving)을 반영하여 송신한다. 따라서, 짧은 길이의 인터리버를 사용하므로 복잡도가 낮고 인터리버의 길이 조절을 통해 성능 열화없이 다중접속 단말 개수를 효과적으로 변경할 수 있다.

LSSA는 기존의 직교기반 OFDMA 방식과 비교하면, 단위자원 당 상향링크 전송 연결 밀도가 높아지는 장점이 있어, 대용량 사물통신 디바이스 전송에 적절한 다중접속방식임을 링크레벨 및 시스템레벨 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

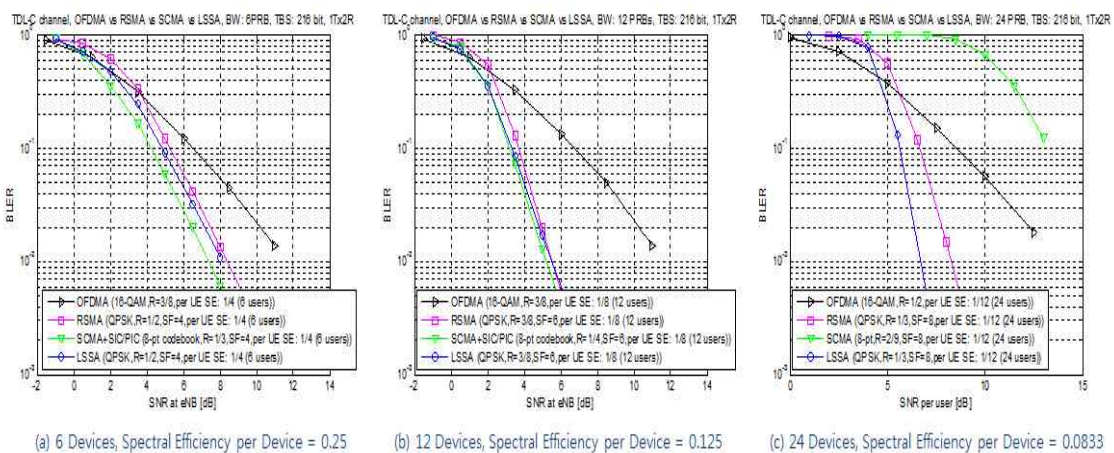


그림 40 OFDMA, RSMA, SCMA, LSSA 방식의 BLER 성능 비교

그림 40에서는 RSMA, SCMA 와 OFDMA의 BLER 성능을 과부하 팩터(Overloading factor²⁷⁾)에 따라 LSSA 비교한 결과를 보여주고 있는데, 과부하 팩터가 150%인 경우에는 SCMA가 가장 좋은 성능을 나타내는 반면(LSSA가 다음), 200%에서는 LSSA와 SCMA가 동일한 성능을 보이며, 300% 부터는 LSSA의 성능 우수성이 현격하게 드러난다. 이를 통해, 종래의 OFDMA 방식 뿐만 아니라 새롭게 제안되고 있는 다중접속방식과 비교해서도 우수한 특성을 보임을 확인할 수 있다.

NOMA Resource Allocation and Procedure

비직교 다중접속방식에서 단말은 데이터와 함께 채널 추정을 위한 참조신호(Reference Signal)를 전송하는데, 전송에 참여하는 단말 (또는 전송에 참여할 가능성이 있는 단말)의 수가 많을 경우에는 참조신호 또한 비직교 형태로 전송할 수밖에 없다. 이러한 문제를 효과적으로 해결하기 위해, ETRI에서는 참조신호 자원할당을 위해 직교자원과 비직교 자원을 혼합하여 사용하는 방식을 제안하였다. 이 제안방식에 따르면, 단말들을 그룹화하여 같은 그룹에 속하는 단말들은 서로 직교하는 자원을 할당하고 그룹간에는 서로 비직교하는 자원을 할당한다. 즉, 단일 그룹내의 단말들은 CDM (Code Division Multiplexing), FDM (Frequency Division Multiplexing), 혹은 CDM/FDM Hybrid 방법을 적용하여 직교자원을 할당할 수 있으며, 다른 그룹들은 동일한 시간-주파수 자원을 사용하면서 그룹간 미치는 간섭을 최대한 랜덤화 (randomization) 하도록 자원을 할당하는 방식이다.

또한, 비할당 전송에서는 단말이 전송에 사용할 자원을 선택하는 경우 기지국은 전송할 가능성이 있는 모든 단말들에 대해 검출을 시도해야 하는데, 전송할 가능성이 있는 단말의 수가 많다면 기지국의 복잡도가 급격히 증가하는 문제점이 있다. ETRI에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 그림 41에 도시된 바와 같이 기지국은 전송지시자 전송에 사용하는 자원을 미리 단말에게 설정해 주고, 단말은 데이터 전송을 수행하기 전에 데이터 전송에 사용되는 자원과 일대일로 대응되는 전송지시자 자원을 사용하여 전송지시자를 전송하고 이 후에 데이터 전송을 수행한다. 이때, 데이터 전송에 참여할 단말은 직교자원들로 이루어진 자원들에서 자신에게 할당된 전용 자원을 사용하여 전송지시자를 전송하는 것이 바람직하다.

특히, 비직교 데이터 전송의 검출에 사용되는 참조신호는 단말 고유의 시퀀스를 사용하도록 하면 단말이 서로 같은 시퀀스를 갖는 참조신호를 사용하지 않게 되고, 기지국은 전송 지시자 검출을 통해 전송에 참여하는 단말들을 확인할 수 있으므로 전송지시자 혹은 단말 고유의 아이디에 할당된 참조신호를 사용하여 데이터를 복원할 수 있다. 이 제안된 기술은 앞서 설명한 LSSA와 연계하여 더욱 세밀한 성능평가를 수행할 예정이다.

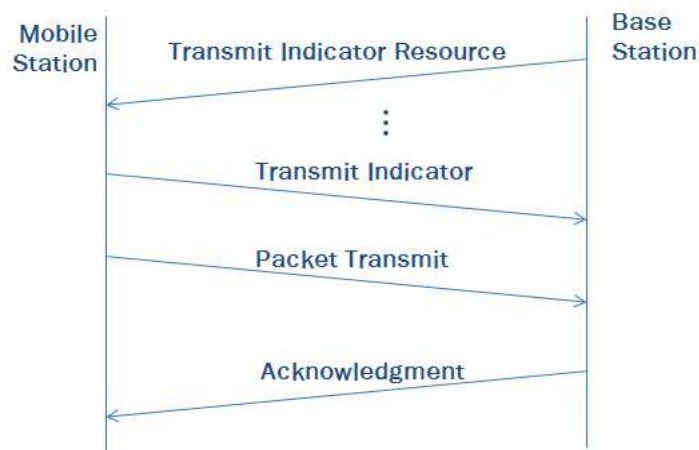


그림 41 전송지시자 전송에 따른 단말과 기지국 절차

27) 단말 수/자원의 수

2.3.3 Massive Connectivity Technologies

Scalable Random Access

IoT 디바이스의 수가 급증함에 따라, 셀룰러 기지국에 랜덤엑세스를 수행하는 단말의 양은 급격히 증가하고 있으며, 동시에 동일한 랜덤엑세스 자원의 사용으로 인한 단말간 충돌 확률 역시 급증하고 있다. 따라서 대규모의 단말이 기지국에 연결할 수 있는 최적화된 랜덤엑세스 기술이 필요하다 [40].²⁸⁾ 이와 같이, 다양한 서비스 요구사항을 갖는 다양한 종류의 단말이 발생하는 데이터 트래픽과 그로 인한 기지국 접속은 산발적인 특징을 갖는다. 우리는 IoT 디바이스들의 산발적인 랜덤엑세스 특성을 고려하여 랜덤엑세스 자원을 적응적으로 조절할 수 있는 접속 분산 방식을 고안하였다.

그림 27에 도시된 접속 분산 방식은 확장형 임의접속(scalable random access)을 지원하기 위하여 PRACH (Physical Random Access Channel)의 과부하를 줄여주는 방식으로, 접속 시간을 분산시키는 접속시간 분산 방식 (access time distribution)²⁹⁾과 단말 그룹들에게 분리된 프리앰블을 할당시키는 프리앰블 분리 할당 방식 (separated preamble allocation)³⁰⁾의 결합으로 구성된다. 이 접속 분산 방식은 접속시간 분산 방식을 이용하여 단말들의 접속 시간을 균일한 분포를 가지도록 분산시키고 프리앰블 분리 할당 방식을 이용하여 단말들을 그룹화 및 그룹별 차등적인 QoS를 제공함으로써 무수히 많은 수의 단말들이 동시에 접속을 시도하는 경우에 발생하는 과부하를 효과적으로 제어할 수 있다.

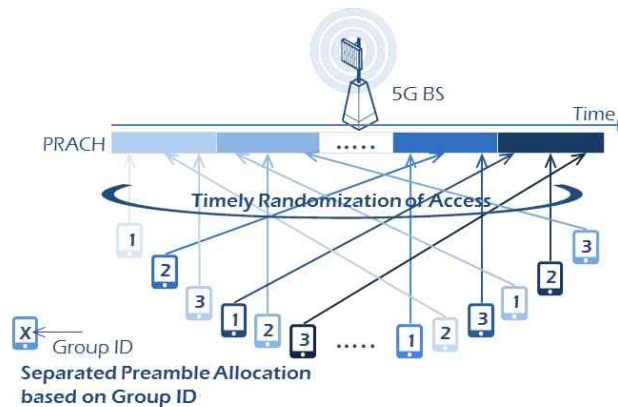


그림 42 접속 분산 방식 개념

Signaling Overhead Reduction

셀룰러 이동통신 시스템은 기본적으로 음성 서비스나 비디오 스트리밍 서비스 등과 같이 일정 시간 동안 지속적 혹은 버스트 (burst)하게 데이터를 송수신하는 트래픽 유형에 적합한 시스템으로서, 단말이 서비스를 제공받기 위해서는 우선적으로 네트워크에 접속하여 제어 연결 및 베어러 생성에 관한 절차들을 수행해야 한다 [41]. 이로 인해, 급격하게 증가할 IoT 디바이스들은 간헐적으로 작은 크기의 패킷을 전송하는 환경에서는 시그널링 오버헤드가 심각하게 증가하게 되고, 이러한 시그널링 메시지들의 증가는 대역폭 당 전송 가능한 데이터 수를 감소시키는 주요 요인이 될 수 있다. 따라서, 셀룰러 이동통신 시스템에서 대규모 디바이스를 수용하기 위해 시그널링 오버헤드 감소에 관한 연구가 수반되어야 한다.

28) 셀룰러 이동통신 시스템에서는 단말이 기지국과 본격적인 데이터 통신을 수행하기 위해 충돌 기반의 랜덤엑세스를 통한 기지국과의 접속이 선행되어야 한다.

29) 단말은 상이한 아이디 (예: IMSI)를 시드(seed)로 사용하여 기지국 접속시간을 임의로 결정하는 방식

30) 그룹별로 우선순위를 부여하여 높은 우선순위를 가지는 그룹에 더 많은 QoS를 제공하는 방식

IoT 디바이스들이 데이터 전송을 시도하는 시점에서 비활성(idle) 상태에 있을 가능성이 높아서 종래의 RRC (Radio Resource Control) 연결, S1 연결, 그리고 보안 설정과 같은 제어 연결과 무선/S1 베어러 설정 등의 일련의 과정을 수행하기 보다는, 단말 및 네트워크 노드들이 최초 연결 설정 과정에서 설정된 파라미터들을 저장하여 idle 모드에서 데이터 전송 시 기존 제어/베어러 설정 과정 없이 저장한 파라미터들을 재사용하는 방안이 필요하다.³¹⁾ 또한, 무선 구간에서 이 오버헤드를 최소화하기 위한 방안으로 제어 메시지를 통한 데이터 피기백 방식, 3-step 데이터 전송 방식, 그리고 데이터 직접 전송 방식들을 고려할 수 있다.

Modulation and Coding

최근 스펙트럼 효율과 전력 효율을 동시에 고려하고 저속 데이터 전송에 적합한 변조방식과 채널 코딩 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. GMSK (Gaussian filtered Minimum Shift Keying)는 가우시안 저역통과 필터 (gaussian low pass filter)를 통해 스펙트럼을 집중시켜 대역외 스펙트럼 특성을 개선하고, PAPR (=0 dB)이 매우 우수하며, 주파수 오프셋과 도플러 천이에서도 좋은 성능을 보이는 장점을 가지고 있다. 한편, 터보 코드가 짧은 패킷에서 성능 열화와 에러 플로 (error floor)의 단점을 가지고 있기 때문에, 이러한 문제를 극복하기 위해 짧은 패킷에서 더욱 우수한 성능을 보이는 Polar 코드가 디코딩 복잡도 문제까지 함께 해결하는 채널부호화 방식으로 각광받고 있다.

2.3.4 Multiband Single Antenna

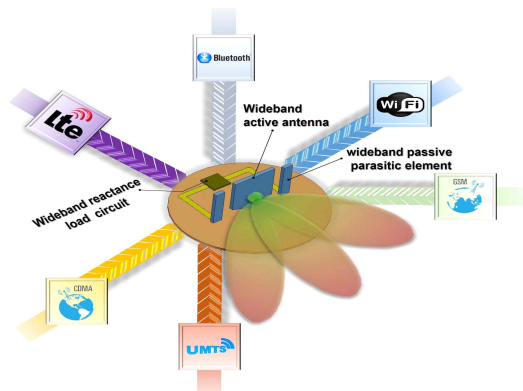


그림 43 다중 대역 단일 안테나 개념도

현재 단말에는 산재해 있는 상용 주파수 대역을 지원하기 위해 대역별로 개별적인 안테나가 포함되어야 함에 따라 고비용, 고복잡도, 다수의 안테나에 따른 안테나 성능저하 등의 문제점이 발생한다. 특히, 상용주파수가 밀리미터파와 같이 높은 주파수로 가면서 필수적인 빔형성을 위한 복수개의 안테나는 이러한 문제를 더욱 가중시킨다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 상용주파수 대역을 지원할 수 있는 단일 형태의 안테나를 개발할 필요가 있다.

상용 안테나들은 무지향성 패턴을 사용함에 따라 모든 영역을 커버할 수 있지만 안테나의 이득이 낮아 송·수신 속도 및 용량증대에 단점이 존재한다. 현재 사용 중인 상용 빔포밍 안테나는 배열 안테나 구조를 사용하여 안테나의 이득 증대에는 효과가 있으나 다수의 안테나 소자, 고가의 위상변위기 및 감쇄기 사용, 복잡도 및 시스템 전체 크기의 증가를 야기한다. 따라서, 상용 주파수 대역을 지원하는 광대역 안테나와 이득을 증가시킬 수 있는 빔포밍

31) 이는 현재 고려중인 대부분의 IoT 디바이스들(예, smart metering, home automation 등)이 이동성이 적거나 고정적이기 때문에 가능하다.

회로 기술을 접목한 소형 단일 안테나 기술 개발이 필요하다. ETRI에서는 광대역 안테나와 그 주위에 수동형 기생소자를 위치시켜 광대역 리액턴스 부하 정합 기술을 사용한 빔포밍 안테나를 개발함으로써 5G mMTC를 위한 초소형 디바이스 개발의 돌파구를 찾고자 한다.

Ultra Wideband Single Antenna

상용 다이폴 및 모노폴 안테나 기술은 협대역 특성을 위한 안테나이므로, 광대역 안테나를 위해서는 방사체로 인가되는 전류의 흐름을 최대한 부드럽게 유도되도록 설계해야 하며, 급격한 임피던스 변화를 지양하도록 설계해야 한다. 또한, 능동 안테나 주위에 수동형 기생소자를 추가할 경우 능동 안테나와 수동형 기생소자간의 높은 상호결합에 의한 안테나의 성능 열화를 막기 위해, 능동 안테나와 수동형 기생소자간의 거리 및 각각 소자간의 정합과 적절한 상호결합의 조정으로 인한 최적의 표면전류 특성을 유도해야 한다.

그림 29에 도시된 ETRI에서 개발한 다중대역 단일안테나 구조는 능동 안테나 주위에 2.45 및 5.8 GHz를 동시에 만족하는 공통 기생소자가 위치하고, 하나의 기생소자에서 2개의 주파수를 갖는 이중대역 기생소자를 구현하였다. 또한, 안테나 후면에 동작 주파수대역과 빔 포밍 그리고 최대 이득을 만족하도록 최적의 리액턴스 로드 알고리즘을 구현하여 단일 광대역 안테나에 적용하여 안테나를 설계하였다. 그림 30에 나타난 다중대역 단일 안테나의 성능 결과에 따르면, VSWR<2 조건에서 1.55 ~ 6.24 GHz의 동작 주파수를 만족하며, 방사 패턴은 2.45 GHz에서 약 6.1 dBi, 5.8 GHz는 약 7.1 dBi의 이득으로 기존의 무지향성 안테나에 비해 매우 높은 이득값을 보임을 확인할 수 있다.

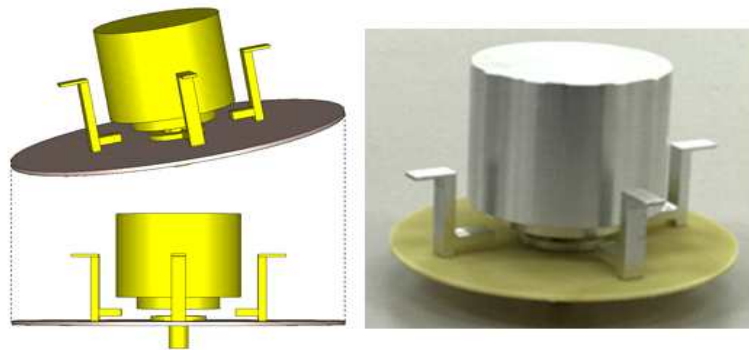


그림 44 다중대역 단일 안테나 구조

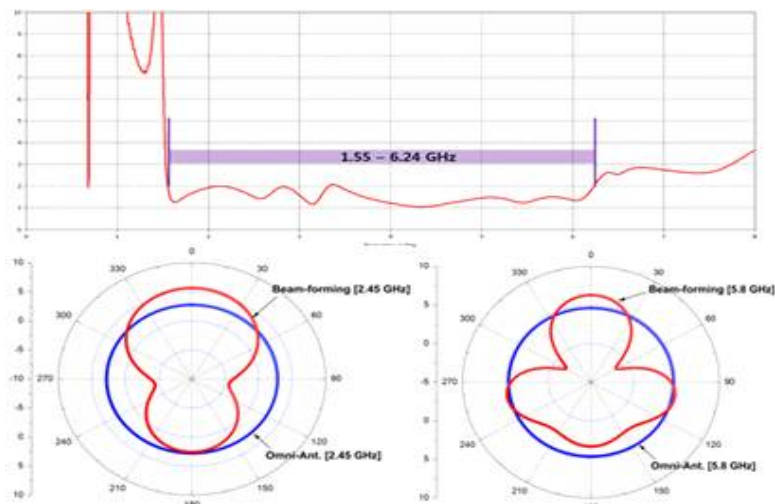


그림 45 다중대역 단일 안테나 VSWR 및 방사패턴 결과

Reactance Loading Procedure for Beam-forming

ETRI는 빔포밍을 위한 최적의 리액턴스 로드 설계를 하기 위해서는 능동소자와 기생소자 간의 관계를 수학적으로 기술하고, 이를 바탕으로 비용함수(cost function)를 평가함으로써 최적의 리액턴스 로드 설계를 수행하였다. 이러한 수학적 접근은 Parasitic array의 경우 모든 기생소자가 능동소자에 근접하여 배치되어 있기 때문에 관련 기생소자를 vacuum 처리할 수 없으며, 기생소자의 개수를 줄이거나 능동소자와 기생소자 간의 간격을 늘리면 해석 및 수식 전개가 비교적 수월하지만 패턴 재구성도 (pattern reconfigurability)가 낮아져서 다양한 형태의 방사 패턴을 재구성하지 못하는 문제가 있다. 반면, 재형성도 향상을 위해 기생소자를 추가 배치할수록 해석 복잡도는 비선형적으로 증가하는데, 구현시 임피던스 정합 난이도를 고려하여 짝수 단위로 추가 배치하기 때문에 수학적 해석은 더욱 어려워진다.

이러한 문제를 해결하기 위해, 제어시스템 엔지니어링을 이용하여 Parasitic array의 모든 구성요소들을 재해석 및 정규화 함으로써, 전력 및 위상 추정 함수와 오류정정 함수를 설계하고, 이의 복잡도를 줄이기 위해 간략화된 전력 및 위상 추정과정을 오류정정 블록이 반복적으로 보완하도록 함으로써 실제 값에 근사한 추정값을 계산할 수 있다. 이를 통해, 그림 해당 함수의 기본 개념을 바탕으로 확장 또는 축소 설계함으로서 parasitic array 내부의 순간 파형, 반사파 이득, 이득추정, 내부 방사패턴을 위한 계수 추정, 활성포트를 위한 VSWR 등을 수식없이 추정할 수 있게 된다. 이러한 장점을 이용하여 ESPAR 안테나의 기생소자가 증가하더라도 별도의 수식 유도 과정 없이 위의 함수를 활용한 반복적 연산 처리 과정을 통해 마치 수식을 기반으로 계산한 값과 매우 근사한 추정값을 손쉽게 획득할 수 있다.

ETRI에서 개발중인 빔포밍 안테나에서 모델링의 오차를 줄여 설계자의 의도대로 방사 패턴이 형성될 수 있도록 하기 위해, 안테나 구조 고유의 내부(Embedded) 방사패턴을 방사 패턴 모델링에 반영하였다.

내부 방사패턴을 이용하여 방사패턴을 모델링하기 위해서는 parasitic array의 로드 임피던스 상태에 따라 변하는, 각 기생소자를 위한 가상의 전력 소스를 모델링 할 수 있어야 한다. 여기에 앞서 언급한 새로운 안테나 구조 해석 방식을 활용하여 비록 수식적으로 접근할 수는 없지만, 실제와 근사한 결과값을 도출할 수 있었으며 이러한 일련의 과정을 통해 parasitic array의 방사 패턴 모델링을 보완할 수 있었다. 따라서, 빔포밍 패턴 설계 도메인도 기존의 전류 도메인에서 3차원 통합시스템(예, spherical coordinate system)으로 변환하였다. 설계한 몇 가지 리액턴스 로드 조합을 EM 시뮬레이션에 반영하여 알고리즘 설계 단계에서 합성한 패턴과 VSWR 추정값을 비교함으로써 모델링 오차가 매우 적음을 확인하였고, 리액턴스 로드 설계 과정을 알고리즘 형태로 구성하였고, 안테나 성능까지 추정 및 반영하여 설계함으로써 상용 안테나 설계 소프트웨어의 시뮬레이션 결과와 상당히 근접한 결과를 얻을 수 있게 되었다.

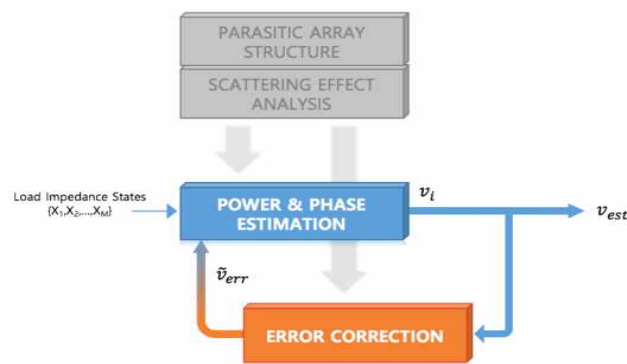


그림 46 제안된 안테나 구조 해석 방식 개념도

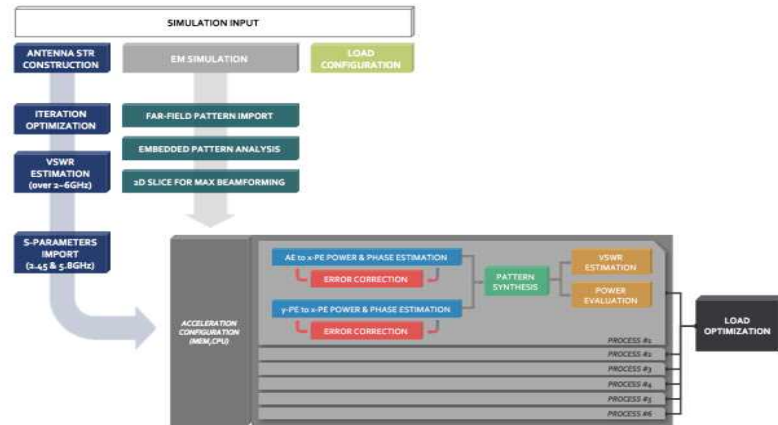


그림 47 빔포밍용 리액턴스 로드 설계 시뮬레이터 구조도

2.3.5 Single RF chain MIMO

5G 통신 모듈을 고성능·고집적도·고효율을 모두 고려하여 설계하기 위해 초소형 고효율의 단일 RF 체인 MIMO (Single RF Chain MIMO) 기술을 개발하였다. 단일 RF 체인 MIMO 기술은 단일 RF 체인 및 기생 소자 (parasitic antenna)를 갖는 단일 능동 안테나와 안테나 방사 패턴 제어용 회로로 구성하여 기존 MIMO 효과를 얻을 수 있는 기술로서, 기존 MIMO 대비 RF 체인의 수를 감소시켜 시스템 에너지를 절감하고 RF간 간섭을 줄이는 장점을 갖는다. 따라서 이 기술은 단말 및 소형셀 기지국, 무선백홀 시스템뿐만 아니라 및 무선에 연결되는 미래의 모든 디바이스 (X-디바이스), 특히 초소형·고효율화를 지향하는 IoT 디바이스를 위한 핵심 기술이라 할 수 있다.

이 기술을 적용한 ESPAR (Electronically Steerable Parasitic Array Radiator) 안테나는 한 개의 능동 소자와 두 개의 기생 소자 간에 발생하는 상호작용을 이용하여 주로 기저대역에서 이루어지는 변조 동작을 RF 및 안테나 도메인까지 응용 확장한 초소형 안테나이다. 단일 RF 체인과 ESPAR 안테나를 사용하는 BS-MIMO (Beam Space MIMO) 기술은 MIMO 송신 효과를 얻기 위해 기생 소자의 임피던스 로드에서 기생 소자에 유도되는 전류가 달라지는 동작 원리에 의해 안테나가 방사 패턴 재형성 기능을 갖도록 하는 것이다[43]. 우리는 BS-MIMO를 직교 기저 패턴들의 합으로 모델링하고 각 직교 기저 패턴에 변조 신호에 해당하는 가중치가 반영될 수 있도록 신호 모델을 설계하였다[44].

단일 RF체인과 ESPAR 안테나를 사용한 BS-MIMO 수신기는 MIMO 수신 효과를 얻기 위하여 단일 RF 체인에 중첩되어 있는 다중 스트림을 분리 하는 BSA (Beam Switching Antenna) 기법을 이용한다. BSA의 첫 번째 특징은 안테나간의 이격 대신 서로 독립인 빔 패턴을 통해 수신함으로써 채널의 독립성을 보장할 수 있다. 이는 무선채널이 입사각과 도래각이 서로 다른 다중경로의 합으로 이루어진다는 특성을 이용하여, 서로 다른 빔 패턴을 통해 입사하는 경로를 선택적으로 취득함으로써 하나의 안테나 수신에서 서로 독립인 수신 신호를 얻을 수 있게 된다. 두 번째 특징은 단일 RF 체인만을 사용하기 때문에 다수의 빔 패턴을 각 심볼시간 동안 시분할적 방법으로 스위칭하며 사용해야 한다. 따라서, 심볼시간 안에 각각의 빔 패턴으로 최소 1회 이상 스위칭하여 수신을 해야 해당 심볼에 대해 서로 다른 채널에서 측정된 결과를 얻을 수 있다[45].

그림 48과 그림 49는 단일 RF 체인을 이용한 ESPAR 안테나 실물과 송수신 시험을 통한 방사 패턴 측정 결과를 보여준다. 그림 50에서는 무선 송수신 시험 환경을 구성하여 단일 RF 체인을 이용한 송신기의 MIMO 기능을 수신기의 신호 성상도를 보여준다. 송신기는 단일 RF 체인을, 수신기는 범용 2x2 MIMO 수신 안테나를 활용하였으며, 대역폭 0.96 MHz인 BPSK 변조 신호를 이용하여 기능 검증을 확인하였다[32]. 그림 51에서는 수신기가 빔을 빠르게

게 회전하는 단일 RF 체인 안테나를 사용하여 대역폭이 3 MHz인 LTE QPSK 및 16QAM 신호를 2x2 MIMO로 송신한 결과, 수신기에서의 성상도를 얻었다. QPSK 및 16QAM에서 얻은 스트림별 SNR은 각각 (33.2dB, 34.5 dB)와 (35.2dB, 32.8 dB)으로 우수한 성능을 보였다.

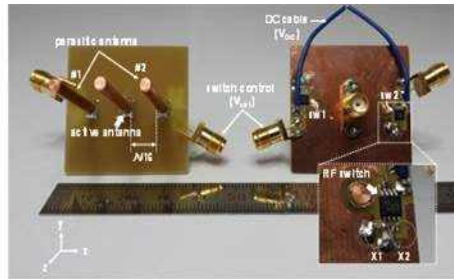


그림 48 단일 RF 체인을 이용한 2x2 MIMO 안테나 형상도

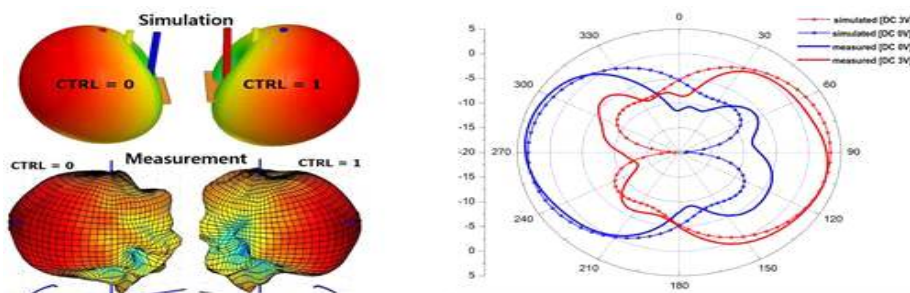


그림 49 단일 RF 체인을 이용한 2x2 MIMO 안테나의 방사패턴 측정 결과

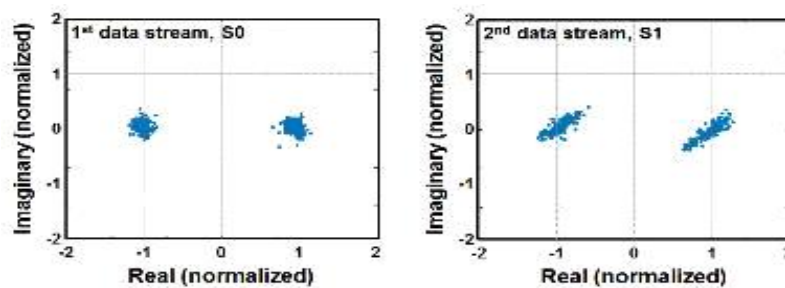


그림 50 단일 RF 체인 송신 시험 결과 (2x2 MIMO 수신 성상도)

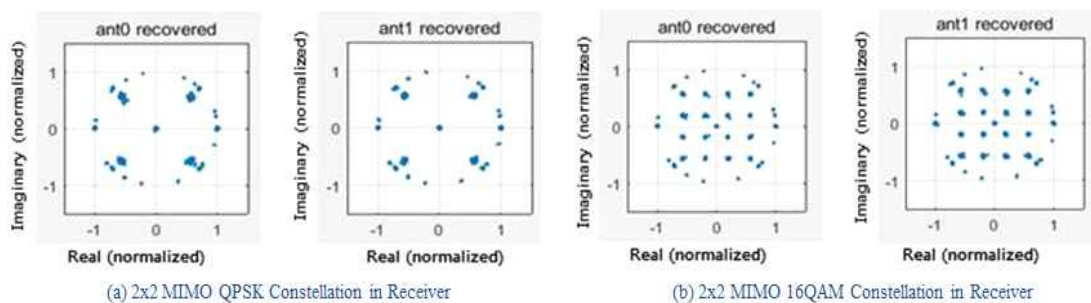


그림 51 단일 RF 체인 송신시험결과 (2x2 MIMO 수신 성상도)

32) 첫 번째 데이터 스트림과 두 번째 데이터 스트림의 SNR은 각각 20.6 dB과 16.7 dB이다.

2.4 5G Xhaul Network

5G 모바일 트래픽의 기하급수적인 증가에 대처하기 위해, 5G 무선 접속 네트워크는 CoMP (Coordinated multi-point operation), CA(Carrier Aggregation), MIMO 등과 같은 최신 무선 인터페이스 기술의 도입뿐만 아니라 기지국 밀도를 증가시키는 방향으로 진화하고 있다. 이러한 모바일 데이터의 급증과 기지국의 조밀화는 프론트홀 (Fronthaul), 미드홀 (Midhaul) 및 백홀 (Backhaul)의 획기적인 증설을 필요로 한다. 하지만, 데이터 증가량에 따라 통신 사업자의 수익이 비례하여 증가하지 못하기 때문에, 기존의 고정된 유선 솔루션의 증설의 접근 보다는 구조적 유연성을 증대시키고 통합적 관리를 제공하여 통신 사업자의 비용 효율성을 제고할 수 있는 새로운 개념의 기술이 필요하다.

이를 위해, ETRI에서는 무선접속 네트워크에서 사용하는 프론트홀/미드홀/백홀을 단일한 프로토콜로 무선화하고 네트워킹 요소들을 중앙 집중형으로 통합 관리하여 네트워크의 유연성과 통합성을 높일 수 있는 멀티홉 메시 기반의 이동 엑스홀 네트워크 (Mobile Xhaul Network; MXN) 구조와 각각의 기능 요소들을 제안한다.

2.4.1 5G Mobile Xhaul Network Architecture

우리가 제안하는 이동 엑스홀 네트워크는 모바일 데이터의 급증에 대처하기 위해 기존 유선 기반 엑스홀³³⁾의 용량을 보조적으로 지원하는 역할 뿐만 아니라, 가변적인 모바일 데이터 수요에 동적으로 대응할 수 있는 네트워크 유연성을 제공하고, 특히 통신사업자의 이동 네트워크 및 임무 지향형 네트워크의 구축 용이성 및 비용 효율성 향상을 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

MXN Architecture and Functional Elements

그림 52에서는 MXN의 구조와 각각의 기능 요소들을 기술하고 있다. MXN은 엑스홀 트래픽을 중계하기 위한 무선 전송 노드인 XDU (Xhaul Distribution Unit)와 MXN 망에서 데이터 경로를 효율적으로 제어·관리하기 위한 중앙집중적 제어 노드인 XCU (Xhaul Central Unit)로 구성된다. 엑스홀 트래픽의 무선 송수신을 담당하는 기능 요소인 XDU는 인접 XDU에 제한된 국소적 제어 및 무선링크 설정 기능을 수행하며, 다중 안테나를 통해 구성되는 복수의 빔 또는 다중 레이어를 통해 B6G/A6G³⁴⁾ 기반 무선 송수신을 수행한다. 한편, XCU는 외부 기능 노드와의 인터페이스 기능, 경로 관리 기능 (xPM), 이동성 제어 기능(xMM), 전체 자원 관리 기능(xRM), 그리고 네트워크 토폴로지 관리 기능(xTC)을 가진다.

무선 송수신을 위해 XDU는 탐색 신호 송수신, 주변 XDU 정보 식별 및 식별된 XDU 간의 무선링크 설정, 그리고 탐색된 XDU 관련 정보 관리를 수행하는 노드 탐색 및 초기 액세스 절차를 수행한다. 초기 액세스 이후, XDU는 XCU로의 등록 절차를 통해 종단간 경로를 설정한다. XDU는 마스터(master)와 슬레이브(slave)의 역할로 구분되는데, 마스터 XDU는 엑스홀 링크의 무선자원 할당 및 이동성 제어 등의 중앙 집중적 관리를 위해 XCU로의 측정/보고 등을 수행함으로써 슬레이브 XDU를 제어한다. 한편, XCU에 의한 경로 설정이후, XDU간 무선 베어러를 설정/변경/해제하는 H2DRB (H2 Data Radio Bearer) 설정하고, MXN 통합 Xhaul 데이터 전송 프로토콜 변환, QoS 기반 멀티홉 데이터 전송, 중복 송수신 등의 기능을 포함하는 통합 엑스홀 데이터 전송 (Unified Xhaul Data Transport) 프로토콜에 의해 엑스홀 트래픽이 전송된다.

33) 프론트홀, 미드홀 및 백홀을 포함하는 네트워크 노드간 전송을 총칭함.

34) B6G: Below 6GHz, A6G: Above 6GHz

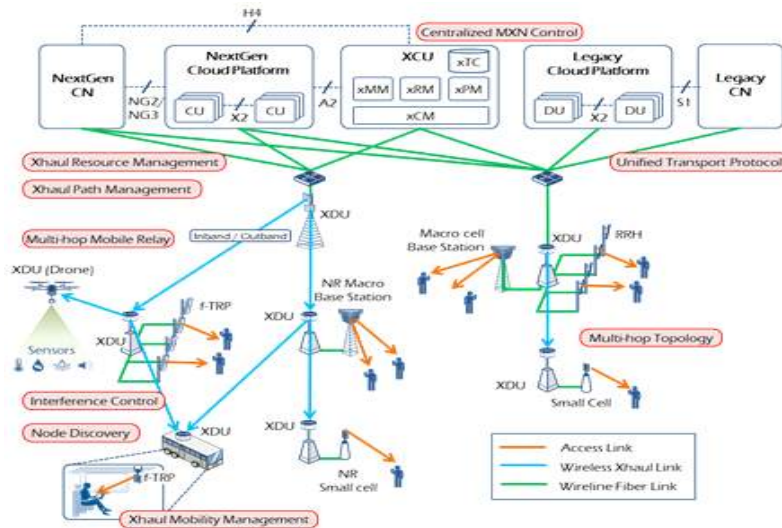


그림 52 이동 엡스홀 네트워크 구조 및 기능 요소

MXN Technical Issues and Solutions

MXN은 5G RAN에서 정의하는 성능적 핵심 요구사항 (KPI, Key Performance Indicator)인 최대 전송률 (peak data rate), 이동 속도 (mobility), 그리고 지연 시간 (latency) 요구사항을 최대한 수용하고, 더불어 RAN보다 더 높은 네트워크 신뢰성 (reliability)을 달성할 수 있는 기술들의 적용이 요구된다. 특히, MXN은 이동 네트워크 시나리오를 지원하기 위해서, MXN의 토폴로지의 변화에 빠르고 유연하게 대처할 수 있는 기술들을 필요로 한다.

MXN은 기차, 차량, 그리고 드론 등의 이동 네트워크 시나리오를 고려하여, 3차원 공간상에서 전방향 전송이 가능한 다수의 섹터로 구성된 XDU 안테나 구조를 도입하였으며, 이러한 대규모 배열 안테나를 이용한 효율적인 빔포밍과 이를 통한 용량 증대를 위해, 아날로그 파트에서 지향성 빔포밍을 수행하고 디지털 파트에서 다이버시티 빔포밍을 수행하는 2단계 하이브리드 전송 방식을 적용한다. 또한, MXN은 전기적 안테나 틸팅 기법과 다중 패널 가상화 기반의 빔 결합 기법을 동시 적용함으로써 커버리지 영역을 확대할 수 있으며, 특히 4x4 고정형 아날로그 빔포밍 방식에 비해 평균 전송률을 최대 52% 정도 증대시킬 수 있다.

MXN은 망의 신뢰성을 향상시키기 위해, 메쉬 토폴로지 구조를 지원한다. MXN에서는 송수신 이중화 방식에 따른 메쉬 토폴로지 구성 제약 발생의 문제를 해결하기 위해, 지향성 안테나를 이용한 섹터화와 대규모 안테나 배열을 이용한 빔포밍을 적용한 공간 필터링 기반의 무선 전송 방식을 적용하고, 토폴로지 기반 동적 자원할당 기법과 combining 기법 등을 적용한 MIMO K-user IC (Interference Channel) 방식을 도입하였다. 제안하는 MXN 메쉬 토폴로지 제공 기술은 메쉬 토폴로지를 구성하는 XDU가 6개이고 안테나가 256개인 경우에, 최대 65.6%가 증대된 Ergodic 용량을 달성할 수 있다.

또한, 이동 네트워크 시나리오에서 XDU의 이동성에 따른 XDU 탐색을 위한 빔 탐색 및 초기 접속을 위해 소요되는 시간지연을 줄이기 위해, 전체 빔들을 다수의 부집합으로 그룹화하고 이 부집합 단위로 빔 스위핑을 병렬로 수행하는 방식을 적용한다. MXN의 사용자 평면에서는 프론트홀/미드홀/백홀 등의 다양한 프레임 타입의 패킷을 단일한 포맷으로 통합 전송하고 엡스홀 QoS를 고려하여 무선 포워딩을 수행하는 캡슐화 (en/de-capsulation) 기반 MXN 단일 전달 프로토콜(MXN Unified Transport Protocol; MUTP)의 기능을 포함한다.

MXN의 이동성과 신뢰성을 강화하기 위해 MXN은 중앙집중형 제어 방식을 기반으로 다중 연결성 (multi-connectivity) 기능을 도입하고 핸드오버 실패 극복 및 데이터 중단 시간 (data interruption time) 최소화를 위한 중복 전송 기법 및 타이머 기반의 단말 중심의 핸드오버

기법을 적용하였으며, 무선링크에 발생된 문제에 빠르게 대처하기 위해 기존 라우팅 방식들을 병행하여 수행하는 교차 혼합적 라우팅 제어 방식을 제시하였다. 제안하는 라우팅 방식은 다수의 장애물이 존재하는 도심지역에서 XDU의 이동속도 전 구간에서 기존 라우팅 방식들에 비해 12.8% 이상 개선된 평균 전송 용량을 달성할 수 있다.³⁵⁾

MXN Integrated Simulator

MXN 구조와 기능 요소 그리고 Xhaul 링크성능 검증을 위해서 NS-3 기반의 MXN 네트워크 시뮬레이터 및 MXN 시스템 시뮬레이터(System Level Simulator; SLS)를 개발하고 이를 통한 기술 검증을 수행하였다. MXN 시스템 시뮬레이터에서는 MXN 무선전송 설계 내용을 반영하고 XDU 안테나 구조를 고려한 안테나 방사 패턴을 적용하였으며, 밀리미터파 대역의 특성을 고려한 채널 모델을 구현하였다.³⁶⁾

그림 53에서는 밀리미터파 대역 특성과 대규모 안테나 배열을 이용한 빔포밍 기술을 통해 간섭 제한적 (interference-limited) 환경을 극복하여 도심환경 (Urban Micro; UMi)에서 최대 전송률 20Gbps 이상을 달성할 수 있음을 확인할 수 있다.³⁷⁾

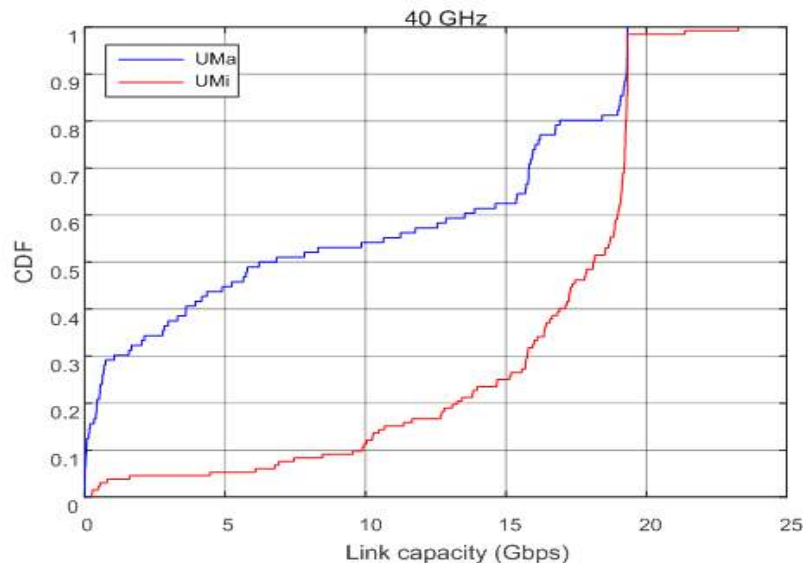


그림 53 MXN 시스템 용량 분석 시뮬레이션 결과

2.4.2 Millimeter Wave Xhaul Network

앞에서 기술한 MXN에서 가장 중요한 핵심요소로는 이동성을 제공하면서 XDU간 수십 Gbps의 전송용량을 확보할 수 있는냐에 초점이 맞추어진다. 따라서, 우리는 mmWave 광대역 주파수를 활용하여 XDU간 전송용량의 가능성을 확인하고, 특히 이동중에서도 Gbps급 전송용량을 유지하기 위해 필요한 빔형성 및 빔추적 기술 등을 테스트베드에 반영함으로써, 결과적으로 MXN의 활용 가능성을 검증하고 있다.

35) 성능 분석 환경: 3GPP TR 38.900의 Geometric 기반 blockage 모델 적용, 1~20 m/s의 XDU 속도, 3x4 meter의 obstacle width/height, 8 meter의 obstacle center와의 거리 (균일 분포)

36) 3GPP TR38.900 준용

37) UMi 환경에서 최대 23.27Gbps, 평균 16.02Gbps, 하위 5% 4.47Gbps 결과를 도출하고, UMa 환경에서는 최대 19.33Gbps, 평균 8.87Gbps, 하위 5% 0.01Gbps의 결과를 도출

mmWave MXN Testbed

밀리미터파 기반 MXN 테스트베드는 XDU간 전송용량과 이동성을 검증하기 위해, 인접한 XDU간의 링크에 국한함으로써 단일 홉을 가정하였으며, 상위 XDU(이하 '허브'로 기술)와 하위 XDU(이하 '터미널'로 기술), 그리고 제한된 기능만을 포함하는 XCU(이하 mXCU로 기술)로 구성된다.

허브와 터미널은 모두 MXN에서 XDU에 해당되며 경로설정에 따라 상위 XDU와 하위 XDU를 의미하는 것으로, 유연하면서도 대용량 데이터 전송을 위해 광대역의 주파수 활용이 가능한 밀리미터파 기반의 무선링크 정합을 제공한다. 허브는 복수의 터미널들의 접속을 지원하며, 터미널의 이동에 따른 허브-터미널 간 이동성을 제공한다. 또한, 허브와 터미널은 모두 프론트홀 및 백홀 기능을 동시에 지원하고, 기존의 이동통신 시스템뿐만 아니라 5G 이동통신 기지국 등 차세대 RAN 정합으로 활용될 수 있도록 범용 인터페이스를 제공한다.

예를 들어, 백홀 서비스로는 4G/5G 기지국이 터미널과 정합되고 코어 네트워크는 허브에 연결되어 백홀을 무선으로 제공해주며, 프론트홀 서비스로는 4G/5G DU가 허브와 정합되고 RU 또는 기지국 기능 분할에 따라 구성된 TP(Transmit Point)가 터미널과 연동하여 프론트홀 기능을 수행한다. 또한 RAN의 기능 분할에 따라 레이어별로 다변화 된 인터페이스를 가지게 되는 미드홀을 정합 할 수 있는 기능을 제공한다. 이 테스트베드에서는 허브는 고정형으로, 터미널은 이동할 수 있는 형태로 구성하며, 터미널에는 이동통신용 소형셀 혹은 WiFi AP 등을 연결할 수 있도록 한다.

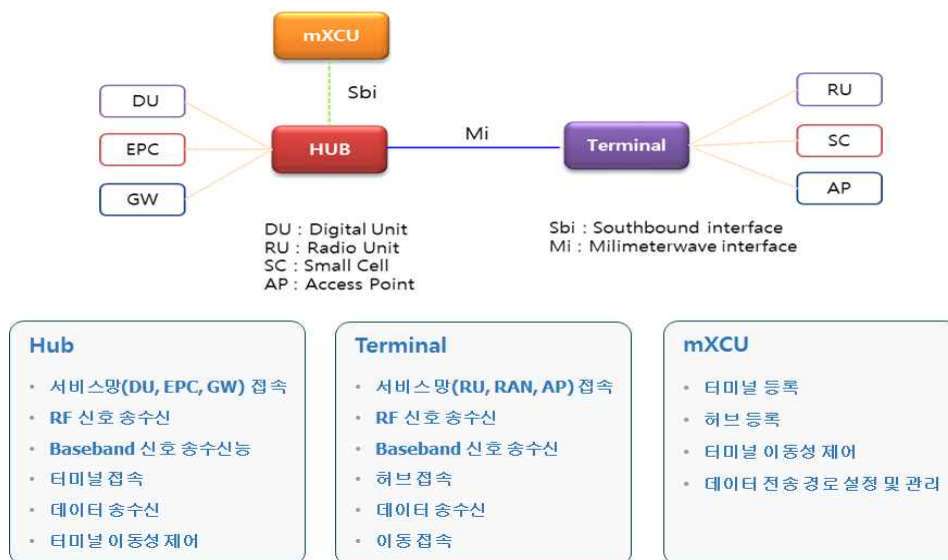


그림 54 밀리미터파 이동 엑스홀 네트워크 테스트베드 기능 및 구성

밀리미터파 이동 엑스홀 네트워크의 제어평면(Control Plane)은 프론트홀, 백홀, 미드홀이 통합된 전송망에 대한 제어기능을 수행한다. mXCU는 SDN/NFV 기반의 제어부로서 네트워크 자원 전반에 대해 할당 제어 및 관리의 역할을 수행한다. 집중화된 제어구조를 통해 mXCU는 제어계층과 데이터계층의 분리와 SDN의 Sbi (Southbound Interface)기반의 인터페이스를 사용한다. Sbi를 통하여 제어부는 네트워크 하드웨어에 대한 표준화된 프로그래밍 및 모듈화된 응용 개발을 가능하게 한다. SDN기반 제어부는 효율적이고 통합적인 제어를 위하여 계층화된 제어부로 구성된다. mXCU는 전송 네트워크에 대한 통합적인 가상화 관리와 편성 기능을 수행하며 SDN에서 제공하는 Nbi (Northbound Interface)를 통해 응용계층과 정합된다. 또한, 서로 다른 형태의 망 자원을 이용한 전달망의 구성을 위하여 필요한 자원 할당 및 설정, 그리고 관리기능을 수행하고, 네트워킹, 컴퓨팅, 저장 및 터미널의 이동성 제어 기능 등을 통해 터미널 이동에 따른 동적인 연결 설정 및 재구성을 수행할 수 있다.

밀리미터파 이동 엑스홀 네트워크의 데이터 평면(Data Plane)에서는 mXCU 제어에 의해 다양한 형태의 엑스홀 트래픽을 이웃 노드로 전송하기 위하여 엑스홀 데이터를 수용하는 공통 데이터 형태인 MCF (MXN Common Frame)을 사용한다. 허브 및 터미널은 AF (Adaptation Function)를 통해 각기 다른 접속망의 데이터를 MCF 형태로 변환하거나 MCF 데이터를 접속망의 규격에 맞도록 변환하는 역할을 수행한다. 또한, 밀리미터파 대역에서 MCF를 준용하는 Mi 인터페이스를 통해 데이터를 전송하고, Sbi 인터페이스 통해 제어 평면과 통신하고, 데이터 평면에서는 밀리미터파를 기반으로 한 MCF로 구성된 Mi 인터페이스를 통해 데이터를 전송함으로써 향후 개방화 및 표준화에 대응한다. 밀리미터파 이동 엑스홀 네트워크의 기본 절차는 3단계로 구성되는데, 각 단계는 1) 서비스망의 말단에 해당하는 DU, RU, EPC, GW 등과 터미널 및 허브가 연결을 설정하는 EP 연결 단계, 2) 이동 엑스홀 네트워크의 밀리미터파 무선 전송 서비스를 위해서 허브, 터미널 및 mXCU 간의 무선 연결 절차를 수행하는 UT(Underline Technology) 설정 단계, 그리고 3) 실질적인 서비스 망의 데이터 전송 서비스를 수행하는 MCF 통신 단계와 같다.

또한, 이 테스트베드에서는 무선링크당 10Gbps 이상 전송용량을 확보하기 위해 스위칭형 빔포밍 기반 SD-MIMO 기술, 적응형 빔포밍 기반 패턴편파 MIMO 기술 등을 동시에 적용하고 있으며, 더불어 실시간 적응형 빔형성 적용기술도 함께 개발하고 있다.

2.4.3 High-speed Millimetre Wave Backhaul

우리는 모바일 광대역 서비스의 활용 사례 중 하나인 고속 이동 환경 시나리오를 목표로 하는 밀리미터파 기반 초고속 이동무선백홀(mmWave-based MHN backhaul; MHN) 통신 기술을 개발하였다. 이 기술은 24 ~ 26.5 GHz의 비면허 주파수 (500 MHz 대역폭)를 사용하여 500 km/hr의 이동 환경에서도 열차당 1 Gbps의 데이터 서비스를 제공하며, 더 나아가 객실 내 수백명의 사용자들에게 동시에 100 Mbps 이상의 데이터 서비스를 끊임없이 제공할 수 있도록 고속 환경에 최적화된 통신을 목표로 개발되었다(그림 55 참고).

MHN 기술은 열차의 앞뒤 기관실내에 설치된 TE (Terminal Equipment)들이 동일 주파수 내에서 서로 다른 데이터를 받을 수 있도록 하는 SFMF (Single Frequency Multi Flow) 기술을 도입하여 주파수 효율을 2배로 증대시킨다. 이 기술이 가능한 이유는 밀리미터파를 사용하기 때문에 소형의 8x8 array 안테나를 이용하여 세밀한 빔형성³⁸⁾이 가능하여 양쪽 방향에서 상호간 간섭이 최소화되기 때문이다. 또한 RS (Reference Signal) 구조를 새롭게 설계하여 최대 500 km/hr의 고속 환경에서도 도플러의 영향을 최소화할 수 있도록 하였다. 이 외에도 현재 소프트 핸드오버와 유사한 끊임없는 핸드오버 프로토콜을 개발하여 테스트베드에 적용할 예정이다.

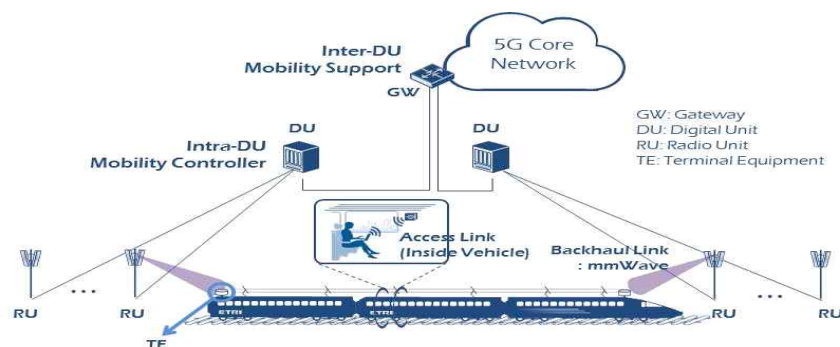


그림 55 밀리미터파 기반 초고속 이동무선 백홀 개념도

우선, 지하철 역사내에 간이 테스트베드를 통해 채널 측정을 수행함으로써 성능평가 및 문

38) 3D beam width 8°

제점 등을 미리 파악하였다. 또한, 2016년 1월에 서울 지하철 8호선에서 실제 역사와 열차 내에 테스트베드를 구축하여 시연하였으며, 2017년 2월 참여기관들과 함께 평균 1 Gbps 급의 전송속도를 지하철 8호선을 최고 90 km/hr로 달리는 열차안에서 실증하였다. 평균 1 Gbps의 전송속도는 현재 지하철에서 서비스 되고 있는 Wibro 기반 백홀에 비해 100배를 초과하는 성능이다. 서울 지하철 8호선에 설치된 시스템의 mRU (MHN Radio Unit)간 거리는 채널 측정결과를 반영하여 300m ~ 1.1km로 총 5개를 설치·운용하였다. (그림 48 참고)

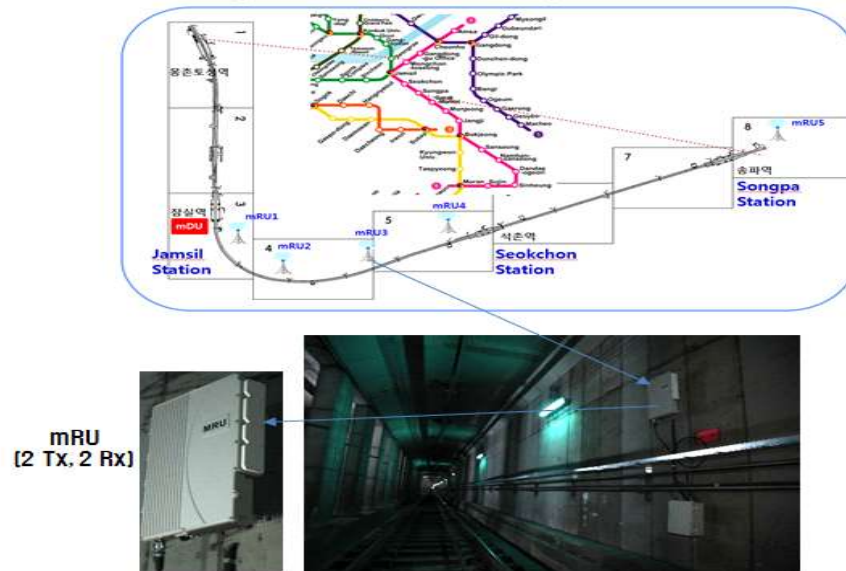


그림 56 서울 지하철 8호선 mRU 설치도 및 mRU 상용 시제품 형상

그림 57에서는 간이 테스트베드를 활용한 지하철내 채널 측정 시험 결과를 보여준다. 지하철 플랫폼의 3개 구간으로 구성된 지하철 터널 환경에서 측정된 결과에 따르면, 평균 경로 손실은 자유공간 경로손실과 유사하며, 곡선 구간 뿐만 아니라 직선 구간에서도 페이딩 현상이 나타나는 것을 확인할 수 있다.



그림 57 서울 지하철 역사내 mmWave 채널 측정 결과 : 수신 전력 (dBm)

5G 비전의 핵심 제공능력 중 하나로 정의된 이동성을 위해서는 최대 500 km/hr 이상의 이동 환경에서도 우수한 통신품질을 유지할 수 있어야 하므로, 향후 밀리미터파 기반 5G 무선 전송기술의 국제 표준화 아이템으로 논의될 것으로 예상된다. 따라서, 우리가 개발한 이 밀리미터파 기반 초고속 이동무선백홀 기술은 고속이동 환경에서 5G 모바일 광대역 서비스를 지향하는 5G V2X 통신을 위한 유력한 후보 기술로 활용될 수 있을 것이다. 또한, 우리는 현재 최대전송속도 10 Gbps를 제공할 수 있는 핵심기술을 개발하였으며, 2017년말에는 기술 시연을 통해 검증할 예정이다.

2.5 5G Core Network

4G 모바일 코어 (Evolved Packet Core; EPC)는 단말로부터 발생하는 모든 트래픽이 필수적으로 거쳐야 하는 노드 (Packet data network GateWay; PGW)가 존재함에 따라 코어 네트워크에 트래픽 집중도가 심화되고, 트래픽 집중화 구조로 인하여 비디오 트래픽 등 대용량/대규모 트래픽 전달 시 네트워크 자원의 불필요한 소모가 발생한다.

또한 이러한 트래픽 집중화 구조는 무선구간의 트래픽 수용 용량 확대에 따른 전송 네트워크 및 코어 네트워크의 비례적 증설을 필수적으로 수반하는 고비용 구조이므로, 특정 노드의 트래픽 집중도가 심한 현재의 4G 모바일 코어 구조는 현재 대비 1,000배의 트래픽을 수용해야 하는 5G의 코어 네트워크 구조로 부적합하다. 더군다나, 사용자 대역폭의 확대를 위하여 이용 가능한 모든 무선자원 (5G+WiFi 등)을 동시에 이용할 수 있는 환경을 필요로 하나 이중 무선 액세스 기술별로 별도의 네트워크를 구축 운영하고 있는 현재 네트워크 구조로는 이중 액세스 자원의 효율적 이용이 불가능한 상태이다.

따라서 5G 코어 네트워크는 트래픽 전달 경로의 비효율성 및 단일 장애점 (single point-of-failure)에 대한 위험성, 새로운 무선기술 도입시 네트워크를 구축하는 반복적 투자 답습, 이중 액세스 네트워크간 끊김없는 (seamless) 서비스 제공의 어려움 등을 해결할 수 있는 단일하고 지속가능한 변혁적 구조로 전환될 것으로 예상된다 [46].

우리는 IMT-2020 무선 기술 (5G 통신) 및 유선, WiFi 등을 포함한 다양한 무선 접속 기술들을 단일 네트워크로 수용하여 트래픽 폭증에 대응하고 미래 5G 모바일 서비스를 효과적으로 전개할 수 있는 인프라 투자 비용의 효율화가 가능한 융합형 5G 코어 네트워크 기술의 연구·개발을 수행하고 있다. 5G 코어 네트워크는 그림 58에서와 같이 다양한 네트워크 접속 기술을 IP 기반으로 수용하고, 단일한 신호체계 및 이동성 제어체계를 도입하여 액세스 기술에 비종속적인 단일 네트워크 시스템 구조로 구성된다.

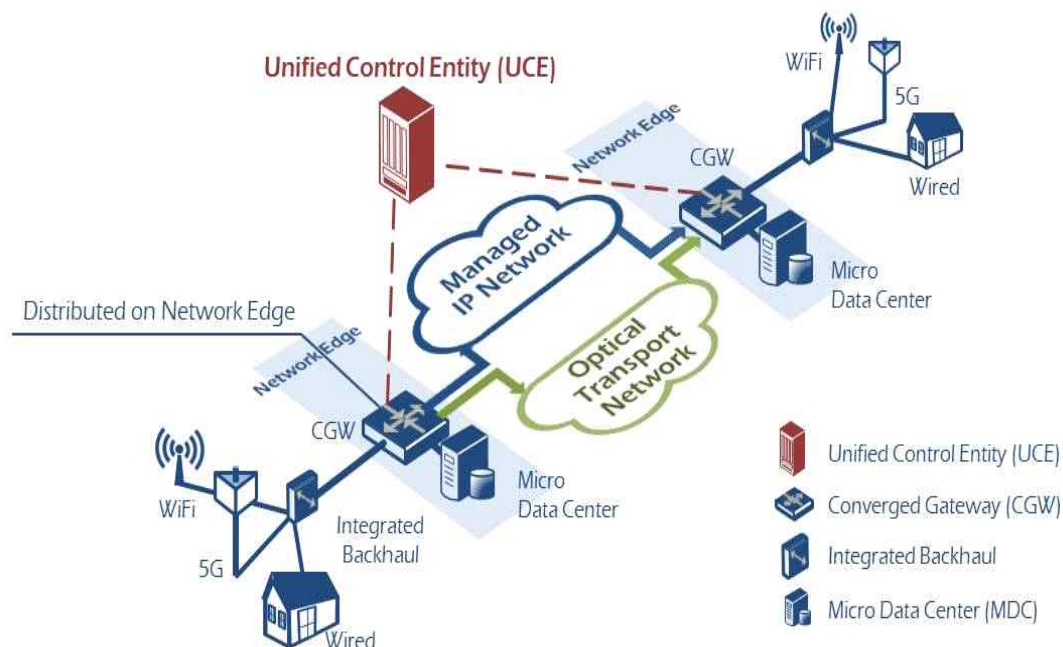


그림 58 5G 코어 네트워크 구조

2.5.1 Direction of 5G Core Network Architecture

5G 코어 네트워크를 구성하는 요소 기술별 세부 내용은 다음과 같다.

Access-agnostic & Unified Core network 액세스-독립적 (access-agnostic) 단일 코어 네트워크는 5G 및 미래의 무선기술을 네트워크 요소의 기능 변경 없이 수용하고 WiFi와 유선 가입자까지도 수용할 수 있는 공통신호 (Common Control/Signaling)³⁹⁾ 체계를 기반으로 한다. 제안하는 공통신호 체계는 경량 접속제어 및 세션제어 프로토콜을 포함하는 유무선 통합제어 기술로써 보안성 및 이동성, 품질보장성을 지원하는 단일 코어 네트워크의 핵심적인 기능을 담당한다.

New IP Mobility 분산 네트워크 환경에서 동종 액세스 및 이종 액세스 간의 실시간 이동성 제공을 위한 앵커를 필요로 하지 않는 (Anchor-Free) IP 이동성 기술은 시그널링 부하를 줄이고 이동성 제어를 위해 요구되는 네트워크 자원을 최소화한다. 앵커를 필요로 하지 않는 IP 이동성 기술은 기존 이동성 제공 기술이 가지고 있는 계층적 앵커링 (anchoring) 문제를 해결함으로써 트래픽 경로 최적화를 달성하고 단일 장애점의 위험성을 제거하는 한편, 이종 액세스 간의 이동성 제공 구조를 단순화시키는 기능을 한다.

Multi-RAT Integration & Management 동종 멀티 RAT 관리 및 WiFi를 포함한 이종 액세스 기술간의 융합을 용이하게 하는 이종 무선 협업 기술을 통해 한정된 무선 자원을 효율적으로 사용하고 사용자 체감 전송률을 증대시킬 수 있다.

Flexible & Lightweight Signaling Procedure 유연하고 단순한 시그널링 체계로 단기 대용량 트래픽을 발생하는 어플리케이션을 위해 비연결성 서비스를 지원함으로써 네트워크 시그널링 부하를 낮추고 저지연 서비스를 가능하게 한다.

Support Low Latency 네트워크 엣지에 다양한 서비스를 수용하고, 시그널링 지연 (delay)을 줄임으로써 저지연 네트워크 서비스를 제공한다.

Distributed Network Architecture 트래픽이 하나의 노드로 집중되는 계층적 네트워크 구조에서 탈피하여 분산된 네트워크 구조로 변경하기 위해서는 분산형 융합 게이트웨이 기술이 필요하다. 분산형 융합 게이트웨이 기술을 통해 트래픽 집중화를 해소하여 수용 가능한 트래픽을 기존 대비 1,000배이상으로 증대시키고 5G 및 이후 무선 기술의 발전에도 지속 가능한 저비용·고효율의 코어 네트워크 구축을 실현할 수 있다.

2.5.2 5G Core Network Architecture

우리는 이상에서 언급한 5G 코어 네트워크를 구성하는 요소 기술별 세부 내용에 따라 5G 코어 네트워크 구조의 참조모델을 개발하였다 (그림 59 참조). UCE(Unified Control Entity)는 5G 네트워크의 제어기능을 담당하고, eUCE(edge UCE)는 지연의 최소화, 계층적 이동성 관리 등을 위하여 5G 네트워크 제어기능 중 일부가 네트워크 엣지에 분산배치되는 장치이다. UCE는 eUCE와의 신호연동을 통하여 Inter-GW간 이동성 관리 기능과, Inter-GW간 경로 최적화 제어 기능을 수행하는 한편, eUCE는 CGW(Converged GateWay) 선택 기능과 GW내 (intra-GW) 이동성 관리 기능을 수행한다. CGW는 5G의 대규모 트래픽을 네트워크에서 효과적으로 분산수용하기 위하여 엣지에 배치되며, 다양한 접속 네트워크를 수용한다. 유·무선 접속망 (5G-RAN, WiFi-RAN, Fixed-AN)들은 단말과는 유·무선 접속기술 고유의 인터페이스를 가지며, 네트워크 측과는 eUCE와의 제어 인터페이스 및 CGW와의 트래픽 전송 인터페이스를 가진다. 단말은 5G 무선접속 인터페이스 뿐만 아니라 다양한 유·무선 접속 인터페이스를 가질 수 있다.

39) 액세스기술 특성에 독립적인 공통신호 체계 및 프로토콜

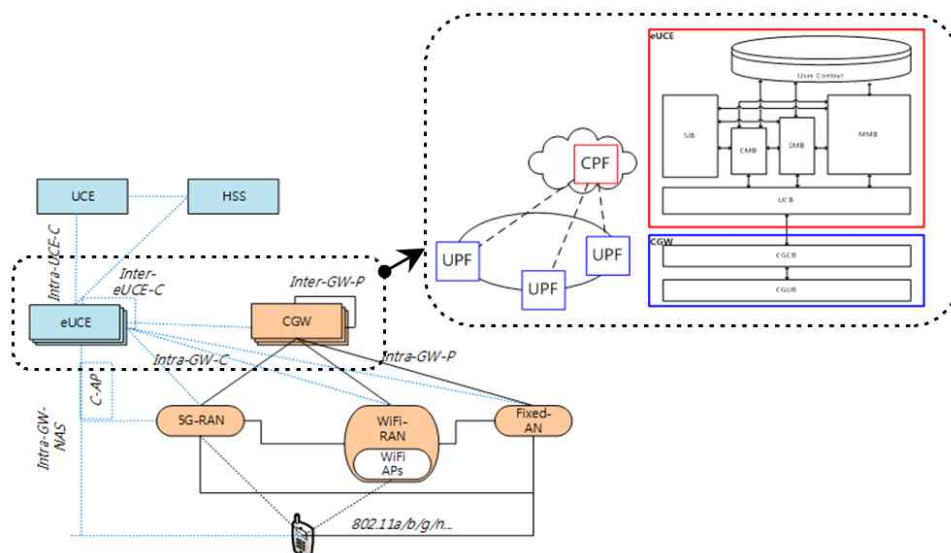


그림 59 5G 네트워크 참조 모델

Separation of Access/Session Control in 5G Core Network

그림 51에서 보는 바와 같이, 5G 코어 네트워크는 CGW에서 사용자 평면에서 트래픽에 대한 처리만 담당함으로써 사용자 평면 함수(User Plane Function; UPF)를 고속으로 처리할 수 있도록 구성하고, eUCE에서 5G 코어 네트워크의 제어 기능 요소들을 하나의 엔티티(Entity)로 정형화하여(prototyping) 코어 네트워크의 에지(edge) 배치하여 제어 평면 함수(Control Plane Function; CPF)를 수행하도록 구성함으로써 사용자/제어 평면 함수를 분리하는 구조를 갖는다. 덧붙여서 우리가 고려하는 5G 코어 네트워크는 접속과 세션 제어 기능 또한 분리되도록 구성한다. 유무선 융합 접속제어는 무선접속기술과 네트워크 기술 간의 종속성을 배제하고, 5G 코어 네트워크에서 액세스 기술에 독립적인 공통 신호체계를 이용한 접속제어를 제공하므로, 유무선 액세스 기술과 무관하게 공통된 방식으로 사용자의 접속을 제어하고 사용자가 요청한 세션을 제어하기 위해서는 5G 코어 네트워크에서 접속제어와 세션제어가 분리되어야 한다.

액세스 기술에 직접적인 영향을 받는 데이터 링크 계층에서 접근 제어는 WiFi 및 고정 네트워크 접속에 대해 EAP (Extensible Authentication Protocol) 기술을 이용하였으며, 액세스 기술과 무관한 NAS(Non-Access Stratum) 계층의 접속제어는 액세스 기술에 독립적으로 공통의 신호방식을 적용한다. 5G 접속 제어는 사용자 컨텍스트 생성 및 관리, 계층 3(Layer 3) 공통 접속 서비스를 위한 계층 2(Layer 2) 접속 인증, 그리고 인증된 사용자에게 대한 IP 및 GUTI 할당 기능이 포함된다. 5G 세션 제어는 사용자별 세션 및 IP 플로우를 관리할 수 있는 스키마 정의 등의 세션 정보를 관리하는 기능, 사용자의 Non-GBR, GBR 세션 요청에 대해 동일한 구조로 권한을 검증하고 세션을 생성 및 삭제하는 기능, 그리고 세션 해지 시 해당 접속망을 통해 생성된 모든 세션을 함께 종료하고 5G의 경우에는 모든 접속망의 세션을 종료하는 세션 디태치 기능으로 분리된다. eUCE의 제어 기능 요소 블록은 다음과 같다.

- SIB (Signaling Interface Function Block): 물리적 요소로 매핑된 기능 요소들간 인터페이스
- CMB (Connection Management Function Block): 사용자의 연결을 제어하는 기능요소
- SMB (Session Management Function Block): 세션을 제어하는 기능 요소
- MMB (Mobility Management Function Block): 사용자 및 플로우 이동성을 관리하는 기능 요소
- UCB (User Plane Control Function Block): 사용자 평면을 제어할 수 있는 기능 요소

Integration of 3GPP and non-3GPP in 5G Core Network

5G 코어 네트워크에서는 단말들이 5G 액세스 네트워크 뿐만 아니라 WiFi 및 Fixed AN 등의 다수의 접속망을 이용하여 접속할 수 있어야 한다. 따라서, 5G 인터페이스뿐만 아니라, WiFi, Fixed와 같은 Non-3GPP 액세스 네트워크에도 NAS 시그널링을 전달함으로써 다중 인터페이스를 통한 NAS 동시 접속이 가능하며, NAS 시그널링을 이용하여 5G 코어 네트워크에서 개별 인터페이스 관리가 가능하도록 구성하였다. 또한, NAS에서는 5G 코어 네트워크와 UE 사이의 시그널링을 지원하는데, 5G 뿐만 아니라 WiFi 및 Fixed AN를 통해 사용할 수 있는 NAS 프로토콜 스택을 함께 제공함으로써 다양한 환경에서 사용자가 더욱 자유롭게 5G 코어 네트워크를 사용할 수 있으며, 5G만을 통해 접속하는 경우보다 연결성을 더 유연하게 제공할 수도 있고 배터리의 효율도 높일 수 있지만, 더욱 복잡한 관리가 필요하다. 그림 60은 각각의 접속망을 통해서 NAS를 제공하는 방식의 사례를 보여준다.

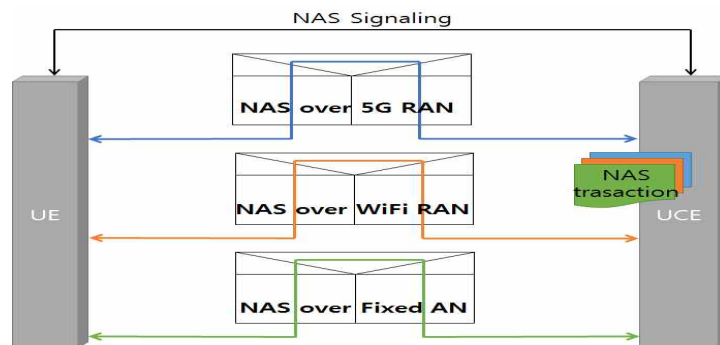


그림 60 개별 접속망을 통한 NAS 메시지 처리

IP Flow based QoS management architecture

우리가 제안하는 5G 코어 네트워크에서는 IP Flow 기반의 공통 QoS 프레임 구축하고, 하나의 사용자에게 최대 대역폭 (Maximum Bit Rate; MBR) 내에서 동적인 GBR 트래픽의 QoS 제어기능을 제공한다. CGW에서의 QoS는 사용자의 인터페이스 (5G, WiFi, Fixed)별 최대 대역폭 관리와 인터페이스별로 최대 대역폭내에서 사용자가 쓰는 플로우별 QoS를 제공한다. 사용자의 인터페이스별 최대 대역폭은 5G 네트워크, WiFi 네트워크, Fixed 네트워크에 대해서 각각 5G-MBR, WiFi-MBR, Fixed-MBR로 표시하였으며, 사용자가 각 인터페이스에서 사용하는 대역은 인터페이스별 최대 대역폭을 초과할 수 없으며, 사용자의 GBR 트래픽 역시 최대 대역폭내에서 허용되도록 구성하였다. IP 플로우별 QoS는 구체적으로 5-Tuple 단위의 마이크로 플로우별 QoS와 여러 개의 마이크로 플로우를 트래픽 클래스에 따라 결합한 매크로 플로우별 QoS로 구분하여 제공한다.

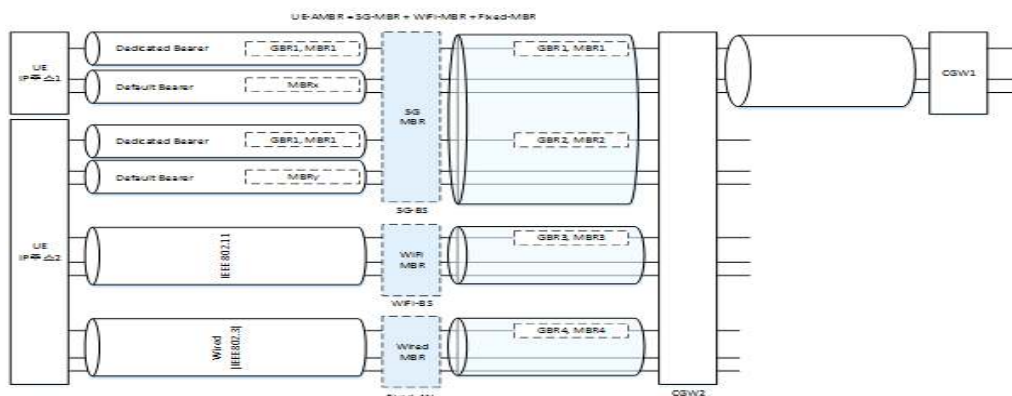


그림 61 QoS 관리 단위 및 구조

3. 5G Way Forward

3.1 Ultra Density

5G의 핵심 서비스 중 하나인 모바일 광대역 (enhanced Mobile Broadband) 서비스는 5G 이후에도 지속적으로 진화할 서비스로서 예상된다. 이 서비스를 위해 5G에서는 새로운 주파수 발굴과 전송효율 향상에 초점을 맞춰 기술적 연구가 진행되었지만, 5G 이후에서는 이미 저도 성능개선의 한계에 도달할 것이다. 우리는 5G 이후에는 셀의 소형화를 통해 고밀도 (Ultra Dense) 셀 구축을 통해서 모바일 광대역 서비스가 달성될 수밖에 없다고 판단하며, 이를 위해 선도적으로 개발되어야 하는 기술에 대해서 접근하고 있다.

물론, 5G에서도 고밀도 군집 네트워크 (UDN)에 대한 연구가 진행되고 있지만, 현재 기술수준으로는 극복해야 할 한계가 많으며, 고밀도 군집을 위해 제공되어야 하는 백홀/프론트홀의 추가 증설에 따른 급격한 비용 증가로 인해 5G에서 상용화되기에는 시기상조이다. 하지만, 모바일 광대역 서비스를 위해서 고밀도 군집 네트워크는 향후 반드시 활용되어야 하는 기술이므로, 5G 이후의 기술(5G Way Forward)의 주요 핵심 기술영역이다. 따라서, 우리는 고밀도 군집 네트워크를 위해 극복해야 하는 한계를 정리하고, 이를 해결하기 위한 방향으로 기술개발을 추진할 예정이다.

3.1.1 Ultra Dense Network

우리는 초고밀도 네트워크를 위해 요구되는 기술을 네트워크 전송 측면과 네트워크 구성 측면을 고려하여 접근하고 있다.

Transmission and Reception in Ultra Dense Network

초 고밀도 네트워크는 송수신점의 밀도가 높아질수록 단위면적당 용량이 선형적으로 증가해야 하나, 다양한 형태의 셀간 간섭 증대, 다양한 송신 전력을 가진 임의의 장소에 위치하는 송신점들에 의한 셀 경계 영역 증대, 셀 커버리지 감소 및 단말의 이동성에 의한 핸드오버 빈도 증가 및 단절 시간, 밀집한 송신점에 의한 백홀 용량의 부족 증대, 송신점 밀집에 따른 에너지 소모 증대 등의 문제가 있다. 이를 해결하기 위한 기술로는 단말 중심의 가상 셀 (UE centric virtual cell)을 형성하는 기술, 송신점들 사이의 협력 전송과 수신점들 사이의 협력 수신, 유연한 백홀 구성이 가능하도록 하는 셀프 백홀 기술, 동적 TDD 간섭 완화 기술 등이 있다. 여기에서 단말 중심의 가상셀 기술과 송수신점간 협력 송수신 기술은 현재 기술개발을 추진중에 있으며, 여기에서는 추가적으로 필요한 기술에 대해서 간단히 소개한다.

우선, 그림 62에 도시된 바와 같이, 셀프 백홀 기술은 마스터 송신점과 슬레이브 송신점들 사이의 무선 백홀 링크와 슬레이브 송신점들과 단말사이의 무선 액세스 링크 사이의 자원을 적절히 활용하기 위해서 필요하다. 또한 송신점들이 밀집될수록 단말과 송신점들 사이에 채널 환경이 LOS의 확률이 높아짐에 따라서 동시에 다수의 데이터를 전송하기 어려운 문제를 극복하기 위하여 마스터 송신점이 주위의 슬레이브 송신점들을 활용하여 전송함으로써 전송 용량을 높일 수 있다. 셀프 백홀을 위해서는 마스터 송신점, 슬레이브 송신점들, 단말 사이의 무선 자원을 적절히 할당하기 위한 자원관리기술과 전송 용량을 증대시키기 위한 마스터 송신점과 슬레이브 송신점들 사이에 MIMO 기술이 필요하다.

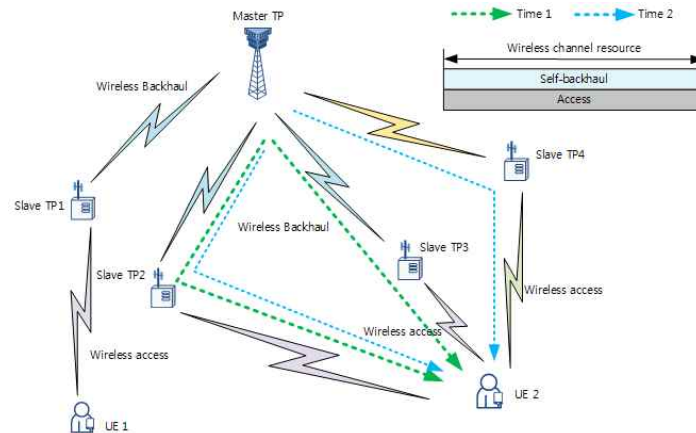


그림 62 UDN을 위한 셀프 백홀링 기술 개념도

또한, 동적 TDD 간섭 완화 기술은 TDD 모드에서 송신점들의 송수신 스위칭 포인트가 일치시키지 않아서 발생하는 간섭 문제를 해결하기 위한 기술이다. 동적 TDD 모드에서 간섭을 완화시키기 위한 기술로는 송신점의 선택/단말의 페어링 관련 전송 기술과 같이 간섭을 회피하는 기술과 동일 채널의 간섭을 제거/관리하는 기술 등이 포함된다.

RAN Softwarization Architecture for Ultra Dense Network

초 고밀도 네트워크를 위한 5G 이후의 무선 액세스 네트워크는 그림 전방부 (Front-End)와 후방부 (Back-End)가 가상화 기능에 의하여 자유롭게 구성될 것이다. RF, 모뎀 그리고 MAC 기능까지 탑재할 수 있는 전방부는 무선 액세스 네트워크에 접속한 사용자의 구성 및 특성에 따라 유연하게 설정될 수 있으며, 이러한 구조가 사용자에게 따른 실효 데이터 전송을 증가 및 필요에 따라 단위면적당 용량 증대 기능을 갖는 무선 액세스 네트워크로 설정될 것이다. 또한, 후방부에는 사용자의 잦은 핸드오버를 방지 할 수 있는 핸드오버 모듈, 전체를 감시하여 무선자원을 유연하게 할당하는 스마트 무선자원관리 기능을 탑재하여, 마치 네트워크가 살아있는 생명체처럼 유연하게 동작될 수 있도록 구성하는 연구가 병행되어야 한다.

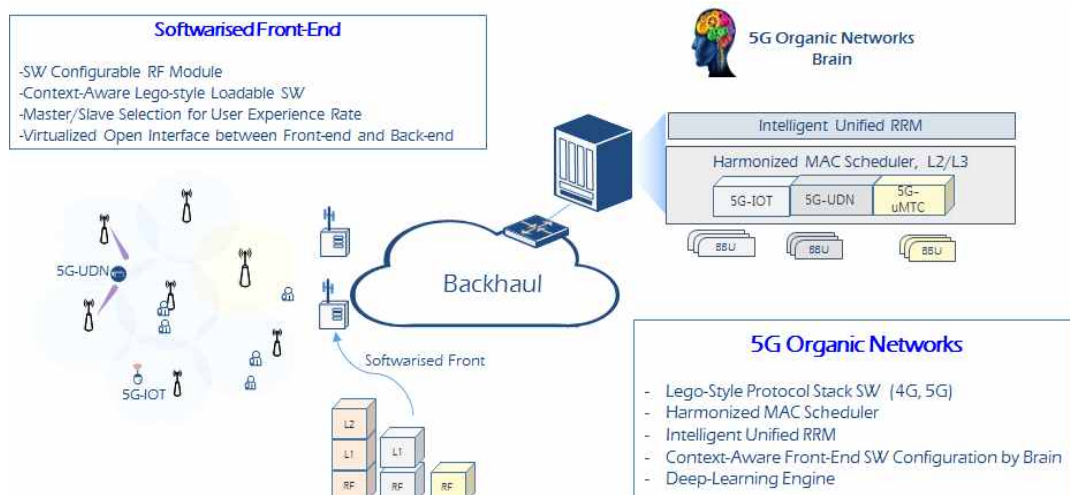


그림 63 5G 이후 UDN을 위한 RAN Softwarization 구조

또한, 언제 어디서나 자유롭게 설치될 수 있도록 초고밀도 네트워크를 구성하는 자동구성기술(Self-Organizing Network; SON)은 상황에 따라 자동으로 구성되고 최적화되고 힐링되는 기술로 진화할 것이다. 그림 64에서 설명된 바와 같이, 사용자의 접속 패턴 및 트래픽 패턴에 따라 자동으로 에너지 절감 기능을 ON/OFF할 수 있으며, 사용자의 체감 데이터 전송율을 높이기 위한 간섭제어, 전력제어 기능의 최적화, 무선 액세스 네트워크를 상황에 맞게 선택하고 구성할 수 있도록 빅데이터 기반의 인공지능을 UDN에 활용할 수 있을 것이다.

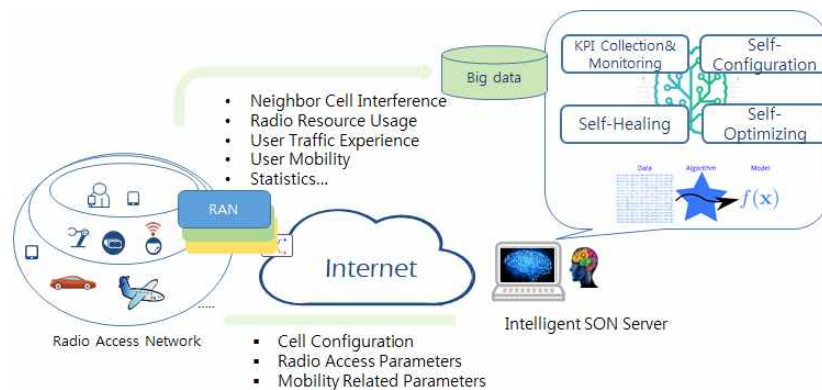


그림 64 5G 이후 UDN을 위한 지능형 자동구성기술

3.1.2 Edgeless Topology Network

5G 이후의 무선 액세스 네트워크는 다양한 사용자 서비스 요구사항을 만족하기 위해 매크로셀, 고정형/이동형 소형셀 및 중계기가 유동적으로 중첩된 형태가 될 것이며, 셀 간 간섭에 의한 셀 경계 사용자의 체감품질 저하 극복이 필수적이다. ITU-R에서는 셀 경계 사용자의 전송품질을 보장하기 위해 사용자 체감 데이터 전송율 (User Experienced Data Rate)와 5% 사용자 주파수 효율(5th Percentile User Spectral Efficiency)를 성능 요구사항으로 정의하고 있다[2].

이러한 요구사항을 만족하기 위해 우리는 매크로셀, 소형셀 및 중계기 등을 유기적으로 통합하여 가상의 동적 셀을 구성함으로써 셀 경계에서의 성능 열화를 효과적으로 막을 수 있는 무경계 토폴로지 네트워크 (Edgeless Topology Network; Edgeless Cell) 기술을 초고밀도 네트워크 실현을 위한 방안으로 준비하고 있다. Edgeless Cell을 구성하기 위해서는 전송용량 및 커버리지 확대를 위한 분산안테나(Distributed Antenna) 기술, 무선구간의 시간/주파수/공간 자원 최적 구성을 위한 동적 셀 구성(Dynamic Cell Configuration) 기술 및 무선 자원을 통합 관리하기 위한 스마트 스케줄러 (Smart Scheduler) 기술이 요구된다.

분산안테나 (Distributed Antenna) 기술은 하나의 CU(Central Unit)에 다수의 분산 배치된 RU(Radio Unit)가 정합되어 기지국과 단말 간 다중 무선 송수신 채널을 구성함으로써, 전송용량 증대와 함께 음영지역을 효과적으로 해소하여 커버리지를 확대할 수 있다. 특히 5G NR(New RAT) 기술인 밀리미터파 전송기술의 음영지역 해소를 위해 필수적인 기술로서, 단말 이동성 보장을 위한 고속 빔스위칭 및 실시간 최적 안테나 선택 기술이 핵심이다. 분산안테나를 구성하기 위해서는 고신뢰도의 초광대역 프론트홀(1GHz 신호 대역폭 지원을 위해 50Gbps급 CPRI 필요)이 요구되며, 밀리미터파 기반의 이동 엑스홀 네트워크 기술 및 유선 기반의 RoF(Radio over Fiber) 기술이 CPRI(Common Public Radio Interface) 대체 기술로 연구되어야 한다.

동적 셀 구성(Dynamic Cell Configuration) 기술은 시간/주파수/공간 등 무선 전송자원을 요

구되는 서비스, 기지국과 단말 간 채널 상태 및 간섭 완화를 위해 동적으로 구성하는 기술이다. 동적 셀 구성을 통해 하나의 RAN을 하나 이상의 Virtual RAN으로 구성할 수 있다. 예를 들어, CA(Carrier Aggregation)가 지원되는 RAN의 경우 단말의 고속 이동성을 지원하기 위해 각 물리적인 셀들이 하나의 지정된 FA(Frequency Allocation)를 공통 데이터 전송에 공유함으로써 가상의 매크로 셀을 구성함과 동시에 다른 FA는 고속 데이터 전송을 위한 소형 셀을 구성할 수 있다. 그림 65에서는 무경계 토폴로지 네트워크 실현을 위한 동적 셀 구성 개념을 설명하고 있다.

스마트 스케줄러 기술은 동적 셀 구성을 위한 중앙 집중형 스케줄러로서, 무선 전송자원을 서비스 및 품질 요구사항에 따라 통합 관리한다. 스마트 스케줄러 기술은 이종망 (HetNet), 제어 평면(Control Plane; CP)과 사용자 평면(User Plane; UP)의 분리, 다양한 기지국 구조(독립형/Function Split/C-RAN/Relay)를 지원하기 위해 계층적 스케줄링을 제공해야 한다.

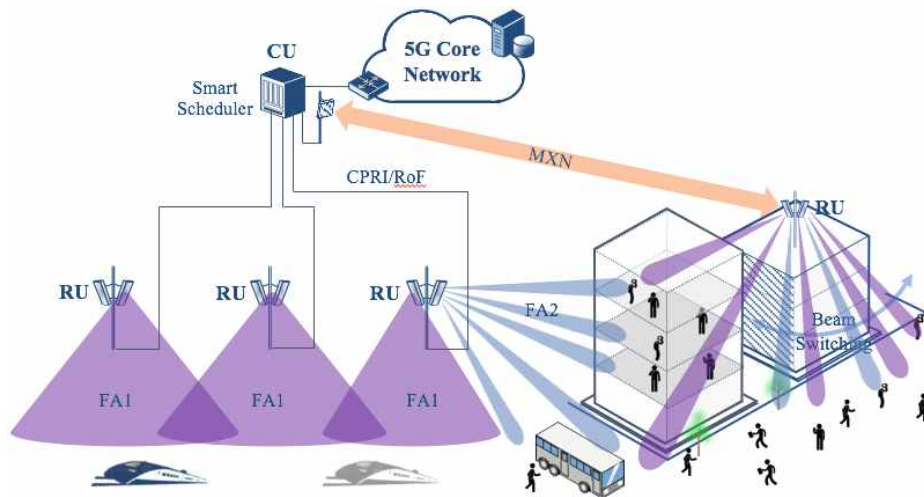


그림 65 Edgeless Topology Network의 동적 셀 구성 개념

3.2 Mission-Specific Communications

5G에서는 통신의 대상이 사람에서 다양한 사물까지 확대되고, 대용량뿐 아니라 저지연, 고신뢰, 초연결을 지원하는 통신이 가능해지면서, 자동차, 스마트 팩토리, 스마트 에너지, 모바일 헬스케어, 미디어 및 엔터테인먼트 등 타산업 분야와의 연계를 통한 영역을 확장해 가고 있다. 따라서, 5G 이후에는 이동통신에 국한하지 않고 다양한 융합서비스에서 요구하는 임무를 수행할 수 있는 네트워크에 대한 수요가 급증할 것으로 예상된다.

우리는 5G 이후의 무선 액세스 네트워크 기술로 임무 지향형 네트워크를 하나의 핵심요소로 설정하였다. 이하에서는 임무 지향형 네트워크를 위해 필요한 기술에 대해서 정리하고, 현재 우리가 개발 중에 있는 기술과 향후 개발할 계획을 가지고 추진하고 있는 기술적 방향에 대해서 간략히 소개한다.

3.2.1 Industrial Internet-of-Things

최근 화두가 되고 있는 4차 산업혁명은 궁극적으로 스마트 팩토리 구축이 목표이다. 스마트 팩토리는 제품의 기획 및 설계에서부터 생산, 유통 및 판매까지 전 생산 과정을 ICT 기술로 통합하여 최소 비용과 시간으로 고객맞춤형 제품을 생산하는 공장을 의미한다. 스마트 팩토리의 생산 기획 및 설계를 위해서는 팩토리 외부의 인터넷망과 연계된 빅데이터 수집 및 분

석이 필요하며, 제품의 유통 및 판매를 위해서는 전세계적인 커버리지를 갖는 대규모 네트워크와의 연계 등이 필요하므로 셀룰러 기반의 인프라와 연계된 팩토리 구축이 필요하다.

팩토리 내의 생산 자동화를 위해서는 팩토리 단위의 다수 센터 및 액츄에이터를 이용한 생산 공정 모니터링 및 실시간 제어, 생산 라인 단위의 로봇 조정밀 모션 제어, 원격 로봇을 이용한 탐지 및 제어, 공장 내 장비 및 제품의 tracking 등이 필요하며, 현재까지 대다수의 팩토리에 설치된 자동화 시스템은 fieldbus 및 industrial ethernet과 같은 유선 솔루션 기반이며, 일부에서는 WLAN 및 WPAN 기반의 (IEC-62734) ISA SP100.11a, (IEC-62591) Wireless HART, (IEC-62601) WIA-PA 등과 같은 비면허대역 근거리 무선 프로토콜을 사용되어 왔다.

이러한 유선 네트워크 솔루션은 설치 및 유지보수 비용 증가, 커버리지 및 확장성 한계, 설치 유연성 및 유용성의 한계, 외부망과의 상호 운영성, 이동성, 배선 노후 등 안정성 등의 문제점을 가지며, 비면허 대역의 근거리 무선 솔루션도 커버리지 및 확장성, 전송 충돌 등으로 인한 QoS 보장 의 한계 등의 문제를 가진다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 우리는 산업 자동화를 위한 솔루션을 5G 기술 및 5G 이후 기술을 통합하는 연구에 초점을 맞추고 있다. 그림 66에서는 5G 및 5G 이후 기술을 활용한 산업 자동화 솔루션의 개념도를 도시하고 있다.

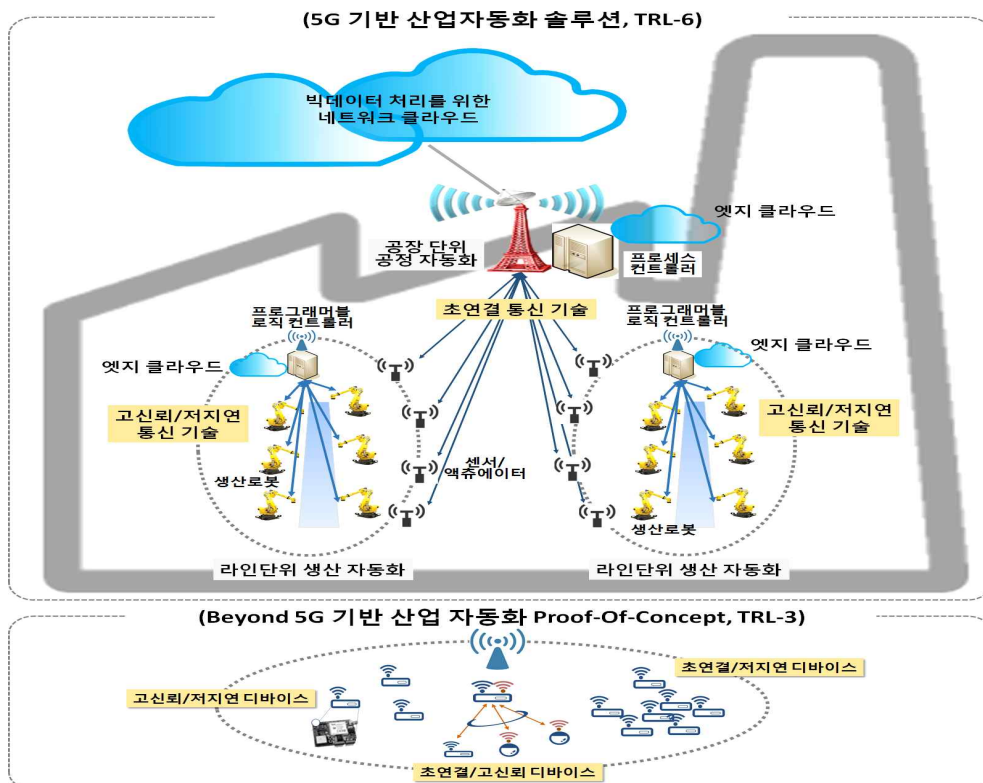


그림 66 셀룰러 기반 Industrial Automation 시스템 개념도

셀룰러 기반의 생산 자동화 시스템은 유선 및 근거리 무선 솔루션의 한계를 극복하고, 셀룰러 시스템이 가지는 커버리지, 설치 및 운영의 용이성, 자유로운 이동성 등을 제공함과 동시에, 유선 기반의 생산 자동화 솔루션의 성능을 제공하기 위해 5G 성능 한계를 넘어서는 저지연, 고신뢰, 초연결 통신 기술 및 이들을 동시에 지원할 수 있는 통합 전송/접속 기술이 필요하다. 그림 67에서는 셀룰러 기반 생산 자동화에서 요구되는 핵심 요소기술들을 간략히 설명하고 있다.



그림 67 셀룰러 기반 생산 자동화 핵심 요소 기술

3.2.2 Combined Low Latency Communication

ITU-R에서는 저지연을 주요 핵심 기술요소로 판단하고 이를 요구사항(무선구간 1ms 이하)에 반영하였다[2]. 하지만, 저지연 요구사항은 절대적인 값을 요구사항으로 기술하고 있기 때문에, 타 요구사항과 달리 다른 요구사항들과의 밀접히 연계되어 달성되어야 한다. 따라서, 무선전송지연은 무선전송에서 요구되는 다양한 성능평가지표를 총괄적으로 접근해야 하는 기술이다.

그림 68은 ITU-R에서 정의한 저지연 요구사항과 타 요구사항들과의 연관성을 나타낸 다이어그램으로서, KPI40)에 포함된 주요 요구사항은 대부분 무선전송지연 성능에 영향을 미치며, 특히 대역폭과 연결밀도, 그리고 신뢰성과의 연관성이 두드러진 것으로 판단된다. 따라서, 저지연 기술을 개발하기 위해서는 이러한 무선전송의 성능요소간 연관성을 고려하여야 하며, 이렇게 획득된 저지연 기술이야말로 향후 도래할 5G 이후 기술을 활용한 융합서비스 등에 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

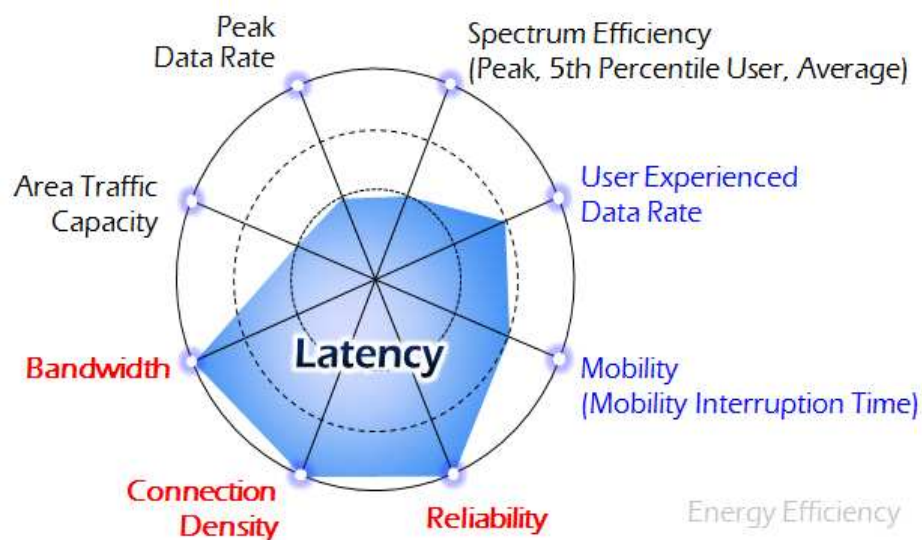


그림 68 무선통신에서 저지연 성능과 관련된 주요 핵심 기술요소

40) Key Performance Indicator (ITU-R M.2083)

3.2.3 Massive-Connectivity Communications

5G 혹은 B5G 이동통신 서비스는 다양한 서비스 영역(verticals)에서 대규모의 디바이스들이 더욱 밀집하게 배치되고 서비스 특성에 따른 정보를 교환할 것으로 예상된다. 특히, GSMA 혹은 Gartner는 2020년까지 약 240억개 혹은 약 300억개의 디바이스들이 네트워크에 존재하게 될 것으로 예상하고 있다[47]. 따라서 다양한 트래픽 특성을 고려한 대규모 연결성 제공이 더욱더 요구되며 단위면적 (1Km²)당 1,000,000개 이상의 디바이스를 수용할 수 있는 이동통신 기술이 요구될 것이다.

다양한 디바이스들의 대규모 연결성을 제공하기 위한 기술은 크게 저가/저전력/장거리 통신이 가능한 MTC(Machine Type Communication)디바이스와 다양한 기능을 가지고 광대역 서비스를 제공할 수 있는 광대역 MTC디바이스로 나누어 볼 수 있다. 저가/저전력/장거리 통신이 가능한 MTC 디바이스들은 주로 smart 웨어러블 네트워크 혹은 센서 네트워크의 기능 노드로 사용될 수 있으며, 광대역 MTC디바이스들은 이동 비디오 감시 등의 응용에 사용될 수 있다[9]. 그림 69은 대규모 연결성 제공에 필요한 기술의 개념도를 나타낸 것이다.

대규모 연결성 제공을 위한 기술적 이슈들은 다음과 같이 나누어 볼 수 있다.

- 대규모 연결성 제공을 위한 Grant-free 전송 및 접속 기술
- 비동기 전송을 위한 신호파형 및 다중 접속 기술
- 광대역 커버리지 보장 및 저전력 전송/PSM(Power Saving Mode) 기술
- Radio/Core Network 신호절차 감소 기술

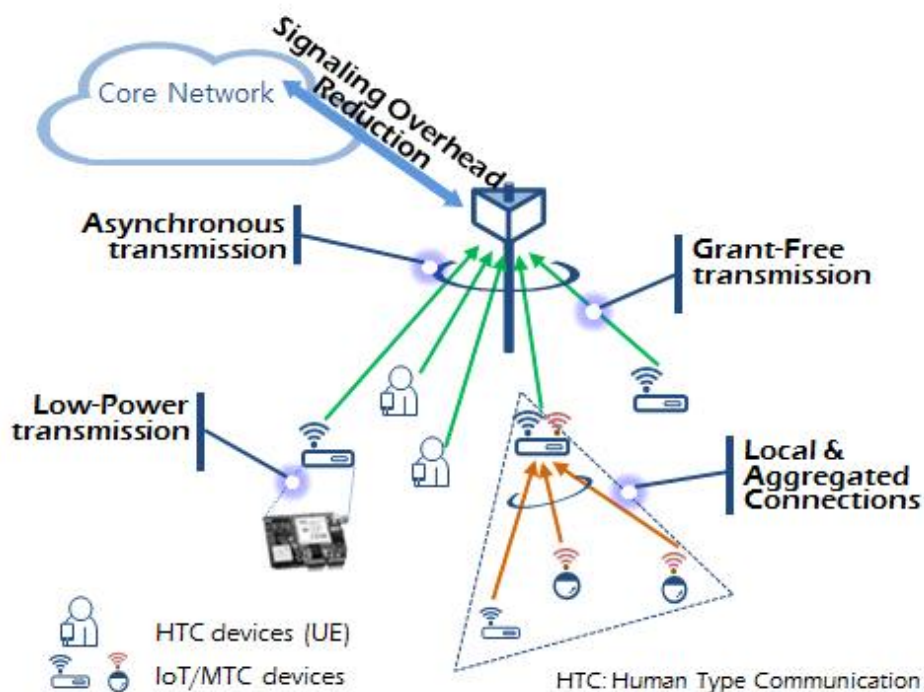


그림 69 Massive Connectivity Communication 기술 개념도

3.2.4 High-Accuracy 3D Positioning

5G 이후에 임무 지향형 네트워크를 활용하여 다양한 분야의 융합서비스를 발굴하기 위해서는 네트워크내의 단말의 위치를 찾아내는 기능이 필수적인 기술 요소이다. 특히, 자율주행 자동차와 드론과 같이 사용자의 개입 없는 이동체 서비스 개발에서 이동체의 정밀한 3차원 위치 정보는 필수적인 정보이다. 이미 많은 위치추정 기술들이 발표되고 사용되고 있지만, 3차원 상에서 고해상도 위치추정은 다양한 응용분야에의 활용성이 입증되고 있음에도 불구하고 실내외 및 기타 환경에 적용가능한 방법이 명확하게 제시되지 못하고 있다. 따라서, 우리는 5G 및 5G 이후 네트워크내에서 RF 신호를 이용한 위치추정의 기술을 개발하여 향후 융합서비스 응용에 활용될 수 있도록 할 예정이다.

GNSS based High-Accuracy Positioning for Autonomous Driving/Flight

전 세계적으로 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, 유럽의 Galileo, 중국의 Beidou, 일본의 QZSS와 같은 GNSS (Global Navigation Satellite System)의 경우 통상의 코드기반 측위에서는 위성관련 오차 및 전리층/대류권 오차 등의 성분으로 인해서, 자체적으로는 10m의 오차 값을 가지는 것으로 알려져 있으며, 이러한 정밀도는 이동체의 자율주행에서 요구하는 사항을 만족시키지 못한다. 이 위치오차를 극복하기 위한 방식으로서는 반송파 기반 측위방식의 RTK(Real Time Kinematic)기술, PPP(Precise Point Positioning)기술, 그리고 두 기술의 혼합인 PPP-RTK기술 개발이 주류를 이루고 있는데, PPP-RTK 기술은 저비용으로 사용자 수의 제한없이 정지측위 cm급의 정확도를 확보할 수 있는 측위기술이다.

우선, 실시간 이동측위(RTK)는 정밀한 위치정보를 가지고 있는 기준국의 반송파 위상에 대한 보정치를 이용하여 이동국에서 실시간으로 1-2cm 정확도의 측위결과를 얻는 일련의 측량 과정을 말한다. RTK는 기준국과 이동국의 측정오차 중 공통성분이 상쇄되어 결과적으로 정확도가 높아지지만, 국간의 거리가 멀어질수록 전리층과 대류권 지연효과와 같은 측위오차의 영향이 달라지기 때문에 정확도가 현저히 저하되어, 정확도를 높이기 위해서는 기준국을 조밀하게 배치하여야 한다. (비용문제를 해결하기 위해 네트워크 RTK 시스템은 이동국에서 멀리 떨어진 여러 개의 기준국 관측 데이터를 이용하여 이동국 근처에 가상 기준국을 만들고, 그 가상 기준국의 보정정보를 보간법 등을 활용하여 만들어 사용자에게 전송하여 정확도를 높이는 방식을 사용할 수 있다.) 반면, 정밀단독측위(PPP)는 사용자가 위성관련 오차는 계산하지 않고, 위성관련 산출물을 제공하는 기관으로부터 GPS 위성관련 오차를 수신하여 사용자의 3차원 위치와 수신기 시계오차를 산출하는 방식으로 GRS(Global Reference Station)에서 생성되는 GNSS 위성의 클럭과 궤도 보정정보를 계산하고 이를 위성 혹은 인터넷망을 통하여 사용자에게 제공한다. (그림 70 참조)

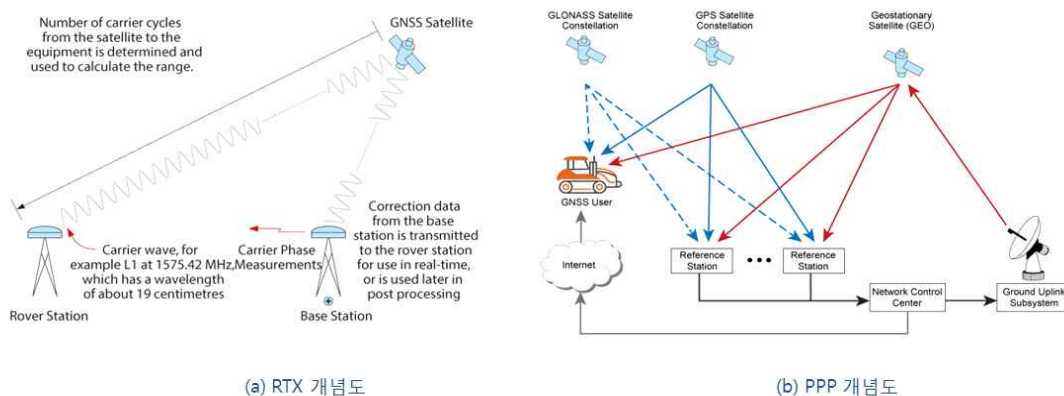


그림 70 반송파 기반 측위방식의 개념도 (RTK, PPP)

PPP-RTK 시스템은 PPP와 RTK 기술의 혼합형으로 위성 관련 오차만을 지상의 기준국으로부터 제공받고 이중주파수 신호 관측으로 이온층 오차를 제거한 다음 대류권과 수신기 시계 오차만을 추정하거나 모든 측위 오차의 보정 정보를 제공받아 수행하는 방식을 사용한다.

High Resolution Drone Detection Radar - MobilDar™

또 다른 위치정보 응용분야로 소형 무인기 및 드론의 위치 추적로서, 기존의 레이다로는 추적이 불가능한 소형의 비행체 기술이 발전함에 따라 안전, 보안 등의 목적을 위한 비행체 감시 및 불법/위해 비행체의 식별에 대한 기술개발의 필요성이 제기되고 있다. 이러한 적용 분야에 활용하기 위해 우리는 일명 수동 레이다라고 불리는 기술을 개발하고 있는데, 이는 별도의 송신신호 없이, 이미 사용중인 무선신호가 비행체에 의해서 반사되는 것을 수신하여 위치를 알아내는 방식으로 FM 신호와 같은 방송신호나 GSM, LTE등과 같은 이동통신신호를 이용하는 기술이 포함된다.

MobilDar™는 LTE 기지국 송신신호를 이용하여 드론의 위치를 추적하는 수동 레이더 방식을 이용한 위치 추적기술로서, 낮은 반사신호의 크기에 따른 탐지확률 저하를 극복하기 위하여, 단일 기지국의 다중 안테나를 이용하거나 다중셀의 다수의 기지국을 이용하여 탐지확률을 증대하는 방안을 발굴하여 이를 검증하는 중이다. (그림 71 참조)

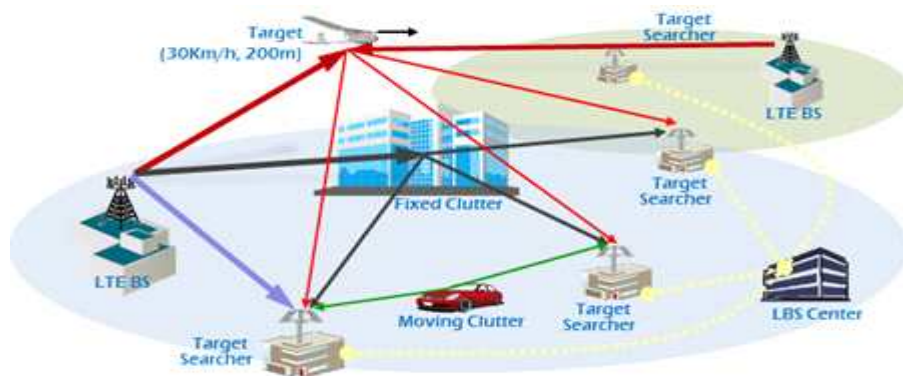


그림 71 MobilDar™ 기술 개념도

한편, 수동형 레이더가 원래 목적의 신호가 아닌 방송신호 및 이동통신 신호에 의한 반사를 이용함으로 인해 위치추적할 수 있는 거리가 제한적일 수밖에 없는데, 이러한 문제를 해결하기 위해 우리가 고려하고 있는 능동형 레이더는 탐지를 위한 송신 신호를 전송하여 비행체에 의해서 반사되어 돌아오는 신호를 수신하여 위치를 추적하는 방법으로 수km이상의 장거리 탐지가 가능하다. 주로, 군용으로 적용되는 방식이나 현재까지 개발된 시스템들은 고가의 대형 시스템으로 구성되에도 수십 cm이내의 소형 드론 및 저고도 대한 탐지율이 낮기 때문에 저고도 소형 비행체의 탐지율을 높이기 위해서 세부적인 기술의 변혁이 필요한 상태이다.

또한, 추가적으로 탐지 정밀도를 높이기 위해 S-band(2~4GHz) 혹은 X-band를 주로 이용하는 기존 방식에 비해 넓은 대역폭을 이용할 수 있는 마이크로파/밀리미터파 대역을 이용하는 방안과 다수의 송/수신기를 이용하는 방안 등에 대한 연구가 요구되며, 이와 함께 상시 감시 시스템 구축을 위한 시스템 소형화에 대한 연구 또한 필요하다.

3.3 Moving Network

5G 이후의 이동통신은 5G에서는 시도하지 못했던 영역까지 진출할 것으로 예상되며, 그 대표적인 네트워크 특징이 바로 이동 네트워크(Moving Network)이다. 이동 네트워크는 기존 이동통신 네트워크의 비용 및 유연성을 고려한 대체 솔루션 뿐만 아니라, 항공기, 드론, 해상과 같이 현재에는 접속이 어려운 분야에서도 이동통신을 적용할 수 있도록 진화함으로써 신규 영역 창출의 효과를 얻을 수 있을 것이다. 이하에서는 우리가 생각하는 이동 네트워크의 분야와 기술 접근 방법 등에 대해서 기술하기로 한다.

3.3.1 Mobile Xhaul Network

3GPP NR (New RAT) 표준에 따르면, 5G 서비스는 UDN기반의 스몰셀과 HST (High Speed Train) 및 V2X(Vehicle to something), 드론과 같은 이동 네트워크를 통합적으로 이용하여 RAN 구축 시나리오가 전개될 것으로 예상된다. 또한, 3GPP에서는 고정형의 멀티홉 릴레이를 시작으로 이동형의 멀티홉 릴레이 기술에 대한 표준화가 이루어질 예정이며, Cloud-RAN의 최적화를 위해 기능 분리 (Function Split) 기술을 5G/B5G RAN 표준에 반영할 것으로 예상된다.

이와 같은 3GPP 표준의 진화 흐름을 고려했을 때, 향후 MXN은 프론트홀 지연시간(Latency) 요구사항을 만족시킬 수 있는 있는 Ultra-Low Latency 기반 멀티홉 전송 기술 그리고 기지국 기능을 계층적 분리하여 프론트홀 구간을 최소화하면서도 Cloud-RAN 구조의 장점을 최대한 수용하는 계층적 중앙집중화 구조에 대한 연구를 진행할 예정이다. 이와 더불어 그림 72에 설명된 바와 같이, MXN을 차세대 군 전술정보통신체계 (TICN)와 같은 임무 지향성 네트워크 시나리오에 적용하여 응용성을 확보하고 신뢰성을 향상하는 연구와 MXN이 갖는 통합의 이점을 액세스 링크까지 확대 적용 방안에 대한 연구 등이 요구될 것으로 전망한다.



그림 72 MXN 기반의 차세대 TICN 응용 시나리오

MXN 진화에 따른 기술적 이슈들은 다음과 같이 나누어 볼 수 있다.

- Ultra-Low Latency 지원을 위한 MXN 구조 및 멀티홉 전송 기술
- 임무 지향성 네트워크를 위한 self-organizing 및 A6G/B6G 통합 전 기술
- Inband Self-Xhaul 기술

3.3.2 Aircraft Communication

NGMN의 예상에 따르면 2020년 이후에는 이동 네트워크의 용량 요구가 높아질 것이며 5G 혹은 B5G 이동통신 서비스는 이동 네트워크를 지원하는 형태로 진화할 것으로 예상된다[9]. 이동 네트워크는 미리 정해진 이동성을 가진 저속의 이동체에서 고속의 임의의 이동성을 가진 네트워크로 진화할 것이며 궁극적으로 비행체를 위한 통신 시스템이 도입될 것이다. 현재 이동통신에서 고려해 볼 수 있는 비행체는 아래의 표와 같은 형태로 나누어 볼 수 있다.

Type of Aircrafts	Cruising Altitude	Speed	Remarks
Airplane	~12km	878 ~ 926km/h	
UAV (Unmanned Aerial Vehicles)	~ 100m	~160km/h	배달용
HAPS (High-altitude Platform Stations)	20 ~ 50km	very low	
Satellites	160 ~ 2000km	7.8km/s at 160km orbit	LEO 위성

이와 같이 비행체를 위한 이동통신 서비스는 이동단말 형태의 비행체 통신 혹은 네트워크 노드 형태의 비행체 통신으로 나누어 볼 수 있다. 이동단말 형태의 비행체 통신은 비행체를 사용자 단말로 배치하여 비행체 내의 승객에게 광대역 통신 서비스를 제공하거나 드론에 제어 및 명령을 전달하고 드론과 광대역 통신 서비스를 제공하는 형태이다. 네트워크 노드 형태의 비행체 통신은 비행체를 기지국 혹은 릴레이 노드로 배치하여 서비스를 제공하는 형태이다. 비행체 통신은 사회 안전 취약 지역의 감시용, 국가 사회적인 안전이 필요한 지역의 모니터링, 드론을 이용한 무인 배송 서비스의 제어 그리고 국가 중요시설의 모니터링과 같은 서비스에 이용할 수 있다. 그림 73는 비행체 통신을 위한 개념도를 나타낸 것이다.

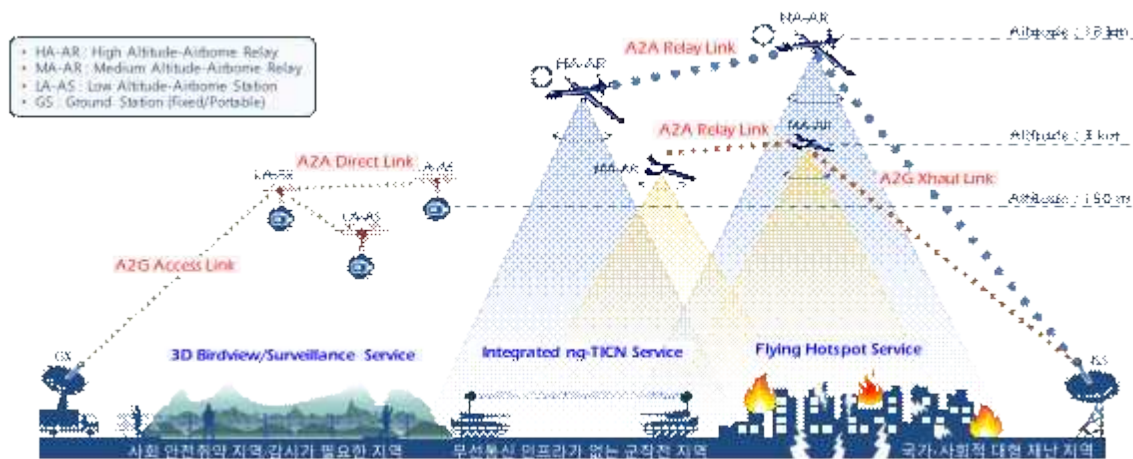


그림 73 Aircraft Communication 개념도

비행체 통신을 위한 기술적 이슈들은 다음과 같이 나누어 볼 수 있다.

- 이동 A2X(A2G/A2A) 링크 설정 및 제어 기술
- 3차원 이동성 제공을 위한 다면적 직접통신 기술
- 3D 메쉬기반의 이동 멀티홉 릴레이 기술
- 수십 km이상의 전송범위를 갖는 광대역 장거리 무선 통신 기술

3.3.3 Moving Relay Network

최근 V2X 실현을 위해 많은 연구가 진행되고 있지만, 대부분 6GHz 주파수를 기반으로 저지연 기술과 접목하여 자동차 충돌방지 등 자동차 제어용으로 접근하고 있다. 하지만, 6GHz 유용 대역폭의 한계로 막대한 통신 트래픽을 유발할 것으로 예상되는 자율자동차를 위해서는 결국 5G의 핵심 서비스 요소인 eMBB 서비스에는 적합하지 않은 것으로 판단된다. 따라서, V2X에 mMBB 서비스를 반영하기 위해서 향후 mmWave의 광대역 스펙트럼을 활용하는 기술을 채택하여야 할 것이다.

밀리미터파를 이용하여 고신뢰와 저지연 서비스를 지원하면서 동시에 모바일 광대역 서비스 요소를 포함하기는 밀리미터파의 채널특성을 고려할 때 어려운 일이다. 즉, 밀리미터파를 이용하여 LOS가 보장되지 않는 환경에서도 고신뢰와 저지연을 제공하기 위해서는 종래의 네트워크 구성을 넘어서는 새로운 기술요소가 개발되어야 하는 상황이다. 물론, 가장 간단하게는 모든 영역에서 LOS를 보장할 수 있을 정도로 전송 포트(안테나 혹은 RF 모듈)를 밀집되게 설치하는 방법이지만 이 방법 또한 전송 포트간 간섭으로 인해 성능이 열화되는 것을 피할 수 없다.

우리는 밀리미터파를 이용하여 모바일 광대역 서비스 뿐만 아니라 고신뢰와 저지연을 제공하기 위한 네트워크 구성방법으로 Moving Multi-hop Relay (MMR) 기술을 도입할 예정이다. 밀리미터파를 이용한 MMR(mmWave MMR; mmMMR)을 실현하기 위해서는 액세스 링크 뿐만 아니라 인접한 릴레이 링크간 다양한 형태의 Duplexing 기술의 연구가 필요하며, 고속 동기획득기술, 빔추적이 가능한 빔형성 기술 등의 연구가 필요하다. 또한, mmMMR 기반의 네트워크에서 주파수 효율을 최적화하기 위한 Radio Resource Management 및 효율적인 토폴로지 제어, 링크간 간섭제어 기술 및 이동하는 차량용 셀을 위한 Advanced SON 기술 등의 연구가 필요하다. mmMMR 기술은 액세스 링크가 없을 경우에도 차량간 직접 통신도 제공하여야 하며, 드론이나 무인비행체간 다중 홉 중계 기술에도 사용할 수 있다. 이러한 활용성에 의해, mmMMR 기술은 3GPP의 5G Phase II 혹은 그 이후의 표준화 단계에서 표준화가 진행될 수 있을 것으로 전망된다. 그림 74은 mmMMR 기술을 활용하는 Ground/Aerial 네트워크의 개념도이다.

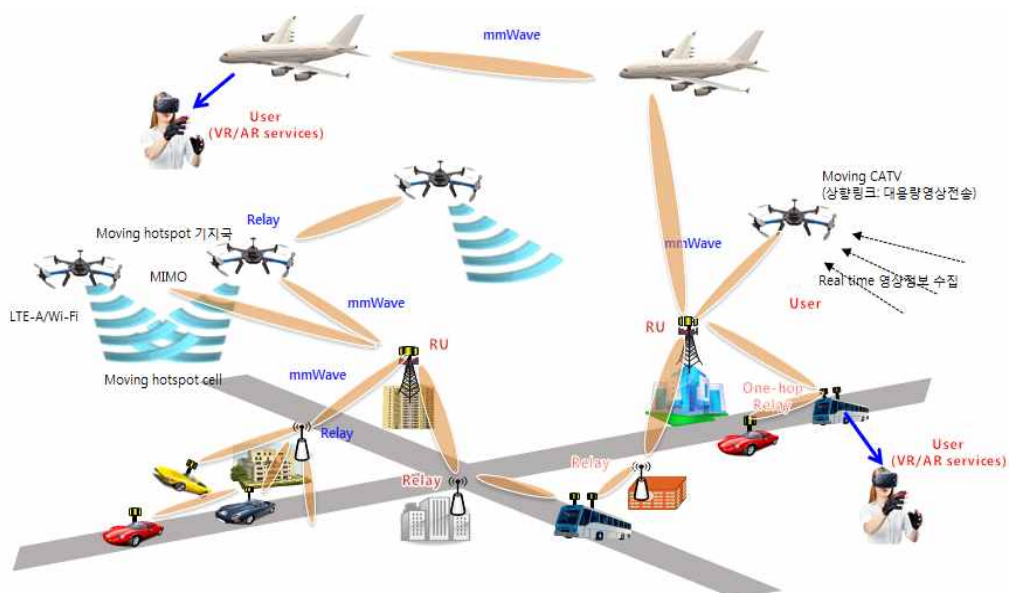


그림 74 Multi-hop Relay 기반의 Ground/Aerial moving 네트워크 개념도

3.3.4 Long Range Communications

초연결 통신환경을 구축하고자 하는 5G에서는 그림 기존의 수백 미터를 지원하는 통신 환경을 포함하여 수백 킬로미터에 떨어져 있는 정보 소외 지역으로 분류할 수 있는 광활한 사막 및 해양에 위치해 있는 사용자 단말에게도 최소 통신 요구사항을 만족시키기 위하여 Long Range Communication 기술에 대한 관심을 갖고 있다. 특히, 최근 3GPP TSG SA1에서는 다음과 같이 5G 시스템의 상위레벨 요구사항을 정의하였다.

- (커버리지) 100km 떨어진 거리에 평방 킬로미터당 2명의 사용자가 존재하는 상황을 고려
- (셀경계 용량) 100km 떨어진 사용자의 용량이 최소 1Mbps (상향링크 100kbps)를 제공
- (최소 평균셀 용량) 최소 셀 평균 용량은 10Mbps를 제공할 수 있어야 함
- (음성 서비스 지연) 셀 경계 사용자에게 단대단 지연은 최대 400 ms로 지원 (VoIP 경우)

이와 같은 Long Range Communication에 대한 사례로서는, 2006년에 기지국 설치가 어려운 사막에 위치한 중국 신장 자치 지구의 낙후된 경제상황을 개선시키고자 사막의 LoS 상황에 90km 거리의 802.1 기반 무선망을 설치했으며[48], 2013년 SKT은 대우조선해양과 더불어 LTE망을 활용하여 해양에서 100km까지 이르는 원거리 해상에서도 통신이 가능한 통신망 구축을 시도하였다[49]. 한편, 디지파이넷 (Digifinet)은 위성무선통신 기술을 활용하여 최대반경 160km 정도를 커버할 수 있는 스마트 안테나를 개발하여 사막이나 바다에서 무선 통신을 시도하고 있다[50].

무선통신 관점에서 송신단으로부터 수백 킬로 떨어져 있는 광커버리지 내의 단말에 통신 환경을 제공하기 위해서는 적용하고자 하는 무선 통신 환경(예, 사막, 산악, 해양 등)에 적합한 주파수 밴드 할당, 고출력 광커버리지를 고려한 최적 네트워크 토폴로지 기술 연구 및 장거리 통신에 적합한 저전력/고효율 전송 기술 개발이 요구된다. 한편, 광커버리지 통신 환경 구축을 위한 네트워크 기술로는 고정형 릴레이를 포함하여 위성, UAV(Unmanned Aerial Vehicle), 배, 기구 등과 같은 이동체를 포함하는 Moving Network 전송/접속 기술들이 주목을 받을 것으로 예상된다. 더욱 구체적으로, 먼저 전송기술 관점에서는 광커버리지 환경별 무선 채널 모델링 작업을 고려하여, 적용 가능한 빔포밍 응용기술, 분산 노드간 협력 전송, 파형, 데이터 변조 및 코딩과 같은 기술 분야의 연구가 필요하며, 다중 밴드를 활용하는 기술 및 상향/하향과 같이 링크간 커버리지 불균형을 극복할 수 있는 기술도 추가적으로 요구될 것으로 예상된다.

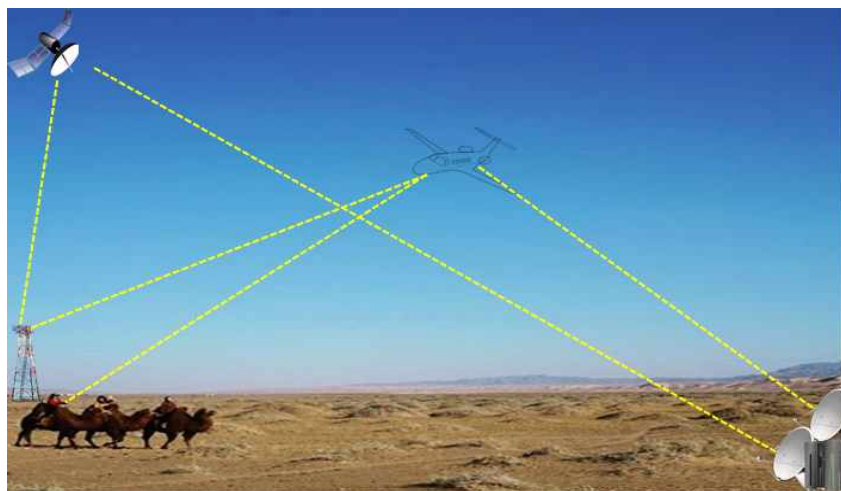


그림 75 Long Range Communication의 예

3.3.5 Secure Wireless Backhaul Link

백홀의 무선화에 대한 수요 급증으로 인해, 특히 높은 보안성과 신뢰성 및 구축 유연성을 갖는 5G 기반 백홀 링크에 대한 기술 개발 필요성이 증대되고 있다. 우리는, 이동 네트워크 구축에 필요한 핵심기술의 하나로 높은 보안성과 신뢰성 및 구축 유연성을 갖는 무선 백홀 기술을 선정하였다. 특히, 광대역을 제공하는 밀리미터파를 이용하여 매우 좁은 빔폭으로 통신 링크를 구축하는 기술에 초점을 맞출 예정이다. 이를 활용한 응용분야로서는 5G 밀리미터파 통신의 백홀 중계시스템과 군통신 보안을 위한 백홀 통신시스템으로 볼 수 있다.

통신용 백홀 중계시스템은 기지국으로부터 동일한 밀리미터파 대역의 신호로 상하향 링크를 구성하고 액세스 망은 다른 대역의 밀리미터파 신호 혹은 4G 및 WiFi 망으로 연결하는 구성으로 형성될 수 있으며 빔형성 안테나 기술 및 빔제어 기술발전에 따라 동일한 주파수의 밀리미터파 액세스 망을 형성할 수 있다. 이를 위해서는 광대역 무선 백홀 링크가 필요하게 되고, 이를 해결하기 위해 우리는 밀리미터파를 적용할 것이다.

군보안 백홀 시스템은 후방의 기지국과 군 작전지역의 중계기와 통신하는 경우 후방 기지국의 송수신 신호가 작전지역의 범위를 벗어나 적에게 노출될 수 있으므로 이의 보안을 강화하기 위한 방법으로 작전지역의 중계기에서 작전지역 외의 지역으로 동일 주파수의 재밍 신호를 방사하는 시스템을 말한다. 보안을 위한 재밍 기능의 중계기는 수신하는 주파수와 동일한 주파수의 재밍 신호를 방사해야 하므로 동일대역 전이중 송수신 전송 기술이 구현되고 이러한 시스템은 지상 뿐만 아니라 드론이나 UAV와 같은 비행체에 정밀한 빔형성 기술과 동시에 구현될 수 있다. 즉, IFD에서 사용되는 SIC 기술을 활용하여 시스템의 변경없이 단말 측면에서 재밍을 발생시키고 이 재밍을 제거함으로써 타 이용자가 해당 신호를 수신할 수 없도록 만드는 것이다.

밀리미터파를 IFD에 적용하기 위해서 요구되는 기술적인 요소로서, 복수개의 안테나 어레이를 통해서 빔형성을 시도하는 경우 RF (Beamformer) 모델링이 필요하고, 안테나간 신호 천이에 의한 상호 커펄링 효과에 대해서도 고려해야 하며, 빔형성을 통해 전송된 신호가 반사물에 의해 반사되는 특성 등에 대해서 명확히 분석되어야 한다.

또한, 자기간섭제거를 위해서는 고해상도의 감쇄기 및 위상변위기가 필요하고 제어를 위한 많은 부가적인 회로를 수반하므로 밀리미터파를 사용하는 상황에서 초소형 및 저전력의 동일대역 전이중 송수신 전송 기술의 구현을 위해서는 특히 아날로그 간섭제거기의 집적화가 필수적으로 요구된다. 주로 CMOS를 사용하여 직접 감쇄기와 위상변위기를 구현하는 방법, 벡터 모듈레이터를 이용하는 방식 및 광대역 발룬(Balun)으로 구현하는 회로기법을 적용할 수 있다.

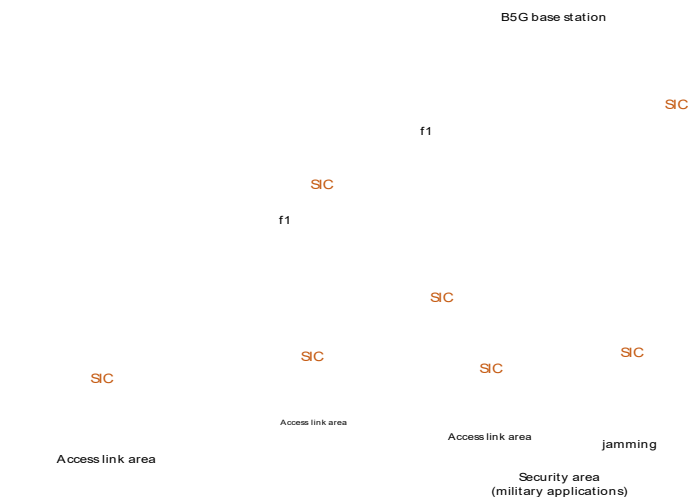


그림 76 동일대역 전이중 기술의 백홀 및 보안 시스템

Conclusions

5G 통신은 현재 서비스되고 있는 4G 이동통신의 서비스 성능 목표를 넘어, 기존의 서비스를 향상시키고 새로운 서비스를 실현하게 될 것이다. 이것은 유·무선에 공통적으로 요구되는 것이며, 일부 서비스는 '장소에 제한 없는' 무선 특유의 장점을 기반으로 하지만 대부분의 서비스들은 유무선 기술 각각의 장점 간 적절한 조화를 통해서 실현될 것이다. 이를 위해, 저지연의 기가급 서비스가 사용자의 처한 상황에 맞게 다양한 접속 기술이 유기적으로 통합되어야 하고, 망에 연결될 수 있는 영역이 아주 촘촘하게 구성되어야 하며, 새로운 서비스의 적시 제공 및 효율적인 네트워크 관리를 위해 클라우드화/가상화 기반의 유연한 네트워크로 진화되어야 할 것이다.

현재 전 세계는 ITU-R에서 제시한 5G 비전과 요구사항에 대해 다양한 접근방법을 통해서 실현하기 위한 노력을 경주하고 있으며, 특히 유럽, 중국 등 경쟁국들이 5G 기술 주도권을 확보하기 위해 협력과 더불어 치열한 경쟁을 하고 있는 상황에서 2020년대는 5G로 촉발된 사회 변화가 위기이자 새로운 기회로 우리에게 다가올 것이다.

본 문서에서는 5G 비전과 요구사항 및 구축 전략을 재정립하고, 이를 위한 5G 요소기술들 중에서 ETRI가 집중적으로 연구·개발을 진행하고 있는 핵심 기술들 (Leading technologies) 을 소개하였다. 특히, 5G의 대표적인 서비스인 향상된 모바일 광대역 (enhanced Mobile Broadband) 서비스, 초신뢰성 및 저지연 (Ultra-high reliable and low-latency) 서비스, 그리고 대규모 사물인터넷 (massive Internet of Things) 서비스 각각의 범주에 대하여 핵심기술들을 제시하고, 몇 가지 핵심 기술에 대해서는 연구결과 및 테스트베드 개발 현황 등을 소개하였다.

또한, 본 문서에서는 5G 이후 요구될 핵심 요소기술들의 융합을 달성하기 위해 네트워크 관점에서 수많은 전송포트가 매우 밀집된 형태로 분포하는 초고밀도 네트워크, 저지연, 고신뢰 및 초연결 특성이 융합되어 임무에 따라 최적화될 임무 지향형 네트워크, 그리고 네트워크 구성의 유연성과 효율성 및 새로운 이동통신 영역 확대를 가지고 올 이동 네트워크로 분류하고, 각 네트워크별로 필요하게 될 요소기술 및 ETRI가 집중하게 될 핵심 기술들에 대해서 소개하였다.

참고문헌

- [1] ITU-R WP5D, *Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond (New Recommendation ITU-R M.2083)*, June 2015.
- [2] ITU-R WP5D, *Technical Performance Requirements (New Recommendation ITU-R Key Performance Indicator)*, June 2017.
- [2] RWS-150029, *5G Vision and Enabling Technologies: ETRI Perspective*, ETRI, 3GPP RAN workshop on 5G, Phoenix, AZ, USA, 17th-18th, Sep. 2015.
- [3] RWS-150036, *Industry Vision and Schedule for the New Radio Part of the Next Generation Radio Technology*, Nokia Networks, Ericsson, Qualcomm, NTT DOCOMO, Samsung, SK-Telecom, Sony, Intel, KT, Panasonic, Verizon, Softbank, Kyocera, Mitsubishi, Sumitomo Electric, Hitachi, NEC, Fujitsu, Sharp, ETRI, Straight Path Communications, KDDI, InterDigital, 3GPP RAN workshop on 5G, Phoenix, AZ, USA, 17th-18th, Sep. 2015.
- [4] RWS-150085, *Views on 5G New RAT in 3GPP*, CATR, CATT, CMCC, China Telecom, China Unicom, Coolpad, HiSilicon, Huawei, OPPO, Potevio, ZTE, Alcatel-lucent, Alcatel-lucent Shanghai Bell, 3GPP RAN workshop on 5G, Phoenix, AZ, USA, 17th-18th, Sep. 2015.

- [5] RWS-150090, *Group of operators' common vision and priorities for Next Generation Radio Technology*, Orange, Deutsche Telekom, Telefonica, Telecom Italia, KPN, Telenor, Telia Sonera, Telus, Swisscom, Dish Network, 3GPP RAN workshop on 5G, Phoenix, AZ, USA, 17th-18th, Sep. 2015.
- [6] RWS-150073, *RAN workshop on 5G: Chairman Summary*, Dino Flore (Chairman of 3GPP RAN), 3GPP RAN workshop on 5G, Phoenix, AZ, USA, 17th-18th, Sep. 2015.
- [7] T. L. Marzetta, "Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, Vol. 9, No. 11, Nov. 2010, pp. 3590-3600.
- [8] METIS, ICT-317669-METIS/D6.4 *Final report on architecture*, Jan., 2015
- [9] NGMN Alliance, *5G White Paper*. [Online]. (<http://www.3gpp.org/technologies/presentations-white-papers>), Feb., 2015
- [10] ITU-R, *IMT Vision – Framework and overall objectives of future development of IMT for 2020 and beyond*, Sep., 2015.
- [11] M. Sharif and B. Hassibi, "On the capacity of MIMO broadcast channel with partial side information," *IEEE Trans. on Inform. Theory*, vol. 51, no. 2, pp. 506–522, Feb. 2005.
- [12] J. Nam, J.-Y. Ahn, A. Adhikary, and G. Caire, "Joint spatial division and multiplexing: Realizing massive MIMO gains with limited channel state information," in *Proc. 46th Annu. Conf. Inf. Sci. Syst.*, Mar. 2012, pp. 1–6.
- [13] Steven Hong, et al., "Applications of Self-Interference Cancellation in 5G and Beyond," *IEEE Communications Magazine*, 2014, pp. 114-121.
- [14] K. S. Chang, H. S. Ju and M.-S. Lee, "Distributed Space-Time Block Coding Scheme in In-band Full Duplex Relaying Networks," *IEEE ICAC2015*, 2015, pp. 242-246.
- [15] K. S. Chang, H. S. Ju, S.-A. Kim and J. W. Shin, "IFD Technology and System Capacity Analysis," *JCCI2015*, Korea, 2015.
- [16] T.S. Rappaport et al., "Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!," *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335~349, May 2013.
- [17] J. H. Lee, et al., "mmWave Cellular Mobile Communication for Giga Korea 5G Project", *APCC2015*, Oct. 2015.
- [18] H.-K. Kwon, M.-D. Kim, and Y.-J. Chong, "Implementation and performance evaluation of mmWave channel sounding system," in *Proc. IEEE Int. Symp. Antennas and Propagat. & USNC/URSI Radio Science Meeting*, July 2015, pp. 1011–1012.
- [19] M.-D. Kim, J. Liang, Y. K. Yoon, and J. H. Kim, "28 GHz path loss measurements in urban environments using wideband channel sounder," in *Proc. IEEE Int. Symp. Antennas and Propagat. & USNC/URSI Radio Science Meeting*, 2015.
- [20] J. Lee, J. Liang, H.-K. Kwon, and M.-D. Kim, "Site-specific path loss characteristics with directional antenna measurements at 28 GHz in urban street grid environments," in *Proc. IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC)*, 2015, pp. 288–292.
- [21] J. Lee, J. Liang, J.-J. Park, and M.-D. Kim, "Directional path loss characteristics of large indoor environments with 28 GHz measurements," in *Proc. Int'l Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC): Workshop on 5G Channel Measurement and Modeling*, 2015, pp. 6–10.
- [22] J. Lee, et al., "Frequency Range Extension of the ITU-R NLOS Path Loss Models Applicable for Urban Street Environments with 28 GHz Measurements," submitted to *The*

European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), April 2016.

[23] M.-D. Kim, J. Liang, H.-K. Kwon, and J. Lee, "Directional delay spread characteristics based on indoor channel measurements at 28 GHz," in *Proc. IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC)*, 2015, pp. 505–509.

[24] M.-D. Kim, et al., "Directional Multipath Propagation Characteristics based on 28GHz Outdoor Channel Measurements," submitted to *The European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, April 2016.

[25] Etnews, <http://www.etnews.com/20160630000352?koost=worstnews>, June 30, 2016

[26] 3GPP TSG RAN #67 RP-150581, *Report of 3GPP TSG RAN meeting #67*, Mar. 2015.

[27] 3GPP TSG RAN #67 RP-150465, *New SI proposal: Study on Latency reduction techniques for LTE*, Mar. 2015.

[28] NHTSA, DOT HS 812 014, *Vehicle-to-Vehicle Communications: Readiness of V2V Technology for Application*, NHTSA, Aug. 2014.

[29] METIS, ICT-317669-METIS/D6.2, *Initial report on horizontal topics, first results and 5G system concept*, METIS, Mar. 2014.

[30] 3GPP TR 22.885, *Study on LTE support for V2X services*, 3GPP, Dec. 2015.

[31] 3GPP TR 36.843, *Study on LTE Device to Device Proximity Services; Radio Aspects*, 3GPP, Mar. 2014.

[32] D. Gabor, "Theory of communication. Part 1: The analysis of information," *Electrical Engineers - Part III: Radio and Communication Engineering, Journal of the Institution of*, vol. 93, pp. 429-441, 1946.

[33] B. Farhang-Boroujeny and C. H. Yuen, "Cosine modulated and offset QAM filter bank multicarrier techniques: A continuous-time prospect," *Eurasip Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2010, 2010.

[34] C. Kim, K. Kim, Y. H. Yun, Z. Ho, B. Lee, and J. Y. Seol, "QAM-FBMC: A new multi-carrier system for post-OFDM wireless communications," in *GLOBECOM*, 2015.

[35] LDS: Low Density Spreading, R. Hoshyar, F.P. Wathan, R. Tfazolli, *Novel Low-Density Signature for Synchronous CDMA Systems Over AWGN channel*, *IEEE Trans. on signal processing*, Vol. 56, No. 4, pp.1616, April 2008

[36] Huawei, *SCMA: Sparse Code Multiple Access*, 3GPP RAN1 Tdoc R1-162155

[37] Qualcomm, *RSMA: Resource Spread Multiple Access*, 3GPP RAN1 Tdoc R1-163510

[38] ZTE, *MUSA: Multi-User Shared Access*, 3GPP RAN1 Tdoc R1- 162226

[39] L. Ping, L. Liu, K. Wu, and W. Leung, *Interleave-Division Multiple-Access*, *IEEE Trans. Wireless Commun.*, pp. 938-947. Vol. 5, No. 4, Apr. 2006.

[40] 3GPP 37.868 v11.0.0, *Study on RAN Improvements for Machine-Type Commun.*, 2011.

[41] 3GPP TR 23.887 v12.0.0, *Study on Machine-Type Communications and Other Mobile Data Applications Communications Enhancements*, 2013.

[42] 3GPP TR 45.820 v.2.1.0, *Cellular System Support for Ultra Low Complexity and Low Throughput Internet of Things*, Aug. 2015.

- [43] V. I. Barousis and A. G. Kanatas, "Aerial Degrees of Freedom of Parasitic Arrays for Single RF Front-End MIMO Transceivers," *Progress In Electromagnetics Research B*, vol.35, 2011, pp. 287-306.
- [44] Y.-K. Cho et al., $\lambda/16$ Spaced Single RF Chain MIMO Antenna Using Low-Power CMOS Switches, in Proc. *EuMC*, to be published, 2015.
- [45] D. Gwak et al., Analysis of Single-RF MIMO Receiver with Beam Switching Antenna, *ETRI J.*, vol. 37, no. 4, Aug. 2015, pp.647-656.
- [46] ITU-T SG13 FG, *IMT-2020: Report on Standards Gap Analysis*, Nov. 2015.
- [47] Alcatel Lucent, *A Choice of Future M2M Access Technologies for Mobile Network Operators*, White Paper, Mar. 2014.
- [48] Motorola, Motorola's Ultra-Long-Distance PTP Solution Contributes to Xinjiang Mobile's Village Phone Project, Dec. 2007.
- [49] SK Telecom, <http://sktelecom.com/press/detail.do?idx=2924>, April, 2013
- [50] Digifinet, <http://news.mk.co.kr/newsRead.php?year=2014&no=857333>, June, 2014

5G INSIGHT 2.0

5G Technologies and Its Wayforward

발 행 인 : 정 현 규

발 행 처 : 한국전자통신연구원 5G기가서비스연구부문

발 행 일 : 2017년 3월

I S B N : 978-89-5519-229-2



한국전자통신연구원
5G기가서비스연구부문

* 주의 : 본서의 일부 또는 전부를 무단으로 전재하거나 복사하는 것은
저작권 및 출판권을 침해하게 되오니 유의하시기 바랍니다.



5G기가서비스연구부문

