

실감 올림픽을 위한 밀리미터파 5G 이동통신 기술

박현서, 송영석, 김광선, 강병수
한국전자통신연구원

요약

모바일 UHD, 초다시점 영상, 증강/가상현실 등 실감형 서비스를 통한 체험하고 즐기는 실감 올림픽을 위해 기가급 데이터 전송이 가능한 모바일 인프라가 토대가 되어야 한다. 최근 이동통신은 2020년 상용화를 목표로 5G 이동통신 연구, 개발 및 표준화 경쟁이 활발히 진행 중이다. 5G 이동통신은 1000 배의 전송속도 향상을 통해 언제 어디서나 사용자에게 1 Gbps 전송 속도의 서비스를 제공하는 것을 핵심 성능지표로 고려하고 있다. 1000 배의 전송속도 향상을 위한 기술적 해결 방향으로 추가 주파수 확보, 주파수 효율 개선, 네트워크 밀집도 증대가 고려되고 있으며, 세 가지 해결 방향을 동시에 만족시키는 기술로 밀리미터파 액세스 기술이 5G 이동통신의 핵심 기술로 주목받고 있다.

본고에서는 밀리미터파 5G 이동통신 기술에 대해 소개한다. 5G 이동통신 기술의 큰 축으로 밀리미터파 액세스 기술이 주목 받고 있는 이유에 대해 기술하고, 밀리미터파 5G 이동통신 동향에 대해 소개한다. 5G 이동통신 시스템 측면에서 밀리미터파 5G 이동통신 기술의 도입 시나리오에 대해 예측해보고, 밀리미터파 5G 이동통신을 실현하기 위한 RF 기술, 물리계층 기술, 상위계층 기술에 대해 기술한다.

I. 서론

모바일 HD 고화질 야구중계처럼 스포츠 콘텐츠의 생명은 선명하고 생동감 있는 실시간 중계를 요구한다. 매일 볼 수 있는 야구경기에 비해 4년마다 열리는 올림픽은 더더욱 실시간 고화질 중계에 대한 요구사항이 높을 것이다. 평창 동계올림픽은 체험하고 즐기는 실감 올림픽을 목표로 개인별 기가급 모바일 인프라를 기반으로 모바일 UHD 중계뿐만 아니라 초다시점 영상, 증강/가상현실 등 실감형 서비스를 제공하여 첨단 ICT 기술의 축제의 장이 될 것이다. 개인별 기가급 모바일 인프라는 5G 이

동통신 시대의 서막을 알리는 이벤트가 될 것이다.

2014년은 “5G”라는 용어가 일상화된 해로 기억된다. 전 세계적으로 이동통신 연구와 기술 개발 및 표준화를 주도하는 기업체와 단체는 앞다퉀 5G 이동통신 백서를 발간하였고, 5G 이동통신 관련 대규모 R&D 프로젝트를 추진 중이며, 경쟁적으로 5G 이동통신 프로토타입 데모를 통해 보다 높은 전송속도를 시연하였다[1][2]. 2010년 대비 2020년 모바일 트래픽 1000 배 증가 예측과 10년 주기의 신규 이동통신 세대 출현에 따른 5G 이동통신 표준화는 미래 IMT (가칭 “IMT-2020”) 표준규격을 2020년 제정하기로 하였다. ITU-R WP5D는 미래 IMT 비전 권고를 작업 중에 있고, 미래 IMT의 핵심 성능지표를 그림1과 같이 현재까지 8개로 정의하였다[3]. 또한, 3GPP에서도 2015년 상반기 5G study item을 제안하여 5G 이동통신 표준화를 본격적으로 시작할 것으로 예상된다[4].

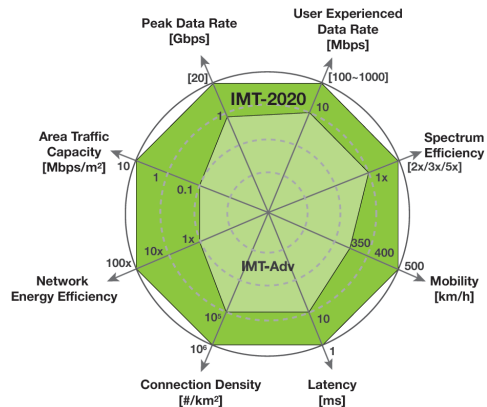


그림 1. 미래 IMT (“IMT-2020”) 핵심 성능지표

동통신 시스템 전송속도는 네트워크 밀집도 증대, 추가 주파수 확보, 주파수 효율 개선의 세 가지 동인에 의해 증가되어 왔다. 현재까지 위와 같은 세 가지 요인의 나열 순서대로 성능 향상 효과가 있었으며, 5G 시대에도 동일한 순서대로 영향을 미칠 것이라는데 이견이 없다. 그런 의미에서 네트워크 고밀도화 (Network Densification)는 5G 이동통신의 핵심 키워드로 주목받으며 매크로셀 내에 소형셀을 집중적으로 배치하여 성능

향상을 기대하고 있다. 그러나, 셀간 간섭 문제로 네트워크 고밀도화에 한계가 있고, 이것만으로는 1000 배 전송속도 향상을 이루기 쉽지 않을 것이다[5][6].

그래서 최근 들어 시스템 성능 향상의 두 번째 동인인 추가 주파수 확보를 고려하면서 밀리미터파를 이동통신에 활용하려는 연구가 활발히 진행 중에 있다. 밀리미터파는 넓은 주파수 대역 확보가 가능하다는 장점 외에도 경로 손실이 큰 대신 그에 따라 셀간 간섭이 적어 네트워크 고밀도화에 적합하고, 대규모 안테나 시스템 구축이 가능하여 주파수 자원 재사용으로 주파수 효율 개선 효과까지 얻을 수 있어 1000 배 이상의 시스템 성능 향상이 가능할 것으로 예상되며 5G 이동통신의 핵심 기술로 주목 받고 있다[7]-[11].

밀리미터파를 이동통신 액세스 기술로 활용할 수 있도록 충분한 커버리지를 확보하기 위해 밀리미터파의 전파 경로 손실과 대기 및 수증기, 회절과 반사에 의한 손실 등을 극복할 수 있는 안테나 기술이 중요하다. 송수신 어레이 안테나 기술을 이용하고 빔형성 기술을 이용하면 기존 6 GHz 이하 대역만큼 충분한 커버리지를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 밀리미터파에 적합한 다중 접속 기술 및 듀플렉싱 방식, 변조 및 코딩 방법도 주요한 연구 주제이고, 다중 안테나를 활용한 무선전송 기술은 밀리미터파의 시스템 성능을 결정하는 주요한 요소이다. 좁은 빔형성으로 핸드오버는 더 자주 발생되므로 단절 없는 서비스 제공을 위해 핸드오버를 안정적으로 수행하여야 하며, 장애물에 의한 통신 단절을 극복할 수 있도록 무선링크오류 복구 기술이 필수적이다. 또한, 기존 4G 시스템과 유기적인 결합을 통한 시스템 연동기술도 중요한 기술적 고려사항이다.

본고에서는 밀리미터파를 이동통신 액세스 기술로 활용하기 위한 밀리미터파 5G 이동통신 시스템에 대해 기술한다. 2장에서는 밀리미터파 5G 이동통신 시스템에 대해 소개하고, 밀리미터파 5G 시스템의 구축 시나리오에 대해 전망해 본다. 3장에서는 기지국과 단말 RF 기술, 4장에서는 밀리미터파 무선전송 물리계층 기술, 5장에서는 밀리미터파 무선전송 상위계층 기술에 대하여 각각 살펴본다.

II. 밀리미터파 5G 이동통신 시스템 개요

기가코리아 밀리미터파 5G 이동통신 시스템 개발 사업 (이하, GK-5G 시스템) 은 5G 이동통신 시스템 성능 요구사항을 만족하며, 밀리미터파의 초광대역 주파수를 활용하여 언제 어디서나 사용자에게 1 Gbps 전송속도의 서비스를 제공하는 것을 목표로 한다. <그림 2>와 같이 밀리미터파 (10~40 GHz)를 활용

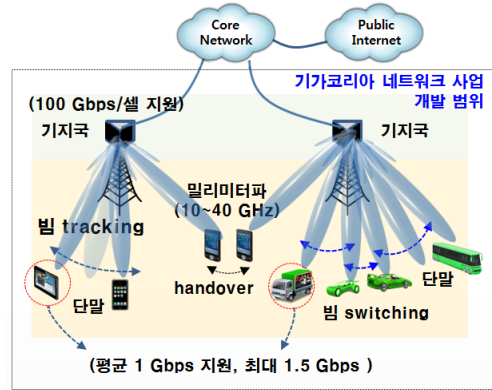


그림 2. GK-5G 시스템 개념도

하여 기지국 최대 100 Gbps 및 개인당 최대 1.5 Gbps를 제공하는 시스템을 개발하고 있다. 이를 위해 빔형성 기반 무선전송 기술을 정의하고 있으며, 빔형성 기술은 적응형 빔형성 기술과 스위칭 빔형성 기술을 모두 고려하고 있다. 단말의 이동에 따라 적응형 빔형성 기술에서는 빔트래킹, 스위칭 빔형성 기술에서는 빔스위칭을 통해 빔간 핸드오버를 제공한다.

1단계 시스템으로 스위칭 빔형성 기반 셀 구성 시나리오는 기지국 섹터당 16개 3차원 빔을 형성하고, 각 빔은 주파수 자원을 재사용하여 기지국당 100 Gbps 전송속도를 제공한다. 기지국 안테나 구조는 그림3과 같이 120도 영역을 커버하기 위해 1열과 2열엔 6개, 3열엔 4개의 안테나 배열로 구성된다. 안테나는 총 16개의 modular type 안테나로 구성되며, 각각은 패치 안테나를 이용하는 고정빔을 사용한다. 섹터의 전 영역을 커버하기 위해 안테나의 배치를 기계적으로 조정하여 모든 영역을 커버할 수 있도록 한다. 이와 같이 구성된 각 빔이 하나의 소형셀과 동일한 효과를 가져 1단계 시스템을 Centralized Small Cell 시나리오로 정의하였다.

밀리미터파 5G 이동통신 시스템의 구축 시나리오에 대해서는 아직까지 의견이 분분한 상황이다. 한편에서는 밀리미터파 5G

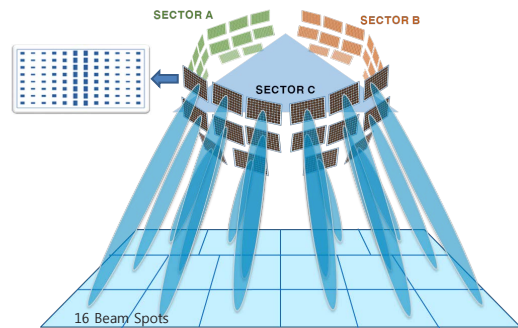


그림 3. GK-5G 시스템 기지국 빔형성 구조 예

이동통신 시스템이 기존 셀룰러 네트워크를 완전히 대체할 수도 있다는 전망을 하는 반면, 밀리미터파 전파 특성을 극복하기 힘들어 핫스팟 지역에서 초근거리 통신용으로 셀룰러 네트워크의 보완재로 정도로 활용될 것이라는 전망도 있다. 밀리미터파 연구가 본격화되면서 커버리지와 전송속도 측면에서 기존 3.5 GHz ~ 6 GHz 보다 오히려 더 성능이 우수하다는 결과를 바탕으로 소형셀에 기존 주파수 외에 밀리미터파를 활용하는 방안이 큰 주목을 받고 있다. 이미 도심 밀집지역에서는 기지국간 거리가 100m 이내이기 때문에 소형셀 기술에 밀리미터파 주파수를 추가하면 5G 전송속도 성능지표를 충분히 만족시킬 수 있을 것으로 예상된다.

3GPP에서도 6 GHz 이상의 밀리미터파 주파수를 사용한 LTE-Advanced 시스템 확장에 대한 study item이 제안된 상태이고, LTE Release-12 소형셀 개념을 확장하여 밀리미터파 주파수를 활용하여 밀집된 지역에서 시스템 성능을 더욱 향상시키기 위한 연구를 4G LTE 시스템의 5G로의 진화 방향으로 고려하고 있다[12][13]. 종합적으로 고려해서 5G 이동통신 셀 배치 구조는 <그림 4>와 같이 매크로셀과 소형셀 계층이 중첩된 다중셀 구조로 예상된다. 매크로셀은 6 GHz 이하의 주파수 대역을 사용하여 커버리지 계층과 이동성 계층을 담당하고, 소형셀은 6 GHz 이하와 6 GHz 이상의 주파수 대역을 모두 사용하여 성능 향상 계층으로 활용될 것으로 전망한다.

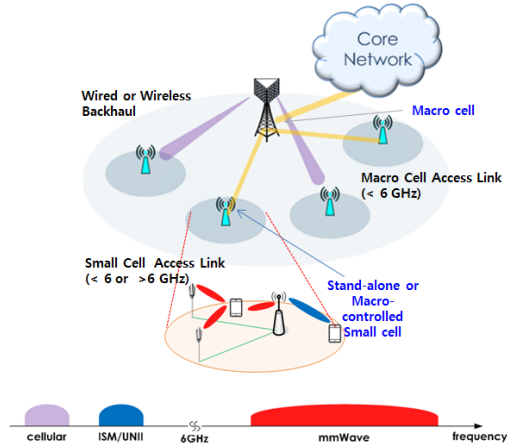


그림 4. 5G 이동통신 셀 배치 구조

III. RF 기술

1. 기지국 RF 기술

GK-5G 시스템의 기지국 RF 시스템은 그림5와 같이 다중빔

기반의 밀리미터파 대역의 신호를 처리하기 위해 각 안테나마다 독립적인 RF 송수신기가 위치한다. 고려하고 있는 밀리미터파 대역은 기존의 6GHz 이하 대역에 비해서 높은 손실이 발생하므로 저손실의 RF 설계 기술이 중요하다. TDD 방식을 지원하기 위해서는 송수신 신호를 선택하기 위해 RF 스위치가 필요한데 RF 스위치를 안테나 바로 전단에 사용할 경우 스위치의 손실은 출력 손실 저하와 수신 잡음지수의 증가를 가져오므로 손실이 적은 RF 스위치가 필요하다. 하지만 일반적으로 밀리미터파 대역의 고풍력 RF 스위치의 경우 손실이 크므로 스위치 대신 서큘레이터를 사용하는 것을 고려하는 것도 좋은 방법이다. 또한 RF 송수신기와 안테나의 인터페이스는 낮은 삽입손실과 기구적인 안정도를 높이기 위해 밀리미터파 대역에서는 도파관을 사용하는 것이 일반적이나 도파관을 사용하는 경우 안테나와 RF 송수신기가 일체형 구조를 가지므로, 설치 시 무게와 전원 및 베이스밴드와의 인터페이스 등의 추가적인 고려사항이 필요하다.

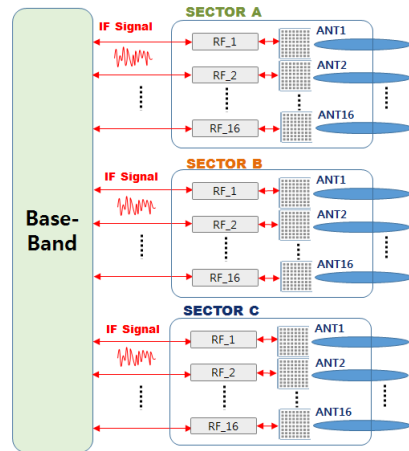


그림 5. 기지국 RF 시스템 구조도

기지국용 안테나는 향후 빔형성 기술 적용을 고려하여 패치 어레이 안테나를 기본으로 고려하였고, 셀내 일정 크기의 안테나 빔영역을 만들고 셀 커버리지 영역 내 링크 버짓을 만족하기 위해 이득과 빔폭을 만족하는 적절한 배열 수를 선택하여야 한다. 안테나 설계에 있어서 중요한 것은 안테나 사이드 로브 특성이다. <그림 6>은 안테나의 지향각이 다른 다중빔에 대한 방사 패턴을 나타낸다. 어레이 안테나에서 필연적으로 발생하는 사이드 로브는 그림6에서 보는 것과 같이 다중빔을 사용할 경우, 원하는 주빔 영역안에 원하지 않는 다른 빔의 사이드 로브 신호가 들어오게 된다. GK-5G 시스템의 경우 기지국당 최대 48개의 빔이 사용되므로 동일한 사이드 로브 크기라고 가정했을 때 16.8 dB의 간섭신호 상승 문제가 발생한다. 그러므로 기

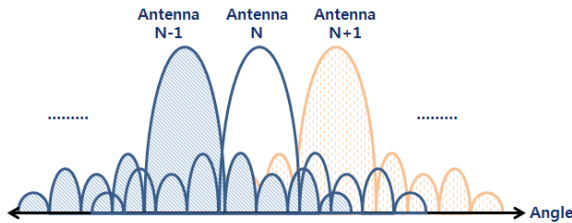


그림 6. 기저국 RF 다중 안테나 방사 패턴

지국 안테나 설계시 사이드 로브 저감 기술의 적용이 필요하다. 그러나 패치 안테나의 설계만으로는 높은 사이드 로브 저감은 이루는 것에 한계가 있고 다양한 전파 환경을 고려하면 안테나와 모뎀 및 디지털 신호 처리가 함께 고려된 기술이 같이 연구되어야 할 것으로 생각한다.

2. 단말 RF 기술

GK-5G 시스템 단말 설계의 기본 방향은 적정 수준의 복잡도 내에서 구현이 가능한 단말의 설계이다. 밀리미터파를 이용하는 이동통신에서 예상되는 가장 큰 문제점은 수 GHz 이하의 주파수 대역을 이용하는 기존의 이동통신 시스템에 비해서 수 ~ 수십 dB 이상 높은 경로 손실을 어떻게 극복할 것인가가 중요한 문제이다. 단말 RF 관점에서는 고이득을 가지는 다수의 지향성 안테나 단을 구성하여, 추가적인 경로 손실을 보상하는 것을 핵심 구조로 고려할 필요가 있다. 다수의 안테나 어레이를 이용하여 고이득 안테나단을 구현하는 방안으로는 적응형 빔형성과 스위칭 빔형성 방식을 생각할 수 있다.

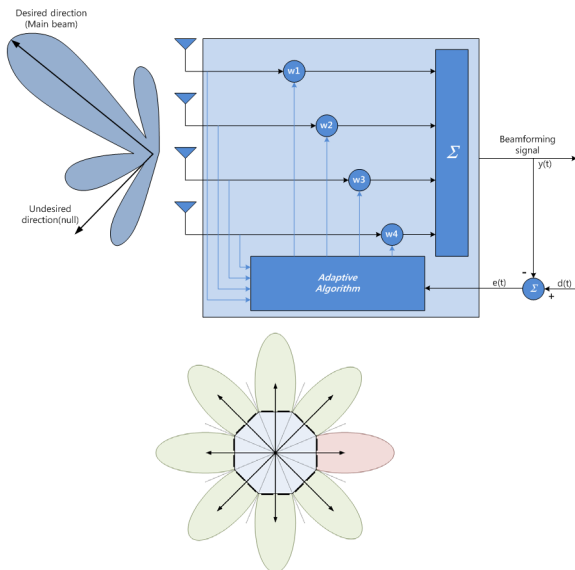


그림 7. 단말 RF 빔형성 방식: 적응형 빔형성 (상), 스위칭 빔형성 (하)

적응형 빔형성 방식은 신호의 도달 방향에 따라서 빔의 방향을 제어하는 방식으로 빔 제어소자의 위치에 따라서 아날로그 방식과 디지털 방식으로 나눌 수 있다. 아날로그 빔형성 방식은 RF 대역에서 캐리어 신호의 진폭 및 위상의 차이를 이용하여 빔의 형태 및 방향을 조절하는 시스템으로, 각 안테나에 위상 천이기(Phase Shifter), 감쇄기 등의 제어 소자가 요구되며, 저잡음 증폭기와 주파수 하향처리 단계를 수행한 후 하나의 신호가 출력된다. 이것은 디지털 구조에 비해 상대적으로 구현이 간편한 장점이 있지만, 위상 천이기 및 감쇄기의 분해능력에 따라 빔 방향 및 형태에 대한 정교함이 결정되기 때문에 디지털 빔포밍 시스템에 비해 빔포밍 간 정교함이 떨어지고 안테나 패턴의 부엽 레벨(Side Lobe Level)의 제어가 어렵다는 단점이 있다.

디지털 빔형성 방식은 RF 송/수신기 등을 통해 디지털화된 신호에 각각의 가중치 벡터(Weight Vector)를 가해서 신호를 처리하는 시스템으로 각 안테나로부터의 RF 신호가 개별 RF 송/수신기를 통해 디지털 대역으로 넘어가게 된다. 디지털 시스템은 디지털 신호처리를 통해 빔포밍을 구현할 수 있어 신호처리 능력에 따라 통신 요구에 따른 정교한 빔을 생성시킬 수 있는 장점이 있으나, 다수의 RF 송/수신기 경로가 요구되어 상대적으로 구현이 복잡해지고, 신호처리 알고리즘에 따라 계산이 복잡해져 처리시간이 증가하게 되는 단점이 있다.

이러한 적응형 빔형성 방식을 이동통신 단말에 적용하기 위해서는 다수의 소자들의 고집적화가 선행이 되어야 하며, 특히 각 RF 소자들의 저전력화가 필수적으로 선행이 되어야 할 것이다. 적응형 빔형성 방식을 단말에 적용하는데 있어서 가장 큰 제한 요소는 단말의 특성상 요구되는 방위각 360도 전방향에 대한 빔제어의 어려움과 다수의 신호 경로간의 calibration의 복잡도 동일 것이다.

이에 반해 스위칭 빔형성 방식은 단일 혹은 어레이 안테나로 이루어지는 별개의 안테나 빔을 물리적인 방향에 따라 미리 배치한 후, 신호의 방향에 따라서 안테나 빔을 선택하는 방식으로 구현의 단순함과 calibration이 필요하지 않은 장점 등을 가진다. 단점으로는 빔의 방향을 제어하지 않기 때문에 단말에 적용할 경우 단말의 위치에 따라 효율의 차이가 발생하고 고이득의 안테나를 전방향으로 구현하기 위해서는 다수의 안테나 어레이를 방사형으로 배치해야 하기 때문에 단말 설계시 안테나 위치에 대한 충분한 고려가 이루어져야 한다는 점 등이다.

스위칭 빔형성 방식을 이동통신 단말에 적용할 경우 또 다른 고려되어야 할 점은 빔간 스위칭시 발생할 수 있는 지연 현상이다. 단말의 위치와 동작에 따라서 빈번하게 발생할 수 있는 빔간 전환에 있어서 빔서칭에 소비되는 시간을 최소화하기 위한 방안이 고려되어야 하는데, 가장 간단한 방법으로는 메인 신호의 수

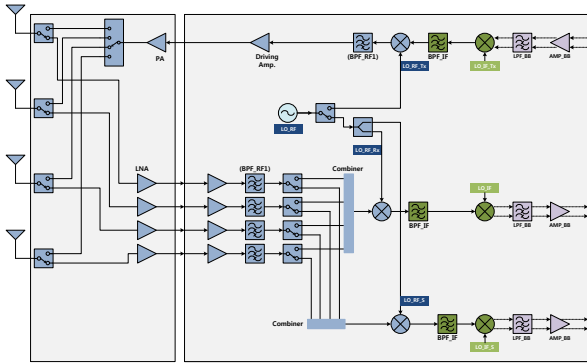


그림 8. 4-안테나 TDD 단말 RF 구조 설계 예시

신 신호 경로와 별도의 수신 경로를 두고 통신이 이루어지고 있는 안테나빔을 제외한 나머지 빔을 일정 시간 간격으로 계속해서 모니터링하는 방법이 있다. 이러한 방식을 빔서치 방식이라 하는데 이러한 구조는 직관적으로 이해하기 쉬운 구조이며, 수신기 설계를 그대로 이용할 수 있기 때문에 별도의 개발이 필요치 않는 반면 안테나 빔간 스위치 구조에서 메인 신호와 모니터링 신호간의 구분을 위한 스위치 구조가 추가되어야 하기 때문에 스위치 구조가 상대적으로 복잡해지는 단점이 있다. 특히 TDD 시스템에서는 송수신 신호분리 스위치를 함께 고려해야 하므로 더욱 복잡한 스위치 구조가 필요하게 되고 이에 따라서 신호 손실이 발생할 가능성에 대한 추가적인 고려가 필요하다.

IV. 물리계층 기술

1. 다중 접속과 프레임 구조

하향링크 다중접속은 고속전송과 다중경로 전파채널에 장점이 있는 OFDMA 방식을 사용한다. 상향 링크는 단말의 PAPR을 고려하여 SC-FDMA를 사용한다. 밀리미터파 대역은 carrier component당 광대역을 사용할 수 있는 장점이 있는 반면 경로 손실이 크다는 단점이 있다. 광대역과 경로 손실로 인해 셀 크기는 상대적으로 작게 설정되는 점을 고려하고, 구현에

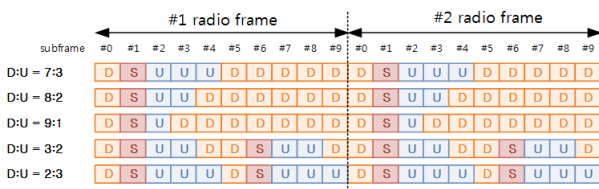


그림 9. TDD 상/하향 링크 할당 모드

서의 상대적 장점으로 듀플렉스 방식은 TDD를 우선 고려한다. <그림 9>는 GK-5G 시스템의 TDD 방식 상/하향 링크 할당 모드 5가지를 나타낸다.

시스템 대역폭은 기본 대역폭 125 MHz으로 하고 250 MHz, 500 MHz, 1 GHz 대역폭으로 최대 8개 carrier aggregation이 가능하다. Coherent bandwidth/time과 doppler를 고려하여 부반송파 간격은 180 kHz로 설계하였다. 하향링크의 세부 파라미터는 <그림 10>과 같다.

System bandwidth (MHz)	125
Sampling rate (MHz)	184.32
Subcarrier spacing (kHz)	180
Number of subcarriers (total)	694
Number of subcarriers (guard band 제외)	624
OFDM symbol length (FFT size)	1,024
OFDM symbol duration (us)	5.56
CP length	128
CP duration (us)	0.69
Slot duration (us)	100
Number of slot per millisecond	10
Number of sample per millisecond	184,320
Number of sample per slot	18,432
Number of OFDM symbols per slot	16

그림 10. 하향링크 OFDM 파라미터

프레임 구조는 1 radio frame (2ms)는 10개의 subframe으로 구성되고, 1 subframe (0.2ms)는 2개의 슬롯(slot)으로 구성된다. 하향링크 전송에서 상향링크 전송으로 바뀌는 경우 중간에 special subframe을 두어 충돌이 일어나지 않도록 한다. Special subframe내의 보호 구간이 이러한 역할을 하며, 경우에 따라 보호구간의 길이를 달리하여 사용한다. <그림 11>에 special subframe 구조를 나타내었다.

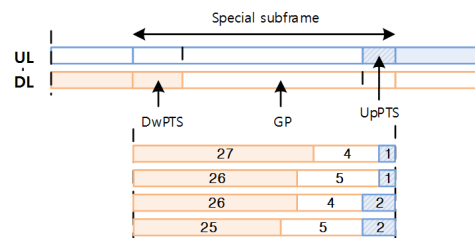


그림 11. TDD special subframe 구조

2. 동기 및 레퍼런스 신호

동기 신호는 셀 내의 단말기가 프레임/심벌 동기를 하고 단말기가 속한 셀 ID를 탐색하기 위한 용도이다. GK-5G 시스템에서 동기신호는 섹터 내 다중안테나로 셀 ID를 포함하여 전송된다. LTE와 동일하게 PSS/SSS 신호를 가지며 매 프레임당 2번 전송되어 탐색 확률을 높인다. 레퍼런스 신호는 데이터 복조에 참조하는 용도나 채널 품질을 측정하는 용도, 주파수 트래킹 용도로 사용하는 신호이다. GK-5G 시스템의 레퍼런스 신호구분은 다음과 같다.

- C-RS (Cell specific reference signal)
- BDM-RS (Beam demodulation reference signal)
- BSI-RS (Beam status information reference signal)

C-RS는 섹터 전체에 전송되며 주파수 트래킹 용도와 채널 품질 측정 및 복조 시 참조 용도로 사용한다. BDM-RS는 빔별 데이터 전송에 같이 전송되는 신호로 복조 시 참조 용도로 사용한다. BSI-RS는 빔의 채널 품질을 측정하는 용도로 사용하며 낮은 전송 주기를 가진다.

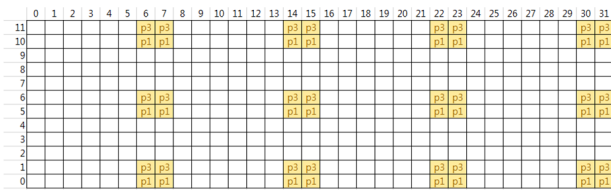


그림 12. BDM-RS 포트 1,3 매핑 예

3. 제어 채널

제어채널은 하향링크 스케줄링 할당과 상향링크 스케줄링 승인 및 제어 정보를 전달하는 채널이며, 하나의 제어 채널은 DCI(Downlink Control Information) 포맷 중 하나의 정보를 포함한다. 각 subframe의 제어채널 영역에는 다수의 제어채널이 전송된다. 각 subframe은 16개의 OFDM 심볼로 이루어져 있고 이 중 제어채널 영역은 최대 4개의 OFDM 심볼까지 할당할 수 있다. DCI 포맷은 다음과 같다.

DCI format	용도
0	상향링크 스케줄링 승인
1	BDM-RS를 사용하는 data channel 전송
1A	C-RS를 사용하는 data channel 전송
2	두 빔의 BDM-RS 정보를 사용하는 data channel 전송

DCI 0에 포함되는 정보는 상향링크 자원 승인 및 MCS 정보, 상향링크 전력제어 정보 등이 있으며, DCI 1/1A/2에 포함되는 정보는 하향링크 자원 할당 및 MCS 정보, HARQ 관련 정보, 상향링크 전력제어 정보, BDM-RS ID 정보 등이 있다. 각 DCI 포맷은 동일한 크기를 가지고 있으며, flag 정보로 구분한다.

4. 다중안테나 전송 기술

밀리미터파 대역에서의 전송은 광대역 시스템 대역 확보가 가능해서 섹터 용량은 대역폭에 따라 선형적으로 증가한다. 또한 밀리미터파는 작은 안테나 크기로 인해 빔포밍/MIMO 기술을 구현 및 운용하는데 유리하다. 시스템 성능의 주요 평가항목으로 user peak rate과 셀 용량을 들 수 있다. User의 peak rate을 증가시키기 위해서는 한 user에게 다중스트림을 전송하는 single user MIMO(SU-MIMO) 기술을 적용하여야 한다. 그러나, 밀리미터파의 전파 특성상 저주파 대역에서와 같은 rich scattering 전파 환경이 아니므로 SU-MIMO로 user peak rate 증가를 크게 기대할 수 없다. 셀 용량을 증가시키기 위해서는 다수의 user에 다중 스트림을 전송하는 multi-user MIMO(MU-MIMO) 기술을 사용한다. GK-5G 시스템의 빔포밍/MIMO 기술은 MU-MIMO를 중점으로 한다. 다수의 3D 고정빔을 사용하여 동시 전송 가능한 스트림 수를 늘려 섹터 용량을 증가시키는데 초점을 두고 있다.

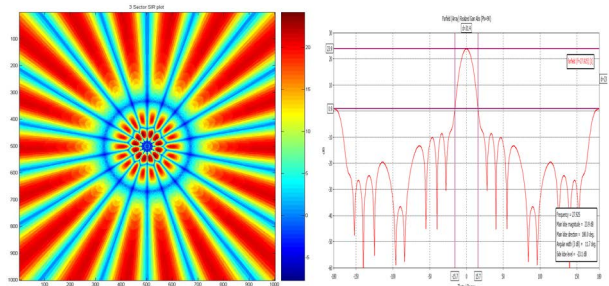


그림 13. SIR map과 빔패턴

<그림 13>은 GK-5G 시스템의 기지국 안테나 시스템의 이상적 설계 예의 결과로 SIR map과 고정빔의 수평방향 패턴을 도시한 것이다. 모든 빔이 전송될 때 LOS채널 환경에서 SIR을 도시하였다. 빔간 간섭이 강한 빔 중첩 영역에는 낮은 SIR을 가지며 빔 간섭이 약한 영역에는 높은 SIR을 보인다.

GK-5G 시스템은 다수 단말의 위치에 따라 다수의 전송 빔을 선택하여 운영되며, MU-MIMO는 단말의 BSI-RS에 의한 채널 품질 측정과 이의 피드백을 통한 단말별 스트림의 스케줄링 최적화로 운영된다. 다중안테나 전송 기법은 다음과 같다.

- SBT: Single 빔 전송 (MU-MIMO 포함)

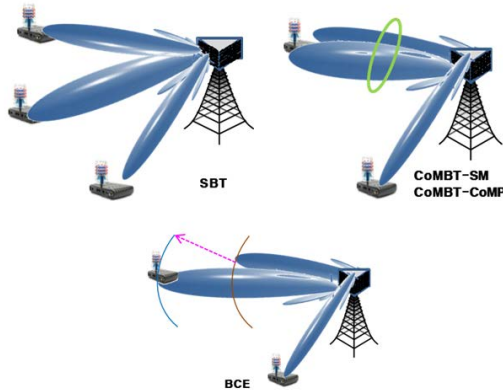


그림 14. 다중안테나 전송 기법

- CoMBT: Coordinated 다중빔 전송 (SU-MIMO/빔간 협력)
- BCE: 빔 coverage 확장 전송

V. 상위계층 기술

1. 핸드오버 제어 및 무선링크오류 복구 기술

네트워크 고밀도화는 빈번한 핸드오버가 발생되고, 셀간 간섭의 영향으로 핸드오버가 실패할 확률이 높아진다는 점에서 핸드오버 제어가 중요한 문제로 대두되고 있다. 실제로 LTE 상용망에서 필드 테스트를 통해 도심에 기지국이 밀집된 환경에서 LTE 핸드오버 기술은 핸드오버 실패 확률이 20% 이상으로 핸드오버 성능에 문제가 있다는 것이 보고되고 있다[14]. 더욱이 밀리미터파 5G 이동통신에서는 좁은 빔형성으로 인해 빔간 핸드오버가 더욱 빈번하게 발생되고, 무선 채널의 급격한 변화로 핸드오버 실패가 더욱 빈번하게 발생할 것으로 예상된다.

LTE 핸드오버 제어 기술의 문제점으로 <그림 15>와 같이 셀 경계의 간섭 영역에서 셀간 간섭으로 핸드오버 제어 메시지의 전송 실패로 인한 핸드오버 실패 확률이 높은 핸드오버 성능 문제와 핸드오버로 인해 발생하는 데이터 중단 시간이 수십 ms로 핸드오버 동안 사용자 통신 품질의 저하가 발생된다는 문제가 있다[15][16]. 밀리미터파 5G 이동통신에서 빈번하게 발생하는 핸드오버는 문제가 더 심각한 상황이다.

밀리미터파 5G 이동통신에서 고속 핸드오버가 가능하도록 4G 이동통신에서 네트워크 중심의 핸드오버에서 단말 중심의 핸드오버 제어로 패러다임 전환이 예상된다. 단말 중심의 핸드오버 제어는 핸드오버 실패 확률을 줄일 뿐만 아니라 핸드오버 단절 시간을 줄이는 효과도 기대된다. 3GPP에서도 네트워크

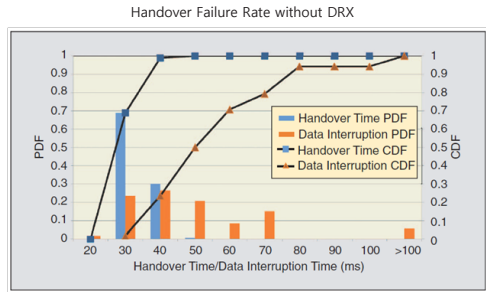
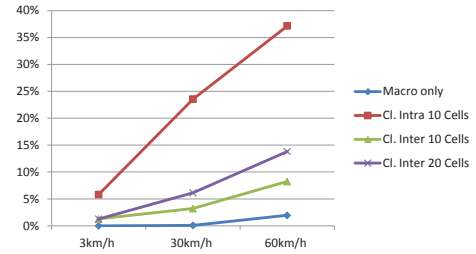


그림 15. LTE 핸드오버 제어 기술 문제점

고밀도화를 위해 LTE 핸드오버의 개선이 필요함을 인지하고, 핸드오버 성공률 향상과 단절 시간 감소를 위한 study item을 제안하여 표준화를 추진 중에 있다[16][17][18].

밀리미터파 전파 특성상 회절 및 투과에 의한 전파 손실이 크기 때문에 장애물에 의한 통신 단절이 빈번하게 발생된다. 이를 극복할 수 있도록 통신 단절이 발생하는 순간 바로 통신 가능한 최적의 셀을 찾아 연결을 재설정하는 무선링크오류 복구 기술이 필수적이다. 밀리미터파는 급격한 무선 채널 변화가 예상되므로 다중셀 핸드오버 준비를 통해 단말이 통신 가능한 후보 빔들을 미리 준비시키는 전략이 필요하다. 또한, 안정적인 무선링크오류 복구를 위해 Context Fetch를 통한 무선링크오류 복구 방법도 고려할 필요가 있다[19].

2. CA / DC 기술

CA (Carrier Aggregation: 주파수 집성) 기술은 다수의 요소 캐리어를 동시에 묶어서 사용할 수 있도록 하여 최대 100 MHz의 넓은 전송 대역폭을 통해 전송속도를 향상시키는 4G 이동통신의 핵심기술이다[19]. 밀리미터파 5G 이동통신에서도 CA 기술은 여전히 중요한 기술이다. 밀리미터파 대역에서 광대역 주파수 확보가 가능하더라도 주파수 자원의 효율적인 관리를 위해 요소 캐리어로 나눠 사용자에게 할당할 수 있고, 밀리미터파 대역에서도 비연속적인 주파수를 동시에 묶어서 사용할 필요가 있다. 또한, 기존 셀룰러 주파수와 밀리미터파 대역 주파수를 동시에 묶어서 사용하는 CA 기술도 요구된다.

4G-5G 이동통신 시스템 연동 시나리오를 고려하면, 매크로

셀과 소형셀 계층이 중첩된 다층셀 구조의 5G 이동통신 셀 배치 구조에서 소형셀에 기존 주파수 외에 밀리미터파를 활용하는 4G-5G CA 기반 연동 시나리오가 제일 우선순위가 높을 것이다. 다음 단계로 4G 시스템은 매크로셀로 동작하여 커버리지 계층과 이동성 제어를 담당하고, 소형셀은 밀리미터파 주파수 대역을 사용하며, 단말은 매크로셀과 소형셀을 동시에 접속하여 통신하는 4G-5G DC (Dual Connectivity) 기반 연동 시나리오가 가능할 것이다. 밀리미터파 소형셀에 대한 충분한 기술

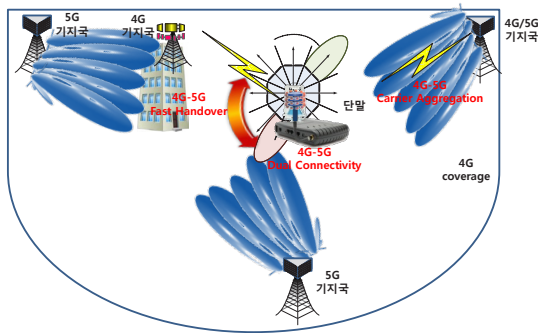


그림 16. 4G-5G 이동통신 시스템 연동 시나리오

검증과 시험을 통해 안정적인 통신 링크 형성이 가능하다면, 밀리미터파 주파수만으로 독립적인 셀 구성이 가능하고, 4G-5G Inter-RAT 핸드오버 기반 연동 시나리오가 가능할 것이다.

DC (Dual Connectivity: 이중 접속) 기술은 단말이 매크로셀 기지국과 스몰셀 기지국이 제공하는 무선 자원을 동시에 사용할 수 있도록 하여 전송효율을 높일 수 있는 전송 방식이다. 매크로셀 기지국과 스몰셀 기지국이 이상적인 백홀로 연결되어 있는 경우에는 기존 CA 기술을 사용하면 되지만, 약간의 지연이 있는 백홀로 연결되어 있는 경우에 CA 기술은 동작이 불가능하다. 이를 위해 전송 지연이 있는 백홀로 연결되어 있는 매크로셀 기지국과 스몰셀 기지국을 동시에 접속하여 CA 기술과 유사한 전송속도 향상을 제공하는 것이 DC 기술이다[19]. DC를 지원하는 단말은 매크로셀 기지국에 접속되어 있는 상황에서 추가로 스몰셀 기지국의 셀을 추가하거나 삭제하거나 하는 동작으로 핸드오버 동작 없이 셀 변경이 가능하다.

최근 3GPP에서는 LTE 호환 주파수를 비면허 대역까지 확대하는 LAA (Licensed Assisted Access) 기술과 CA 기술의 요소 캐리어 수를 최대 5개에서 32개까지 확장하기 위한 기술을 표준화 아이템으로 승인하였다[20][21]. CA 기술과 DC 기술을 확장하여 비면허 대역 주파수까지 묶어서 사용하여 전송속도를 향상시키는 기술을 연구중이다. 향후에는 CA 기술과 DC 기술을 확장하여 밀리미터파 대역 주파수까지 묶어서 사용하여 미

래 IMT 전송속도 성능지표를 만족하는 5G 표준화를 추진할 것으로 예상된다[13].

3. 빔간 간섭 제어 기술

네트워크 고밀도화는 단위 영역에 셀을 더 많이 배치하므로, 셀 영역이 겹치는 부분이 많아지고, 간섭으로 작용하는 셀이 더 많아지기 때문에 셀간 간섭 문제가 중요한 이슈로 대두되고 있다. 3GPP에서는 셀간 간섭을 피하기 위해 인접 셀 간에 주파수 및 시간을 분할하여 사용하는 ICIC (Inter-Cell Inteferece Coordination) 기술과 셀간 협력 통신을 통해 간섭을 최소화하는 CoMP (Coordinated Multi-Point Transmission/ Reception) 기술을 표준화 하였다. 또한, 소형셀을 실시간으로 On/Off 하여 셀간 간섭을 제거하려는 기술을 논의 중에 있다.

밀리미터파 5G 이동통신에서는 고이득 빔형성 기술로 좁은 빔을 형성하여 기존 셀룰러 주파수와 대비하여 셀간 간섭 영향이 적을 것으로 예상된다. 그러나, 고밀집 환경에서 다수의 좁은 빔을 형성하는 경우에는 빔간 간섭이 불가피하고, 극단적으로 일정 수 이상의 빔을 형성하는 경우 빔간 간섭 영향으로 모든 빔 영역에서 통신이 불가능한 상황이 벌어질 수도 있다. 밀리미터파 5G 이동통신에서는 시간 도메인, 주파수 도메인뿐만 아니라 공간 도메인 간섭 제어를 고려해야 하며, 사용자를 그룹화 하여 빔을 할당하여 빔간 간섭을 줄이는 기술 등을 고려해야 한다.

GK-5G 시스템에서 다양한 빔간 간섭 제어 기술을 고려하고 성능 분석이 필요하다. 빔간 간섭 제어 기술로 물리계층에서 기술한 CoMBT-SM, CoMBT-CoMP, BCE 뿐만 아니라 주파수 도메인 ICIC, 시간 도메인 ICIC 등을 고려중이고, 사용자 그룹을 통한 실시간 빔 On/OFF를 고려중이다. 한 셀 내에서 빔이 다수 운용되는 경우 실시간 빔 On/OFF, 즉 빔 muting 기술이 성능이 우수할 것으로 예상된다.

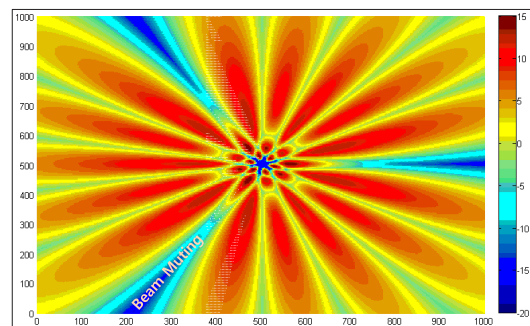


그림 17. Beam Muting을 이용한 빔간 간섭 제어 실시 예

VI. 결론

5G 이동통신 네트워크는 기가급 모바일 인프라를 제공하여 모바일 UHD, 초다시점 영상, 증강/가상현실 등 실감형 서비스를 통한 체험하고 즐기는 실감 올림픽을 실현하기 위한 기반 기술이다. 밀리미터파는 네트워크 밀집도 증대, 추가 주파수 확보, 주파수 효율 개선을 동시에 제공하여 1000 배 이상의 시스템 성능 향상이 예상되며 5G 이동통신의 핵심 기술로 주목받고 있다. 지금까지 밀리미터파 5G 이동통신 시스템에 대해 소개하고, 밀리미터파 5G 이동통신을 실현하기 위한 RF 기술, 물리계층 기술, 상위계층 기술에 대해 살펴보았다.

2015년 3GPP는 5G 표준화 준비 작업을 추진할 것이며, CA 기술과 DC 기술을 기반으로 한 소형셀 기술을 확장한 네트워크 고밀도화가 그 중심에 있을 것으로 예상된다. 네트워크 고밀도화를 위해 LTE 호환 주파수로 기존 셀룰러 주파수 외에 비면허 대역을 포함할 것으로 예상되고, 밀리미터파 주파수까지 확장할 것으로 예상된다. 우리나라는 세계 최초로 4G 이동통신 전국망을 구축하였으며, 2015년 LTE 3-Band CA 기술을 세계 최초로 상용화 하며, 4G 이동통신 시대를 선도하고 있다. 우리나라는 모바일 강국으로서의 위상을 지속하고, 5G 기술 주도권을 확보하기 위해 개별적인 5G 요소 기술 연구로부터 확장하여, 4G 이동통신 시스템의 경험과 노하우를 바탕으로 5G 이동통신 시스템 개발이라는 큰 그림에서 국내 산학연관의 유기적인 협력하에 장기적인 관점에서 조직적이고 집중적인 연구, 개발 및 표준화 전략이 필요한 시점이라 생각한다. 이를 바탕으로 평창 ICT 올림픽을 세계 최초로 5G 이동통신 시대의 서막을 알리는 축제의 장으로 만들어야 할 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 미래창조과학부 '범부처 Giga KOREA 사업'의 일환으로 수행하였음. [GK14N0100, 밀리미터파 5G 이동통신 시스템 개발]

참고 문헌

[1] 이현우, 해외 5G 연구동향 및 국제협력 현황, TTA 저널 152호, 2014.
 [2] 오상진, 5G 이동통신 산업 발전을 위한 정부 정책, TTA 저

널 152호, 2014.
 [3] 김경미, 제20차 ITU-R WP 5D 회의, TTA 저널 156호, 2014.
 [4] 3GPP SA1#68 S1-144361, Overview of potential 5G study item, Vodafone, 2014.
 [5] 고영조, 방승찬, 5G 무선 기술, TTA 저널 152호, 2014.
 [6] N. Bhushan et al., "Network Densification: The Dominant Theme for Wireless Evolution into 5G," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 2, February 2014.
 [7] 김경미, 5G 주파수 논의 동향, TTA 저널 152호, 2014.
 [8] F. Boccardi et al., "Five Disruptive Technology Directions for 5G," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 2, February 2014.
 [9] W. Roh et al., "Millimeter-Wave Beamforming as an Enabling Technology for 5G Cellular Communications: Theoretical Feasibility and Prototype Results," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 2, February 2014.
 [10] R. Baldemair et al., "Ultra-Dense Networks in Millimeter-Wave Frequencies," IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 1, January 2015.
 [11] C. Dehos et al., "Millimeter-Wave Access and Backhauling: The Solution to the Exponential Data Traffic Increase in 5G Mobile Communications Systems?," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 9, September 2015.
 [12] 3GPP RAN#66 RP-142196, New SID Proposal: Study on further evolution beyond LTE-Advanced using frequency spectrum above 6 GHz, Samsung, 2014.
 [13] B. Bertenyi (3GPP TSG SA Chairman), 3GPP system standards heading into the 5G era, Eurescom message, 2014.
 [14] 3GPP RAN2#85 R2-140089, Mobility performance in real network, Qualcomm Incorporated, 2014.
 [15] 3GPP TR 36.842, Study on Small Cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN; Higher layer aspects
 [16] 3GPP RAN#66 RP-141963, New WI: Improved Mobility for Synchronous LTE Networks, Nokia Networks, 2014.
 [17] 3GPP RAN#66 RP-142036, New SI proposal: Study

- on Mobility Enhancements for LTE, Ericsson, 2014.
- [18] 3GPP RAN#66 RP-142005, New SI: Partial control of Cell Management for UEs in LTE, Nokia Networks, 2014.
- [19] 3GPP TS 36.300, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2
- [20] 3GPP RAN#65 RP-141664, Study on Licensed-Assisted Access using LTE, Ericsson, Qualcomm, Huawei, Alcatel-Lucent, 2014.
- [21] 3GPP RAN#66 RP-142286, New WI proposal: LTE Carrier Aggregation Enhancement Beyond 5 Carriers, Nokia Corporation, NTT DoCoMo Inc., Nokia Networks, 2014.

약 력



박 현 서

1999년 충남대학교 공학사
 2001년 충남대학교 공학석사
 2001년~현재 한국전자통신연구원
 통신인터넷연구소 선임연구원
 관심분야: LTE/LTE-Advanced 시스템, 5G 시스템



송 영 석

1989년 서울대학교 공학사
 1992년 KAIST 공학석사
 1997년 KAIST 공학박사
 1997년~2000년 삼성중기원 선임연구원
 2000년~현재 한국전자통신연구원
 통신인터넷연구소 책임연구원
 관심분야: 전송기술, MIMO



김 광 선

1998년 경북대학교 공학사
 2000년 경북대학교 공학석사
 2000년~현재 한국전자통신연구원
 방송통신미디어연구소 선임연구원
 관심분야: 무선백홀, RF/밀리미터파 송수신기,
 주파수 합성기, RF IC



강 병 수

1997년 경북대학교 공학사
 1999년 경북대학교 공학석사
 1999년~현재 한국전자통신연구원
 통신인터넷연구소 책임연구원
 관심분야: 이동통신 기지국/단말 RF 시스템