

LTE-A 및 그 이후 시스템을 위한 스몰 셀 성능 향상 기술

김윤희 · 왕진수 · 홍인기

경희대학교
전자·전파공학과

I. 머리말

최근 스마트 폰, 태블릿 PC 등 다양한 스마트 기기의 보급과 함께 클라우드 서비스 등의 새로운 애플리케이션의 출현으로 무선 데이터 트래픽이 크게 증가하였다. 현재 4세대 이동통신 3GPP(3rd Generation Project Partnership) LTE-A(Long Term Evolution Advanced) 시스템의 상용화가 빠르게 진행됨에 따라 당분간 전송 속도와 시스템 용량 문제는 해소될 것으로 보인다. 그러나 무선 데이터 트래픽 증가량이 2010년 대비 2015년까지 약 24배, 2020년까지 약 500배에 이를 것이라는 전망에 따라 LTE-A 시스템의 지속적인 성능 향상과 함께 시스템 용량을 1,000배로 늘릴 수 있는 새로운 5세대 이동통신 시스템 개발의 필요성이 제기되고 있다^[1].

이에 3GPP는 2012년 6월 LTE-A 시스템 성능 향상을 위한 표준화 계획과 5세대 이동통신 시스템에 대한 비전을 공유하기 위한 워크샵을 개최하였다^{[1][2]}. 워크샵에 참석한 전 세계 이동통신 시스템/단말 제조업체와 네트워크 사업자들은 향후 2015년까지는 LTE-A 시스템 성능 개선을 위한 표준화 개정이 지속되고, 5세대 주파수가 할당되는 2015년 가을 이후에 본격적으로 5세대 이동통신 시스템 표준화가 시작될 것임에 동의하고 있다. 이 때 핵심적으로 고려해야 할 사항으로 다음을 제시하였다^[4].

- 시스템 용량 증대
- 에너지 절감

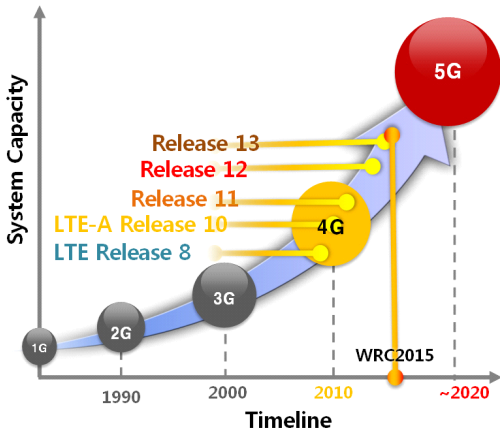
- 비용 효율 증대
- 다양한 애플리케이션 및 트래픽 지원
- 트래픽 지원
- 백홀 성능 향상

또한, 이러한 핵심 사항에 부응하는 연구 항목으로 스몰 셀 기반의 근거리 통신 성능 향상, 다중 안테나 성능 향상, 사물 통신 (Machine Type Communication), 기기간(Device-to-Device) 통신 등을 제시하였다. 특히, 대부분의 업체가 LTE-A 다음 버전인 Release 12(Rel-12)와 그 이후 시스템에서 시스템 용량을 효과적으로 증대하는 방안으로 스몰 셀 성능 향상 기술을 지목하였고, 현재 3GPP Rel-12 표준화에서 가장 중점적으로 다루고 있다.

본 고에서는 3GPP Rel-12에서 진행 중인 스몰 셀 성능 향상에 대한 표준화 동향을 살펴보고, 적용 가능한 후보 기술을 소개한다. II장에서 3GPP LTE 표준 변천에 따른 스몰 셀 기술 변화를 설명하고, III장에서 3GPP Rel-12에서 정의한 스몰 셀 배치 시나리오와 요구 사항을 기술한다. IV장에서는 시나리오에 따른 스몰 셀 성능 개선 후보 기술을 소개하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 3GPP LTE 표준과 스몰 셀 기술 변천

[그림 1]은 약 10년을 주기로 크게 도약한 이동통신 시스템 발전 과정에서 3GPP LTE 표준의 진화 과정을 보인 것이다. 3GPP Rel-8에 해당하는 LTE는 직교



[그림 1] 이동통신 시스템의 발전과 3GPP 표준화

주파수 분할 다중화 방식을 기반으로 1.5 MHz에서 20 MHz까지 다양한 대역폭을 지원하면서 유연한 자원 할당을 제공한 고속 패킷 이동 무선 접속 기술이다. 그러나 LTE 자체로는 4세대 이동통신 시스템 요구 사항을 만족하지 못했기 때문에, 전송 속도와 용량을 4세대 요구 사항에 맞춘 3GPP Rel-10 LTE-A 표준으로 발전시켰다. LTE-A는 주파수 집성(Carrier Aggregation: CA)을 통해 20 MHz 이상의 대역폭을 지원하고, 공간 다중화 및 빔 형성 등의 다중 안테나 기술을 향상시키고, 이를 지원하는 향상된 기준 신호를 제공함으로써 전송 속도와 시스템 용량을 크게 향상시켰다. 현재 마무리 단계에 있는 Rel-11은 기지국 협력 전송을 통한 간섭 회피 및 성능 향상 기술인 협력 다중점 송수신(Coordinated Multipoint: CoMP) 기술의 개선 등을 지원하고 있다.

현재 2014년 6월 완성을 목표로 하는 Rel-12를 위해 스몰 셀 개선을 통한 근거리 통신 성능 향상, 새로운 주파수 전송, 다중 안테나 성능 향상 기술 등이 논의되고 있다. 또한 장기적으로 2020년 상용화를 목표로 하는 5세대 이동통신 시스템까지 상기 기술의 진화 발전이 예상되는 한편, 새로운 주파수 대역에서 새로운 무선 전송 기술, 즉 메시브 MIMO, 3D

빔 형성 기법, 비직교 무선접속 등도 차후 연구 고려 대상으로 여기고 있다^[4].

스몰 셀은 3GPP Rel-12에서 처음 등장한 새로운 개념은 아니다. 피코 셀, 이종 셀 등과 같이 매크로 셀보다 크기가 상대적으로 작은 셀은 모두 스몰 셀 기술이라 할 수 있다. LTE 기지국은 Rel-8 버전부터 매크로 셀과 스몰 셀을 모두 지원할 수 있으며, 매크로 셀과 스몰 셀 사이의 간섭을 줄이기 위해 주파수 영역 셀 간 간섭 제어 기술(Inter-Cell Interference Coordination: ICIC) 기술을 도입하였다. Rel-9 버전에서는 스몰 셀에 해당하는 근거리 통신과 홈 셀을 위한 기지국을 새로 정의하였고, Rel-10에서는 시간 영역 셀 간 간섭 제어 기술을 도입하여 매크로 셀과 피코 셀 간의 간섭을 줄일 수 있도록 하였다. Rel-11에서 동일한 주파수 대역을 사용하는 매크로 또는 스몰 셀 사이에 간섭을 줄이기 위한 기지국 협력 전송 방식을 주로 다루었다^[5].

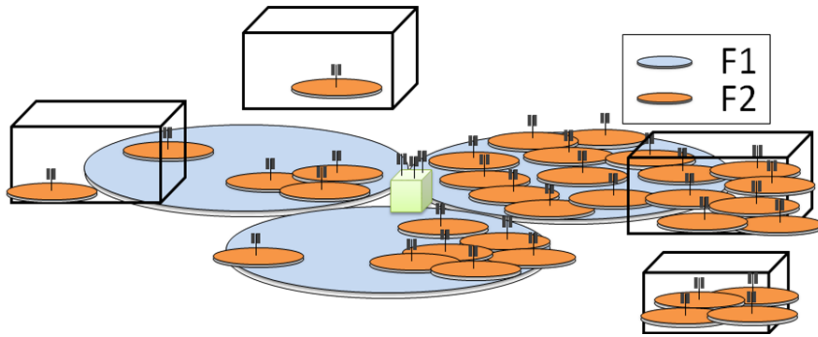
지금까지의 스몰 셀 기술은 매크로 셀과 동일한 주파수 대역을 사용하고, 동일한 무선접속 규격 하에 옥내에 주로 위치한 스몰 셀과 매크로 셀 간의 간섭을 줄이는 연구였다면, Rel-12와 그 이후에서는 옥내뿐만 아니라 옥외에 밀집 배치된 스몰 셀을 고려하고, 새로운 주파수 대역과 새로운 무선접속 방식을 고려하여 사용자 위치에 상관없이 데이터 전송 속도를 균일하게 향상시키는 것을 목표로 하고 있다^[6].

Ⅲ. 스몰 셀 개선 시나리오와 요구 사항

본 장에서는 2012년 12월 3GPP에서 정의한 스몰 셀 성능 향상을 위한 시나리오와 요구 사항을 간략히 소개한다^[7].

3-1 스몰 셀 배치 시나리오

Rel-12 및 그 이후 시스템에서 고려해야 할 스몰 셀 배치 시나리오는 [그림 2]와 같다. 스몰 셀은 매크



[그림 2] 스몰 셀 배치 시나리오^[7]

크로 셀 도움 없이 단독으로 배치되거나, 매크로 셀 위의 오버레이 개념으로 배치될 수 있다. 이 때 스몰 셀 단말은 매크로 셀과 이중으로 연결되는 상황도 고려해야 한다. 스몰 셀은 옥내, 옥외에 모두 배치될 수 있으며, 옥내의 경우 3 km/h 이내의 저속 지원을 옥외의 경우 30 km/h의 이동 속도를 지원할 수 있어야 한다. 차후 개선에서는 이동 속도를 50~80 km/h 까지 지원하는 것을 고려하고 있다.

한편, 스몰 셀 성능 개선 기법을 설계할 때 스몰 셀과 스몰 셀 사이 또는 매크로 셀과 스몰 셀 사이의 인터페이스 성능을 고려하여야 한다. 즉 이상적인 백홀의 데이터 전송 속도와 지연 시간뿐만 아니라 현실적인 백홀 성능을 고려하여야 한다. <표 1>은 스몰 셀 개선 기술 설계 시 고려해야 할 백홀 종류와 그 성능을 보인 것이다. 현재 유선 백홀의 성능을 고려하여 셀 간 공유가 가능한 데이터 양을 반영한 스몰 셀 기술을 도출하여야 한다.

스몰 셀은 옥내나 트래픽이 많은 특정 지역에 소수 AKS 배치되는 경우, 사용자가 많은 도심 지역에 전송 속도를 개선하도록 밀집하여 배치될 수 있다. 또한, 스몰 셀과 스몰 셀, 매크로 셀과 스몰 셀 사이에서 서로 시간 동기가 맞추어진 경우와 그렇지 않은 경우를 모두 고려하지만, 동기화가 된 경우 셀 간 간섭 제어와 주파수 집성 등의 기술 적용이 용이하기 때문에 시간 동기가 맞추어진 경우를 우선적으로 고려해야

<표 1> 셀간 인터페이스 백홀 성능 분류

백홀 기술	지연시간(단방향)	전송률
광접속 1	10~30 ms	10M~10Gbps
광접속 2	5~10 ms	100M~1000Mbps
광접속 3	2~5 ms	50M~10Gbps
DSL 접속	15~60 ms	10M~100Mbps
케이블	25~35 ms	10M~100Mbps
무선 백홀	5~35 ms	10M~100Mbps
광접속 4*	2.5 us	~10Gbps

*이상적 백홀 성능

한다. 또한, 기존 LTE/LTE-A와의 호환성을 갖는 것이 바람직하다.

3-2 주파수 대역 할당 시나리오

Rel-12에서는 스몰 셀 성능 향상 기술로 [그림 2]와 같이 매크로 셀과 스몰 셀이 서로 다른 주파수 f_1 과 f_2 를 사용할 수 있도록 한다. 스몰 셀 주파수 대역은 현재 LTE/LTE-A 주파수 대역과 향후 새로 할당될 주파수 대역을 모두 고려한다. 특히 스몰 셀 주파수 대역으로 3.5 GHz와 같은 상대적으로 높은 주파수 대역을 이용하는 것에 관심을 두고 있다. 특히, 주파수 집성을 통해 매크로 셀과 스몰 셀의 이중 연결이 가능할 것으로 보이는데, 매크로 셀과 스몰 셀 모두 동일 채널에 대한 주파수 집성과 동일 채널이 아닌 경우의 주파수 집성 방식 적용이 가능하다. 현재

Rel-12에서는 100 MHz 이상의 주파수 집성은 고려하지 않고 있으나, 다음 버전에서는 더 넓은 주파수 대역을 고려할 수도 있다.

현재 스몰 셀 성능 향상을 위해서 매크로 셀과 스몰 셀은 FDD(Frequency Division Duplexing) 방식과 TDD(Time Division Duplexing) 방식 모두 지원할 수 있어야 한다. 즉, 듀플렉스 방식에 상관없이 스몰 셀 성능 향상 기술이 도출되어야 한다.

3.3 트래픽 특성 시나리오

스몰 셀은 셀 크기가 작기 때문에, 셀 내 사용자 수가 적고, 시간에 따라 사용자 분포가 크게 바뀔 것으로 예상된다. 따라서, 시간에 따라 데이터 트래픽 양이 크게 바뀌고, 시간과 공간 영역에서 트래픽 부하가 균일하지 않을 수도 있다. 따라서, 스몰 셀의 경우 시간과 공간에서 사용자 상향 링크와 하향 링크 데이터 트래픽이 균일하지 않은 경우를 모두 고려하여야 한다.

3.4 성능 요구 사항

스몰 셀 기술이 목표로 하는 시스템 성능의 정량적 값은 아직 정의되지 않았다. 다만, 오버헤드가 적으면서 사용자별 데이터 전송률을 대폭 증가시켜야 한다고만 명시하고 있다. 즉, 기술이 상용화가 되기 위해서 스몰 셀 배치 비용 대비 성능에 괄목할 만한 증가가 있어야 할 것으로 보인다. 현재 스몰 셀 성능 향상 기술은 저속 사용자의 성능 개선을 주로 목표로 한다. 특히, 스몰 셀의 경우 셀 공통 채널로써 제어 채널에 대한 신뢰성과 전송 영역에 대한 요구 사항은 크게 줄어들고, 대신 근거리 데이터 전송 속도에 대한 요구 사항이 강화되고 있다.

3.5 네트워크 사업자 요구 사항

스몰 셀 기술의 상용화를 조기에 가능하게 하려면 네트워크 사업자가 부담해야 할 기지국 설치비용과

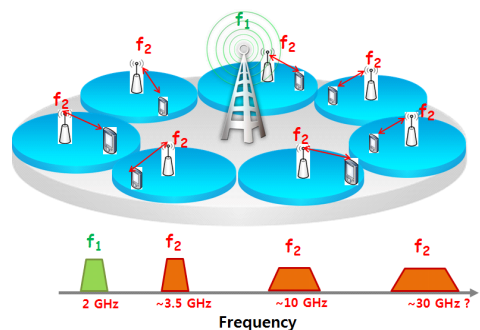
운영비용을 고려해야 한다. 동일한 크기의 지역을 지원하기 위해 매크로 셀보다 스몰 셀 이 더 많이 필요하므로, 스몰 셀 기지국 구현 비용이 적어야 하고, 따라서 기지국 복잡도도 낮은 방식이 선호된다. 또한, 스몰 셀 기지국 수가 많아질수록 네트워크 전력 소모에 기지국 전력 소모가 차지하는 비율이 높아지므로, 스몰 셀 성능 향상 기술은 기지국 에너지 효율을 증대하는 방식이어야 한다.

IV. 스몰 셀 성능 향상 후보 기술

4.1 주파수 분리형 스몰 셀

스몰 셀 성능 향상 기술로 [그림 3]과 같이 매크로 셀 위에 스몰 셀이 밀집 배치되어 매크로 셀의 데이터 부하를 스몰 셀이 해소하는 모형을 주로 고려하고 있다. 이 때, 스몰 셀 주파수 대역을 매크로 셀과 다르게 하면 다음의 성능 이득을 얻을 수 있다. 첫째, 매크로 셀과의 간섭을 고려할 필요가 없고, 둘째, 스몰 셀 환경에 적합한 새로운 무선 접속 기술을 설계할 수 있으며, 셋째, 현재 매크로 셀 기준으로 정의된 기지국 RF 제한 조건을 완화하여 스몰 셀 기지국 설계비용을 낮출 수 있다.

스몰 셀 주파수 대역 f_2 로 매크로 셀 주파수 대역 f_1 보다 높은 주파수를 주로 고려하고 있다. 이는 주



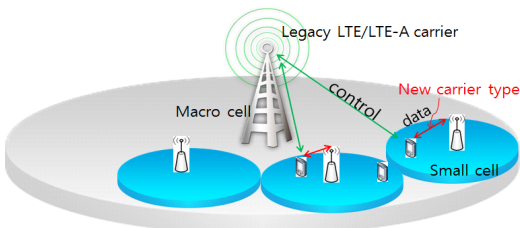
[그림 3] 주파수 분리형 스몰 셀

파수가 높을수록 경로 손실이 커져서 높은 주파수를 매크로 셀보다는 스몰 셀에 할당하는 것이 더 바람직하고, 경로 손실로 인해 셀 간 간섭을 줄이고 주파수 재사용이 가능하기 때문이다. 이 때 매크로 셀 크기는 500 m~2 km 정도로 고려되고 있고, 스몰 셀의 경우는 4~400 m를 고려하고 있다. 많은 업체들이 새로 할당될 3.5 GHz 주파수 대역을 스몰 셀 후보 주파수 대역으로 고려하고 있으나, 더 넓은 주파수 대역을 확보할 수 있는 수십 GHz 주파수 대역도 고려하고 있다.

4.2 제어/데이터 채널 분리형 스몰 셀

Rel-11까지 매크로 셀과 스몰 셀 모두 동일한 LTE/LTE-A 방식을 적용함으로써 매크로 셀과 스몰 셀 모두 셀 기준 신호와 제어 채널과 같은 셀 공통 채널과 사용자 데이터를 모두 전송하였다. Rel-12 이후에서는 스몰 셀 단말이 매크로 셀과 스몰 셀에 이중으로 연결된 소프트 셀 구조가 성능을 향상시킬 것으로 보고 있다. 이러한 소프트 셀의 한 방법으로 제어 정보는 매크로 셀에서 사용자 데이터는 스몰 셀에서 받는 방법을 고려할 수 있다⁶⁾. 이런 경우 스몰 셀은 제어 채널과 기준 신호 채널 설계 부담을 줄이고, 데이터 전송에 집중하여 설계할 수 있다.

제어/데이터 채널을 분리한 예로 [그림 4]와 같이 매크로 셀은 기존의 LTE/LTE-A 신호를 이용하여 셀 기준 신호와 제어 정보를 전송하고, 스몰 셀은 다음 절에서 설명할 린 주파수(Lean Carrier)^{8),9)}와 같은



[그림 4] 제어/데이터 채널 분리형 스몰 셀

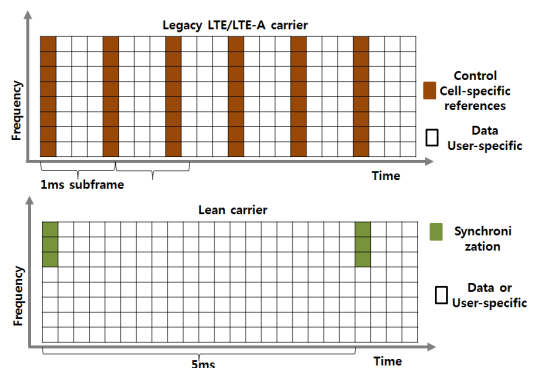
데이터 중심의 새로운 무선 접속 방식으로 데이터를 전송할 수 있다.

4.3 린 주파수(Lean Carrier)

Rel-12에서 고려하고 있는 린 주파수^{8),9)}는 LTE 무선 접속에서 셀 공통 기준 채널과 제어 정보 등에 의한 오버헤드를 최소화한 방식이다. 기존의 LTE/LTE-A는 [그림 5]에서 볼 수 있듯이 1 ms 길이의 서브프레임마다 셀 기준 신호와 제어 정보를 항상 전송하기 때문에, 사용자 데이터가 없더라도 전원을 끌 수 없으며, 스몰 셀이 밀집 배치된 경우 셀 기준 신호와 제어 신호에 의한 셀 간 간섭이 존재한다.

스몰 셀의 경우, 셀 내 사용자 수가 적고, 데이터 부하가 수시로 바뀌기 때문에, 매번 전송하는 셀 기준 신호를 없앤 린 주파수를 적용하면 데이터 부하가 없는 경우 좀 더 긴 시간 동안 전원을 차단할 수 있다. 따라서 기지국 회로 전원 차단으로 에너지 절약과 셀 간 간섭을 줄이는 효과를 동시에 얻을 수 있다.

또한 주파수 집성 방식과 결합하여 매크로 셀은 주(primary) 대역에서 기존의 LTE/LTE-A 무선 접속을 사용하고, 스몰 셀은 주파수 집성부(secondary) 대역으로 린 주파수를 이용하여 데이터를 전송하면 기존 시스템과 호환성을 유지하면서 스몰 셀을 지원할 수 있다.



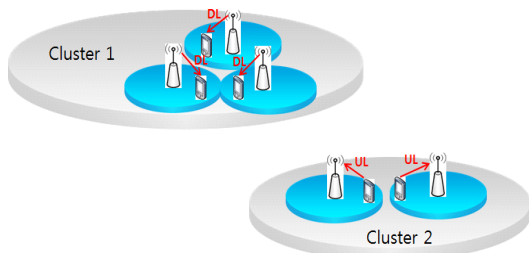
[그림 5] 기존 LTE/LTE-A와 Lean Carrier 프레임 구조

4.4 동적 TDD 프레임 할당

기존의 TDD 기반 LTE 시스템은 하향 링크와 하향 링크로 할당되는 서브프레임 수를 다르게 할당할 수 있도록 여러 개의 프레임 구조 후보 안을 만들고, 데이터 트래픽 특성에 따라 알맞은 프레임 구조를 선택 사용할 수 있도록 하고 있다. 그러나 셀룰러 환경에서 같은 서브프레임에 대해 인접한 셀들이 서로 다른 링크 데이터를 할당할 경우 간섭이 매우 커지는 문제가 발생한다. 이에, 실제 운용 시에는 동일 지역의 셀 전체에 대해 평균 데이터 트래픽 양을 조사하여 그에 알맞은 프레임 구조를 하나 선택하고, 해당 지역 셀에 동일한 프레임 구조를 적용한다.

한편, 스몰 셀은 셀 크기가 작아서 사용자 수가 적고, 그에 따라 상향 및 하향 링크 트래픽 부하가 시간에 따라 크게 바뀔 수 있다. 따라서 트래픽 부하에 따라 상향 링크와 하향 링크 자원을 동적으로 할당하는 것이 유리하다. 만약 스몰 셀이 매크로 셀과 다른 주파수 대역을 사용하고, 다른 스몰 셀과 고립된 위치에 배치된다면 동적 TDD 프레임 할당을 적용하여 성능 향상을 기대할 수 있다^{[10][11]}.

한편, 스몰 셀이 밀집 배치된 환경이라면 셀간 간섭을 고려하여야 한다. TDD에서 가장 문제가 되는 셀 간 간섭은 하향 링크 송신 기지국 신호가 상향 링크 수신 기지국에 미치는 간섭에 의한 것이다. 따라서 인접 셀들은 한 서브프레임을 동일한 링크 전송으로 할당하여야 한다. [그림 6]은 셀 클러스터 기반의



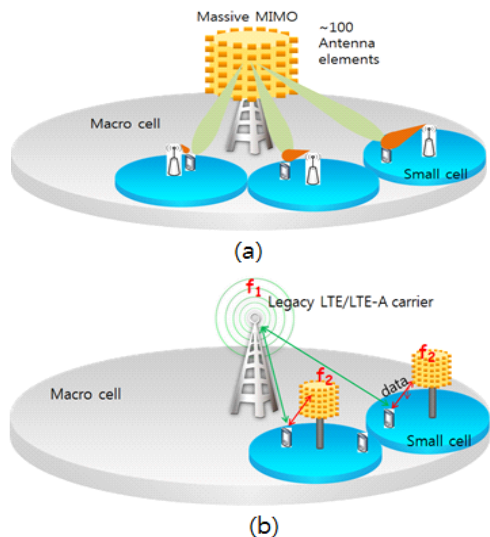
[그림 6] 클러스터 기반 동적 TDD

하향 링크와 상향 링크 동일 자원 할당을 보인 것이다. 인접한 셀들로부터 클러스터를 구성하고, 서로 인접하지 않은 클러스터들은 각 클러스터마다 독립적으로 프레임 구조를 동적으로 할당하며, 같은 클러스터 내 셀에 대해서는 동일한 프레임 구조를 할당하는 것이다. 또한, 기지국 송신 전력 제어를 통해 인접 셀에 미치는 간섭을 조정할 수 있다.

이러한 프레임 자원 할당은 셀 트래픽 부하와 셀 배치 시나리오에 따라 성능 향상이 크게 다를 것으로 판단되기 때문에, 자원 할당에 따른 SINR 예측과 그에 따른 자원 할당의 구체적인 방법을 도출할 필요가 있다.

4.5 매시브 MIMO(Massive Multiple Input Multiple Output)

매시브 MIMO는 Rel-12 표준화 고려 대상은 아니지만, 5세대 이동통신 시스템을 위한 후보 기술로 고려되고 있다. 매시브 MIMO는 수십~수백 안테나가 장착된 기지국이 수십 개의 단말을 동시에 지원하는 방식이다^[12]. 매시브 MIMO에 대한 적용은 [그림 7]에서 보인 바와 같이 기존의 LTE/LTE-A 기반의 매크로 셀



[그림 7] 매시브 MIMO의 적용 예

을 대체하여 저 복잡도의 스몰 셀 기지국과 협력하는 방안^[12]과 기존의 LTE/LTE-A를 적용하는 매크로 셀의 데이터 전송을 도와주는 높은 주파수를 사용하는 스몰 셀로의 적용 방법이 있다^[6].

매시브 MIMO를 매크로 셀로 적용하면 이론적으로 주파수 효율과 에너지 효율을 동시에 높일 수 있다. 그러나 매시브 MIMO의 성능을 보장하기 위해서는 하향 링크 채널을 알기 위해 TDD로 설계하는 것이 바람직하나, 매크로 셀의 경우 단말 간 동기 문제와 전파 지연에 의한 보호 시간 크기 증가 등으로 데이터 전송률 손실이 발생할 수 있다. 또한 기존의 LTE/LTE-A 시스템과 호환성이 없고 전송 구조를 완전히 바꾸어야 하므로, 이와 같은 응용은 단시일에 적용되기 어려울 것으로 판단된다. 한편, 스몰 셀이 다른 주파수로 운용될 경우 매시브 MIMO를 적용하면 기존의 LTE/LTE-A 시스템을 보완할 수 있는 주파수/에너지 효율적인 데이터 전송 파이프를 제공하는 것이 가능하다. 그러나, 현재로써는 수 백 안테나를 지원하는 기지국 구현 비용이 상당히 높기 때문에 빠른 상용화는 어려울 것으로 판단된다.

V. 결론 및 향후 전망

본 고에서는 LTE-A Rel-12와 그 이후 이동통신 시스템의 발전 전망을 소개하고, 모든 사용자의 데이터 전송률을 획기적으로 높일 수 있는 스몰 셀 성능 향상 기술을 소개하였다. 현재까지의 스몰 셀 기술은 기존의 매크로 셀과 동일한 LTE 주파수를 이용함으로써 성능 개선에 한계가 있었다. 그러나 LTE-A Rel-12와 그 이후 시스템에서는 스몰 셀에 새로운 주파수 대역을 할당하고, 옥외에도 스몰 셀을 밀집 배치하여 성능을 대폭 향상시키고자 한다.

특히, 여러 장점으로 다른 주파수를 사용하는 스몰 셀이 가장 큰 관심을 받고 있으며, 스몰 셀 환경에 특화하여 현재 기술을 수정 보완하거나 새로운

무선 접속 기술들이 제안되고 있다. 이런 제안 기술의 일부는 Rel-12 표준화에 채택되기 어려울 수 있으나, 향후 5세대 이동통신 시스템으로의 적용을 위해 지속적인 개선이 이루어질 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] <http://www.3gpp.org/Future-Radio-in-3GPP-300-attend>
- [2] 3GPP RWS-120045, "Summary of 3GPP TSG-RAN workshop on Release 12 and onward".
- [3] T. Hai, "LTE status report and the plans for 3GPP Release 12 and beyond," *3GPP Seminar*, Beijing, China, Nov. 2012.
- [4] D. Astley, E. Dahlman, G. Foder, S. Parkvall, and J. Sachs, "3GPP Release 12 and beyond", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 7, pp. 154-160, Jul. 2013.
- [5] 3GPP, TR36.932(V12.0.0), "Scenarios and requirements for small cell enhancements for E-URTA and E-UTRAN", Dec. 2012.
- [6] T. Nakamura, S. Nagata, A. Benjebbour, Y. Kishiyama, T. Hai, S. Xiaodong, Y. Ning, and L. Nan, "Trends in small cell enhancements in LTE Advanced", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 2, pp. 99-107, Feb. 2013.
- [7] M. Baker, "From macro to small cells: Enhancements for small cells in 3GPP", *Small Cell Summit*, London, UK, June 2013.
- [8] C. Hoymann, D. Larsson, H. Kooapaty, and J. F. Cheng, "A lean carrier for LTE", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 2, pp. 74-80, Feb. 2013.
- [9] 3GPP RP-121415, "New carrier type for LTE".
- [10] Z. Shen, A. Khoryaev, E. Eriksson and X. Pan, "Dynamic uplink-downlink configuration and interference management in TD-LTE", *IEEE Co-*

mmun. Mag., vol. 50, no. 11, pp. 51-59, Nov. 2012.

[11] B. Yu, S. Ukherjee, H. Ishii and L. Yang, "Dynamic TDD support in the LTE-B enhanced local area architecture", *Proc. Inter. Workshop Heter. Small Cell Net. (HetSNets)*, pp. 585-591, Anaheim, CA, Dec. 2012.

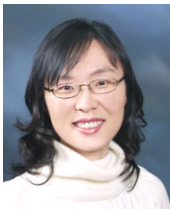
[12] F. Rusek, D. Persson, B. K. Lau, E. G. Larsson, T. L. Marzetta, O. Edfors and F. Tufvesson,

"Scaling up MIMO: Opportunities and challenges with very large arrays", *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 30, no. 1, pp. 40-60, Jan. 2013.

[13] E. Björnson, M. Kountourisz, and M. Debbah, "Massive MIMO and small cells: Improving energy efficiency by optimal soft-cell coordination", *Inter. Conf. Telecom. (ICT)*, Casablanca, Morocco, May. 2013.

≡ 필자소개 ≡

김 윤 희



1995년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 2000년 8월: 한국과학기술원 전자전산학과 (공학박사)
 2000년 9월~2004년 8월: 한국전자통신연구원 선임연구원

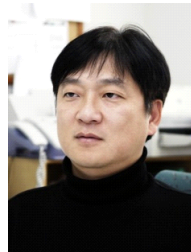
2004년 9월~현재: 경희대학교 전자·전파공학과 부교수
 2006년 1월~현재: IEEE 준석학회원, 한국통신학회 논문지 편집위원
 [주 관심분야] 이동통신, 통신 신호처리, 협력 및 인지 통신, 에너지 효율적 무선 통신

왕 진 수



2009년 2월: 경희대학교 전자·전파공학과 (공학사)
 2011년 2월: 경희대학교 전자·전파공학과 (공학석사)
 2011년 3월~현재: 경희대학교 전자전파공학과 박사과정
 [주 관심분야] MIMO-OFDM, 협력 통신, 차세대 이동통신

홍 인 기



1989년: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
 1991년: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
 1995년: 연세대학교 전기공학과 (공학박사)
 1995년~1999년: SK Telecom 중앙연구원 선임연구원

1997년~1998년: NTT DoCoMo 연구원
 1999년~현재: 경희대학교 전자·전파공학과 교수
 [주 관심분야] 무선 및 이동통신, Cross-layer 설계, 간섭제어 기술