

스몰 셀과 HetNet 전송용량

I. 서론

무선 이동 통신 시스템은 어느덧 4세대를 넘어 5세대로 향해 진화해 가고 있다. 현 시점에서 5세대 이동통신의 후보 기술을 정해 놓고 논의하는 것은 다소 이르다고 볼 수 있으나, 무선 통신 기술을 선도하는 세계적인 연구 집단들이 제시하고 있는 후보 기술들을 살펴보면 전체적인 윤곽은 파악이 가능할 것으로 보인다^[1].

첫 번째는 초고주파 주파수의 활용이다. 현재 이동통신 시스템이 점유하고 있는 1 내지 3 GHz 주파수 대역은 이미 포화되어 있으므로 더 높은 주파수 대역에서 더 넓은 주파수 자원을 할당 받아 사용하면 전송 속도를 높일 수 있다^[2]. 최근 밀리미터 웨이브(millimeter wave, mmWave)라는 용어로 통용되는 기술이다. 두 번째는 거대 다중안테나(massive MIMO, M-MIMO) 시스템이다. mmWave 주파수 대역에서는 파장의 길이가 짧아 아주 작은 안테나 크기 만으로도 송수신이 가능하므로 수십개 내지 수백개의 안테나를 이용하여 다중화 및 다중 접속을 구현하겠다는 것이다^[3]. 세 번째는 초고밀도 셀을 구현하는 것이다. 주파수 재사용을 한계 상황까지 끌어 올려 단말이 한 번에 할당받아 사용할 수 있는 무선 자원의 양을 극대화 함으로써 단말의 실질적인 전송 속도를 끌어 올리기 위한 기술이다^[4].

5세대 이동통신의 핵심 기술의 면면을 다시 살펴보면, 초고주파 대역을 이용하는 mmWave와 M-MIMO 기술은 해당 주파수 대역의 전자기파의 채널 환경 때문에 매크로셀에서 활용되기 어려운 관계로 스몰 셀에 결합될 가능성이 많은 기술이다. 초고밀도 셀 또한 스몰 셀로 구현될 가능성이 높기 때문에, 5세대 후보 기술들은 결국 현재의 이기종 네트워크(heterogeneous network, HetNet)과 스몰 셀을 진화시켜야 하는 기반 기술로 지시하고 있다고 판단된다. 따라서 본



왕 한 호
상명대학교
정보통신공학과



류 탁 기
SK 텔레콤
Network 기술원 매니저



홍 대 식
연세대학교
전기전자공학부



고에서는 무선 통신 시스템의 전송 용량을 증가시키는 스몰 셀과 HetNet의 기술적 특징에 대하여 고찰해보고, 스몰 셀 기술과 결합하는 요소기술들에 대하여 알아보고자 한다. 이를 통하여 차세대 이동 통신 기술의 핵심 기술로써의 잠재 능력을 이해하기 위한 기반을 제공하고자 한다.

II. 본 론

1. Small Cell과 HetNet

셀룰러 시스템(cellular system)은 하나의 기지국에 의하여 서비스가 이루어지는 셀 영역마다 주파수가 재사용 되는 시스템이다. 주파수가 재사용 된다고 함은 여러 개의 인접한 기지국이 동일한 주파수를 사용하고 있음을 의미한다. 따라서 셀룰러 시스템에 접속하고 있는 사용자 단말은 서비스를 제공하고 있는 기지국으로부터 수신되는 신호 외에도 주변 다른 기지국의 신호를 수신할 수 밖에 없는 상황에 놓이게 된다. 이렇게 서비스를 받지 않고 있는 기지국으로부터 불가피하게 수신 되는 신호를 간섭(interference)이라고 한다.

가. Small Cell과 HetNet

간섭을 받고 싶지 않다면 주변 기지국에 신호를 송신 하지 말라고 요청하면 된다. 또는 독자적인 주파수를 따로 할당 받아 나 홀로 기지국에서 사용하게 되면 간섭에 대한 문제는 말끔히 사라진다. 그러나 모두가 알고 있는 바와 같이, 무선 데이터 통신을 사용하려는 단말의 수는 증가하고 있고, 무선 데이터 통신은 고해상도 동영상과 같은 고용량 데이터 어플리케이션을 지원하여야 한다. 따라서 기지국들은 매우 빈번히 데이터를 전송해야 하고, 내가 간섭 없이 무선 통신을 사용하려고 해도 인접 기지국들에 조용히 하라고 할 수 없는 상황이 되어 간다. 조용히 나 혼자 무선 통신을 사용해 보려고 주파수를 새로 구해 보려고 해도, 2013년 LTE-A 주파수 경매 가격에서 확인할 수 있는 바와 같이 수십 MHz의 주파수를 구매하는데 드는 비용은 수 천억원 내지 수조원에 이르는 천문학적인 돈이다.

소비자의 무선 데이터 통신에 대한 수요는 증가하는데, 주파수를 값싸게 구매할 수 없다면 셀룰러 통신 서비스사들은 답답해 질 수 밖에 없다. 무엇이든 기술 진보가 필요한 시점이고, 결론부터 이야기하면 기지국의 수를 늘려야 한다는 결론에 도달하였고, 새로 필요한 기지국들은 서비스 면적이 기존의 기지국과 같이 클 필요가 없으므로 스몰 셀(small cell)로 명명되었다. 기존에 사용하고 있는 서비스 면적의 반경이 수 백미터에 이르는 기지국은 매크로 기지국(macro base station), 매크로 기지국에 의하여 서비스 되는 지역은 매크로 셀(macro cell)이 된다. 기존에는 매크로 셀만 존재하는 단일(homogeneous) 셀 네트워크 였으나, 이제는 매크로 셀은 스몰 셀과 공존하여야 하므로 이종(heterogeneous) 셀 네트워크가 되어 줄임말로 HetNet이 되었다^[4-5].

나. HetNet의 성능 이해

HetNet을 동작 시키기 위하여 적용되는 기술은 그 수가 매우 많다. 기술들을 개별적으로 살펴보더라도 그 동작 원리를 이해하기 쉽지 않은데, 그러한 기술들이 복수로 조합되어 동작하는 HetNet의 성능을 이해하는 것은 당연히 매우 어렵고, 개별 기술에 대한 세부적인 기술 설명을 하는 것은 이 글의 취지에도 맞지 않으므로 학부시절 통신 이론이나 디지털 통신 교과목을 수강하였다면 한번쯤은 보았을 식으로부터 HetNet의 성능을 직관적으로 이해해 보도록 한다.

$$C = B \cdot \log_2(1 + SINR) \quad (1)$$

수식 (1)은 Shannon이 유도한 무선 데이터 전송 용량 한계에 대한 수식이다. 단위는 1초에 전송할 수 있는 비트(bit) 정보의 개수 즉 bit per second(bps)이다. 이 수식에서 B 는 무선 통신이 사용하고 있는 주파수의 대역폭이다. $SINR$ 은 신호 대 간섭 및 잡음 비이다. 즉 수신하고자 하는 신호의 세기가 간섭이나 수신기 잡음 대비 상대적으로 큰 정도를 나타내는 척도이다. $SINR$ 은 당연히 높을 수록 좋다. 이 수식을 보면 무선 데이터 전송 용량을 개선할 수 있는 방법이 자명해 진다. B 또

는 $SINR$ 을 증가시면 된다.

문제는 둘 다 해결하기 쉽지 않은 문제라는 것이다. 상기한 바와 같이 B 는 매우 비싸다. 정부 정책과 법규에 제한을 받으므로 사고 싶다고 마음대로 살 수도 없다. $SINR$ 또한 개선하기 쉽지 않다. 지금 사용하고 있는 LTE 시스템은 간섭제한 시스템(interference-limited system)이기 때문이다. 그렇다면 스몰 셀을 기존 셀룰러 시스템에 도입하는 것은 둘 중 어느 쪽에 해당되는 것인지 알아봐야 한다. 역시 결론부터 말하자면, 스몰 셀 도입은 두 쪽 모두에 영향을 준다. B 에는 긍정적인 영향을 주고 $SINR$ 에는 부정적인 영향을 준다. 그런데 B 의 증가 효과가 더 크므로 결론적으로 전송 용량은 증대된다.

스몰 셀은 기존의 매크로 셀 서비스 영역 내에 설치되며, 매크로 셀을 더욱 세분화하여 주파수를 재사용하므로 실질적으로 B 가 증가하는 효과가 나타난다. 사용자 단말 입장에서 한 번에 할당 받는 주파수의 절대 양 자체가 증가하는 것이다. 예를 들어, 한 매크로 기지국의 주파수 B 는 두 개의 채널로 나뉘어 두 명의 사용자 단말에 할당 되어 있다. 두 단말의 무선 통신 채널 환경이 유사하다는 가정 하에 두 단말은 B 를 반씩 나누어 사용하게 된다. 이 때 매크로 셀 내 스몰 셀이 하나 존재한다고 하고 단말 중 하나가 매크로 셀 대신 스몰 셀에 접속하게 되면, 스몰 셀은 매크로 셀에서 사용하고 있는 주파수 B 를 재사용하고 있으므로 두 개의 사용자 단말은 각각 주파수 B 를 통째로 사용할 수 있게 된다. 각 단말에게 주파수 자원이 두 배가 된 것이다. 그렇다면 각 단말의 전송 속도가 두 배가 되어 두 가입자는 매우 만족했을까 생각해 보면 그렇지 않다.

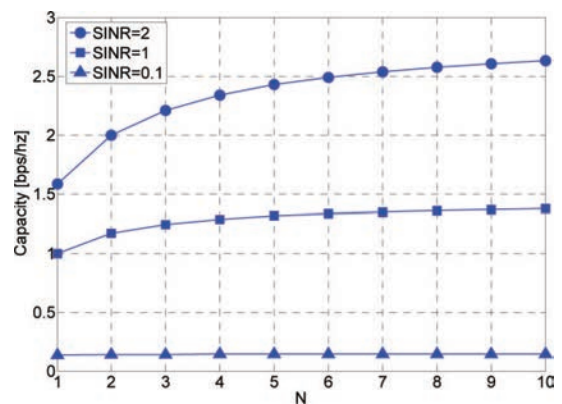
문제는 $SINR$ 이다. 스몰 셀이 하나 더 생겨서 단말은 더 많은 주파수를 할당받을 수 있었지만, 없던 스몰 셀이 하나 더 증가하게 되면서 매크로 기지국에 접속해 있는 단말에 스몰 셀이 발생시키는 간섭이 추가된다. 또한 스몰 셀에 접속해 있는 단말도 인접 매크로 기지국으로부터 강하게 수신되는 간섭의 영향을 받으므로 $SINR$ 이 좋을 이유가 없다. 손익 계산서를 따져봐야 할 순간이다. 스몰 셀에 적용되어 전송 용량 증대에 기여

도가 있다고 알려져 있는 enhanced interference-cell interference coordination(eICIC)나 coordinate multi-point(CoMP) 등의 기술은 빼고 보수적으로 손익을 따져보도록 한다. 다음의 수식이 HetNet 전송 용량에 대한 손익계산서이다.

$$C_{HetNet} = N \cdot B \cdot \log_2(1 + SINR/N) \quad (2)$$

스몰 셀이 증가하여 주파수를 재사용하게 되면 단말별 할당되는 주파수의 양은 그에 비례하여 증가할 것이다. 이 부분은 직관적으로 자명하다. 다음은 스몰 셀이 증가할 때 $SINR$ 이 낮아지는 문제이다. 신호를 전송하는 송신기의 수가 늘어났으므로 절대 간섭량이 늘어나므로 $SINR$ 낮아지는 것은 이해하겠는데 얼마나 낮아지는지 쉽게 알 수 없다. 통크게 스몰 셀이 N 개 증가하면 N 배 $SINR$ 이 감소한다고 매우 보수적으로 접근한다. 다음 <그림 1>에서 결과를 보자.

최초 $SINR$ 이 0.1인 경우 에서도 (2)번 수식은 스몰 셀 수가 증가함에 따라 전송 용량이 개선됨을 보여주고 있다. $SINR$ 이 0.1인 경우는 -10dB로 환산된다. LTE 시스템의 경우, 단말기 모델마다 다를 수 있으나 -10dB에서는 데이터를 전송할 수 있는 변조 및 코딩(modulation and coding, MCS) 기법이 존재하지 않는 영역이다. $SINR$ 이 1 또는 2 (0 dB 또는 3 dB)정도만 되어도 단말 별로 의미 있는 전송 용량 증대가 가능함을 알 수 있다. 따라서 스몰 셀을 도입하면 셀룰러 시스템 용량을 주파수를 추가 구입하지 않고도 증대시킬 수



<그림 1> 스몰 셀 수에 따른 전송 용량 증대

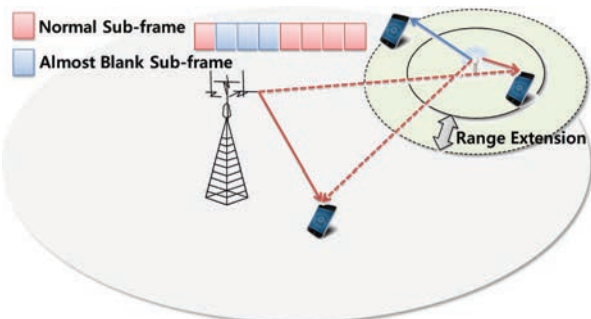
있음을 알 수 있다. 다만 주파수는 하나만 구입해도 되지만 스몰 셀 기지국은 수천 내지 수만 개를 구입해야 할 수 있으므로 스몰 셀 기지국의 가격에 따라 대차대조표 상의 진짜 손익계산서는 다시 따져봐야 한다.

2. HetNet의 성능을 개선하기 위한 기술들

가. eICIC

일반적으로 매크로 기지국은 데이터를 무선 전송하기 위하여 40 W(와트)의 전력을 사용하지만, 스몰 셀의 경우 1 W 이하의 전력을 사용하게 된다. HetNet의 구조에서 스몰 셀의 서비스 지역은 <그림 2>와 같이 매크로셀 내에 존재하게 되므로 스몰 셀에 접속하고 있는 단말에 가장 큰 간섭을 주는 대상은 매크로 기지국이 된다.

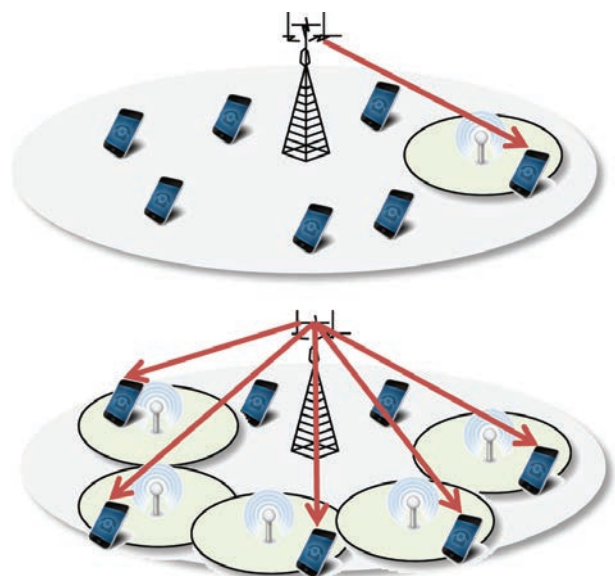
여기서 매크로셀 기지국과 스몰 셀 기지국의 관계에 대하여 생각해 볼 필요가 있다. 스몰 셀은 셀룰러 시스템 전체로 볼 때 주파수를 재사용하여 무선 전송을 하기 위한 가용 자원을 더 많이 확보하는 기술 구성임과 동시에 매크로셀에 있어서는 매크로셀 서비스 지역 내 단말들의 접속을 나눠가지게 되는 존재이다. 즉, 매크로셀 기지국에만 접속해 있던 단말들이 스몰 셀 기지국에도 접속할 수 있으므로, 매크로셀 기지국은 그만큼 주파수 자원에 여유가 생긴다. 스몰 셀 기지국 수가 늘어나게 되면 매크로셀 기지국은 그만큼의 여유 자원을 추가 확보하게 된다. 이 때 추가 확보된 여유 자원의 효용에 대한 고민이 필요하다.



<그림 2> HetNet 에서 eICIC

<그림 3>은 매크로셀 기지국이 스몰 셀에 있는 단말들에 주는 간섭만을 화살표로 나타낸 것이다. 스몰 셀이 하나만 존재할 때 매크로셀 기지국의 간섭의 영향이 스몰 셀 전송 용량에 미치는 영향은 크지 않다. 이 경우 스몰 셀의 전송 용량을 개선하기 위하여 매크로 기지국이 신호를 전송해야 하는지 전송하지 말아야 하는지 가치판단을 내리는 것은 매우 어렵다. 복잡한 수학이나 컴퓨터 시뮬레이션을 동원하지 않더라도, 결론은 단말의 위치나 채널 상황에 따라 그때 그때 다른 결과가 나올 것이라는 것을 쉽게 예측할 수 있다. 그러나 매크로셀 내 스몰 셀들이 있을 때엔 다른 결과를 예측해 볼 수 있다.

스몰 셀들이 존재할 때 방점은 '들'에 찍힌다. 스몰 셀들이 존재하면 수식 (2)에서 N 이 증가하는 효과이다. 당연히 $SINR$ 이 감소하겠지만 관심있게 관찰해 볼 부분은 $SINR$ 이 감소하는 양에 있다. <그림 3>의 두 번째 그림에서 확인할 수 있듯이 스몰 셀이 복수개 존재할 때 매크로셀은 모든 스몰 셀 기지국에 접속한 단말들에 공통적인 간섭을 준다. 물론 한 스몰 셀 기지국이 다른 스몰 셀에 있는 단말에 간섭을 미칠 수 있으나, 스몰 셀 기지국의 송신 전력은 매크로셀 기지국에 비하여 매우 낮으므로 모든 스몰 셀들에 치명적인 영향을 주지



<그림 3> 스몰 셀에 미치는 매크로셀의 공통 간섭

않는다. 그러나 매크로셀 기지국의 신호 전송은 스몰 셀들이 증가함에 따라 ‘공공의 적’이 된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 eICIC*가 도입된다^[6]. eICIC의 동작 원리는 간단하다. <그림 2>를 보면 파란색으로 표시된 almost blank sub-frame(ABS)를 주목하면 된다. ABS는 영어 단어 그대로 거의 비어 있는 서브 프레임이다. 즉, 데이터가 서브 프레임이라는 단위로 전송될 때 ABS에서 기지국은 거의 아무것도 전송하지 않는다는 것이다. 그렇게 되면 ABS 서브 프레임에서 스몰 셀에 있는 단말들은 매크로 기지국의 간섭이 거의 없는 상태로 스몰 셀 기지국으로부터 전송되는 신호를 수신하게 되므로 스몰 셀 단말의 이 증가하는 효과를 볼 수 있다. 그렇다면 eICIC의 효과는 어떻게? 시스템 레벨 시뮬레이터를 통하여 결과를 예측해 보아야 하는데 2010년 NTT DOCOMO가 발표한 자료를 참고하면 섹터 당 스몰 셀 네 개 기준으로 전송 용량이 40 퍼센트 증가하는 것으로 나타나 있다. 매크로 기지국이 ABS에서 데이터 전송을 하지 않았으므로 주파수 재사용 측면에서는 손해를 조금 보았지만, 스몰 셀에 있는 단말들의 SINR 개선에 의한 전송률이 더 크게 증가한 결과로 해석해 볼 수 있다.

나. eICIC 성능 개선

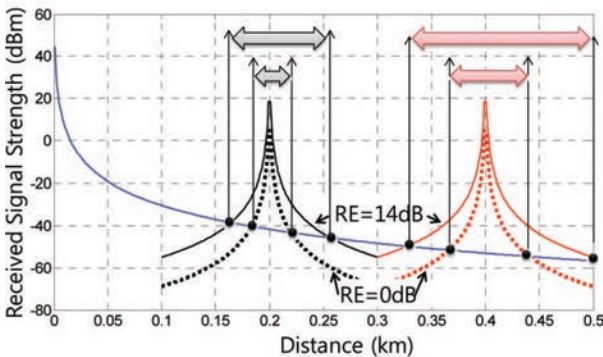
스몰 셀을 설치하면 단말들의 SINR은 감소하지만, 주파수 재사용에 의한 주파수 자원이 늘어나는 효과에 의해서 시스템 전체의 전송률이 증가하는 효과를 본다. 그런데 기껏 설치한 스몰 셀에 아무 단말도 접속하지 않으면 어떤 문제가 발생할까? 일단 스몰 셀을 설치하였으니 스몰 셀이 만들어 내는 간섭 신호 때문에 일부 단말들의 SINR은 감소하게 되는 반면 주파수 재사용 효과는 전혀 없게 된다. 일반적으로 단말은 수신 신호 세기를 기준으로 접속할 기지국을 결정한다. 수신 신호의 세기가 세다는 것은 수신 신호의 신뢰도가 크다는 것이므로 당연한 것이다. 그런데 스몰 셀의 경우 여기서 문

제가 발생하게 된다. 스몰 셀 기지국의 송신 전력이 매크로셀 기지국 대비 매우 낮다는 것은 위에 언급한 바 있다. 그럼 <그림 4>를 살펴보자. 매크로셀 기지국은 46 dBm으로 신호를 송신한다. 40 W에 해당된다. 스몰 셀 기지국은 30 dBm으로 신호를 송신한다. 1W에 해당된다. 두 개의 스몰 셀들 중 하나는 매크로셀 서비스 지역의 중간쯤, 다른 하나는 매크로셀 서비스 경계 지역에 설치되어 있다. 점선으로 표시된 영역을 보면 스몰 셀 기지국의 수신 신호 세기가 매크로셀 기지국의 수신 신호 세기 보다 더 큰 거리 구간이 그다지 크지 않음을 알 수 있다. 매크로셀 서비스 지역 내 단말들이 균일하게 분포되어 있다고 가정하면, 단말이 점선으로 표시되어 있는 영역으로 들어가 스몰 셀에 접속할 확률은 매우 작아진다^[6].

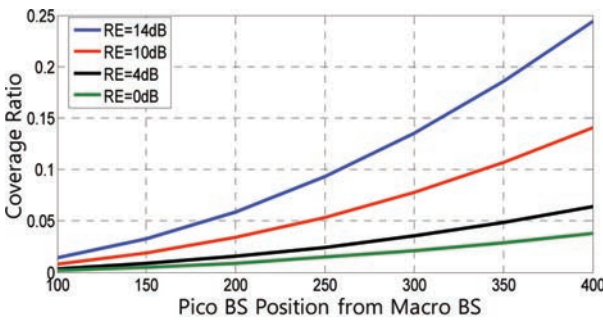
<그림 4>는 1차원적으로 스몰 셀 영역이 표시되어 있는 반면, <그림 5>는 <그림 4>의 조건을 만족하는 스몰 셀 서비스 가능 지역의 넓이를 매크로셀 서비스 지역의 넓이로 나눈 값을 coverage ratio로 도시하고 있다. RE가 0dB일 때 스몰 셀이 셀 경계 지역에 설치되더라도 스몰 셀이 서비스 가능한 영역은 매크로셀의 5 %에도 미치지 못하게 된다. 네 개의 스몰 셀이 있어도 20% 이하의 coverage ratio 값을 가지므로 스몰 셀이 주파수를 재사용하여 많은 주파수 자원을 가지고 있어도 80%의 단말들은 여전히 매크로셀 기지국에 접속하게 된다. 따라서 단말이 강제로 스몰 셀 기지국에 접속하도록, 스몰 셀 기지국으로부터 수신 신호 강도를 측정하면 추가로 bias 값을 데시벨 단위에서 더한다. 마치 스몰 셀 기지국으로부터 수신되는 신호의 세기가 실제보다 더 큰 것으로 인식하도록 하는 것이다. 그렇게 되면 스몰 셀의 서비스 영역이 넓어지는 효과(range expansion, RE)가 발생하게 된다. <그림 4>와 <그림 5>에 있는 RE에 대한 값은 강제로 수신 신호 강도가 실제보다 더 크게 인식하도록 하는 bias 값을 의미한다. bias 값을 더했을 때만 스몰 셀에 접속하게 되는 영역이 RE 영역이 된다^[7-8].

RE를 사용하게 되면 시스템의 전송 용량은 증가할까? 반드시 그렇지는 않다. RE 영역에 있는 단말은 매크

*참고로 inter-cell interference coordination(ICIC)은 간섭 상황에 따라 주파수 자원 스케줄링을 제어하는 기술



〈그림 4〉 스몰 셀에 미치는 매크로셀의 공통 간섭



〈그림 5〉 스몰 셀에 미치는 매크로셀의 공통 간섭

크로셀 기지국에 접속하였을 때 더 높은 *SINR*을 얻을 가능성이 많았을 것이므로 *SINR* 입장에서 불리한 선택을 한 것이 된다. 다만, 스몰 셀 기지국은 매크로셀 기지국 대비 적은 수의 접속 단말을 가지고 있을 것으로 단말들에 더 많은 수의 무선 자원을 할당해 줄 수 있을 것이다. 따라서 RE 영역의 단말이 스몰 셀 기지국에 접속한 것이 전송 속도 측면에서 이득을 볼 여지가 있는 것이다. 만약 스몰 셀이 RE를 활용하지 않고도 1개 이상의 접속 단말을 가질 수 있다면 RE를 사용하지 않는 편이 전송 용량 입장에서 유리하다. 다만, 위에서 논의한 바와 같이 스몰 셀 기지국의 송신 전력만으로는 단말이 접속할 확률이 매우 낮으므로, RE를 활용함으로써 이미 설치되어 있는 스몰 셀의 자원을 높은 빈도로 활용할 수 있게 된다.

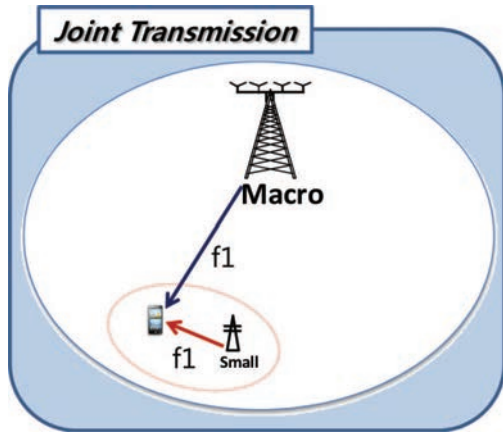
다. Coordinate Multi-Point (CoMP)

Coordinate multi-point (CoMP)는 LTE 표준 R11의 핵심 기술이다. 기술의 명칭이 의미하는 바와 같이

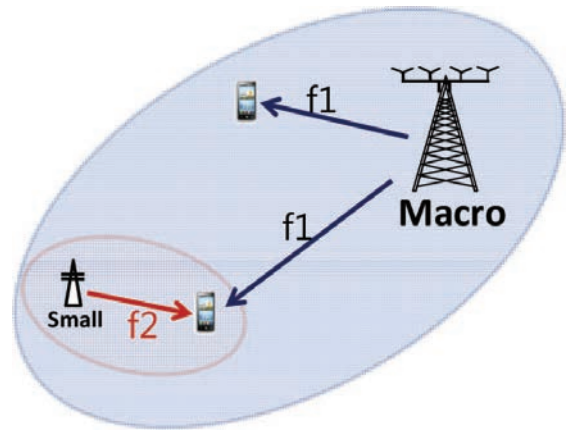
두 개 이상의 송신기가 하나의 단말에 신호를 전송하여 수신 신호 품질을 개선하는 것이다. 복수의 기지국이 협력하여 자원을 할당하는 방식과 어떤 무선 전송 방식을 사용하는가에 따라 joint transmission(JT), coordinate scheduling coordinate beamforming (CSCB), transmission point selection (TPS) 세가지 정도로 전송 모드가 구분되어 있다. JT는 두 개 이상의 기지국에서 하나의 단말에 동일한 정보를 전송해 주는 것이다. CSCB는 복수의 기지국이 협력하는 가운데 빔포밍을 결합한 자원할당 스케줄링에 의해서 간섭을 받게 되는 단말의 피해를 최소화 한다. DPS는 단말이 복수의 기지국들에 대하여 수신 신호의 품질과 간섭의 정도를 측정하고 신호를 전송할 기지국 또는 전송하지 말아야 할 기지국을 결정하여 간섭 대비 수신 신호의 품질을 개선하는 것이다⁹⁾.

CoMP의 전송 모드를 살펴보면 공통적으로 복수의 기지국에서 하나의 단말을 위한 공통의 무선 자원을 설정해 둔다. 이 경우 주파수 재활용 측면에서 손해를 보게 된다. 대신 서로 다른 기지국에서 하나의 단말에 동시에 신호를 전송해 주거나, 특정 기지국의 경우 침묵하여 간섭을 감소시키므로 단말 입장에서는 *SINR*이 개선되는 효과를 얻는다. 그러나 결론부터 말하면 시스템 전체의 전송 용량에 있어서 큰 이득은 발생하지 않는다.

두 개의 기지국이 협력하는 경우에 대하여 생각해 보자. 두 개의 기지국은 서로 다른 두 단말에 데이터를 전송하여야 한다. 두 개의 기지국과 두 단말 사이에서 달성할 수 있는 전송 용량은 각각 0.5, 1, 3 bps/hz 였다고 가정해보자. 이 때, 특정 단말에 *SINR*을 개선하고자 CoMP JT를 사용했다고 가정한다. 전송 용량이 0.5 bps/hz 달성하기 위하여 필요한 *SINR*은 수식 (1)의 Shannon의 공식에 의하여 $\sqrt{2}-1=0.14$ 정도이다. CoMP JT를 사용하게 되면 하나의 단말에 전송할 만큼의 전송 용량을 손해 보므로 다른 하나의 단말의 전송 용량이 최소 두 배는 되어야 시스템 전체 전송 용량 입장에서 손해를 보지 않게 된다. 즉 1 bps/hz가 되어야 하고 JT를 사용해서 *SINR*은 1이 되어야 한다. 0.41 대비 2.5배 정도 되어야 한다. JT는 인접한 간섭 지



〈그림 6〉 스몰 셀에 미치는 매크로셀의 공동 간섭



〈그림 7〉 매크로셀 스몰 셀에 대한 이중 접속

국이 간섭을 빼고 오히려 수신신호를 강화시켜 주는 것이므로 2.5배는 때때로 달성 가능하다고 볼 수 있다. 그러나 1 또는 3 bps/hz 인 단말들에 대하여 동일한 논리를 적용해 보면, CoMP JT를 사용하고 전송 용량 손해를 보지 않으려면, CoMP를 수신하는 단말의 SINR을 각각 3배 내지 6배 향상 시켜야 한다. 쉽지 않다. 또한, 0.5 bps/hz 정도로 평균 전송 용량에 미치지 못하는 단말들의 전송 용량이 개선된다고 해보아야 시스템 전체 입장에서 매우 적은 전송 용량의 증가를 보일 뿐이다.

라. Dual Connectivity

LTE-A는 핵심 기술로 주파수 묶음 기술(carrier aggregation, CA)로 복수의 LTE 주파수 대역을 합쳐서 한 단말에 서비스 해줌으로써 전송 속도를 높인다. 이 때 서로 다른 캐리어 주파수를 서로 다른 기지국으로 수신하게 되면 기지국간 CA 기술이 된다. 스몰 셀의 경우 매크로셀 기지국과 다른 주파수 대역에서 동작하는 경우 스몰 셀 기지국에 접속하고 있는 단말은 매크로셀 기지국으로부터 데이터를 수신할 수 있으며 이 경우 이중 연결(dual connectivity)라고 하며 〈그림 7〉에 도시되어 있다^[10].

스몰 셀 기지국에 접속하고 있는 단말은 핸드오버 문제로부터 자유로울 수 없다. 스몰 셀은 서비스 지역이 매우 좁기 때문에 조금만 움직여도 단말은 스몰 셀로부

터 신뢰성 있는 데이터 수신이 어려운 영역에 있게 되고 이 경우 다른 기지국으로 핸드오버를 해야하는데 그렇게 되면 너무 잦은 핸드오버가 발생한다. 따라서 이중 연결이 필요하게 된다. 주요한 제어 정보는 매크로 기지국으로부터 수신하고 데이터만 스몰 셀로부터 수신하면 된다. LTE 시스템의 경우 가장 중요한 제어 정보(physical downlink control channel, PDCCH)를 수신함으로써 단말과 기지국간 접속이 유지되는데 스몰 셀은 제어정보를 전송하지 않고, 단말은 매크로셀 기지국으로부터 PDCCH를 수신함으로써 스몰 셀과 매크로셀 간 빈번히 발생할 수 있는 단말의 잦은 핸드오버를 방지하고 끊임없는 데이터 전송을 구현할 수 있다.

3. HetNet을 지원하기 위한 수신기 구조

지금까지 HetNet이 주파수 재사용을 통해서 주파수 자원을 추가적으로 확보하여 무선 통신 시스템의 전송 용량을 확보하는 기술임에 대하여 여러 기술들을 예로 들어 설명하였다. 스몰 셀을 핵심 기술적 구성으로 포함하고 있는 HetNet에서 수신기는 주파수 재사용의 문제로 낮은 SINR을 극복하여야 하고, 복수의 기지국과 통신하여야 하며, 다양한 간섭 상황을 극복해야 하는 무선 통신 환경에 놓여 있다.

낮은 SINR을 극복하기 위하여 단말기에서 좀 더 신뢰성 높은 채널 추정을 하여야 하며, 기지국의 수신기에서 도입하고 있는 최소 평균 제곱 오차(minimum



mean square error, MMSE) 채널 추정기를 단말에도 도입하게 될 것으로 보인다. MMSE 채널 추정기는 역행렬 연산과정에서 높은 복잡도의 계산을 요구하므로 단말기 모뎀의 연산능력이 높아져야함과 동시에 채널 추정 성능과 채널 추정 알고리즘 복잡도 사이에서 계산을 두드려 보는 과정이 필요할 것으로 판단된다^[11].

채널 추정 성능은 간섭 제거 기법의 성능으로 직결된다. 간섭 제거 알고리즘의 경우 간섭이 수신하고자하는 신호의 세기와 비교하여 더 강할 때 제 성능을 발휘하게 된다. 따라서 상황에 따라 스몰 셀들이 인접하여 강한 간섭을 발생시키게 되거나 특정 간섭 신호가 강하게 수신 되는 상황을 인지하는 간섭 인지 알고리즘이 동시에 개발되고 개선되어야 한다^[12].

스몰 셀 기지국에 접속해 있는 단말은 강한 간섭 환경에 놓여있는 동시에 잦은 핸드오버 문제에 노출되므로, 복수의 기지국으로부터 신호를 수신할 수 있어야 하는이 경우 복수의 기지국과 동기 문제가 발생할 수 있다. 따라서 동기 오차를 최소화 하면서 OFDM을사용하면 동기오차에 의하여 발생할 수 있는 서브캐리어간 간섭량을 최소화할 수 있어야 할 것이다^[13].

III. 결론

초고밀도 스몰 셀(Hyper Dense Small Cell, HDSC)이 가까운 미래에 1000개 전송 용량 증가를 가능케 할 핵심 기술로 논의되는 가운데, 본 고에서는 간섭과 주파수 재사용에 대한 두 가지 성능 평가 지표(performance metric)만으로 스몰 셀과 HetNet의 전송 용량을 살펴 보았다. 또한 같은 맥락에서 eICIC, CoMP, dual-connectivity와의 기술 결합에 따른 장단점을 분석해보았다. 본 고의 이해의 틀이 HDSC의 성능 해석에 기여하기를 기대한다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 기고문은 2014년도 SK 텔레콤의 지원을 받아 작성된 것임

참고 문헌

- [1] S. Chen and J. Zhao, "The requirements, challenges, and technologies for 5G of terrestrial mobile telecommunication," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 5, pp. 36-43, May. 2014.
- [2] S. Akoum, O. El Ayach, R. W. Heath, "Coverage and capacity in mmWave cellular systems," Signals, Systems and Computers (ASILOMAR), 2012 Conference, pp. 688-692, 2012.
- [3] V. Jungnickel, K. Manolakis, W. Zirwas, B. Panzner, V. Braun, M. Lossow, M. Sternad, R. Apelfröjd, and T. Svensson, "The role of small cells, coordinated multipoint, and massive MIMO in 5G," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 5, pp. 44-51, May. 2014.
- [4] I. Hwang, B. Song, and S. S. Soliman, "A holistic view on hyper-dense heterogeneous and small cell networks," IEEE Communications Magazine, vol. 51, no. 6, pp. 20-27, Jun. 2013.
- [5] J. Hoadley and P. Maveddat, "Enabling small cell deployment with HetNet," IEEE Wireless Communications, vol. 19, no. 2, pp. 4-5, Feb. 2012.
- [6] NTT-DOCOMO, "Performance of eICIC with Control Channel Coverage Limitation," 3GPP TSG RAN WG1 Meeting 61, R1-103264.
- [7] S. Deb, P. Monogioudis, J. Miernik, and J. P. Seymour, "Algorithms for Enhanced Inter-Cell Interference Coordination (eICIC) in LTE HetNets," IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 22, no. 1, pp. 137-150, Jan. 2014
- [8] Y. Wang, B. Soret, and K. I. Pedersen, "Sensitivity Study of Optimal eICIC Configurations in Different Heterogeneous Network Scenarios," IEEE Workshop on Small Cell Wireless Networks 2012, pp. 6792-6796, 2012.
- [9] D. Lee, H. Seo, B. Clerckx, E. Hardouin, D. Mazzaresse, S. Nagata, and K. Sayana, "Coordinated



multipoint transmission and reception in LTE-advanced: deployment scenarios and operational challenges," IEEE Communications Magazine, vol. 50, no. 2, pp. 148-155, Feb. 2012.

- [10] A. Zakrzewska, D. Lopez-Perez, S. Kucera, and H. Claussen, "Dual connectivity in LTE HetNets with split control- and user-plane," IEEE Globecom Workshops 2013, pp. 391-396, 2013.
- [11] 3GPP TR 36.829 - Enhanced performance requirement for LTE User Equipment (UE), 2012.
- [12] 3GPP TR 36.866 - Study on Network-Assisted Interference Cancellation and Suppression (NAIC) for LTE, 2014.
- [13] X. Zhang, H. Ryu, and J. Kim, "Suppression of synchronization errors in OFDM based carrier aggregation system," Asia-Pacific Conference on Communications (APCC) 2010, pp. 106-111, 2010.



왕 한 호

- 2004년 연세대학교 전기전자공학부 학사
- 2010년 연세대학교 전기전자공학부 박사
- 2010년~2010년 연세대학교 전기전자공학부 박사 후 연구원 (Post Doc.)
- 2010년~2012년 특허청 정보통신심사국 심사관
- 2012년~현재 상명대학교 정보통신공학과 조교수

〈관심분야〉

HetNet, Small Cell, Multicarrier System, Cognitive Radio



류 탁 기

- 1999년 2월 연세대학교 전기전자공학부 학사
- 2001년 연세대학교 전기전자공학부 석사
- 2006년 연세대학교 전기전자공학부 박사
- 2006년~2009년 삼성전자 DMC 연구소 책임연구원
- 2009년~2010년 Stanford University 연구원
- 2010년~현재 SK 텔레콤 Network 기술원 매니저

〈관심분야〉

HetNet, Cloud-RAN, Cellular Network Architecture



홍 대 식

- 1983년 연세대학교 전자공학과 학사
- 1985년 연세대학교 전자공학과 석사
- 1990년 Electrical Engineering, Purdue University, 박사
- 1990년~1991년 Electrical Engineering, Purdue University, 박사 후 연구원 (Post Doc.)
- 1991년~현재 연세대학교 전기전자공학부 교수
- 2005년 통신학회 해동 학술상
- 2005년 3월~현재 IEEE Senior Member
- 2014년 1월~현재 대한전자공학회 부회장

〈관심분야〉

Small Cell Network, FBMC, Full Duplex System, NOMA, Cognitive Radio