펨토셀에서의 간섭 관리 기법

권태훈 | 임성묵 | 박성수 | 김영주 | 홍대식
연세대학교

요 약

펨토셀은 저전력으로 단거리에 작동하는 옥내용 기지국으로서 짧은 거리로 인해 파워 손실이 적어 옥내 사용자들의 서비스 품질을 향상시키며 저렴한 비용으로 설치가 용이하므로 가정, 사무실, 아파트 등 옥내 사용자들의 서비스 품질을 향상시키는 해결책으로 주목 받고 있다 [1]-[4].

하지만, 펨토셀로 인한 기존 셀구조의 변화는 여러가지 기술적인 문제들을 발생시킨다. 그 중 가장 중요한 문제가 간섭으로 인한 시스템 성능의 열화이다 [1]-[5]. 본고에서는 3GPP에서 진행 중인 표준화 동향을 바탕으로 펨토셀 환경에서 발생할 수 있는 간섭 시나리오와, 그에 대한 간섭 관리 기법에 대해서 살펴본다.

I. 서 론

차세대 무선 이동 통신은 정지 및 이동 환경에서 다양한 형태의 멀티미디어 정보를 고속 · 고품질로 송수신할 수 있어야 한다 [6]. 특히 3GPP Long Term Evolution (LTE)에서는 하향링크와 상향링크에 대해서 각각 100Mbps, 50Mbps이상의 데이터 전송률 보장을 목표로 하고 있다 [7]. 이를 위해 물리계층에서 많은 요소 기술들이 연구되고 있다. 하지만, 다른 요소 기술들이 아무리 높은 전송률을 보장하더라도 신호 자체가 도달하지 못하면 의미가 없다. 특히, 4세대 이동통신에서는 높은 전송속도를 충족시키기 위해 2 · 3세대 이동통신 주파수 900MHz~2.6GHz보다 높은 3.4~5GHz를 대역폭 후보로 정하고 있다. 이런 고주파 환경에서는 거리에 따른 신호의 감쇄 현상이 더욱 커져 한 기지국이 담당할 수 있는 셀 영역이 작아지게 되며 이로 인해 신호의 도달 거리는 감소하게 된다. 이런 문제에 대해 펨토셀 기술은 새로운 기지국을 세우는 것보다 경제적으로 유리한 해결책을 제시해준다.

펨토셀은 저전력으로 작은 반경(10-50 meter)을 갖는 옥내용 기지국으로서, 옥내에 이미 설치된 브로드밴드망 (인터넷)을 통해 이동 통신 코어 네트워크에 접속해주는 역할을 한다. 펨토셀을 사용시 유저의 모바일 기기와 펨토셀은 짧은 거리로 인해 옥내 고품질의 통신 환경을 제공함으로써 서비스를 향상시키게 된다. 또한 펨토셀은 추가적인 인프라 구축 없이 사용자에 의해 옥내에서 플러그 앤 플레이 (plug-and-play) 방식으로 간단히 설치되기 때문에, 저렴한 비용으로 구축할 수 있다.

반면, 기존에 존재하는 매크로 셀안에 여러 개의 펨토셀이 작동할 경우 기존과는 다른 셀구조로 인해 여러가지 기술적인 문제들이 발생한다. 즉, 펨토셀을 현실적으로 구현하기 위해서는 매크로셀과 펨토셀간 간섭문제, 동기화문제, 핸드오버, 시스템 구조 설계, 펨토셀에서의 채널 정보 획득 기법, 펨토셀 주변의 무선 환경 인식 방법 등을 해결해야만 한다 [4]. 이 중 가장 중요한 문제 중 하나가 간섭문제이다. 매크로-펨토셀 간 그리고 펨토-펨토셀간 발생하는 간섭이 시스템 용량과 서비스 품질을 저하시킨다 [9]-[11]. 그러므로, 시스템 용량과 서비스 품질을 향상시키기 위해서는 펨토셀에서 발생하는 간섭을 제어해야 한다.

본고에서는 3GPP에서 진행중인 펨토셀의 표준화 동향에

서 논의되고 있는 간섭에 영향을 미치는 요소들과 간섭 시나리오에 대해 알아보고, 간섭 문제를 해결하기 위한 간섭 관리 기법에 대해서 살펴본다.

II. 간섭 환경 인자들 및 간섭 시나리오

매크로셀과 펨토셀이 공존하는 환경에서 발생할 수 있는 간섭은 채널 사용 방식, 링크 방향, 펨토셀의 위치, 접속 방식 등에 따라 분류된다. 본고에서는 간섭 발생에 중요한 영향을 미치는 채널 사용 방식, 링크 방향, 펨토셀의 위치, 접속 방식 등을 간섭 환경 인자들로 정의한다. 간섭 환경 인자들이 매크로셀과 펨토셀이 공존하는 환경에서 어떤 식으로 적용되느냐에 따라 발생하는 간섭의 종류가 달라진다. 그러므로, 각 간섭의 종류에 따라 적절한 간섭 관리 기법을 적용하기 위해서는 간섭 환경 인자들이 어떻게 적용될 수 있는지, 그리고 발생 가능한 간섭 시나리오를 살펴볼 필요가 있다. 이 장에서는 간섭 환경 인자들에 대해서 살펴보고, 이에 따라 (그림 1)과 같이 발생 가능한 간섭 시나리오들을 언급하고자 한다.

1. 간섭 환경 인자들

위에서 언급했듯이 간섭 환경 인자들 (채널 사용 방식, 링크 방향, 펨토셀의 위치, 접속 방식)이 매크로-펨토셀 시스템에 어떻게 적용되느냐에 따라 발생할 수 있는 간섭의 종류가 달라진다. 그러므로, 각 간섭 환경 인자들에 대해서 먼저 살펴본다.

1) 펨토셀 접속 방식

펨토셀 접속 방식은 closed subscriber group (CSG) 방식과 open access (OA) 방식으로 나뉘어 진다 [1]. CSG에서는 오직 허용된 유저만이 펨토셀을 사용할 수 있게 하는 방식으로 가정이나 기업과 같은 환경에서 사용될 수 있는 모델이다. 반면 OA는 모든 유저가 자유롭게 펨토셀에 접속할 수 있도록 하는 것으로 카페나 공항과 같은 hot spot 환경에서 사용될 수 있는 모델이다.

CSG의 경우 특정 유저에게만 펨토셀 접속이 허용되기 때문에 유저와 펨토 기지국사이의 채널 상태가 좋아도 접속 권한이 없다면 핸드오버를 할 수 없다. 이런 경우 오히려 좋은 채널 상태 때문에 매크로셀과 펨토셀사이에 서로 큰 간섭을 미치게 된다. 반면, OA에서는 이 경우 해당 유저를 채널 상태가 좋은 펨토셀로 핸드오버시켜서 서비스해주면 되므로 CSG보다는 간섭면에서 유리한 장점을 가지게 된다.

2) 채널 사용 방식

펨토셀에서 사용되는 채널 방식은 co-channel, partial co-channel 그리고 dedicated channel로 구분된다 [1]. Co-channel은 매크로셀과 펨토셀이 전체 주파수 대역을 공유하는 것이고, partial co-channel은 매크로셀이 전체 주파수 대역을 사용하고, 펨토셀은 그 중 일부분을 공유하는 것이다. 즉, 일부분은 매크로셀과 펨토셀이 공유하고, 나머지 부분은 매크로셀만 사용하게 된다. Co-channel과 partial co-channel은 매크로셀과 펨토셀이 주파수 대역을 공유하기 때문에 매크로셀과 펨토셀 간 간섭이 치명적인 간섭이 된다. 반면, dedicated channel은 매크로가 사용하는 주파수 대역과 펨토셀이 사용하는 주파수 대역을 나누어 사용하는 방식이다. 그러므로, 매크로셀과 펨토셀간 간섭은 발생하지 않는다. 이 경우 펨토셀끼리 발생하는 간섭이 주요 간섭이 된다.

3) 링크 방향

링크 방향은 상향 링크와 하향 링크를 의미한다. 상향 링크의 경우 간섭을 일으키는 주체는 매크로 사용자 또는 펨토 사용자가 되고, 이들의 전송 신호가 인접한 펨토 기지국 또는 매크로 기지국에 간섭을 일으키게 된다. 반면, 하향 링크의 경우 간섭을 일으키는 주체는 매크로 기지국 또는 펨토 기지국이 된다. 이들의 전송 신호는 인접 펨토 사용자 또는 매크로 사용자들에게 간섭으로 작용한다.

4) 펨토셀의 위치

펨토셀의 위치에 따른 간섭의 영향은 (partial) co-channel 환경에서만 나타난다. Dedicated channel의 경우 매크로-펨토셀 간 간섭이 발생하지 않기 때문에, 이는 펨토셀과 매크로셀 간 거리와는 상관이 없다. 반면, (partial) co-channel 환경에서는 펨토셀이 매크로셀의 어느 부분에 위치하느냐에

따라 치명적으로 영향을 끼치는 간섭의 종류가 달라진다 [10]. 매크로셀 중심부에 위치한 펨토셀의 경우 매크로셀과 펨토셀 간의 거리가 짧아 거리 손실에 의한 신호 감쇄가 적다. 그러므로, 매크로 기지국과 펨토 사용자 간 간섭이 중요한 요소가 된다. 반면, 펨토셀의 위치가 매크로셀 가장자리에 가까울수록 매크로 사용자와 펨토 기지국 간에 발생하는 간섭이 중요한 요소가 된다. 이는 매크로 사용자와 매크로 기지국 간 거리 손실에 의한 신호 감쇄가 커서 원하는 신호의 세기가 약해지고, 매크로 사용자와 인접 펨토 기지국 간 간섭이 상대적으로 커지기 때문이다. 따라서 펨토셀의 위치에 따라 시스템에 치명적으로 발생하는 간섭의 종류가 달라진다.

2. 간섭 시나리오

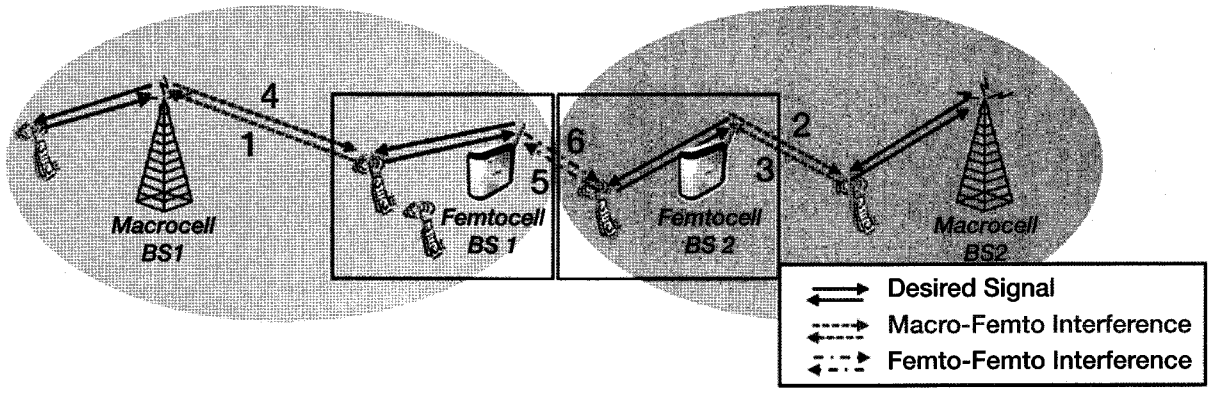
위에서 살펴본 간섭 환경 인자들의 조합에 따라 고려하는 환경이 달라지고, 발생하는 간섭 시나리오도 달라지게 된다. (그림 1)에서 볼 수 있듯이 간섭 시나리오는 채널 사용 방식에 따라 크게 매크로-펨토 간섭 (간섭 시나리오 1부터 4까지)과 펨토-펨토 간섭 (간섭 시나리오 5와 6)으로 나눌 수 있고, 각각은 링크 방향과 펨토셀의 위치에 따라 다시 세부적으로 나뉜다.

간섭 시나리오 1은 펨토 사용자의 송신 신호가 매크로 기지국에 간섭으로 작용하는 경우다. 이는 co-channel 환경에서 상향링크 시 매크로셀 중심부에 위치한 펨토셀의 사용자와 매크로 기지국 사이에서 발생한다. 펨토셀 사용자와 매크로 기지국 간 간섭은 펨토셀 위치가 매크로셀 가장자리에 가까울수록 거리 손실에 의해 작아지므로, 주로 매크로셀 중심에 위치한 펨토셀이 co-channel, 상향링크 환경에서 시스템 성능을 저하시키는 치명적인 역할을 한다.

간섭 시나리오 3도 co-channel 환경과 상향링크의 경우에서 발생한다. 즉, 상향링크 시 사용자들의 전력을 제어하는 시스템에서 펨토셀의 위치가 매크로셀 가장자리에 가까울수록 매크로 사용자가 인접 펨토 기지국에 미치는 간섭은 시스템 성능 열화에 치명적인 요소가 된다 [8]. 그러나, 일반적으로 펨토 기지국과 매크로 사용자의 거리가 매우 가까울 경우 펨토 기지국이 셀 중심에 위치하더라도 매크로 사용자의 송신 신호가 인접 펨토 기지국에 치명적인 간섭으로 작용할 수 있다. 따라서, 시나리오 3은 co-channel 환경의 상향링크에서 펨토셀 위치에 관계없이 중요한 간섭이 된다.

간섭 시나리오 2와 4는 co-channel 환경의 하향링크에서 주된 간섭이 된다. 이 중에서 펨토셀이 셀 중심에 위치할 경우 거리 손실에 의한 수신 신호와 간섭의 상대적인 감쇄에 따라 매크로 기지국이 펨토 사용자에게 끼치는 간섭이 시스템 성능 열화에 결정적인 요소가 되고, 펨토셀이 셀 가장자리에 위치할 경우에는 펨토 기지국이 매크로 사용자에게 치명적인 간섭을 제공하게 된다.

간섭 시나리오 5와 6은 dedicated channel 환경에서 펨토셀 간에 발생하는 간섭을 나타낸다. 즉, 상향링크 (하향링크)의 경우 펨토 사용자 (펨토 기지국)가 인접 펨토셀 (인접 펨토 사용자)에게 끼치는 간섭이다.



(그림 1) 3GPP에서의 매크로-펨토셀 및 펨토-펨토셀 간섭시나리오
*source:TR25.820[1]

이처럼 간섭 환경 인자들의 조합에 따라 시스템 성능에 치명적인 영향을 끼치는 간섭의 종류가 달라진다. 그러므로, 발생하는 간섭 시나리오에 따라 그에 맞는 간섭 관리 기법들에 대한 연구가 필요하며, 최근의 연구 동향도 간섭 문제를 해결하는 방향으로 초점을 맞추고 있다.

III. 간섭 관리 기법

위에서 살펴본 것처럼 매크로셀과 펨토셀이 공존하는 환경에서 시스템 성능을 열화시키는 가장 큰 요인은 매크로 사용자와 인접 펨토 기지국, 그리고 펨토 사용자와 인접 펨토 기지국 사이에서 발생하는 간섭이다. 이 장에서는 펨토셀 환경에서 발생하는 간섭을 관리하는 기법들을 소개하고자 한다.

펨토셀 간섭 관리 기법들은 크게 스펙트럼 억세스(Spectrum Access), 전력 제어(Power Control), 다중 안테나(Multiple Antennas) 사용기법들로 나눠볼 수 있다.

1. 스펙트럼 억세스(Spectrum Access) 기법

간섭에 대한 가장 간단한 접근은 매크로-펨토셀 혹은 펨토-펨토셀간에 서로 다른 주파수 자원을 할당하는 것이다. 매크로-펨토셀간의 간섭을 근본적으로 해결하기 위해 dedicated channel을 할당하여 사용할 수 있다[5]. 반면, 펨토-펨토셀간 간섭을 완화시키기 위해서는 펨토셀은 사용자의 의지에 따라 임의의 시간과 장소에서 설치되므로, 인접 펨토셀의 정보 (사용중인 채널 정보, SINR 정보 등)를 획득하기 어려우므로 랜덤 억세스 기법을 적용할 수 있다[5]. 랜덤 억세스 기법은 간섭을 일으키는 주체에 자원을 랜덤하게 할당해 줌으로써 간섭이 발생할 확률을 낮추고, 발생하는 간섭량을 평균화 (interference averaging)함으로써 간섭을 완화시키는 기법이다.

위의 방법은 간단하게 간섭을 효과적으로 완화시킬수 있으나 매크로셀과 펨토셀이 dedicated channel을 사용하므로 자원효율성이 떨어지게 된다. 이의 해결을 위해서 [12]에서 홍대식 외 저자들은 자원 효율성을 증가시키기 위해서 펨토의 위치에 따라 매크로와 co-channel형태로 자원을 공유하거나 dedicated channel형태로 사용하는 partial co-channel을 사용하는 기법을 제안하였다.

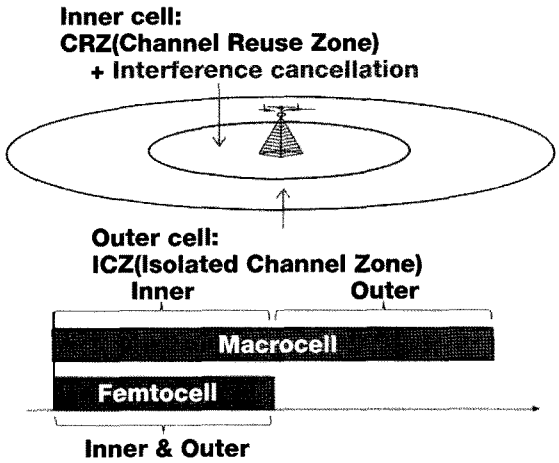
즉, 매크로 기지국과 가까운 안쪽 영역과 먼 바깥쪽 영역으로 구분하여 기지국에서 가까워 매크로 유저들이 펨토 기지국으로부터의 간섭에 강인한 안쪽 영역에서는 펨토셀을 co-channel형태로 겹쳐서 사용한다.

이때 매크로 기지국과 펨토 기지국으로부터의 신호의 크기 차이가 커서 간섭 제거 기법 (interference cancellation) 을 효과적으로 적용할 수 있기 때문에 이를 이용하여 펨토유저에서는 매크로기지국으로부터의 간섭을 완화시킨다. 반면, 기지국으로부터의 먼거리로 인해 간섭에 취약한 바깥쪽 영역에서는 매크로셀과 펨토셀이 각각 dedicated channel을 사용하게 된다.

이 방법은 [5]에서의 방법보다는 자원 효율성을 향상시킬 수 있지만 간섭제거기법으로 인해 펨토 유저의 복잡도가 증가하는 단점을 가지게 된다.

위의 방법들은 모두 미리 정해진 방법대로 매크로셀과 펨토셀에 자원을 할당하는 fixed coordination방법이다. 만약 펨토셀 스스로 주변 환경을 인지할 수 있다면 셀내의 환경에 따라 적합하게 자원효율성과 간섭을 고려하여 자원을 할당하여 성능을 향상시킬 수 있는 dynamic spectrum access 기법을 적용할 수 있다.

이를 위해서 [13]에서 M. G. Khoshkholgh 외 저자들은 펨



(그림 2) Partical Co-channel과 IC를 이용한 Spectrum Access
*source: 펨토셀 기지국, 펨토셀 기지국의 제어방법 및 단말 장치 [12]

토 기지국에서 에너지 검출기(Energy Detector) 를 통해 매크로 기지국으로부터의 신호의 세기를 계속 측정할 것을 제안하였다. 만약 신호의 세기가 일정 이하로 매크로 기지국이 해당 채널을 사용하지 않는다고 판단되면 펨토 기지국이 그 채널을 사용하게 된다. 이와 유사하게 [14]에서 T. Kim 외 저자들은 펨토 기지국이 매크로 기지국과의 채널을 파일럿을 이용하여 측정하여 일정 크기 이하라서 간섭을 크게 미치지 않을 것으로 예상되면 자원을 공유해서 사용하는 방법을 제안하였다.

Dynamic Spectrum Access방식은 fixed coordination에 비해 간섭문제를 효율적으로 고려하면서 자원을 할당할 수 있는 장점을 가지고 있기만 이를 위해서는 셀 상황에 맞는 효율적인 스케줄링 기법 및 펨토셀 간 정보를 공유할 수 있는 메커니즘 또는 펨토셀 스스로 주변 환경을 인지할 수 있는 SON (self-organized network) 기법에 대한 연구가 반드시 병행되어야 한다.

2. 전력 제어 기법(Power Control)

간섭 시나리오 2와 6의 경우에서 볼 수 있듯이 펨토 기지국의 전송 신호는 인접해있는 매크로 사용자와 펨토 사용자에게 간섭으로 작용해 수신 SINR (signal to noise plus interference ratio)을 저하시키고, 시스템 용량을 열화시킨다. 특히 CSG환경에서 펨토셀과 인접한 매크로 사용자가 매크로 기지국에서 멀어질수록 간섭에 의한 성능 저하가 심각해진다.

그러므로, 펨토 기지국의 송신 전력을 낮춤으로써 간섭을 완화시키고, 매크로 사용자의 수신 SINR을 향상시킬 수 있다. 이때 송신 전력의 결정 주체가 중앙 제어 방식인가 아니면 각 펨토 기지국인가에 따라 centralized 방식과 distributed 방식으로 구분이 된다.

Centralized방식은 펨토셀과 매크로셀 모두 고려하여 최적의 파워를 계산하여 할당하므로 우수한 성능을 기대할 수 있지만 복잡도가 높고 특히 모든 필요 정보를 어떻게 얻을 수 있을 것인가 하는 문제가 발생한다. 이에 [15]에서 X. Li외 저자들은 GPS정보를 이용하여 오직 거리로 채널의 상태를 판단하여 중앙 제어를 통해 매크로셀과 펨토셀의 파워를 계산하여 할당할 것을 제안하였다. 유사하게 [16]에서는 D. I. Kim 외 저자들은 펨토-매크로 채널의 평균값을 측정하여 이를 이용하여 centralized 방식으로 파워를 할당할 것을 제안하였다. 반면, distributed방식은 전체 환경을 고려하지 않고 펨토 스스로가 얻은 정보만을 이용하여 파워를 할당하며 조정해가기 때문에 centralized방식보다는 성능이 열화되고 주로iterative한 방식을 사용하기 때문에 최적의 파워를 얻기 위해서는 어느 정도 파워의 수렴시간이 필요하다는 단점을 가지게 된다 [15][17].

따라서, 전력제어기법에서는 centralized 방식의 접근에서는 어떻게 복잡도를 줄이면서도 전체 정보를 얻을 수 있는 방법을 개발할 것인가가 중점이 되며 distributed방식에서는 빠르고 정확한 파워 제어 알고리즘의 기법에 대한 연구를 필요로 한다. 실질적으로 매크로 셀내에 수십에서 수백개의 펨토셀이 설치되어 매크로-펨토셀간의 정보교환이 쉽지 않고 경제성 때문에 펨토기지국은 저렴한 형태로 구현되어야 하므로centralized 방식보다는 distributed방식으로 전력 제어 기법 연구가 진행될 것으로 예상된다.

〈표 1〉 펨토셀에서의 간섭 관리 기법들의 장단점

		장 점	단 점
스펙트럼 억세스 기법	Fixed Coordination	간섭을 단순하고 효과적으로 줄일 수 있음.	자원 효율성이 떨어짐.
	Dynamic Spectrum Access	셀 상황에 따라 간섭완화와 자원 효율성을 적절히 추구 가능.	셀간 정보를 공유할 수 있는 메커니즘 또는 주변 환경을 인지할 수 있는 기술 필요.
전력 제어 기법	Centralized Scheme	모든 셀의 간섭을 고려 최적의 파워 할당 가능.	셀간 정보를 얻을 수 있는 메커니즘 필요.
	Distributed Scheme	Centralized scheme에 비해 적은 부가정보로 간섭완화 가능.	대부분 Iterative하게 동작하므로 수렴하는데 시간이 걸리며 상대적으로 성능이 좋지 않음.
다중 안테나 기법	No CSI	신호의 품질을 향상. 간섭에 대한 강인성 키움.	멀티플렉싱 이득 (Multiplexing gain)을 이용 못해 전송 효율 저하
	CSI	간섭을 효과적으로 줄임.	복잡도 증가. 펨토-매크로셀간 CSI정보 전송에 대한 부담 증가.

3. 다중 안테나(Multiple Antennas) 기법

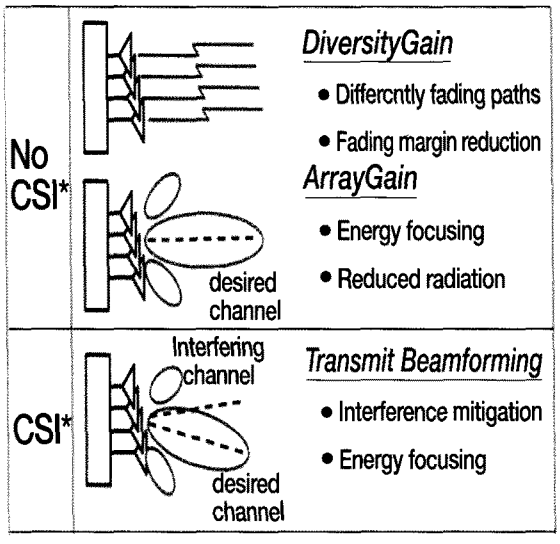
하향링크에서 펨토 기지국에서 매크로 유저들 사이의 CSI(channel state information)를 알 수 있을 경우 간섭을 완화하기 위해서 다중 안테나 시스템을 이용할 수 있다. 예를 들어 다중 안테나 시스템에서 안테나간 간섭을 제거하는 대

표적인 기법으로서 송신 빔포밍 (transmit beamforming)이 있다 [18][19]. 이를 이용하면 펨토 사용자의 전송 신호 에너지를 최대화하면서 동시에 인접 매크로 사용자에게 미치는 영향을 최소화시킬 수 있다.

펨토 기지국에서 매크로 유저들 사이의 CSI가 제한된 경우는 신호의 품질을 향상시킬 수 있는 다중 안테나 기법을 사용하여 매크로-펨토셀간 간섭을 해결할 수 있다. 예를 들어, 매크로 기지국에서 다중 유저 전송 (multiuser transmission)을 포기하고 단일 유저 전송 (single transmission)을 한다면 다중 안테나를 멀티플렉싱 이득(multiplexing gain)대신 어레이 이득(array gain)이나 다이버시티 이득 (diversity gain)을 얻는데 사용하여 신호의 품질을 향상시켜 간섭에 강인하도록 할 수 있다 [20].

다중 안테나 기법에서도 전력 제어 기법과 마찬가지로 펨토-매크로셀간 CSI의 정보전송에 대한 부담감과 경제성때문에 펨토-매크로셀간 CSI를 사용하지 않는 방향으로 연구가 진행될 것으로 예상된다.

표 1은 위의 간섭 관리 기법의 장단점을 정리한 것이다. 표 1에 정리된 기법 외에도 펨토셀 환경과 간섭 시나리오의 종류에 따라 적용될 수 있는 여러 가지 기법들이 존재할 수 있다.



(그림 3) 펨토셀 간섭 관리에 적용될 수 있는 다중 안테나 기법

IV. 결 론

본고에서는 옥내 사용자들의 통신 환경을 향상시키기 위해 기존의 매크로셀 안에 펨토셀이 설치될 때 고려되어야 할 여러 가지 파라미터들과 그에 따른 펨토셀의 배치 방식에 대해서 언급하였다. 각각의 배치 방식에 따라 시스템 성능을 열화시킬 수 있는 간섭 시나리오가 다양하게 발생한다. 그러므로 발생하는 간섭 시나리오의 종류에 따라 이를 해결할 수 있는 다양한 간섭 관리 기법들이 존재할 수 있는데, 본고에서는 이 중 대표적인 기법들에 대해서 소개하고, 각각이 펨토셀 환경에 적용될 때 장점과 해결되어야 할 문제점들에 대해서 언급하였다.

본고에서 언급한 해결책 이외에도 펨토셀 설치 시 추가적으로 고려되어야 할 요소나 시나리오에 따라 간섭에 대한 다양한 해결책이 필요하다. 펨토셀을 통해 시스템 성능을 향상시키고, 차세대 이동 통신 시스템에 펨토셀을 안정적으로 상용화시키기 위해서는 이에 대한 지속적인 연구가 수행되어야 한다.

Acknowledgement

본 연구는 삼성 전자의 4G 무선 통신 시스템에 대한 연구과제 지원 하에 이루어졌음.

참 고 문 헌

[1] 3GPP TR25.820, "3G Home NodeB Study Item Technical Report", v8.0.0, March 2008

[2] 신재승, 신연승, 김영진, "3GPP Home (e)NodeB 기술 동향", 정보통신 연구진흥원, 주간 기술 동향, 주간 기술 동향 통권 1336호, 2008년 3월

[3] 이종식, "WiBro Femtocell 기술개발 동향," ICT Forum Korea 2009, 2009년 5월

[4] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Femtocell Networks : A Survey", IEEE Communications Magazine, Vol. 46, pp. 59-67, Sept. 2008

[5] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Spectrum Allocation in Two-tier Networks", Submitted, IEEE Trans. On Wireless Comm. [Online] Available at: http://arxiv.org/abs/0805.1226v1

[6] W. Lu, Broadband Wireless Mobile: 3G and Beyond, John Wiley & Sons, Ltd., 2002

[7] 3GPP TR25.814, "Physical Layer Aspects for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA)", 2006

[8] 전용태, 아이피 네트워크, 펨토셀 기술 및 서비스 전망, BcN 기술 및 정책 컨퍼런스 2007, 2007년 11월

[9] 3GPP R4-071661, Ericsson, "Impact of HNB with Controlled Output Power on Macro HSDPA Capacity", Oct. 2007

[10] 3GPP R4-080151, Ericsson, "Simulation Results for Home NodeB to Macro UE Downlink Co-existence within the Block of Flats Scenario", Feb. 2008

[11] 3GPP R4-080409, Qualcomm Europe, "Simple Models for Home NodeB Interference Analysis", Feb. 2008

[12] 홍대식, 김영주, 박성수, "펨토셀 기지국, 펨토셀 기지국의 제어방법 및 단말 장치", 대한민국 특허 출원번호 10-2009-0050309

[13] M. G. Khoshkholgh, K. Navaie and H. Yanikomeroglu, "On the Impact of the Primary Network Activity on the Achievable Capacity of Spectrum Sharing over Fading Channels", IEEE Trans. On Wireless Communications, Vol. 8, No. 4, pp. 2100-21114, April 2009

[14] T. Kim and T. Lee, "Throughput Enhancement of Macro and Femto Networks by Frequency Reuse and Pilot Sensing", in Proc. IEEE Performance, Computing and Communications Conf., pp. 390-394, Dec. 2008

[15] X.Li, L. Qian and Kataria D., "Downlink Power Control in Co-Channel Macrocell Femtocell Overlay", in Proc. IEEE Information Sciences and Systems Conf., pp. 383-388, March 2009

[16] D. I. Kim, Long Le and Hossain E., "Resource Allocation for Cognitive Radios in Dynamic Spectrum Access Environment", in Proc. IEEE Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications Conf., May 2008

[17] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, T. Muharemovic, Z. Shen and A. Gatherer, "Power Control in Two-Tier Femtocell Networks", Submitted, IEEE Trans. On Wireless Commun. [Online] Available at http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0810/0810.3869v4.pdf

[18] S. Jafar, G. Foschini, and A. Goldsmith, "Phantomnet: Exploring Optimal Multicellular Multiple Antenna Systems," in Proc. IEEE Veh. Technology Conf., pp. 24?28, Sept. 2002

[19] S. Shamai and B. Zaidel, "Enhancing the Cellular Downlink Capacity via Coprocessing at the Transmitting End," in Proc. IEEE Veh. Technology Conf., pp. 1745?1749, May 2001

[20] V. Chandrasekhar, M. Kountouris and J. G. Andrews, "Coverage in Multi-Antenna Two-Tier Networks", Submitted, IEEE Transactions on Wireless Commun. [Online] Available at http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0902/0902.3210v5.pdf

약 력

권 태 훈

2004년 연세대학교 전기전자공학부 공학사
2006년 연세대학교 전기전자공학부 공학석사
2006년 ~ 현재 연세대학교 전기전자공학부 박사과정
관심분야 : Femtocell Technology, Cooperative Relay System

임 성 묵

2005년 연세대학교 기계전자공학부 공학사
2007년 ~ 현재 연세대학교 전기전자공학부 석박사 통합과정
관심분야 : Femtocell Technology, SC-FDMA System, Cognitive Radio

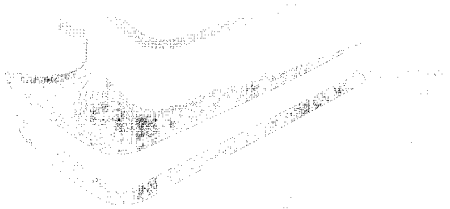
약 력

박 성 수

2006년 연세대학교 전기전자공학과 공학사
2008년 연세대학교 전기전자공학과 공학석사
2008년 ~ 현재 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
관심분야 : Femtocell Technology, Multihop Relay System, Dirty Paper Coding

김 영 주

2002년 연세대학교 전기전자공학과 공학사
2004년 연세대학교 전기전자공학과 공학석사
2004년 ~ 현재 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
관심분야 : Femtocell Technology, MIMO techniques, Cognitive Radios

홍 대 식

1983년 연세대학교 전자공학과 공학사
1985년 연세대학교 전자공학과 공학석사
1990년 Purdue University Electrical Engineering 박사
1990년 ~ 1991년 Purdue University 박사 후 과정 연구원
1991년 ~ 현재 연세대학교 전기전자공학과 교수
2005년 ~ 현재 Senior Member, IEEE
2007년 ~ 현재 Division Editor, Journal of Communications and Networks (JCN)
2006년 ~ 현재 Editor, IEEE Transactions on Wireless Communications (TWC)
2006년 ~ 현재 대한 전자 공학회 (IEEK) 이사, 기획이사, 학술이사
2007년 한국 통신 학회 (KICS) 이사, 편집이사
관심분야 : MIMO-OFDM Cellular System, Multihop Cellular Network, Cognitive Radio, Femtocell Technology