

펠토셀에서의 간섭 완화 및 회피 기법

임성묵 | 권태훈 | 박성수 | 홍대식

연세대학교

요약

최근 들어 펠토셀에 대한 관심이 고조되어 3GPP같은 국제 이동 통신 표준화 단체에서 표준화 작업을 진행하고 있고, 많은 업체들이 펠토셀 개발에 주력하고 있다 [1][2]. 펠토셀은 저렴한 비용으로 설치가 용이하고, 음영 지역에서도 고품질의 통신 환경을 가능하게 하므로, 가정, 사무실, 아파트 등 옥내 사용자들의 서비스 품질을 향상시키는 해결책으로 주목 받고 있다 [2][4].

그러나, 펠토셀 환경에서 발생할 수 있는 여러 가지 기술적 문제들이 존재하는데, 그 중 가장 중요한 문제가 간섭으로 인한 시스템 성능의 열화이다 [1][4]. 본고에서는 3GPP에서 진행 중인 표준화 동향을 바탕으로 펠토셀 환경에서 발생할 수 있는 간섭 시나리오와, 그에 대한 간섭 완화 및 회피 기법에 대해서 살펴본다.

1. 서론

차세대 무선 이동 통신 시스템은 음성, 데이터뿐만 아니라 멀티미디어 서비스에 대한 빠르고, 안정적인 지원을 필요로 한다 [5]. 특히 3GPP Long Term Evolution (LTE)에서는 하향링크와 상향링크에 대해서 각각 100Mbps, 50Mbps 이상

의 데이터 전송률 보장을 목표로 하고 있다[6]. 그러나, 가정, 사무실, 아파트 등 밀폐된 건물 안에서는 건물 벽, 창문 등의 차단 효과로 인해 신호의 품질이 저하되기 때문에, 사용자들이 요구하는 데이터 전송률이나 통화 품질을 만족시키기 어렵다 [7]. 특히 3세대 이동 통신 서비스의 경우 음성 서비스의 40%, 데이터 서비스의 70%가 옥내에서 발생하고 있다 [3][7]. 그러므로 옥내에서 발생하는 무선 통신 서비스에 대한 전송률 증대 및 품질 향상이 중요한 기술적 이슈로 대두되고 있다.

옥내에서의 통화 품질 향상 및 전송률 증대를 위한 해결책의 하나로 펠토셀이 주목 받고 있다 [3][7]. 펠토셀은 가정, 사무실, 아파트 등 밀폐된 건물 안에서 사용하는 옥내용 기지국으로서, 옥내에 이미 설치된 브로드밴드망 (인터넷)을 통해 이동 통신 코어 네트워크에 접속해주는 역할을 한다. 펠토셀은 매크로셀에 비해 송신단과 수신단의 거리를 줄여줌으로써 통화 품질과 서비스를 향상시킨다. 그리고, 음영 지역에서도 고품질의 통신 환경을 제공하기 때문에 커버리지를 확대시킬 수 있다. 또한 펠토셀은 추가적인 인프라 구축 없이 사용자에게 의해 옥내에서 플러그 앤 플레이 방식으로 간단히 설치되기 때문에, 저렴한 비용으로 통신 서비스 품질을 향상시킬 수 있다.

반면 펠토셀 설치로 발생하는 여러 가지 기술적인 문제들도 존재한다. 즉, 펠토셀을 현실적으로 구현하기 위해서는 매크로셀과 펠토셀간 간섭 문제, 동기화 문제, 핸드오버, 시

*이 논문은 한국과학재단이 주관하는 국가지정연구실사업(NRL-ROA-2007-000-20043-0)의 지원을 받아 연구되었음.

*본 연구는 삼성 전자의 4G 무선 통신 시스템에 대한 연구 과제 지원 하에 이루어졌음.

스텝 구조 설계, 펠토셀에서의 채널 정보 획득 방법, 펠토셀 주변의 무선 환경 인식 방법 등을 해결해야만 한다 [3]. 이 중 에서 가장 중요한 문제 중 하나가 간섭 문제이다. 매크로-펠 토셀 간 그리고 펠토-펠토셀 간 발생하는 간섭이 시스템 용 량과 서비스 품질을 저하시킨다 [8]-[10]. 그러므로, 시스템 용량과 서비스 품질을 향상시키기 위해서는 펠토셀에서 발 생하는 간섭을 제어해야 한다.

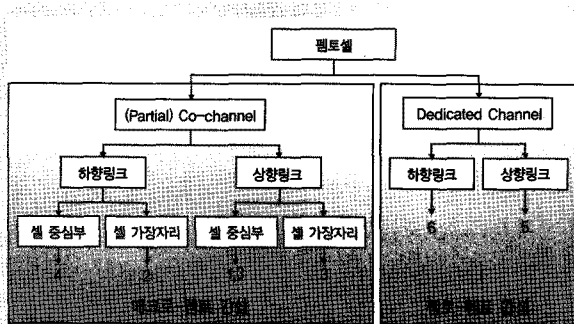
본고에서는 3GPP에서 진행중인 펠토셀의 표준화 동향에 서 논의되고 있는 간섭에 영향을 미치는 요소들과 간섭 시나 리오에 대해 알아보고, 간섭 문제를 해결하기 위한 간섭 완 화 및 회피 기법에 대해서 살펴본다.

II. 간섭 환경 인자들 및 간섭 시나리오

매크로셀과 펠토셀이 공존하는 환경에서 발생할 수 있는 간섭은 채널 사용 방식, 링크 방향, 펠토셀의 위치, 접속 방 식 등에 따라 분류된다. 본고에서는 간섭 발생에 중요한 영 향을 미치는 채널 사용 방식, 링크 방향, 펠토셀의 위치 접속 방식 등을 간섭 환경 인자들로 정의한다.

간섭 환경 인자들이 매크로셀과 펠토셀이 공존하는 환경 에서 어떤 식으로 적용되느냐에 따라 발생하는 간섭의 종류 가 달라진다.

그러므로, 각 간섭의 종류에 따라 적절한 간섭 완화 및 회 피 기법을 적용하기 위해서는 간섭 환경 인자들이 어떻게 적용될 수 있는지, 그리고 발생 가능한 간섭 시나리오를 살 펴볼 필요가 있다. 이 장에서는 간섭 환경 인자들에 대해서



(그림 1) 간섭 환경 인자 조합에 따른 펠토셀 시스템 및 간섭 시나리오 분류

살펴보고, 이에 따라 (그림 1)과 같이 발생 가능한 간섭 시나 리오들을 언급하고자 한다.

A. 간섭 환경 인자들

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

1) 채널 사용 방식

펠토셀에서 사용되는 채널 방식은 co-channel, partial co-channel 그리고 dedicated channel로 구분된다 [1]. Co-channel은 매크로셀과 펠토셀이 전체 주파수 대역을 공유하 는 것이고, partial co-channel은 매크로셀이 전체 주파수 대 역을 사용하고, 펠토셀은 그 중 일부분을 공유하는 것이다. 즉, 일부분은 매크로셀과 펠토셀이 공유하고, 나머지 부분 은 매크로셀만 사용하게 된다. Co-channel과 partial co-channel은 매크로셀과 펠토셀이 주파수 대역을 공유하기 때 문에 매크로셀과 펠토셀 간 간섭이 치명적인 간섭이 된다. 반면, dedicated channel은 매크로가 사용하는 주파수 대역 과 펠토셀이 사용하는 주파수 대역을 나누어 사용하는 방식 이다. 그러므로, 매크로셀과 펠토셀간 간섭은 발생하지 않 는다. 이 경우 펠토셀끼리 발생하는 간섭이 주요 간섭이 된 다.

2) 링크 방향

링크 방향은 상향 링크와 하향 링크를 의미한다. 상향 링 크의 경우 간섭을 일으키는 주체는 매크로 사용자 또는 펠 토 사용자가 되고, 이들의 전송 신호가 인접한 펠토 기지국 또는 매크로 기지국에 간섭을 일으키게 된다. 반면, 하향 링 크의 경우 간섭을 일으키는 주체는 매크로 기지국 또는 펠 토 기지국이 된다. 이들의 전송 신호는 인접 펠토 사용자 또 는 매크로 사용자들에게 간섭으로 작용한다.

3) 펠토셀의 위치

펠토셀의 위치에 따른 간섭의 영향은 (partial) co-channel 환경에서만 나타난다. Dedicated channel의 경우 매크로-펠

토셀 간 간섭이 발생하지 않기 때문에, 이는 펌토셀과 매크로셀 간 거리와는 상관없이 있다. 반면, (partial) co-channel 환경에서는 펌토셀이 매크로셀의 어느 부분에 위치하느냐에 따라 치명적으로 영향을 끼치는 간섭의 종류가 달라진다 [9]. 매크로셀 중심부에 위치한 펌토셀의 경우 매크로셀과 펌토셀 간의 거리가 짧아 거리 손실에 의한 신호 감쇄가 적다. 그러므로, 매크로 기지국과 펌토 사용자 간 간섭이 중요한 요소가 된다. 반면, 펌토셀의 위치가 매크로셀 가장자리에 가까울수록 매크로 사용자와 펌토 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 펌토 기지국 간 간섭이 상대적으로 커지기 때문이다. 따라서 펌토셀의 위치에 따라 시스템에 치명적으로 발생하는 간섭의 종류가 달라진다.

B. 간섭 시나리오

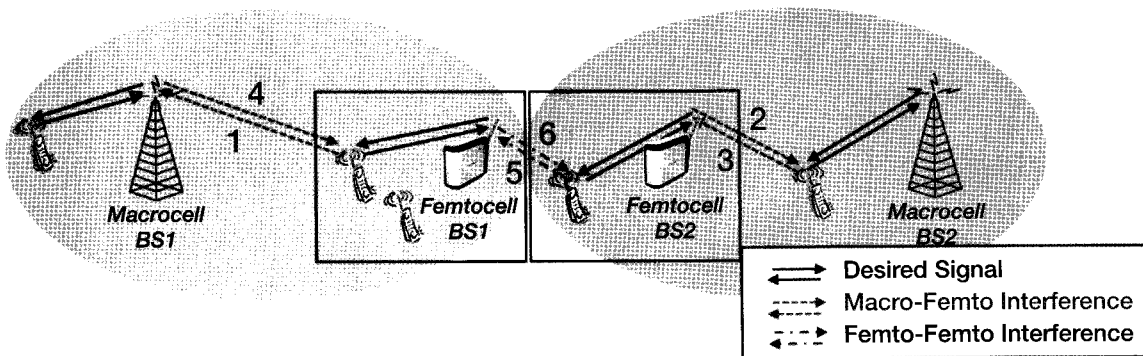
위에서 살펴본 간섭 환경 인자들의 조합에 따라 고려하는 환경이 달라지고, 발생하는 간섭 시나리오도 달라지게 된다. 간섭 환경 인자들의 조합을 기반으로 (그림 1)과 같이 펌토셀 기반의 시스템이 분류될 수 있다. (그림 1)에서 명시된 1부터 6까지는 각 시스템의 환경에 따라 치명적으로 발생하게 되는 간섭 시나리오의 번호를 의미하며, 이는 뒤에서 간섭 시나리오에 대한 내용에서 다시 설명하도록 한다. 간섭 시나리오는 [1]에서 제시된 것처럼 (그림 2)와 같이 나타낼 수 있다. 간섭 시나리오는 채널 사용 방식에 따라 크게 매크

로-펌토 간섭 (간섭 시나리오 1부터 4까지)과 펌토-펌토 간섭 (간섭 시나리오 5와 6)으로 나눌 수 있고, 각각은 링크 방향과 펌토셀의 위치에 따라 다시 세부적으로 나뉜다.

간섭 시나리오 1은 펌토 사용자의 송신 신호가 매크로 기지국에 간섭으로 작용하는 경우이다. 이는 co-channel 환경에서 상향링크 시 매크로셀 중심부에 위치한 펌토셀의 사용자와 매크로 기지국 사이에서 발생한다. 펌토셀 사용자와 매크로 기지국 간 간섭은 펌토셀 위치가 매크로셀 가장자리에 가까울수록 거리 손실에 의해 작아지므로, 주로 매크로셀 중심에 위치한 펌토셀이 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 펌토셀의 위치가 매크로셀 가장자리에 가까울수록 매크로 사용자가 인접 펌토 기지국에 미치는 간섭은 시스템 성능 열화에 치명적인 요소가 된다 [7]. 그러나, 일반적으로 펌토 기지국과 매크로 사용자의 거리가 매우 가까울 경우 펌토 기지국이 셀 중심에 위치하더라도 매크로 사용자의 송신 신호가 인접 펌토 기지국에 치명적인 간섭으로 작용할 수 있다. 따라서, 시나리오 3은 co-channel 환경의 상향링크에서 펌토셀 위치에 관계없이 중요한 간섭이 된다.

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



(그림 2) 간섭 시나리오 (*source : TR25.820 [1])

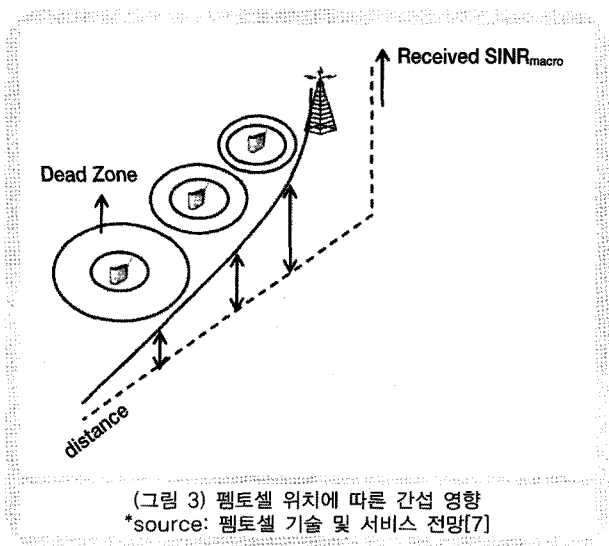
리에 위치할 경우에는 펠토 기지국이 매크로 사용자에게 치명적인 간섭을 제공하게 된다.

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

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

III. 간섭 완화 및 간섭 회피 기법

위에서 살펴본 것처럼 매크로셀과 펠토셀이 공존하는 환경에서 간섭 환경 인자들에 따라 시스템 성능을 열화시키는 간섭이 결정된다. 이를 해결하기 위해 여러 가지 간섭 완화 및 회피 기법들이 제시되고 있다. 펠토셀은 plug-and-play 방식으로 기존의 매크로셀 구조에서 자유롭게 동작할 수 있으며, 펠토셀의 설치로 인해 매크로셀의 프레임 구조나 인프라 구조가 변경되어서는 안된다 [7]. 그러므로, 펠토셀로 인해 발생하는 간섭은 펠토 기지국에서 해결해야 한다.



펠토 기지국에서 인접 매크로 사용자들의 채널 정보, SINR 정보, 거리 등 부가적인 정보를 얼마나 획득할 수 있는냐에 따라 적용될 수 있는 간섭 완화 및 회피 기법들이 달라진다. 일반적으로, 간섭 완화를 위해 필요한 정보는 기지국들 간 정보 공유, 주변 단말들과 기지국으로부터의 피드백, 또는 펠토 기지국이 스스로 주변 환경을 인지 및 감지 기법을 통해 획득할 수 있다. 특히, 기지국들 간 정보 공유는 3GPP에서도 펠토 기지국을 포함한 기지국들 간에 자원 할당에 필요한 기본적인 정보를 교환할 수 있는 X2 interface를 정의하고, 이에 대한 표준화 연구를 진행하고 있으며 [11], 펠토셀 환경에서 X2 interface를 이용할 때 발생하는 장단점 및 해결해야 할 문제점 등에 대해서도 연구가 진행되고 있다 [12].

이 장에서는 펠토 기지국에서 간섭 완화에 필요한 정보를 획득하는 방법에 따라 각 간섭 시나리오 별로 간섭을 완화 및 회피할 수 있는 기법들을 소개한다.

A. 매크로-펠토 간섭 완화 및 회피 기법

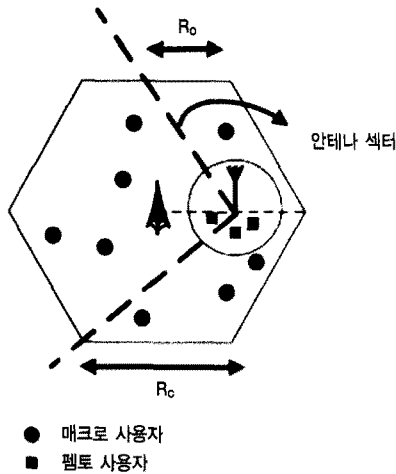
앞서 언급한 것처럼 시나리오 1-4는 co-channel 환경에서 매크로셀과 펠토셀 간 발생하는 간섭 시나리오들이다. 앞서 언급한 것처럼 펠토 기지국이 매크로-펠토 간섭을 완화 또는 회피하기 위해서는 주변 매크로 사용자들의 채널 정보, SINR 정보 및 자원 할당 정보 등을 획득해야 한다.

그러나, 한 매크로셀 내에 수 백개의 펠토셀이 랜덤한 시간과 장소에 설치되므로, 매크로 기지국과 펠토 기지국 간 정보를 교환하는 것은 매크로 기지국에 심각한 부하를 주게 되고, 보안상의 문제도 야기될 수 있다[12]. 그러므로, 매크로 기지국과 펠토 기지국 간에 정보 교환을 하는 것은 현실적으로 어렵다. 따라서, 펠토 기지국은 스스로 주변 환경을 인지하고, 필요한 정보를 추정하여 간섭 완화를 위한 정보를 획득해야 한다.

이를 바탕으로 펠토 기지국이 매크로-펠토 간섭을 완화 또는 회피할 수 있는 기법들을 살펴본다.

시나리오 2와 4는 co-channel, 하향링크 환경에서 매크로셀과 펠토셀간 발생하는 간섭 시나리오들이다. 이런 시나리오에 대해서 간섭을 완화시키는 대표적인 기법은 전력 제어 기법이다 [11][13][14].

(그림 3)은 co-channel, 하향링크 환경에서 펠토셀의 위치에 따른 간섭의 영향을 보여준다 [7]. 펠토 기지국의 전송 신



(그림 4) 방향성 안테나를 가진 펠토셀의 섹터링
 *source: Uplink Capacity and Interference Avoidance in Two-Tier Femtocell Networks [17]

호에 의해 인접해있는 매크로 사용자의 수신 SINR이 저하되고, 시스템 용량을 열화시킨다. 이 중에서 펠토 기지국의 간섭에 의해 매크로 사용자들이 요구하는 최소한의 데이터 전송률 또는 서비스 품질을 만족시킬 수 없는 매크로 사용자들이 발생하게 되는데, 그들이 존재하는 영역을 데드존 (dead zone)으로 정의하였다. (그림 3)에서 보듯이 펠토셀의 위치가 매크로셀 가장자리에 갈수록 매크로 기지국으로부터의 신호 세기가 약해지기 때문에 데드존 영역이 넓어지는 것을 알 수 있다. 이 영역을 줄이고, 사용자들의 서비스 품질을 향상시키기 위해서 펠토셀의 송신 전력을 적극적으로 제어해야 한다 [1][7].

펠토셀의 적응성 전력 제어를 위해서는 펠토 기지국이 인접 매크로 사용자의 순시적인 SINR 정보와 펠토 기지국-매크로 사용자 간 채널 정보 등 부가적인 정보를 알아야 한다. 앞서 언급했듯이 매크로 기지국과 펠토 기지국 간 정보 공유는 현실적으로 고려하기 어렵다. 그러므로, 펠토셀은 SON (self-organizing network)처럼 전력 제어에 필요한 정보를 스스로 센싱하여 획득한다는 가정하에 매크로 기지국으로부터 수신 신호 크기, 매크로 사용자와 펠토 기지국간 거리 및 채널 정보 등을 추정하여 펠토셀의 송신 전력을 제어해야 한다[7][11][12]. 펠토셀의 적응성 전력 제어 기법을 통해 펠토셀의 커버리지를 향상시킬 수 있고, 매크로 사용자가 요구하는 서비스 품질을 만족시키면서 펠토 사용자의 전

송률을 향상시킬 수 있다.

시나리오 1과 3은 co-channel 환경에서 상향링크 시 발생하는 매크로-펠토 간섭에 대한 시나리오들이다. 이 경우 펠토 사용자가 매크로 기지국에 주는 간섭과 매크로 사용자가 펠토 기지국에 주는 간섭이 시스템의 성능을 열화시키는 결정적인 요소가 된다. 특히 거리 손실을 극복하기 위해 사용자들의 전력을 제어하는 시스템에 펠토셀이 적용될 경우, 매크로 사용자가 매크로셀 가장자리에 위치한 펠토 기지국에 끼치는 간섭의 영향은 굉장히 크다. 그러므로 주파수 효율성을 높일 수 있도록 매크로셀과 펠토셀이 주파수 자원을 공유하면서 간섭을 완화 또는 회피할 수 있는 기법이 필요하다.

시나리오 1과 3에서의 간섭을 해결하는 데 있어서 부가적인 정보 획득 절차 없이 간섭을 완화/회피하는 기법들로서 랜덤 시간 호핑 기법, 방향성 안테나 그리고 SFR (soft frequency reuse) 기법들이 있다 [13][15][16].

랜덤 시간 호핑 기법 [13]의 경우, 사용자들은 전송할 CDMA 심볼을 시간 도메인에서 N개의 호핑 슬롯 (hopping slot) 중 랜덤하게 선택된 호핑 슬롯을 통해 전송하고, 나머지 호핑 슬롯 동안에는 아무것도 전송하지 않는다. 이를 통해 펠토 사용자와 매크로 사용자간 충돌 확률을 낮춤으로써 간섭을 완화시킬 수 있게 된다.

방향성 안테나 [13]를 사용하는 경우, (그림 4)와 같이 매크로 기지국으로부터 거리 R_0 만큼 떨어져 있는 펠토 기지국에 대해서 분할된 안테나를 사용하여 셀 영역을 나누고, 각각 직교하는 코드를 할당한다. 이를 통해 발생할 수 있는 간섭을 제한함으로써 간섭에 의한 성능 열화를 완화시킬 수 있다.

SFR 기법[15][16]은 다중셀 환경에서 셀 파티션 (cell-partition)을 통해 안쪽 셀과 바깥쪽 셀로 나누고, 주파수 대역도 세 영역으로 나누어 각각을 안쪽 셀과 바깥쪽 셀에 할당함으로써 간섭을 회피하는 기법이다 [15][16]. 이를 펠토셀 환경에 적용할 경우 펠토셀의 위치에 따라 인접 매크로 사용자들이 할당 받은 주파수 대역을 피해 주파수 자원을 할당함으로써 매크로-펠토 간섭을 회피할 수 있다.

위와 같이 주변 환경에 대한 정보를 획득 없이 간섭을 해결하는 경우 부가적인 정보를 이용한 간섭 완화 및 회피 기법에 비해 성능 열화가 발생할 수 있지만, 부가적인 정보 획득

득에 수반되는 시그널링 및 복잡도 향상을 없앨 수 있다는 장점을 가지고 있다.

B. 펠토-펠토 간섭 완화 및 회피 기법

펠토-펠토 간섭은 dedicated channel 환경에서 시스템 성능 열화의 지배적인 요인으로 작용한다. 펠토셀은 한 매크로셀 내에 수백 개가 임의의 시간과 임의의 장소에서 랜덤하게 동작한다 [17][18]. 그러므로, 일반적인 다중셀 환경에서 간섭을 완화하기 위해 적용되는 셀 플래닝 기법이나 자원 할당 기법[19]들이 펠토셀 환경에 그대로 적용되기는 어렵다.

펠토-펠토 간섭이 추가 되는 환경에서 간섭 완화 및 회피 기법은 펠토셀 간 필요한 정보를 공유할 수 있는지 여부에 따라 달라질 수 있다. 펠토 기지국들 간 정보 공유는 펠토-펠토 간섭을 효율적으로 제거하고, 시스템 성능을 크게 향상시킬 수 있기 때문에 [12], 고려되고 있는 시나리오이다. 그러나, 펠토셀의 수와 랜덤성의 특성 때문에 현실적으로 적용되기 어려울 수 있으며, 3GPP 표준 화에서도 펠토 기지국 간 정보 공유에 대한 규정이 없기 때문에 이 장에서는 펠토셀 간 정보를 공유할 수 없는 경우와 있는 경우에 대해서 모두 고려한다.

펠토 기지국 간 정보 공유가 가능하다면, 인접 펠토셀끼리 그룹을 만들어서 [12] 간섭을 회피할 수 있는 여러 가지 자원 할당 기법들을 적용할 수 있다. 그러나, 펠토 기지국 간 정보 공유가 불가능하다면, 펠토 기지국이 주변 펠토셀들의 환경을 스스로 인지해서 간섭 완화 및 회피에 필요한 정보를 획득하고, 이를 이용하여 간섭을 회피해야 한다.

펠토 기지국 간 정보 교환이 가능한 경우, 펠토-펠토 간섭을 완화하기 위해서 다중 안테나 시스템을 이용한 간섭 회피 기법이 적용될 수 있다. 특히, 다중셀 다중 안테나 환경에서 인접 셀 간 간섭을 회피하기 위하여 기지국 간 협력적으로 빔포밍 (beamforming)을 구현하는 기법이 활발히 연구되고 있는데, 그 중 한 예가 802.16m System Description Document에 제안된 PMI (precoding matrix index) restriction 기법이다 [20].

PMI restriction 기법은 인접 셀 기지국에서 사용되는 빔포밍 프리코딩 매트릭스 중 해당 셀 외곽에 위치한 사용자에 게 심각한 간섭을 유발하는 프리코딩 매트릭스 인덱스를 기

지국간 백홀을 통해 피드백 함으로써 간섭을 완화시키는 기법이다.

이는 펠토셀에도 적용될 수 있다. 펠토셀들이 인터넷 백본망을 통해 서로 연결되어 있고 [21], 서로 정보를 공유할 수 있다고 가정한다면, 인접 펠토 기지국이 사용하는 빔포밍 프리코딩 매트릭스 중 심각한 간섭을 일으키는 프리코딩 매트릭스 인덱스 정보를 인터넷 백본망을 통해 인접 펠토셀에 피드백 해주으로써 간섭을 회피하고, 시스템 성능을 향상시킬 수 있다.

PMI restriction 기법 이외에도 펠토셀 간 정보를 공유할 수 있다는 가정하에 펠토-펠토 간섭을 완화시키는 기법으로서 분산 다중 안테나 기법과 IC (interference cancellation) 기법 등을 펠토셀 환경에 적용시킬 수 있다.

분산 다중 안테나 기법은 각각의 펠토 기지국을 커다란 다중 안테나 시스템을 구성하는 하나의 안테나로 간주하고, 기존의 다중 안테나 시스템에서 연구되었던 안테나간 간섭 제거 기법을 적용하여 펠토-펠토 간섭을 해결할 수 있다. 예를 들어 다중 안테나 시스템에서 안테나간 간섭을 제거하는 대표적인 기법으로서 송신 빔포밍 (transmit beamforming) 이 있다 [21][22]. 이를 이용하여 원하는 사용자의 전송 신호 에너지를 최대화하면서 동시에 다른 사용자에게 미치는 영향을 최소화시킬 수 있다.

IC 기법은 여러 사용자들의 신호가 간섭으로 섞여서 들어올 경우, 간섭 신호를 먼저 검출한 뒤 수신 신호에서 이를 제거함으로써 원하는 신호를 검출하는 방식이다 [23]. 펠토셀 간 교환되는 정보를 통해 발생할 간섭을 추정할 수 있을 경우 펠토 기지국 또는 펠토 사용자가 IC 기법을 이용하여 원하는 신호를 검출할 수 있다.

반면, 펠토 기지국 간 정보 교환이 불가능한 경우, 각 펠토 기지국은 스스로 주변 환경을 인지하여 필요한 정보를 획득하거나, 아무런 정보 없이 distributed system처럼 독립적으로 간섭을 완화시켜야 한다. Chandrasekhar와 Andrews는 [4]를 통해 dedicated channel, 상향링크 환경에서 펠토 사용자와 인접 펠토 기지국 간 간섭을 완화시키기 위해 랜덤 액세스 기법을 적용하였다. 즉, 각 펠토셀은 사용 가능한 채널 중 일부를 랜덤하게 액세스하고, 다른 펠토셀과 충돌이 발생할 경우 다른 채널에 랜덤하게 액세스하는 F-ALOHA (frequency ALOHA) 방식에 따라 동작한다. 이를 통해 펠토

셀 간 간섭을 줄이고, 시스템 성능을 향상시킬 수 있다.

펠토 기지국 간 정보를 공유할 수 없다 하더라도 펠토 기지국이 주변 환경을 스스로 인지하고, 필요한 정보를 스스로 획득할 수 있는 경우 [13][18] 펠토 기지국의 전력을 제어함으로써 간섭을 완화시킬 수 있다. 이를 위해서는 인접 펠토 기지국이 사용하는 주파수 자원 정보와 SINR 정보 그리고 펠토 기지국과 인접 펠토 사용자 간 채널 정보 등을 획득해야 한다. 이 경우 인접 펠토 사용자가 요구하는 최소한의 서비스 품질을 만족시키면서 자신의 서비스 품질을 최대한 향상시킬 수 있도록 전력 제어를 통해 간섭을 완화시킬 수 있다.

〈표 1〉 기지국 간 정보 공유 여부에 따른 간섭 완화 기법

	매크로-펠토 간섭 완화 및 회피 기법	펠토-펠토 간섭 완화 및 회피 기법
기지국 간 정보 공유 가능		분산 다중 안테나 기법
		PMI restriction
		IC scheme
기지국 간 정보 공유 불가능	전력 제어 기법	F-ALOHA (Random Access)
	랜덤 시간 호핑	
	방향성 안테나	전력 제어 기법
	SFR 기법	

〈표 1〉은 각 시나리오에 따른 간섭 완화 및 회피 기법을 기지국 간 정보 공유 여부에 따라 정리한 것이다. 〈표 1〉에 정리된 기법 외에도 펠토셀 환경과 간섭 시나리오의 종류에 따라 적용될 수 있는 여러 가지 기법들이 존재할 수 있다. 이는 앞으로 펠토셀 환경에서 꾸준히 연구되어야 할 중요한 이슈이다.

IV. 결 론

본고에서는 옥내 사용자들의 통신 환경을 향상시키기 위해 기존의 매크로셀 안에 펠토셀이 설치될 때 고려되어야 할 여러 가지 간섭 환경 인자들과 그에 따른 6가지 간섭 시나리오에 대해 논의하였다. 발생하는 간섭 시나리오의 종류에 따라 이를 해결할 수 있는 다양한 간섭 완화 및 회피 기법들이 존재할 수 있는데, 본고에서는 각 간섭 시나리오 별로

적절한 간섭 완화 및 회피 기법들에 대해서 소개하였다.

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

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] Vikram Chandrasekhar and Jeffrey G. Andrews, "Femtocell Networks : A Survey", IEEE Communications Magazine, Vol. 46, pp. 59-67, Sept. 2008
- [4] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Spectrum Allocation in Two-tier Networks", submitted, IEEE Trans. Om Wireless Comm. [Online] Available: <http://arxiv.org/abs/0805.1226v1>
- [5] W. Lu, Broadband Wireless Mobile : 3G and Beyond, John Wiley & Sons, Ltd., 2002
- [6] 3GPP TR25.814, "Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA)", 2006
- [7] 전용태, 아이비 네트워크, 펠토셀 기술 및 서비스 전망, BcN 기술 및 정책 컨퍼런스 2007, 2007년 11월
- [8] 3GPP R4-071661, Ericsson, "Impact of HNB with controlled output power on macro HSDPA capacity", Oct. 2007
- [9] 3GPP R4-080151, Ericsson, "Simulation results for Home NodeB to macro UE downlink co-existence within the block of flats scenario", Feb. 2008
- [10] 3GPP R4-080409, Qualcomm Europe, "Simple Models for Home NodeB Interference Analysis", Feb. 2008

- [11] 3GPP TS 36.423, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN); X2 application protocol (X2AP)", v8.1.0, March 2008
- [12] 3GPP R3-080268, Samsung, "X2 Interface for HNB", Feb. 2008
- [13] Holger Claussen, "Performance of Macro- and Co-channel Femtocells in a Hierarchical Cell Structure", IEEE PIMRC, Sept. 2007
- [14] 3GPP R4-070969, Ericsson, "Home NodeB Output Power", June 2007
- [15] 3GPP R1-050507, Huawei, "Soft Frequency Reuse Scheme for UTRAN LTE", May 2005
- [16] 3GPP R1-050841, Huawei, "Further Analysis of Soft Frequency Reuse Scheme", Sept. 2005
- [17] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Uplink Capacity and Interference Avoidance in Two-Tier Femtocell Networks", IEEE GLOBECOM, pp. 3322-3326, Nov. 2007
- [18] Lester T. W. Ho, Holger Claussen, "Effects of User-Deployed, Co-channel Femtocells on the Call Drop Probability in a Residential Scenario", IEEE PIMRC, Sept. 2007
- [19] Jens Zander and Seong-Lyun Kim, "Radio Resource Management for Wireless Networks", Artech House, 2001
- [20] Dongguk Lim, Sunam Kim, Jaewan Kim, Bin-Chul Ihm, and HanGyu Cho, IEEE C802.16m-08/784, "ICI Mitigation Using PMI Restriction in Multi-Cell Environments"
- [21] S. Jafar, G. Foschini, and A. Goldsmith, "Phantomnet: Exploring optimal multicellular multiple antenna systems," in Proc., IEEE Veh. Technology Conf., Sept. 2002, pp. 24-28
- [22] S. Shamai and B. Zaidel, "Enhancing the cellular downlink capacity via coprocessing at the transmitting end," in Proc., IEEE Veh. Technology Conf., May 2001, pp. 1745-1749
- [23] David Tse and Pramod Viswanath, Fundamentals of

Wireless Communication, Cambridge, 2005

약 력



임 성 목

2005년 연세대학교 기계전자 공학부 학사
 2006년 ~ 현재 연세대학교 전기전자 공학과 석박사 통합과정
 관심분야: Femtocell Technology, SC-FDMA System, Cognitive Radio



권 태 훈

2004년 연세대학교 기계전자공학부 학사
 2006년 연세대학교 전기전자공학부 공학 석사
 2006년 ~ 현재 연세대학교 전기전자공학부 박사 과정
 관심분야: Femtocell Technology, Cooperative System



박 성 수

2006년 연세대학교 전기전자 공학과 학사
 2008년 연세대학교 전기전자 공학과 공학 석사
 2008년 ~ 현재 연세대학교 전기전자 공학과 박사 과정
 관심분야: Femtocell Technology, Multihop Relay System, Dirty Paper Coding



홍 대 식

1983년 연세대학교 전자공학과 공학사
 1985년 연세대학교 전자공학과 공학 석사
 1990년 Purdue University Electrical Engineering 박사
 1990년 ~ 1991년 Purdue University 박사 후 과정 연구원
 2000년 ~ 2001년 교환교수, N. C. State University, USA
 2001년 ~ 2003년 연세대학교 정보통신처 차장
 2002년 ~ 2008년 연세대학교 대학원 전기전자 공학과 주임교수
 2004년 ~ 2006년 연세대학교 신호처리 연구 센터 (CSPR) 소장
 2007년 ~ 2008년 삼성 정보통신 총괄 교환교수 (기술기획)
 1991년 ~ 현재 연세대학교 전기전자공학과 교수, 연세대학교 전자정보통신연구소 소장, Senior Member, IEEE, Editor, IEEE Transactions on Wireless Communications (TWC), 대한 전자 공학회 (IEEK) 이사, 기획이사, 학술이사, Division Editor, Journal of Communications and Networks (JCN), 한국 통신 학회 (KICS) 이사, 편집이사, 연세대학교 전파통신 연구소 소장
 관심분야: MIMO-OFDM Cellular System, Multihop Cellular Network, Cognitive Radio, Femtocell Technology