

LTE-Advanced 기반 펌토셀 네트워크에서의 이동성 관리 및 간섭 제어 기술

최범곤 | 배성재 | 권영민 | 정민영
성균관대학교

요 약

펌토셀은 실내에 위치한 사용자들에게 고품질의 이동통신 서비스를 제공하기 위한 실내용 소출력 이동통신 기지국이다. 펌토셀은 가정 또는 사무실과 같은 실내환경에 설치되어 기존의 이동통신 기지국과 협력함으로써 이동통신망의 용량을 확장하고 실내 사용자들에게 보다 우수한 통신 품질을 제공해 줄 수 있다. 그러나 펌토셀의 통신 영역은 수십에서 수백 제곱 미터로 작아 단말이 접속 기지국을 빈번하게 전환할 수 있으므로 펌토셀 네트워크에서는 이동성 관리 기능의 중요성이 매우 높을 것으로 예상된다. 또한 펌토셀이 기존 매크로셀과 동일한 무선 자원을 사용할 경우 펌토셀과 매크로셀 사이의 신호 간섭이 발생하여 사용자의 통신 품질이 크게 저하될 우려가 있다. 본 고에서는 3GPP LTE-Advanced 기반 펌토셀 네트워크 환경에서 단말의 이동성 관리기법 및 그 절차를 소개한다. 또한 펌토셀로부터의 신호 간섭에 의해 통신 품질이 크게 저하되는 피해 단말 탐색을 위한 3GPP LTE-Advanced 표준에서 정의하고 있는 핸드오버 절차 기반의 펌토셀과 매크로셀 기지국 사이의 협력 기법을 소개한다.

1. 서 론

최근 구글 안드로이드와 애플 iOS의 경쟁이 심화되면서 다양한 스마트폰 및 태블릿 장치들이 급속히 보급되고 있다.

이러한 새로운 휴대 단말들은 웹서핑을 비롯한 인터넷 기반의 다양한 멀티미디어 어플리케이션의 설치 및 활용이 가능하다는 점에서 기존의 휴대폰(featured phone)과 차별된다. 스마트폰 및 태블릿 장치들의 보급 초기에는 단말의 낮은 성능이 주요 해결과제였으나, 최근에 고성능 프로세서 및 고용량 메모리를 탑재한 단말들이 보급되기 시작하면서 이동통신망의 낮은 통신 품질이 휴대 단말들의 활용을 저해하는 주요 원인이 되었다.

기존에는 이동통신망의 성능을 향상시키기 위한 방안으로서 기지국의 용량을 확장하거나 음영 지역에 중계기를 설치하는 방법이 주로 적용되어 왔다. 그러나 기지국의 용량 확장은 건물 외벽 및 각종 구조물에 의한 신호 감쇄에 의해 발생하는 음영지역을 해소하지 못하고, 중계기의 설치에 한정되어 있는 이동통신 기지국의 용량에 의해 성능 향상에 한계를 가진다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 3GPP(3rd Generation Partnership Project) LTE(Long Term Evolution)-Advanced와 IEEE 802.16m Mobile WiMAX 같은 차세대 이동통신 시스템에서는 펌토셀(Femtocell)의 도입이 적극적으로 고려되고 있다 [1][3].

펌토셀은 기존 이동통신 기지국의 미니어처 형태로 개발된 소출력 이동통신 기지국으로서 기존 기지국과의 긴밀한 협력을 통해 이동통신망 전체의 성능 향상을 도모한다 [4]. 수 Km 반경의 통신반경을 제공하기 위해 통신 사업자에 의해 설치 및 운영되고 전용망으로 이동통신 핵심망에 접속되는 매크로셀 기지국과는 달리, 펌토셀은 이동통신 사용자가 케이블 모뎀, FTTH(Fiber-to-the-Home)와 같이 기존에 가정 또는 사무실에서 사용하고 있는 인터넷 접속망에 연결하여

직접 설치함으로써 수 십 미터 반경의 이동통신 영역을 제공할 수 있다 [5]. 이러한 펠토셀의 특징은 기존에 흔히 볼 수 있는 Wi-Fi AP(Access Point)와 일부 유사하다고 볼 수 있으나, 별도의 Wi-Fi 인터페이스를 탑재하지 않은 휴대 단말이 바로 접속 가능하다는 점에서 차이를 가진다. 또한 펠토셀은 단말이 통신 영역을 벗어나면 접속이 끊기는 Wi-Fi와는 달리 핸드오버 기술을 지원하여 끊김없는 통신을 제공할 수 있으며, 전용의 허가(licensed) 대역에서 기존 이동통신과 동일한 무선접속 기술을 사용하므로 다수의 망들이 공유하는 비허가 대역 기반의 Wi-Fi보다 안정적인 접속이 가능하다는 장점을 가진다 [3].

이와 같은 경쟁력을 가지는 펠토셀의 도입을 통해 이동통신 사업자는 이동통신망의 구축 비용(Capital Expenditure)과 운용 비용(Operating Expense)을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 펠토셀을 활용하는 새로운 수익성 모델을 창출할 수 있을 것으로 기대하고 있다 [5]. 또한 펠토셀을 통해 음영지역을 해소하고 실내에 위치한 사용자들에게 보다 저렴한 가격으로 높은 통신 품질을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

(그림 1)은 3GPP LTE-Advanced 환경에서 펠토셀 네트워크의 구성 예를 나타낸다. 매크로셀 기지국인 eNB(evolved Node B)가 제공하는 통신영역 내에는 다수의 펠토셀(Home eNB, 이하 HeNB)들이 배치될 수 있으며, 이들은 공용 인터넷 접속망을 통해 여러 HeNB들을 관리하는 HeNB GW(Gateway)를 거쳐 이동통신 핵심망에 연결된다. 이러한 환경에서 이동통신 단말은 eNB를 통해 통신하는 단말인

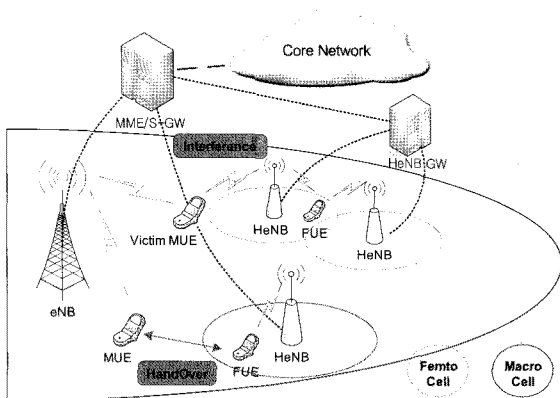
MUE(Macrocell User Equipment)와 HeNB를 통해 통신하는 단말인 FUE(Femtocell UE)로 구분될 수 있다.

펠토셀 네트워크에서 HeNB는 eNB와 다방면에서 협력을 수행함으로써 전체 네트워크의 성능 향상을 도모한다. 이동통신망에서는 허용된 주파수 대역만을 사용해야 하기 때문에 하나의 eNB에서 가용한 무선 자원의 양은 한정되어 있다. 펠토셀은 eNB의 허가대역 전부를 재사용 할 수 있고 eNB와는 독립적인 경로를 통해 핵심망에 접속되므로, HeNB가 eNB와 MUE들의 정보를 공유하고 그들 중 일부를 수용함으로써 전체 이동통신망의 용량을 확장 가능하다. 특히 eNB와 HeNB 사이의 협력을 통해 주파수 효율(bps/Hz)이 낮은 MUE들을 HeNB가 우선적으로 수용함으로써 MUE 및 FUE 모두의 서비스 품질을 향상시킬 수 있다 [6].

이러한 부하의 분산효과를 극대화하기 위해서는 UE가 이용 중인 서비스의 단절이나 끊김 없이 매크로셀과 펠토셀 사이의 접속을 전환할 수 있도록 지원하는 이동성 관리 기술이 매우 중요하다 [7]. 펠토셀은 수 Km의 셀 반경을 가지는 매크로셀과는 달리 수 십 미터 반경의 매우 좁은 통신영역을 가지기 때문에 사용자의 이동에 따른 핸드오버의 발생이 매우 빈번하다. 이에 핸드오버의 성능이 사용자가 체감하는 서비스 품질에 큰 영향을 미칠 수 있어 이동성 관리 기술이 펠토셀의 효율적인 보급 및 운영에 있어 큰 비중을 차지할 것으로 예상된다.

이동성 관리 기술과 더불어 펠토셀의 효과적인 활용을 위해서는 펠토셀과 매크로셀 사이의 신호 간섭문제가 고려되어야 한다 [8]. 높은 주파수 효율을 위해 펠토셀이 매크로셀의 허가대역을 일부 또는 전부 재사용할 경우 펠토셀과 매크로셀 사이에 신호 간섭이 발생할 수 있다. 신호 간섭은 수신 SINR(Signal to Interference and Noise Ratio)을 저하시킴으로써 MUE와 FUE 모두의 성능을 저하시킬 수 있기 때문에, 이를 최소화 하기 위한 펠토셀과 매크로셀 사이의 긴밀한 협력이 요구된다. 기존에는 HeNB가 eNB에서 사용하지 않는 무선 자원을 능동적으로 탐색하고 이를 FUE와의 통신에 활용하는 기법과 HeNB가 eNB로부터의 정보를 바탕으로 전송 전력을 조절하는 기법 등의 연구가 수행되고 있으나, 아직 3GPP LTE-Advanced에서는 구체적인 간섭 제어방안에 대한 표준화가 미흡한 실정이다 [9].

본 고에서는 펠토셀의 성공적인 도입을 위해 필수적인



(그림 1) 펠토셀 네트워크의 구성 예

LTE-Advanced 펠토셀의 이동성 관리 기법 및 펠토셀 간섭 제어 기법을 소개한다. 이를 위해 LTE-Advanced 기반 펠토셀 네트워크의 접속망 구조와 펠토셀 접근모드를 비롯한 휴대 단말의 이동성 제어 기술을 분석한다. 또한 매크로셀-펠토셀 핸드오버 절차를 기반으로 매크로셀 및 펠토셀이 협력하여 펠토셀로부터 심각한 신호 간섭을 받는 매크로셀 단말(victim MUE)의 탐색 절차를 소개하고, 이를 이용하는 펠토셀 간섭 제어 기법의 성능을 분석한다.

II. LTE-Advanced 기반 펠토셀 네트워크

1. 펠토셀 접근 모드

펠토셀에 대한 단말의 접속을 관리하기 위해 폐쇄(closed), 개방(open), 하이브리드(hybrid)의 세가지 접근 모드가 고려되고 있다 [11][12]. 3GPP에서 CSG(Closed Subscriber Group) 셀로 정의되고 있는 폐쇄 접근 모드에서는 펠토셀에 사전에 등록된 단말들만이 해당 펠토셀로의 접속 권한을 가지며, 이로 인해 등록 단말들에 대한 높은 통신 품질의 제공이 가능하다는 장점을 가진다. 반면 펠토셀이 매크로셀의 주파수 대역을 재사용하는 경우, 펠토셀 근방에 위치한 미등록 단말들이 해당 펠토셀로부터의 매우 큰 신호 간섭을 받아 통신에 어려움을 겪는 데드 존(dead zone)이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해소하기 위해서는 폐쇄 접근모드의 피해 단말에게 임시 접속권한을 부여하는 기법이나, 피해 단말을 고려하는 매크로셀-펠토셀 간의 간섭 회피 기법이 개발되어야 한다.

개방 접근 모드에서는 펠토셀에 대한 단말의 접속 제한이 없어 폐쇄 접근 모드에서의 데드 존의 발생을 줄일 수 있다. 누구나 접속 가능하기 때문에 개방 접근 모드를 가지는 펠토셀은 사무실이나 공공장소 등지에 설치되어 전체 이동통신 네트워크의 용량을 개선하는데 활용될 수 있다. 그러나 개방 접근 모드의 펠토셀은 임의의 사용자들이 무작위로 접속 및 통신을 수행하기 때문에 일정 수준의 서비스 품질을 보장하기 어렵다는 문제를 가진다. 또한 해당 펠토셀에서는 다수의 사용자들에 대한 접속 및 접속 해지에 따른 이동성

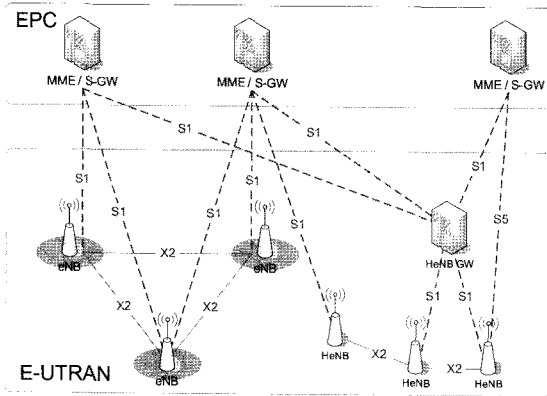
관리 부하가 높을 수 있어 혼잡 상황에서는 끊김 없는 핸드오버를 제공하기 어려울 수 있다.

하이브리드 접근 모드는 무분별한 단말 수용에 따른 문제를 해결하기 위해 개방 접근 모드에 폐쇄 접근 모드를 결합시킨 접근 모드로서, 펠토셀에 접속한 등록 및 비등록 단말들 중 등록된 단말들에 대해 차별적인 통신 서비스를 제공한다. 하이브리드 접근 모드에서는 등록 사용자들의 통신 품질을 보장하기 위해 비등록 사용자의 자원 이용 또는 접속을 제한하거나, 기 접속된 비등록 사용자들 중 일부를 강제로 매크로셀 기지국으로 핸드오버 시킬 수 있다. 효과적인 하이브리드 접근 모드의 운영을 위해서는 효율적인 접속 수락 제어기법 및 접속 단말 별 차별적인 무선 자원 관리 기술이 펠토셀에 탑재되어야 할 것이다.

2. LTE-Advanced 펠토셀 접속망 구조

(그림 2)는 펠토셀을 포함하는 LTE-Advanced의 접속망 구조를 나타낸다 [10]. 펠토셀 접속망은 eNB와 HeNB으로 구성되어 있으며, 다수의 HeNB를 지원하기 위해 HeNB와 3GPP 핵심망(Evolved Packet Core, EPC)의 MME(Mobility Management Entity) 및 S-GW(Serving Gateway) 사이에 HeNB GW가 배치될 수 있다 [4]. HeNB는 하나의 HeNB GW 또는 MME에게만 연결될 수 있으며, S1 인터페이스를 통하여 MME/S-GW와 직접 또는 HeNB GW를 경유하여 연결된다. 만약 HeNB가 LIPA(Local IP Access) 모드로 동작할 경우 S5 인터페이스를 통해 MME/S-GW에 연결된다.

HeNB는 사용자에 의해 임의로 배치될 뿐만 아니라 HeNB의 설치 위치도 수시로 변동될 수 있기 때문에 HeNB는 자신의 실제 위치에 따라 서로 다른 HeNB GW에 접속할 수 있어야 한다. HeNB GW는 HeNB와 MME/S-GW 사이에 배치되어 다수의 HeNB로부터 생성된 제어 메시지와 트래픽을 핵심망으로 전달하고, 핵심망으로부터의 트래픽을 HeNB들에게 분배한다. 이를 위해 HeNB GW는 MME 관점에서 eNB의 역할을 수행하며, HeNB 관점에서 MME의 역할을 수행한다. 3GPP Release 9에서는 HeNB간 X2 인터페이스가 정의되어 있지 않았으나, Release 10에서는 X2 인터페이스 통한 HeNB간 직접 연결을 지원한다. 따라서 MME에 의한 접속제어가 필요하지 않을 경우에는 X2 인터페이스를 기반으로 한 서로 다른 HeNB간의 핸드오버가 가능하다.



(그림 2) LTE-Advanced 펌토셀 접속망 구조

3. 펌토셀 이동성 관리

LTE-Advanced에서 UE의 상태는 유휴(RRC_IDLE) 상태와 활성(RRC_CONNECTED) 상태로 구분되며, 각각의 상태에 따라 서로 다른 이동성 관리기법이 적용된다. 유휴 상태는 UE가 eNB 또는 HeNB와 세션을 설정하지 않은 상태로서 셀 선택/재선택 절차를 통해 이동성이 지원되는 반면, 활성 상태는 UE가 eNB 또는 HeNB와 세션을 연결한 상태로서 핸드오버 절차를 통해 이동성이 지원된다. 일반적으로 접근 모드와 상관없이 UE가 펌토셀로 이동할 때의 기본적인 이동성 제어 절차는 유사하며, 본 고에서는 CSG 셀로의 이동 시 UE의 세션 연결상태에 따른 이동성 관리 방법을 소개한다.

1) 유휴 상태에서 CSG 셀로의 이동

RRC_IDLE 상태인 UE가 인접한 CSG 셀로 이동하였을 경우 해당 UE는 자가탐색(autonomous search) 기능을 이용하여 인접한 CSG 셀에 대한 셀 선택/재선택 절차를 수행한다 [13]. 자가탐색시 UE는 접속망의 도움 없이 CSG 셀이 사용 가능한 모든 주파수 대역에 대한 탐색을 수행하며, HeNB는 UE의 셀 탐색을 돕기 위해 CSG 셀을 위해 예약된 PCI(Physical Cell Identity) 값의 범위를 SI(System Information)에 포함하여 브로드캐스트(broadcast)한다. 해당 PCI 값의 범위는 UE가 수신한 PLMN(Public Land Mobile Network)의 주파수 대역 내에서 최대 24시간 동안 유효하다.

UE는 수신한 CSG 셀의 CSG ID를 자신의 CSG 화이트리스

트(white-list) 목록에 존재하는지 확인하여 자신이 해당 HeNB에 접속 가능한지의 여부를 판단한다. 이 때 만약 UE의 CSG 목록에 어떠한 CSG ID도 기록되어 있지 않을 경우 해당 UE는 CSG 셀에 대한 자가탐색 기능을 수행하지 않아 자신의 전력소모를 줄일 수 있다. 만약 UE가 셀 탐색을 통해 선택된 CSG 셀로의 접속이 가능하다고 판단될 경우 해당 UE는 3GPP TS 36.304에 정의된 셀 재선택 절차를 이용하여 해당 CSG 셀에 접속한다.

2) 활성 상태에서 CSG 셀로의 이동

UE가 RRC_CONNECTED 상태에서 인접 CSG 셀로 이동할 경우 핸드오버 절차가 수행된다. 펌토셀로의 핸드오버 절차는 기존 eNB로의 핸드오버 절차와 다음과 같은 차이점이 있다. 첫째, UE는 자신의 CSG 목록에 포함된 CSG ID를 가진 HeNB가 자신의 주변에 있을 경우 eNB에게 해당 HeNB의 인접성을 알린다. HeNB에 대한 인접성을 보고받은 eNB는 UE에게 해당 HeNB에 대한 정보 측정을 요구하고, 핸드오버와 관련된 절차의 수행 여부를 결정한다. 둘째, eNB의 서비스 반경 내에 동일한 PCI를 사용하는 HeNB가 다수 존재하여, UE로부터 보고받은 PCI 정보만으로 eNB는 UE가 핸드오버 해야 할 목표 셀을 정확하게 결정하지 못할 수 있다. 이러한 문제는 UE가 목표 HeNB의 CGI(Cell Global Identity)를 eNB에게 보고함으로써 해결될 수 있다. 셋째, 목표 셀이 하이브리드 접근 모드로 동작할 경우 할당되는 무선 자원에 대한 우선 순위는 UE의 멤버십 상태(Membership status)에 의해 결정된다. 이를 위해 UE가 목표 HeNB의 CSG ID를 확인하여 자신의 멤버십 상태를 MME에게 보고하고 MME는 이를 확인한다.

CSG 셀에서 HeNB로의 UE의 핸드오버는 크게 인접탐색, SI 취득, 핸드오버 수행의 절차로 구분된다.

① 인접탐색 절차는 UE가 HeNB의 서비스 영역에 진입하였을 때 자가탐색을 통해 인접한 HeNB의 CSG ID가 자신의 CSG 목록에 포함되어 있는지 확인하는 절차로서 (그림 3)의 1~2단계에 해당한다. 인접한 HeNB의 CSG ID가 CSG 목록에 포함되어 있을 경우 UE는 eNB에게 Proximity Indication 메시지를 전송하여 자신의 인접한 위치에 HeNB의 RAT(Radio Access Technology)와 사용 중인 주파수를 알린다.

② 시스템정보 취득절차는 UE가 탐색된 HeNB가 브로드캐스트 하는 시스템 정보를 수신하여 이를 eNB에게 전달하는 절차로서 (그림 3)의 3~7단계에 해당한다. eNB는 UE에게 Measurement Configuration 메시지를 전달하여 UE가 인접 HeNB의 PCI 정보를 보고하도록 명령한다. eNB는 PCI 정보의 수신 후 UE에게 SI를 보고할 것을 요청하며 UE는 autonomous gap을 이용하여 해당 HeNB의 CGI, TAI, CSG ID, Member Indications과 같은 SI를 수집한다. UE가 수집한 HeNB의 SI는 Measurement Report 메시지를 통해 eNB에게 전달된다.

③ (그림 3)의 8~16 단계는 UE가 eNB로부터 HeNB로 핸드오버를 수행할 때의 절차를 나타낸다. eNB는 핸드오버를 수행하려는 타겟(target) HeNB의 CSG ID를 Handover Required 메시지에 포함하여 MME에게 전달한다. 이 때 만약 타겟 HeNB가 하이브리드 접근 모드로 동작할 경우에는 Handover Required 메시지에 Cell Access Mode 필드를 추가하여 전달한다. 이를 수신한 MME는 저장된 CSG 가입정보와 CSG ID를 비교하여 UE의 접속 허용 여부를 결정한다. 만약 UE가 타겟 HeNB에 접속이 불가능하다고 판단되면 MME는 Handover Preparation Failure 메시지를 eNB에 전달하여 해당 UE의 핸드오버가 실패하였음을 알리고, 접속이

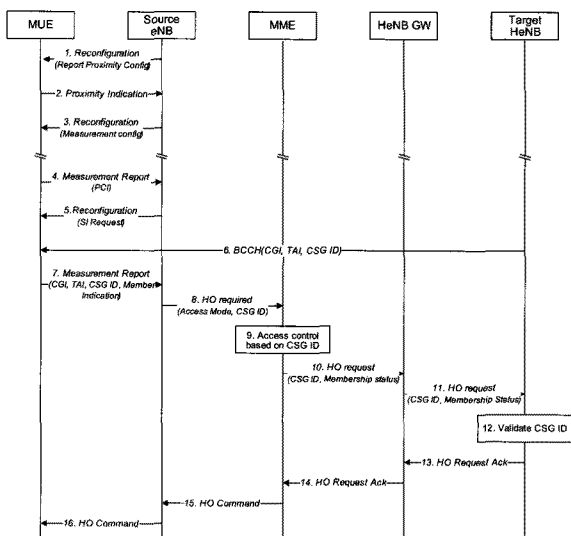
가능하다고 판단되면 MME는 목표 HeNB의 CSG ID가 포함된 Handover Request 메시지를 HeNB에게 전달한다. 이때 타겟 HeNB가 하이브리드 접속모드로 동작할 경우에는 멤버십 상태 정보를 Handover Request 메시지에 포함하여 전송한다. Handover Request 메시지를 수신 받은 HeNB는 자신의 CSG ID와 Handover Request 메시지 내의 CSG ID를 대조한 후 UE에게 무선자원을 할당하고 MME에게 핸드오버 요청이 수락되었음을 알리는 Handover Request Ack 메시지를 전달한다. 이를 수신한 MME는 eNB를 통해 UE에게 접속 기지국의 변경을 명령한다.

III. 기지국간 협력을 통한 펌토셀 간섭 제어

1. 간섭 제어를 위한 Victim MUE 탐색 절차

eNB와 HeNB가 동일한 주파수 대역을 공유하는 환경에서 인근 HeNB의 간섭신호는 MUE의 통신 품질을 크게 저하시킨다. 본 고에서는 이와 같이 HeNB로부터 큰 간섭을 받는 MUE를 victim MUE로 정의한다. HeNB는 이동통신 가입자에 의해 임의의 장소에 설치될 수 있기 때문에 기존 eNB에서 사용되던 간섭완화 기법을 이용하여 MUE에게 주는 간섭을 완화하는 것은 어렵다. 따라서 LTE-Advanced에서는 HeNB가 주변에 있는 victim MUE를 탐색하고 victim MUE에 미치는 간섭을 적응적으로 조정하는 것을 고려하고 있다 [10].

Victim MUE의 탐색을 위하여 3GPP TR(Technical Report) 36.921에서는 HeNB가 직접 MUE의 상향링크 전송에 대한 IoT(Interference over Thermal) 및 RS(Reference Signal)를 측정하는 기법들을 고려하고 있다 [10]. IoT를 측정하는 기법에서는 HeNB가 MUE의 상향링크 전송 구간에 대한 IoT를 측정 후 측정된 값이 사전에 정의된 임계값보다 높으면 자신의 주변에 victim MUE가 존재한다고 판단한다. 본 기법은 HeNB가 MUE에 대한 사전정보 없이 victim MUE의 존재를 인식 가능한 반면, IoT 값이 열 잡음(thermal noise)에 의존적이어서 HeNB가 식별된 victim MUE에 미치는 간섭 수준을 판단하기 어렵다는 문제를 가진다. IoT와는 달리 RS는



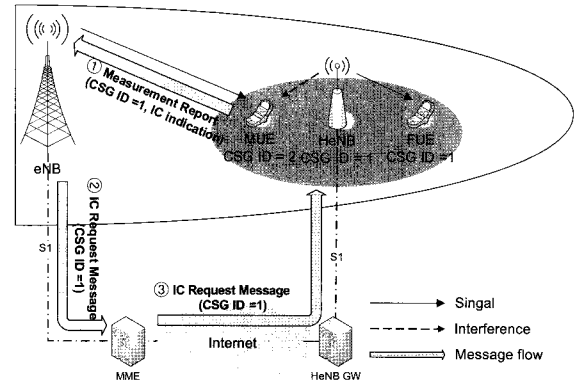
(그림 3) eNB에서 HeNB로의 핸드오버 절차

사전에 정의된 시그널링 패턴을 가지고 있어 절대적인 신호 품질을 측정할 수 있다. 따라서 HeNB가 IoT 대신 RS를 측정할 경우 victim MUE가 받는 간섭의 정도를 추정할 수 있다. 그러나 RS를 측정하기 위해서는 HeNB가 각 MUE의 상향링크 전송에 대한 무선자원 할당정보를 알아야 하기 때문에 측정을 위한 복잡도가 높다는 문제를 가진다.

Victim MUE를 식별하기 위한 방법으로는 HeNB가 직접 상향링크 신호를 측정하는 방법 외에도 HeNB가 eNB와의 협력을 통해 victim MUE를 탐색하는 방안이 고려될 수 있다 [10]. 해당 기법에서는 eNB가 MUE들로부터 주기적으로 보고되는 CQI(Channel Quality Indication)를 바탕으로 victim MUE의 존재를 식별할 수 있으며, victim MUE의 존재를 인지한 eNB는 S1 인터페이스를 통해 HeNB에게 간섭 조정 메시지를 전송함으로써 victim MUE의 존재 여부를 알릴 수 있다. 이와 같은 기법은 간섭 조정 메시지에 victim MUE가 받는 간섭 영향을 포함시킴으로써 보다 세밀한 간섭 제어가 가능하다는 장점을 가지고 있으나, 아직 그 절차나 방법은 3GPP 표준에 명확히 정의되지 않았다.

본 고에서는 eNB의 협력을 통한 victim MUE 탐색 절차의 예를 소개한다. 본 victim MUE 탐색 절차는 기존 표준과의 호환성을 유지하기 위하여 새로운 메시지의 정의 없이 기존 eNB와 HeNB사이의 핸드오버 절차를 활용한다. eNB는 핸드오버와 동일한 절차를 이용하여 victim MUE에게 주된 간섭을 미치는 HeNB의 PCI, CGI, CSG ID와 같은 식별정보를 수집하고, 해당 HeNB에게 간섭 조율 메시지를 전달함으로써 HeNB가 victim MUE의 존재를 인지하도록 한다.

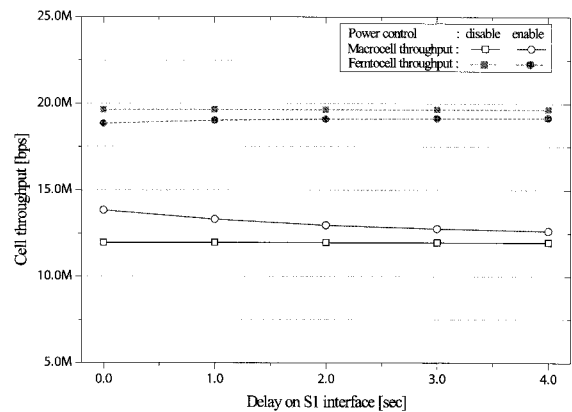
(그림4)는 본 고에서 정의하는 victim MUE 탐색 절차의 예를 나타낸다. 본 절차에서는 victim MUE가 자가탐색을 수행하여 자신에게 큰 간섭을 주는 HeNB의 CSG ID를 확인한다고 가정한다 [14]. 자신에게 가장 큰 간섭을 주는 HeNB를 식별한 victim MUE는 해당 CSG ID와 IC indication 플래그를 Measurement Report 메시지에 포함시켜 eNB에게 전달한다(Step 1). Measurement Report 를 보고받은 eNB는 victim UE의 정보를 포함하는 IC Request 메시지를 S1 인터페이스를 통해 해당 CSG ID를 가지는 HeNB에게 전송한다(Step 2~3). 이를 수신한 HeNB는 victim MUE의 존재를 인지하고 이에 대한 간섭 영향을 줄이기 위해 자신의 송신 전력을 조정한다.



(그림 4) 협력 기반 victim MUE 탐색기법

2. 성능 평가

eNB와 HeNB의 협력을 통한 victim MUE 탐색 기법은 백홀망을 통해 메시지를 교환하기 때문에 그 성능은 망 지연에 영향을 받을 수 있다. 본 고에서는 망 지연 변화에 따른 협력기반 victim MUE 탐색기법의 성능평가를 위해 19개의 매크로셀을 가지는 시스템을 고려하였으며, 각 매크로셀은 하나의 eNB, 10개의 MUE, 200개의 HeNB로 구성하였다. 시뮬레이션에서 victim MUE의 존재를 인지한 eNB가 해당 HeNB에게 전달한 메시지는 백홀망을 경유하여 일정 지연을 겪은 후에 HeNB에 도착한다고 가정하였다. 이때 간섭 조정 메시지를 수신한 HeNB는 victim MUE에 미치는 간섭을 줄이기 위하여 T 초 동안 최소 송신 전력을 사용한다.



(그림 5) 망 지연에 따른 협력기반 victim MUE 탐색 기법의 성능

(그림 5)는 백홀망의 전송 지연이 변할 때 협력기반 victim MUE 탐색기법을 활용한 HeNB 전송 전력 제어기법의 매크로셀 및 펌토셀 수율을 나타낸다. 백홀망의 지연이 증가할수록 victim MUE는 HeNB가 최소 전송 전력을 사용하기 전까지 큰 간섭을 받는 시간이 늘어나 매크로셀 수율이 감소한다. 반면에 간섭 조정 메시지를 수신한 HeNB는 모두 동일하게 T초 동안 최소 전송 전력을 사용하기 때문에 펌토셀의 수율은 백홀망의 지연에 관계없이 약 9% 감소한다. 이와 같이 백홀망 지연이 증가할수록 HeNB의 간섭 조정으로 인한 이득이 줄어들기 때문에 eNB와 HeNB의 효과적인 협력을 위해서는 낮은 백홀망의 전송 지연이 요구됨을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 고에서는 3GPP의 LTE-Advanced 기반 펌토셀 네트워크에서의 단말 이동성 관리기법 및 절차를 소개하고, 펌토셀과 매크로셀 기지국의 협력을 통해 펌토셀로부터 큰 간섭을 받는 피해 단말 식별 기술을 소개하였다. 펌토셀은 무선 통신영역이 협소하여 단말의 셀간 이동 빈도가 매우 높을 것으로 예상되므로 사용자에게 끊김 없는 연결성을 제공해 줄 수 있는 이동성 관리 기법이 매우 중요할 것으로 전망된다. 이에 최소한의 네트워크 부하 및 접속 지연으로 단말의 접속 지점을 신속하게 전환하고 사용자의 인지 없이 펌토셀 네트워크에서 단말의 이동성을 제공할 수 있는 기법의 연구가 요구된다. 펌토셀과 매크로셀 사이의 이동성뿐만 아니라, 서로 다른 펌토셀 사이의 이동성을 제공해 줄 수 있는 방안에 대한 연구도 함께 수행되어야 한다. 또한 본 고에서는 펌토셀 도입에 의한 신호 간섭을 제어하기 위하여 고려되고 있는 victim MUE 식별 기술들을 분석하고 eNB 및 HeNB 사이의 협력을 통한 victim MUE 식별 절차를 소개하였다. 펌토셀의 성공적인 도입을 위해서는 본 고의 절차와 같이 기존에 표준에서 정의하고 있는 시그널링 절차를 활용하여 최소한의 프로토콜 수정 및 구축 비용으로 실현 가능한 펌토셀 간섭 제어기술의 연구가 활발히 수행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Femtocell networks: a survey," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no. 9, pp. 59-67, Sep. 2008.
- [2] D. N. Knisely, T. Yoshizawa, and F. Favichia, "Standardization of femtocells in 3GPP," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 9, pp. 68-75, Sep. 2009.
- [3] R. Y. Kim, J. S. Kwak, and K. Etemad, "WiMAX femtocell: requirements, challenges, and solutions," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 9, pp. 84-91, Sep. 2009.
- [4] 3GPP TS 36.300, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA) and evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (Release 10)," V10.3.0, Mar. 2011.
- [5] D. Calin, H. Claussen, and H. Uzunalioglu, "On femto deployment architectures and macrocell offloading benefits in joint macro-femto deployments," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 1, pp. 26-32, Jan. 2010.
- [6] L. Wang, Y. Zhang, and Z. Wei, "Mobility management schemes at radio network layer for LTE femtocells," in *Proc. IEEE VTC 2009 Spring*, pp. 1-5, Apr. 2009.
- [7] A. Golaup, M. Mustapha, and L. B. Patanapongpibul, "Femtocell access control strategy in UMTS and LTE," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 9, pp. 117-123, Sep. 2009.
- [8] G. de la Roche, A. Valcarce, D. Lopez-Perez, and J. Zhang, "Access control mechanisms for femtocells," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 1, pp. 33-39, Jan. 2010.
- [9] 3GPP TS 36.304, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); user equipment (UE) procedures in idle mode (Release 10)," V10.1.0, Mar. 2011.
- [10] 3GPP TR 36.921, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); FDD home eNode B (HeNB) radio frequency (RF) requirements analysis (Release 10),"

V10.0.0, Mar. 2011.

- [11] H. Claussen, L. T. W. Ho, and L. G. Samuel, "An overview of the femtocell concept," Bell Labs Technical Journal, vol. 13, no. 1, pp. 224-246, Mar. 2008.
- [12] H. Claussen and D. Calin, "Macrocell off-loading benefits in joint macro- and femtocell deployments," in proc. IEEE PIMRC 2009, pp. 350-354, Sep. 2009.
- [13] D. Lopez-Perez, A. Valcarce, G. de la Roche, and Z. Jie, "OFDMA femtocells a roadmap on interference avoidance," IEEE Commun. Mag., vol. 47, no. 9, pp. 41-48, Sep. 2009.
- [14] 3GPP TS 36.331, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (Release 10)," V10.1.0, Mar. 2011.

약 력



최 범 곤

2007년 성균관대학교 정보통신공학부 학사
 2009년 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사
 2009년 ~ 현재 성균관대학교 휴대전화학과 박사과정
 관심분야 : 무선 LAN, 무선 메시 네트워크, LTE 릴레이, 펌토셀



배 성 재

2008년 성균관대학교 정보통신공학부 학사
 2010년 성균관대학교 휴대전화학과 석사
 2010년 ~ 현재 성균관대학교 휴대전화학과 박사과정
 관심분야 : 이기종 네트워크 이동성 관리, LR-WPAN, 차세대 이동통신 네트워크



권 영 민

2009년 성균관대학교 정보통신공학부 학사
 2011년 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사
 2011년 ~ 현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사과정
 관심분야 : 펌토셀 네트워크, LTE



정 민 영

1990년 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 학사
 1994년 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 석사
 1999년 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 박사
 1999년 ~ 2002년 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
 2002년 ~ 현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수
 관심분야 : 차세대 이동통신 네트워크, 펌토셀, 무선협력통신, 단말 간 통신, 홈 네트워크