

간섭 및 성능 분석을 위한 LTE 시스템 기반 펌토셀 시뮬레이터 개발

김창섭¹ · 최범곤¹ · 구본태² · 이미영² · 정민영^{1†}

Development of Femtocell Simulator Based on LTE Systems for Interference and Performance Evaluation

Chang Seup Kim · Bum-Gon Choi · Bon Tae Koo · Mi-Young Lee · Min Young Chung

ABSTRACT

Recently, femtocell has been concerned as one of effective solutions to relieve shadow region and provide high quality services to users in indoor environments. Even though femtocell offers various benefits to cellular operators and users, many technical issues, such as interference coordination, network synchronization, self-configuration, self-optimization, and so on, should be solved to deploy the femtocell in current network. In this paper, we develop a simulator for evaluating performance of long term evolution (LTE) femtocell systems under various interference scenarios. The simulator consists of a main-module and five sub-modules. The main-module connects and manages five sub-modules which have the functionality managing user mobility, packet scheduling, call admission control, traffic generation, and modulation and coding scheme (MCS). To provide user convenience, the simulator adopts graphical user interface (GUI) which can observe simulation results in real time. We expect that this simulator can contribute to developing effective femtocell systems by supporting a tool for analyzing the effect of interference between macrocell and femtocell.

Key words : LTE, HeNB, Femtocell, Simulator

요약

최근 가정 또는 사무실과 같은 실내 환경에서 음영지역을 해소하고 고품질의 서비스 제공을 위한 방안으로 초소형 기지국인 펌토셀(Femtocell)이 많은 관심을 받고 있다. 펌토셀은 사업자 및 사용자에게 다양한 이점을 제공하지만 펌토셀의 도입을 위해서는 채널 선택에 따른 간섭제어, 네트워크 동기화, 자기 최적화 등 다양한 기술적 문제점이 해결되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 펌토셀의 도입으로 인하여 발생 가능한 다양한 신호간섭 문제들에 대한 분석을 용이하게 하기 위한 LTE(Long Term Evolution) 시스템 기반 펌토셀 시뮬레이터를 개발하였다. 개발된 시뮬레이터는 단말 이동성, 스케줄러, 호 수락 제어, 트래픽 생성, MCS(Modulation and Coding Scheme) 결정의 5개의 블록과 이를 연결하고 관리하는 메인 모듈로 구성되어 있다. 또한 사용자의 편의성을 도모하기 위하여 시뮬레이션 결과를 실시간으로 관측할 수 있는 GUI(Graphical User Interface)를 적용하였다. 본 시뮬레이터는 실제와 유사한 환경에서 매크로셀과 펌토셀 사이의 간섭영향을 면밀히 분석하고 이동통신 시스템의 성능을 효과적으로 평가할 수 있도록 지원하며, 다양한 펌토셀 시스템을 개발하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

주요어 : LTE, HeNB, 펌토셀, 시뮬레이터

*본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)[KI002109, 3G LTE기반 All-in-One Femtocell 기지국 SoC 플랫폼]과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2011-(C1090-1111-0005)).

접수일(2011년 3월 14일), 심사일(1차 : 2011년 3월 16일), 게재 확정일(2011년 3월 23일)

¹⁾ 성균관대학교 정보통신공학부

²⁾ 한국전자통신연구원

주 저 자 : 김창섭

교신저자 : 정민영

E-mail; mychung@ece.skku.ac.kr

1. 서 론

최근 이동 단말을 통하여 고용량의 모바일 IPTV(Internet Protocol Television), 화상통화, 무선 인터넷과 같은 고용량의 데이터 서비스에 대한 요구가 증가하고 있다. 또한 음성 서비스의 60%, 데이터 서비스의 90%가 실내에서 발생할 것으로 예상되고 있다^[1]. 그러나 현재 이동통신시스템은 제한된 주파수 자원을 이용하여 다수의 사용자에게 고용량의 데이터 서비스를 제공하는데 많은 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 서비스 반경을 줄여 적은 수의 사용자에게 저렴한 가격으로 서비스해 줄 수 있는 초소형 기지국인 펠토셀이 최근 많은 관심을 받고 있다^[2,3].

펠토셀은 일반적인 매크로셀 기지국과 달리 낮은 전송 전력을 사용하고 서비스 영역이 좁다는 특징을 가진다. 또한 펠토셀 기지국은 가정이나 사무실 등과 같이 실내에 설치되어 있는 DSL(Digital Subscriber Line)과 인터넷과 같은 공용 네트워크 통해 이동통신 네트워크에 연결되어 사용자에게 서비스를 제공해 준다. 이와 같은 특징으로 인하여 사업자는 펠토셀 설치를 통해 이동통신 네트워크 구축 비용(CAPEX; Capital expenditures)과 망 운용에 따른 비용(OPEX; Operating expense)을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 무선 통신망의 음영 지역을 효과적으로 해소할 수 있으며 네트워크 부하를 줄이고 통화 품질을 향상시킬 수 있다. 또한 사용자는 기존의 단말 교체 없이 저렴한 비용으로 고품질의 서비스를 제공받을 수 있다^[4].

펠토셀은 사업자 및 사용자에게 다양한 이점을 제공하지만 펠토셀의 도입을 위해서는 채널 선택에 따른 간섭 제어, 접속 방식, 네트워크 동기화, 자기 최적화, 핸드오버 등과 같은 기술적 문제점이 해결되어야 한다^[5]. 특히 펠토셀은 기존의 이동통신망과 동일한 주파수 대역을 사용하기 때문에 매크로셀 단말은 펠토셀로부터의 간섭으로 인하여 성능이 크게 저하될 수 있다^[6]. 그러므로 이동통신망의 성능 저하를 막기 위하여 매크로셀과 펠토셀간 간섭 제어가 중요하다.

본 연구에서는 매크로셀과 펠토셀이 동일한 주파수 채널을 사용하는 환경에서 펠토셀의 도입시 매크로셀과 펠토셀간 간섭 영향을 분석하기 위한 LTE(Long Term Evolution) 시스템 기반 펠토셀 시뮬레이터를 개발하였다^[1]. 본 시뮬레이터는 사용자의 편의성을 도모하고 다양한 환경에서

시뮬레이션을 수행할 수 있도록 고안되었다. 또한 시스템 파라미터, 매크로셀과 펠토셀에 관한 변수를 사용자가 직접 설정할 수 있을 뿐만 아니라 단말의 위치를 직접 설정하고 해당 위치에서 단말이 매크로셀과 펠토셀로부터 수신하는 간섭영향을 실시간으로 관측할 수 있도록 GUI(Graphical User Interface)를 적용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 LTE 시스템 및 펠토셀 네트워크에 대하여 알아본다. 3장에서는 시뮬레이터의 개요 및 구성에 대하여 기술하고, 4장에서 시뮬레이터의 예시 화면과 실험 결과에 대해 설명한다. 끝으로 5장에서 결론과 향후 연구 방향을 설명한다.

2. LTE 시스템 및 펠토셀 네트워크

2.1 LTE 시스템

LTE는 3GPP(Third Generation Partnership Project)에서 2009년 12월에 표준화 작업을 완료한 차세대 이동통신 시스템이다^[8]. LTE 시스템의 물리계층과 프로토콜 규격을 포함하는 기본 무선접속 규격은 대략 1MHz에서 20MHz 사이의 어떠한 전송폭도 사용할 수 있다. 또한 LTE는 20MHz 스펙트럼을 사용하는 경우 하향링크에서 100Mbps, 상향링크에서 50Mbps의 최대 데이터 전송 속도를 제공할 수 있다.

LTE는 시간 영역 스케줄링뿐만 아니라 주파수 영역 스케줄링도 사용할 수 있도록 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 방식을 기반으로 하며 PRB(Physical Resource Block)를 무선 전송자원의 단위로 사용하고 있다^[9]. LTE 시스템은 1ms의 길이를 가진 서브 프

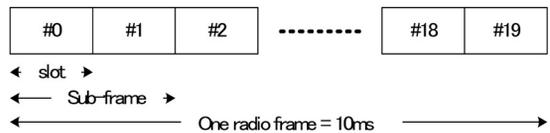


그림 1. FDD 모드에서의 프레임 구조

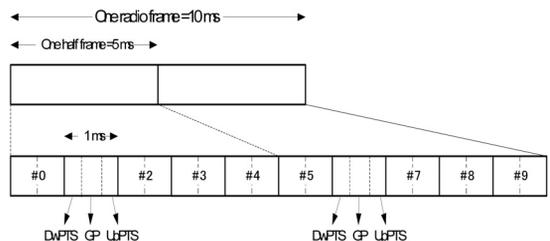


그림 2. TDD 모드에서의 프레임 구조

1) 본 논문은 2010년 한국시뮬레이션 추계학술대회 프로시딩에 출판된 논문의 확장 버전임^[7].

레이프 10개로 구성된 길이 10ms의 프레임 구조를 가지며 그림 1과 2에 나타난 것과 같이 FDD(Frequency Division Duplex)와 TDD(Time Division Duplex)를 지원한다¹⁰⁾.

LTE 전송 방식의 핵심은 전체적인 시간-주파수 자원이 사용자들 사이에서 동적으로 공유되는 공용채널(shared-channel) 전송을 사용한다는 점에 있다. 공용채널 전송은 자원을 요구하는 정도가 빠르게 변하는 패킷 데이터의 특성에도 잘 맞으며, 그 외에도 LTE에서 사용되는 다른 핵심 기술들을 가능하게 해주기도 한다. LTE에서는 효율적인 자원 사용을 위하여 상·하향링크에 대해서 서로 다른 스케줄러가 동작하며, 스케줄러는 하나 또는 다수의 TTI(Transmission Time Interval)마다 사용자의 QoS(Quality of Service) 요구사항, 사용자 단말의 무선 채널 상태 정보(CQI; Channel Quality Indication) 등을 반영하여 단말에게 무선 자원을 할당한다^{8,10,11)}.

2.2 펠트셀 네트워크

HeNB(Home evolved Node B)는 기존 이동통신 네트워크에 추가로 설치되는 소형기지국으로 기존 이동통신 네트워크에서 HeNB의 운용이 가능하기 위해서는 이동통신 핵심망(EPC; Evolved Packet Core)에 접속하기 위한 인터페이스가 정의되어야만 한다. 그림 3은 LTE 시스템에서 HeNB 지원을 위한 접속망의 구조 및 인터페이스를 나타내고 있다¹⁰⁾. eNB는 X2 인터페이스를 통하여 상호 연결되며 S1 인터페이스를 통하여 핵심망으로 연결된다. 핵심망은 MME(Mobility Management Entity), S-GW(Serving Gateway)로 구성된다. 반면에 HeNB는 HeNB GW(Gateway)를 통하여 핵심망에 접속하거나 HeNB가 직접 핵심망에 접속할 수 있다. 3GPP LTE(Release 9)의 HeNB는 eNB와 다르게 HeNB간 X2 인터페이스가 정의

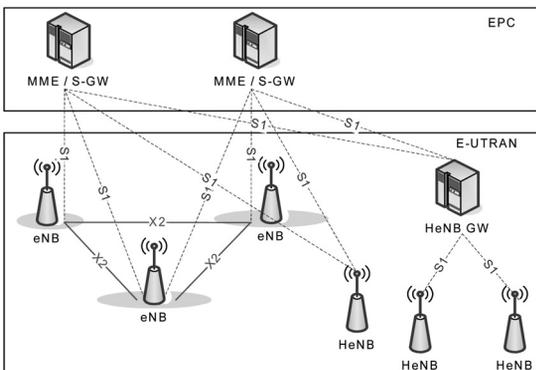


그림 3. LTE/HeNB의 접속망 구조 및 인터페이스

되어 있지 않으며 HeNB GW도 다른 HeNB 혹은 다른 노드간의 X2 인터페이스로 연결되지 않는다.

S1 인터페이스는 MME와 신호를 교환함으로써 단말기의 이동을 지원하기 위한 OAM(Operation and Management) 정보를 교환해주는 역할을 한다. 또한 X2 인터페이스는 eNB 간에 빠른(fast) 핸드오버를 위한 신호 및 부하 정보가 최적화를 위한 정보를 교환하는 역할을 수행한다.

3. 시뮬레이터 개요 및 구성

3.1 시뮬레이터 구조

본 연구에서 개발한 시뮬레이터는 그림 4와 같이 메인 초기화, 이벤트 처리, 결과 출력, 종료 모듈로 구분된다. 본 시뮬레이터는 이벤트 기반의 시뮬레이터로서 각 이벤트는 서비스 도착 이벤트, 패킷 도착 이벤트, 스케줄링 이벤트, 서비스 종료 이벤트, 그리고 핸드오버 이벤트로 분류된다. 서비스 도착 이벤트는 새로운 서비스의 도착을 알리는 이벤트이다. 서비스 도착 이벤트가 발생하면 호 수락 제어 모듈은 시스템과 해당 서비스에 대한 정보를 바탕으로 호 수락 제어를 수행한다. 해당 서비스를 수락 할 경우에는 해당 서비스에 대한 첫 패킷 도착 이벤트를 수행한 다음 패킷 도착 이벤트를 생성한다. 그 후 해당 서비스에 대한 서비스 종료 이벤트와 다음 서비스 도착 이벤트를

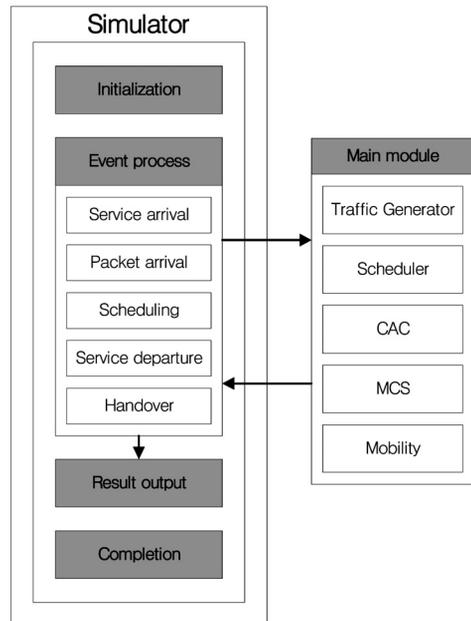


그림 4. 시뮬레이터 구조

생성한다. 만약 해당 서비스를 거절할 경우 다음 서비스 도착 이벤트를 생성한다. 패킷 도착 이벤트가 발생하면 트래픽 생성 모듈은 해당 서비스에 대한 패킷을 생성하여 eNB 및 HeNB에 있는 해당 사용자의 큐에 삽입한다. 그 후 다음 패킷 도착 이벤트를 생성하여 이벤트 리스트에 삽입한다.

스케줄링 이벤트가 발생하면 스케줄러 모듈은 큐에 대기하고 있는 패킷에 대한 스케줄링을 실시한다. 스케줄러 모듈은 각 패킷의 우선순위 결정을 위해 MCS(Modulation and Coding Scheme) 결정 모듈을 호출하고, MCS 결정 모듈은 이동성 관리 모듈로부터 받은 해당 사용자 단말과 eNB(혹은 HeNB) 사이의 거리를 바탕으로 MCS 값을 계산하여 스케줄러 모듈에게 넘겨준다. 스케줄러 모듈은 해당 사용자 단말의 MCS 값을 바탕으로 각 패킷의 우선순위를 결정하고 우선순위에 따라 스케줄링을 실시한다. 그 후 다음 스케줄링 이벤트를 생성하여 이벤트 리스트에 삽입한다.

서비스 종료 이벤트는 해당 서비스의 종료와 관련된 이벤트로 트래픽 생성 모듈은 해당 서비스와 관련된 변수들을 초기화한다. 그 후 앞서 생성된 패킷 도착 이벤트를 이벤트 리스트에서 삭제하여 해당 서비스에 대한 패킷이 더 이상 생성되지 않도록 한다. 핸드오버 이벤트는 이동성 모델에 의해 발생되며 사용자 단말이 현재 셀에서 다른 셀로 이동하였음을 알린다. 핸드오버 이벤트는 사용자 단말의 서비스 사용과 무관하게 발생하며, 핸드오버 이벤트가 발생했을 경우 해당 사용자 단말이 서비스를 사용 중일 경우에만 핸드오버 이벤트를 처리하고 해당 사용자 단말이 서비스를 사용 중이지 않으면 별도의 작업을 수행하지 않는다. 핸드오버 이벤트가 발생하고 해당 사용자 단말이 사용 중일 경우, 사용자 단말이 이동한 셀에서는 호 수락 제어를 수행한다. 호가 거절되었을 경우에는 서비스 종료 이벤트와 동일하게 처리된다. 호가 수락되고 사용자 단말이 이동한 셀이 중심 매크로셀일 경우, 사용자 단말의 상태 비트는 중심 매크로셀로 변경되고 해당 서비스에 대한 첫 패킷 도착 이벤트를 수행한 후 다음 패킷 도착 이벤트를 생성한다. 호가 수락되고 사용자 단말이 중심 셀에서 다른 인접셀로 이동하였을 경우, 단말의 상태 비트는 인접 셀로 변경되고 해당 서비스에 대한 패킷 이벤트를 삭제한다. 본 연구에서 개발한 LTE-펄토셀 시뮬레이터에서는 CSG(Closed Subscriber Group)을 고려하여 매크로셀에서 펄토셀로 혹은 펄토셀에서 매크로셀로의 핸드오버는 고려하고 있지 않다.

시뮬레이터의 메인 모듈은 이벤트 처리 모듈에서 발생

된 다양한 이벤트를 수행한다. 트래픽 생성 블록에서는 해당 사용자 단말의 서비스 구성 요소를 참조하여 서비스 별 트래픽을 생성해준다. 스케줄러 블록에서는 이벤트가 발생하면 해당 패킷에 대한 스케줄링을 실시하며, 호 수락 제어(CAC; Call Admission Control) 블록에서는 사용자 단말에 대한 호 수락 여부를 결정한다. MCS 결정 블록은 모빌리티 블록으로부터 받은 정보를 바탕으로 MCS 값을 계산하고, 모빌리티 블록은 모든 단말들의 이동성을 관리한다. 위와 같이 총 5개의 블록은 시뮬레이터의 메인 모듈에서 관리되며 이벤트 처리 모듈과 유기적으로 연결되어 본 시뮬레이터의 주요 기능을 수행한다.

3.2 시뮬레이터의 주요 고려 요소

본 시뮬레이터에서는 단말의 이동성을 고려하기 위하여 매크로셀 단말은 random walk 모델을 적용하였으며 펄토셀 단말은 random way point 모델을 적용하였다^{[12],[13]}. Random walk 모델은 단말이 현재 위치에서 이동방향, 속도, 이동시간을 결정하여 목적지를 설정하고 목적지로 직진 이동하는 모델이며 random way point 모델은 각 단말이 일정 시간 이후 특정 위치로 이동하는 특성을 가지고 있다. 여기서 단말의 다음 좌표는 시뮬레이터의 실내 분포 확률에 따라 선택된다.

시뮬레이션에서 거리에 따른 신호의 경로손실(path loss)을 계산하기 위해 WINNER II에 정의된 경로손실 모델을 사용하였다^[14]. 매크로셀 기지국과 단말사이의 경로손실 모델은 실외 경로손실(outdoor path loss) 모델을, 펄토셀 기지국과 단말사이의 경로손실 모델은 실내 경로손실(indoor path loss) 모델을 적용하였다. 이에 적용된 실외 및 실내 경로손실 모델의 수식은 다음과 같다.

$$PL_{outdoor} = 32.68 + 35.74 \log_{10}(d_{out}) \quad (1)$$

$$PL_{indoor} = 37.78 + 36.8 \log_{10}(d_{in}) \quad (2)$$

여기서 d_{out} 은 매크로셀 기지국과 단말 사이의 거리를 나타내며, d_{in} 은 펄토셀 기지국과 펄토셀 단말 사이의 거리를 나타낸다.

실제와 유사한 트래픽을 구현하기 위하여 비실시간 서비스인 FTP(File Transfer Protocol)와 웹 브라우징 서비스, 실시간 서비스인 VoIP(Voice over Internet Protocol)와 비디오 스트리밍 서비스를 고려하였다. FTP는 대표적인 Best Effort 트래픽 서비스로서 인터넷을 통해 한 컴퓨터에서 다른 컴퓨터로 파일을 전송하는 서비스이다. 사용자가 웹 페이지에 있는 텍스트, 이미지, 비디오, 음악과 같

은 정보들을 서로 주고 받을 수 있는 쌍방향 트래픽 서비스 중 하나인 웹 브라우징은 사용자가 웹페이지에 있는 텍스트, 이미지, 비디오, 음악과 같은 정보들을 주고 받을 수 있는 서비스이다. VoIP는 기존에 사용되고 있는 데이터통신용 패킷망을 인터넷폰에 이용하는 것으로 음성 데이터를 IP(Internet Protocol) 데이터 패킷으로 변화하여 일반 전화망에서의 통화를 가능하게 해주는 통신 서비스 기술이다. 마지막으로 단방향 실시간 트래픽 서비스 중 하나인 비디오 스트리밍 서비스는 일정한 간격으로 프레임 을 전송하여 실시간으로 동영상상을 제공하는 서비스이다.

4. 시뮬레이터 개발

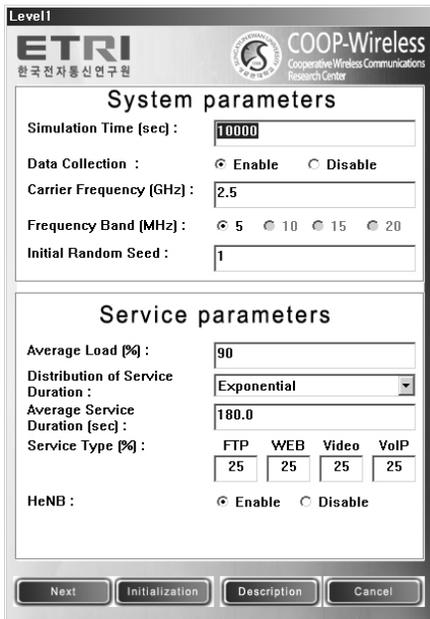
시뮬레이터는 Visual Studio 6.0 C++ MFC(Microsoft Foundation Class)를 이용하여 개발되었다. 다양한 환경에서 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 하기 위해서 시스템 과 서비스 파라미터, 매크로셀 및 펌토셀 파라미터를 사용자 가 직접 설정할 수 있도록 하였으며 마우스를 이용하여 펌토셀 기지국 및 단말들을 선택하여 세부 정보를 확인 할 수 있도록 하였다. 또한 사용자는 설정한 시뮬레이션 환경을 텍스트 파일로 저장하고나 불러올 수 있으며 시뮬레이션이 종료되면 최종 결과를 파일로 저장하여 확

인할 수 있다.

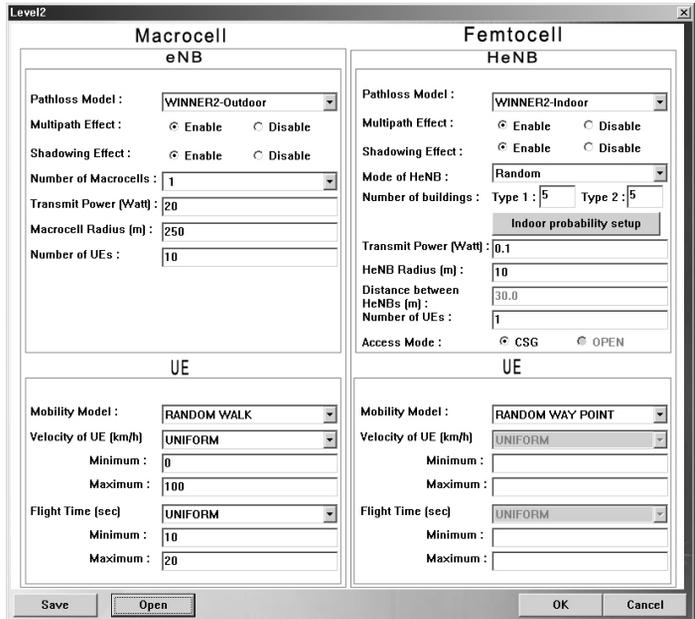
4.1 사용자 인터페이스

개발된 시뮬레이터는 사용자들이 다양한 환경에서 시뮬레이션을 수행하고 분석할 수 있도록 지원한다. 그림 5 (a)는 레벨 1 파라미터를 설정할 수 있는 다이얼로그이다. 레벨 1 다이얼로그는 시뮬레이터를 구동하는데 필요한 시스템 파라미터와 매크로셀 및 펌토셀 단말들에게 반영되는 서비스 파라미터로 구성되어 있다. 시스템 파라미터는 시뮬레이션의 수행 시간, 결과 데이터의 수집 유무, 중심 주파수 및 주파수 대역폭으로 구성되어있으며 서비스 파라미터는 단말들의 부하 비율, 서비스 지속 시간의 분포, 서비스를 받는 평균 시간, 서비스 타입별 백분율, 그리고 HeNB의 적용 유무로 구성되어있다.

그림 5 (b)는 레벨 2 파라미터를 설정할 수 있는 다이얼로그이다. 레벨 2 파라미터는 매크로셀과 펌토셀로 나누어지며 각각의 셀은 기지국 및 단말로 분류 된다. eNB의 파라미터는 경로 손실 모델, 다중 경로 및 쉐도잉 효과의 적용 유무, 매크로셀의 개수, eNB의 전송 전력 세기, 반경 그리고 단말수를 설정할 수 있다. HeNB의 파라미터는 eNB의 파라미터와 일부 동일하며 추가로 HeNB의 배치 모드, HeNB가 배치되는 건물의 수 및 형태, 실내 확률



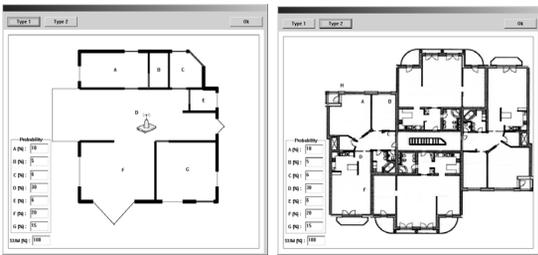
(a) 레벨1 파라미터



(b) 레벨2 파라미터

그림 5. 파라미터 입력 다이얼로그

분포를 입력할 수 있다. HeNB가 설치되는 개수에 따라 신호 및 간섭의 특성이 달라지기 때문에 HeNB가 배치되는 건물의 타입을 그림 6과 같이 두 가지 타입을 적용하였다^[15,16,17]. 그림 6의 (a) 도면은 하나의 HeNB가 설치되는 환경이며 (b) 도면은 4개의 HeNB가 설치되는 환경이다. HeNB가 설치되는 실내 타입은 A부터 G까지 영역을 구분하였으며 각각의 위치에 있을 확률값을 입력할 수 있다. 이와 같이 시뮬레이터의 사용자가 다양한 환경에서 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 파라미터를 설정할 수 있다. 이는 펌토셀 네트워크를 개발하는 사용자의 편의성을 증대시켜줄 뿐만 아니라 일반 사용자도 쉽게 접근할 수 있는 장점을 가지고 있다.



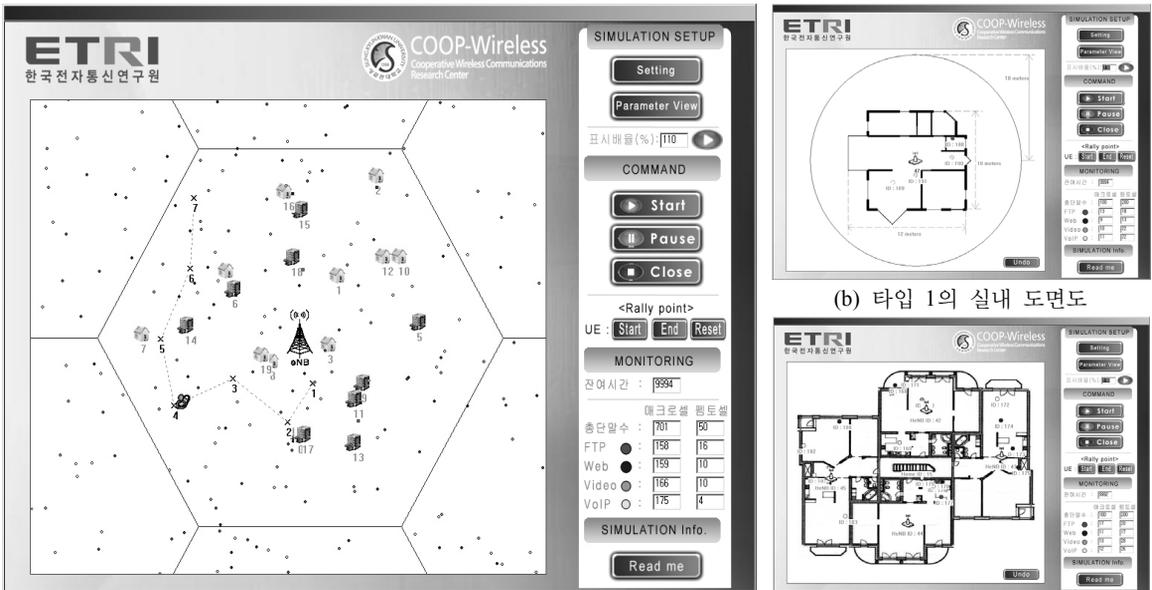
(a) 타입 1 (b) 타입 2
 그림 6. 실내 이동 확률 입력 다이얼로그

그림 7의 (a)는 LTE-펌토셀 시뮬레이터의 메인 화면을 나타낸다. (a)의 좌측 부분은 시뮬레이션이 수행되는 동안 매크로셀 및 펌토셀의 기지국, 그리고 단말의 위치를 출력해주며 시뮬레이터의 사용자가 태그 단말에 대한 임의의 이동 경로를 표시해준다. 또한 HeNB가 설치되는 건물의 서로 다른 타입을 구분하여 표시해준다. 우측 부분은 시뮬레이션 파라미터 설정 및 현재 설정되어있는 파라미터를 확인할 수 있도록 개발되었다. 또한 시뮬레이터의 동작에 대하여 시작, 일시 정지 그리고 프로그램 종료 버튼을 적용하였다. 그리고 잔여 시뮬레이션 시간과 매크로셀 및 펌토셀의 단말들에 대한 서비스 정보를 실시간으로 확인할 수 있는 모니터링 기능을 적용하였다.

HeNB가 설치되는 건물 타입에 따른 실내 환경과 펌토셀 단말의 위치를 확인하기 위하여 그림 7의 (b), (c)와 같이 나타낸다. 펌토셀 단말은 실내 이동 확률에 기반하여 위치를 변경하고 이를 바탕으로 시뮬레이션이 수행된다.

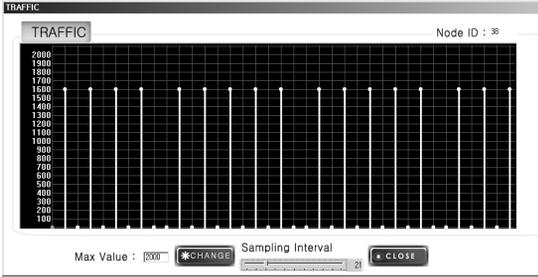
4.2 시뮬레이터 수행 결과

LTE-펌토셀 시뮬레이터의 파라미터를 설정한 후, 시뮬레이터 메인 화면 시작 버튼을 클릭하면 시뮬레이션이 동작을 시작한다. 시뮬레이션이 시작되면 매크로셀 및 펌토셀 단말들은 각 셀에서 설정된 이동성 모델에 따라 이동을 한다. 이때 사용자가 마우스를 이용하여 단말을 클릭

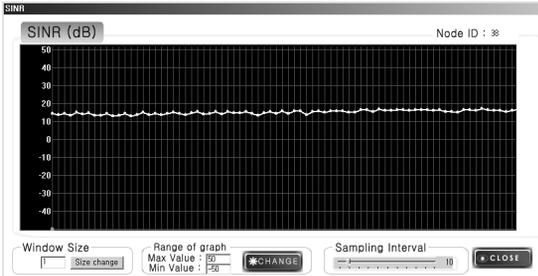


(a) 메인 다이얼로그 (b) 타입 1의 실내 도면도 (c) 타입 2의 실내 도면도

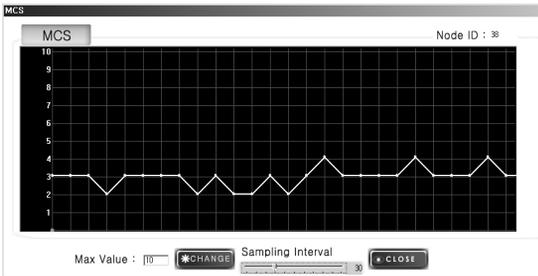
그림 7. 시뮬레이터 메인 화면 및 실내 도면도



(a) 트래픽 정보



(b) SINR 정보



(c) MCS 정보

그림 8. 실시간 그래프 정보

하는 경우, 해당 단말에 대한 ID, 이동 속도, 현재 단말의 서비스 타입을 실시간으로 확인할 수 있다. 또한 해당 단말의 서비스 트래픽, SINR, MCS를 실시간을 확인할 수 있도록 하기 위해 그림 8과 같은 그래프를 구현하였다. 그림 8(a)는 해당 단말의 서비스 트래픽의 패턴을 표현하고 있으며 단말의 현재 위치에서의 SINR은 그림8(b)와 같이 표현된다. 또한 단말은 자신의 SINR에 따라 MCS 값을 결정하며 이러한 변화량을 그림 8(c)와 같이 확인할 수 있다. 본 시뮬레이터는 사용자가 단말의 이동에 따른 단말의 현재 위치와 그래프를 동시에 관찰 할 수 있기 때문에 단말의 위치에 따른 SINR 및 MCS 값을 파악하는 것이 용이하다.

시뮬레이터의 사용자가 특정 지점에서 신호 및 간섭의 영향을 수치적으로 확인할 수 있도록 그림 9와 같이 특정

표 1. 시뮬레이션의 파라미터

Parameters	Value
Carrier frequency [GHz]	2.5
Frequency Band [MHz]	5
Average load [%]	100
Service type and percentage [%]	FTP, 100
Transmit power of eNB and HeNB [Watts]	20, 0.1
Number of macro UEs per macrocell	10
Number of femto UEs per femtocell	1

지점에 대한 정보를 표현할 수 있는 다이얼로그를 구현하였다. 그림 9는 사용자가 지정한 위치에 단말이 있다고 가정하고 기지국과 거리를 표현해주며 거리를 기반으로 신호의 세기, 주변 eNB 및 HeNB의 간섭 세기를 표현해 준다. 이는 단말들이 이동하는 패턴이 불규칙하고 태그 단말이 표현해주지 못하는 순간적인 결과를 보완해주기 위함이다.

본 시뮬레이터는 사용자 편의성을 증대시키기 위하여 시뮬레이션 파라미터를 저장하고 이미 저장된 파라미터를 불러올 수 있는 기능을 제공한다. 현재 시뮬레이션 파라미터는 그림 5(b)의 왼쪽 하단에 있는 저장 및 불러오기 버튼을 이용하여 텍스트 파일로 저장할 수 있다. 또한 기존에 저장되어있는 텍스트 파일의 불러오기를 통하여 기존에 정의한 동일한 실험 환경에 대해서 새로운 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 이와 같은 기능은 펌토셀 네트워크를 개발하는 사용자가 특정 알고리즘에 대하여 성능 평가를 수행할 때, 동일한 시뮬레이션 파라미터를 설정하는데 필요한 시간을 줄일 수 있으며 보다 편리하게 성능 분석을 수행할 수 있다.

본 연구에서는 LTE 환경에서 펌토셀이 도입됨으로 인하여 시스템의 평균 데이터 전송을 변화를 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 성능평가를 위하여 표 1과 같이 주요 파라미터를 설정하였으며 eNB와 HeNB는 단말들에게 전송할 데이터가 항상 존재한다고 가정하였다. 매크로셀과 펌토셀을 동일한 주파수 대역을 재사용한다고 가정하였으며, 실제환경과 유사성을 높이기 위하여 주파수 효율 계산 시 3GPP 표준문서에 정의되어 있는 MCS 테이블을 적용하였다¹⁸⁾.

그림 10은 매크로셀과 펌토셀의 하향링크에 대한 평균 데이터 전송율을 나타낸다. 본 시뮬레이터는 MCS 테이블을 적용하였으며 MCS 테이블에 정의되어있는 최대 주파수 효율은 4.4bps/Hz이므로 하나의 기지국은 주파수 대역

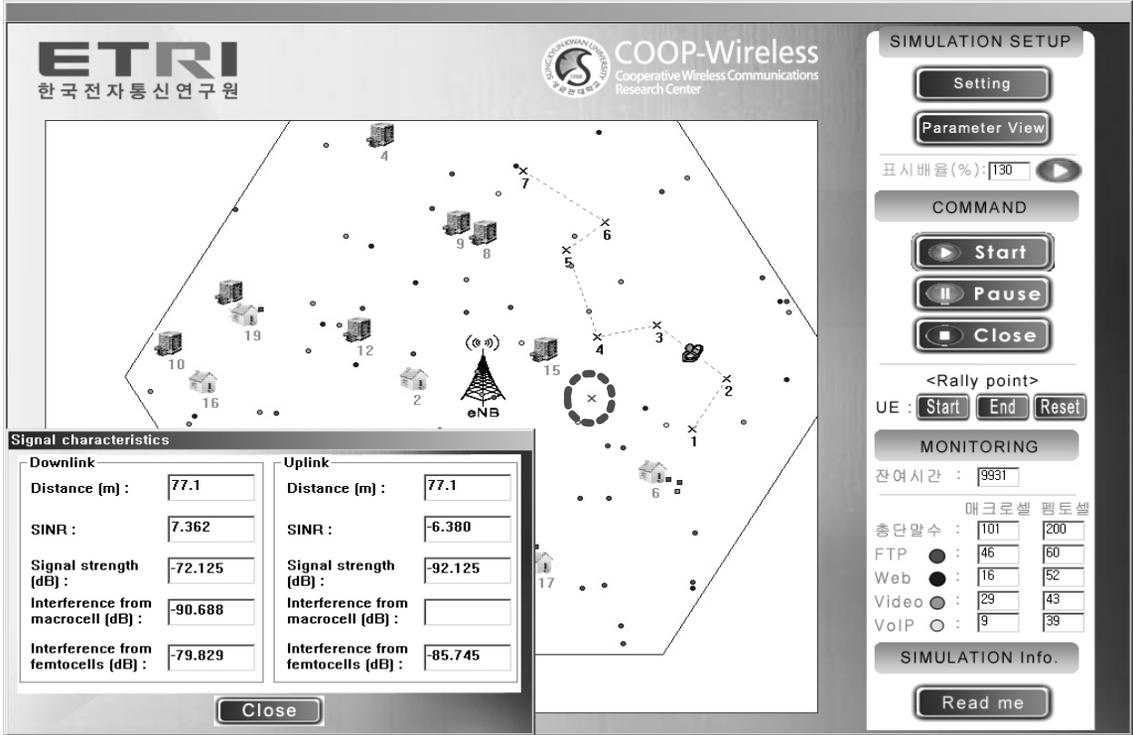


그림 9. 특정 지점에서 신호 특성 표현

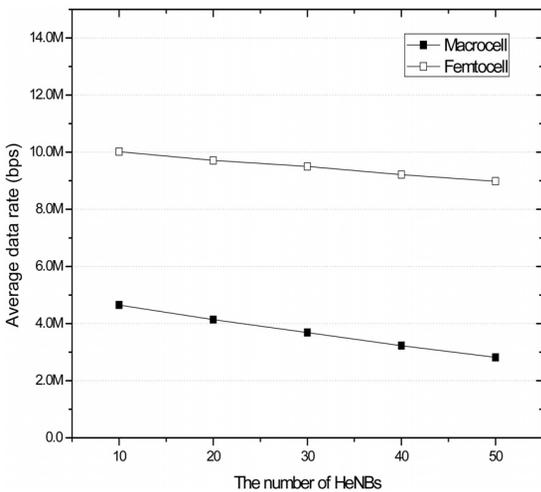


그림 10. 매크로셀/펌토셀의 평균 데이터 전송율

폭 5MHz에서 최대 22Mbps의 성능을 가질 수 있다. 시뮬레이션 결과 매크로셀은 3-5Mbps, 펌토셀은 9-10Mbps의 용량을 가져 매크로셀 하향링크의 성능이 펌토셀 하향링크 성능보다 낮게 나오는 것을 확인 할 수 있다. 이는

eNB와 단말사이의 거리가 HeNB와 단말사이의 거리보다 상대적으로 멀리 떨어져 있어 eNB와 단말사이의 SINR이 HeNB와 단말사이의 SINR 보다 더 작기 때문이다. 또한 시뮬레이션을 통해 HeNB의 수가 증가할수록 매크로셀 및 펌토셀 단말들은 HeNB로부터 수신하는 간섭이 증가하기 때문에 매크로셀과 펌토셀의 데이터 전송율이 감소하는 것을 확인 할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 펌토셀의 도입에 따른 매크로셀과 펌토셀사이의 간섭 영향을 분석하기 위해 개발한 LTE 시스템 기반 펌토셀 시뮬레이터를 소개하였다. 개발된 시뮬레이터에서는 시스템 파라미터, 매크로셀과 펌토셀에 관한 변수들을 사용자가 GUI를 통해 쉽게 설정할 수 있을 뿐만 아니라, 매크로셀과 펌토셀 사이의 간섭영향을 실시간으로 관측할 수 있다. 또한 특정위치에 대한 간섭 및 신호의 세기 분석, 사용자가 정의한 임의의 이동성에 따른 신호의 변화를 관측할 수 있다. 본 시뮬레이터에 다양한 펌토셀 관련 연구 내용들을 쉽게 접목 가능하도록 확장한다면,

매크로셀과 펌토셀간 간섭제어 연구 분야에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

1. G. Mansfield, Femtocells in the US market-business drivers and consumer propositions, FemtoCells Europe, AT&T, London, U.K., June 2008.
2. V. Chandrasekhar and J.G. Andrews, "Femtocell networks: a survey," IEEE Communications Magazine, vol. 46, no. 9, pp. 59-67, Sep. 2008.
3. 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.
4. FemtoForum, "Interference management in OFDMA femtocells," Mar. 2010.
5. 3GPP TR 25.820 V8.0.0, "3G Home NodeB study item technical report," Mar. 2008.
6. D. Lopex-Ferez, A. Valcarce, G. de la Roche, and J. Zhang, "OFDMA femtocells: a roadmap on interference avoidance," IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 9, pp. 41-48, Sep. 2009.
7. 김창섭, 최범곤, 구본태, 정민영, "펌토셀 네트워크의 성능 분석을 위한 LTE 시스템 기반 펌토셀 시뮬레이터 개발," 한국시뮬레이션학회 추계학술대회 논문집, pp. 217-221, 2010년 10월.
8. A. Ghosh, R. Ratasuk, B. Mondal, N. Mangavedhe, and T. Thomas, "LTE-Advanced: next generation wireless broadband technology," IEEE Wireless Communications, vol. 17, no. 3, pp. 10-22, June 2010.
9. 3GPP TS 36.211 V9.1.0, "3GPP physical channels and modulation (Release 9)," Mar. 2010.
10. 3GPP TS 36.300 V9.4.0, "E-UTRAN overall description: state2 (Release 9)," June 2009.
11. D. Astely, E. Dahlman, A. Furuskar, Y. Jading, M. Lindstrom, and S. Parkvall, "LTE: the evolution of mobile broadband," IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 4, pp. 44-51, Apr. 2009.
12. T. Camp, J. Boleng, and V. Daview, "A survey of mobility models for ad hoc network research," Wireless Communication and Mobile Computing, vol. 2, no. 5, pp. 483-502, Sep. 2002.
13. J. Broch, D.A. Maltz, D.B. Johnson, Y.-C. Hu, and J. Jetcheva, "A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols," Proceedings of the 4th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 85-97, Oct. 1998.
14. IST-4-027756 WINNER II D1.1.2 V1.1, "WINNER II channel models," Sep. 2007.
15. D. Calin, H. Claussen, and H. Uzunalioglu, "On femto deployment architectures and macrocell offloading benefits in joint macro-femtocell deployments," IEEE Communications Magazine, vol. 48, no. 1, pp. 26-32, Jan. 2010.
16. H. Claussen and D. Calin, "Macrocell offloading benefits in joint macro-and femtocell deployments," Proceedings of the IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. 350-354, Sep. 2009.
17. 3GPP TR 25.866 V9.0.0, "1.28Mcps TDD Home NodeB (HNB) study item technical report (Release 9)," Dec. 2009.
18. 3GPP TR 36.942 V9.2.0, "Radio frequency system scenarios (Release 9)," Dec. 2009.



김 창 섭 (kimcs@ece.skku.ac.kr)

2009 한국산업기술대학교 전자공학과 학사
2011 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사
2011~현재 넥스트리밍 R&D Middleware Team 주임연구원

관심분야 : 이동통신 네트워크, 펌토셀, LTE



최 범 곤 (gonace@ece.skku.ac.kr)

2007 성균관대학교 정보통신공학부 학사
2009 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사
2009~현재 성균관대학교 휴대폰학과 박사과정

관심분야 : 무선 LAN, 무선 메쉬 네트워크, LTE



구 분 태 (koobt@etri.re.kr)

1989 고려대학교 전자공학과 학사
1991 고려대학교 전자공학과 석사
1991~1997 현대전자
1997~1999 동부전자
1999~현재 한국전자통신연구원 통방융합 SoC연구팀 팀장

관심분야 : 방송 및 이동통신 모뎀, 3D 기술, SoC 설계



이 미 영 (sharav@etri.re.kr)

1999 이화여자대학교 전자공학과 학사
2001 이화여자대학교 정보통신학과 석사
2001~현재 한국전자통신연구원 통방융합 SoC연구팀 선임연구원

관심분야 : LTE, 펌토셀, SoC 설계 기술



정 민 영 (mychung@ece.skku.ac.kr)

1990 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 학사
1994 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 석사
1999 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 박사
1999~2002 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
2002~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수

관심분야 : 이동통신 네트워크, 무선 LAN, IP 라우터 시스템