

논문 2009-4-23

Femtocell 시스템 기술 분석

Femtocell System Technology Analysis

정재환*, 손인수**

Jae-Hwan Jung, In-Soo Sohn

요 약 현재 통신시장의 규모는 해마다 늘어나고 있다. 그에 따라 소비자의 요구와 무선 자원의 고갈로 인해 새로운 기술을 필요로 하고 있다. 이러한 요구에 부응하는 신기술의 하나인 Femtocell system은 현재 가장 주목받고 있는 신기술이다. Femto란 매우 작은 수치를 나타내며 Femtocell은 셀의 반경을 작게 하여 주파수를 효율적으로 이용할 수 있도록 한다. 이러한 Femtocell은 일반적인 셀의 환경과 다른 구조의 환경을 가지고 있으며 이를 구현하는 시스템의 기술도 여러 가지가 있다. 본 논문에서는 Femtocell의 시스템 모델과 시스템 기술에 대해 알아보고 시스템의 성능에 대한 시뮬레이션 결과를 살펴볼 것이다.

Abstract In the recent, the communication market increased every year. Because of the user's demands and exhaustion of wireless resource, we needs a new technology of the communication system. The femtocell is one of the new technology of the communication system. 'Femto' means very small. By using the femtocell that made up the very small cell, the frequency efficiency increase. The femtocell has different cell environments. In the paper, we look around the femtocell system model, the femtocell system technology and simulation result of system performance.

Key Words : Femtocell, Home eNodeB, Home NodeB

I. 서 론

현재 통신시장의 규모는 해마다 늘어나고 있다. 초기 음성통신을 목적으로 하였던 이동통신 시장은 사용자의 요구와 시장의 포화에 의해 점차적으로 무선 데이터 시장으로 확산되고 있다. IGR의 조사에 따르면 세계무선 데이터 이용자는 2009년 8억 명에 달하며 2011년에는 12억 명을 돌파할 것으로 보고 있다. 그러나 통신 자원은 한정되어 있고 현재의 기술은 통신용량의 한계에 거의 다다르고 있다. 따라서 더 나은 서비스의 제공을 위해서는 현재의 자원을 효율적으로 사용할 필요가 있다. 양질의 통신환경을 제공하기 위해서는 System Capacity를 증가시켜야 하며, 가장 좋은 방법은 사용자와 기지국의

거리를 줄이는 것이다. 이러한 방법으로 실내에 기지국을 설치함으로써 실내의 열악한 통신환경을 개선하는 기술이 거론되고 있으며 Femtocell은 그러한 기술의 하나이다.

Femto란 10-15를 나타내는 말이며 매우작은 수치를 나타낸다. Cell은 이동통신에서 주파수의 효율적인 이용을 위해나뉘어진 공간으로 보통하나의 기지국이 미치는 영향범위를 뜻한다. 일반적으로 하나의 기지국은 수백미터에서 수 킬로 미터의 반경을 커버하지만 Femtocell은 십 수 미터 정도의 실내 반경을 커버한다. Femtocell은 실내 유선IP망에 연결된 초소형 기지국(Access Point)을 이용하여 기존 이동통신 단말기를 통해 자유롭게 통신서비스를 이용하게 된다. Femtocell은 사업자에 의한 설치가 아닌 사용자에게 의한 기지국의 설치가 용이하기 때문에 사업가로서는 네트워크 비용의 절감과 주파수 부하의 감소라는 장점을, 사용자로서는 실내의 열악한 통신 환경

*준회원, 동국대학교 (Dongguk University)

**정회원, 동국대학교 (Dongguk University)

접수일자 2009.06.07, 수정완료 2009.07.27

경의 개선으로 통신 품질이 향상된다는 장점을 갖는다. 이러한 장점을 갖는 Femtocell은 Vodafone, Verizon, Docomo 등의 세계 유수업체들이 관심을 보이고 있으며 서비스의 상용화를 앞두고 있다.

본 논문에서는 Femtocell의 시스템 모델을 알아보고 Femtocell의 시스템 기술과 시스템 성능에 대해 알아볼 것이다.

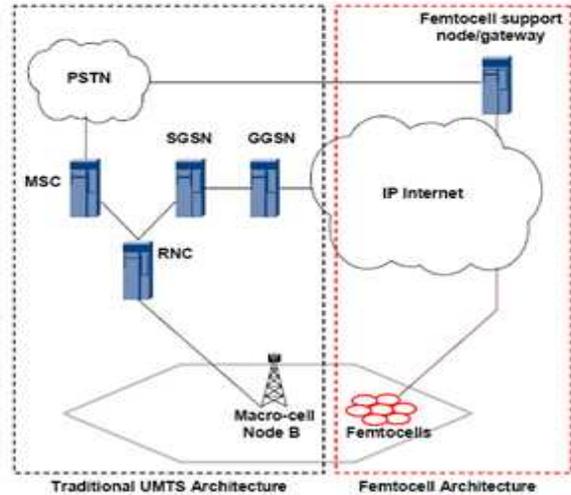


그림 1. Femtocell과 Macrocell의 구조도
Fig. 1. Femtocell and Macrocell Architecture

II. Femtocell 시스템 모델

Femtocell의 성능을 알아보기 위해서는 여러 가지 시스템 환경을 고려해야 한다. 이 장에서는 Femtocell System의 여러 가지 고려해야 할 환경에 대해 알아볼 것이다.

1. Propagation 환경

Femtocell은 실내에서 사용되므로 이에 따른 모델의 정의가 필요하다. Femtocell의 Pathloss 환경은 크게 세 부분으로 나뉘서 생각해볼 수 있다. Femtocell의 Indoor 환경과 Outdoor 환경, 그리고 Macrocell의 Indoor 환경이다. 여기에 부수적으로 Pathloss 요인인 벽과 문, 창문 등을 고려할 수 있다.

참조 논문^[1]에서는 다음과 같이 Femtocell의 Propagation 환경을 정의하고 있다. Femtocell Outdoor의 경우는

$$28 + 35 \log_{10}(d) (dB) \quad (1)$$

로 나타내어진다. 여기서 d 는 Femtocell base station과의 거리로 단위는 meter이다. Femtocell Indoor의 경우는

$$38.5 + 20 \log_{10}(d) + L_{Wall} (dB) \quad (2)$$

로 나타내어진다. 여기서 d 는 Outdoor와 마찬가지로 Femtocell과의 거리로 meter 단위이다. L_{Wall} 은 벽과 같은 장애물의 Pathloss로서, 외벽은 15dB, 내벽은 10dB, 문은 3dB, 창문은 1dB의 값을 갖는다. Macrocell의 Indoor은 일반적인 Macrocell의 Pathloss에 L_{Wall} 을 더해주는 방식으로 계산한다.

Shadow Fading은 log-normal shadowing으로 Outdoor에서는 여러 장애물을 고려하여 8dB의 Standard deviation을 갖는다. Indoor에서는 4dB 값을 갖게 된다.

그림 2는 Femtocell이 설치된 실내의 Pathloss 환경을 보여주고 있다.

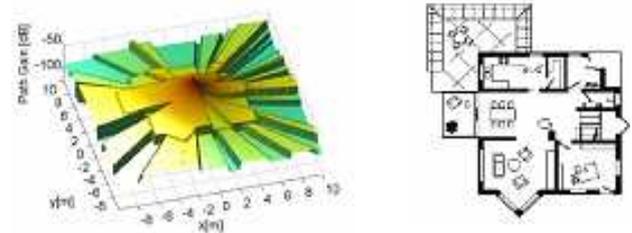


그림 2. Femtocell의 Pathloss 환경
Fig. 2. Femtocell Pathloss Environment

2. Cell 구조

Cell의 구조는 일반적인 Macrocell 내에 다수의 Femtocell이 퍼져있는 구조를 띄게 된다. Femtocell의 반경은 수 미터에서 십 수 미터의 작은 반경으로 실내를 커버할 수 있는 정도의 크기를 갖는다. 그림 3은 2 Tier Macrocell을 기반으로 한 Femtocell 모델을 보여주고 있다.^[3]

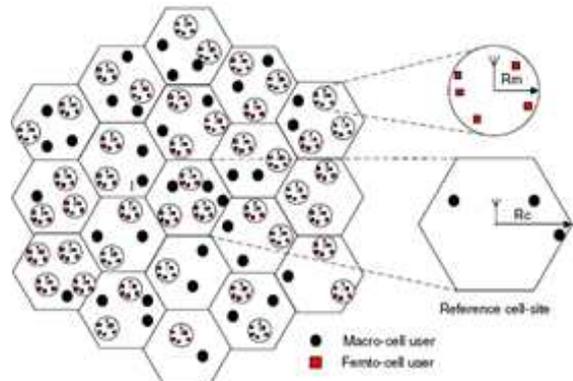


그림 3. Cell 구조
Fig. 3. Cell Structure

3. Interference

Femtocell의 Interference는 크게 세 가지로 나눠 생각할 수 있다. 첫 번째는 Macrocell이 Femtocell에 영향을 주는 간섭, 두 번째는 Femtocell간의 간섭, 마지막은 Femtocell이 Macrocell에 미치는 간섭이다. Femtocell의 CINR을 고려할 때는 앞의 두 가지 간섭을 고려한다.

$$CINR_F = \frac{P_F}{\sum I_F + \sum I_M + N} \quad (3)$$

P_F 는 Femtocell의 전송전력이며 I_F 는 주변 Femtocell의 간섭, I_M 은 Macrocell의 간섭이다.

III. Femtocell의 시스템 기술

Handover와 Power control에 관한 기술은 Femtocell 뿐 아니라 여러 가지 다른 통신에서도 중요한 기술 중에 하나이다. 여기에 Femtocell의 특징인 사용자의 설치가 용이하다는 점에 따라 SON(Self-Organization Networks) 기술 역시 중요한 시스템 기술로 부각되고 있다.

1. Handover

Femtocell의 Handover 시나리오에는 세 가지가 있다. Femtocell에서 Macrocell로의 HO, Macrocell에서 Femtocell로의 HO, 그리고 Femtocell 간의 HO이다.

그림 4,5,6은 각각의 HO 시나리오를 보여주고 있다. Femtocell에서 Macrocell로의 HO를 할 경우는 다음과 같다. 사용자가 Femtocell에 연결이 되어 있으나 RSSI (Received Signal Strength Indication)이 지정된 임계점 $RSSI_{worst}$ 이하로 떨어지게 되면 이웃한 Macrocell로 HO 요청을 하게 된다. 이후 MN(Mobile Node)의 정보를 교환한 후 HI, HACK 신호를 주고받은 뒤 Femtocell의 연결을 끊고 Macrocell에 접속하게 된다.

Macrocell에서 Femtocell로의 HO는 좀더 복잡한 과정을 거친다. 하나의 Macrocell 안에는 여러 개의 Femtocell이 존재하기에 그 중에 사용자가 원하는 Femtocell을 선택하여야 한다. 또한 Femtocell의 사용이 가능함을 확인하는 절차를 거쳐야 되므로 많은 Power를 소모하며 Macro cell로의 HO에 비해 복잡도가 크다.

Femtocell 간의 HO의 경우는 Macrocell에서 Femtocell로의 경우와 비슷하다.

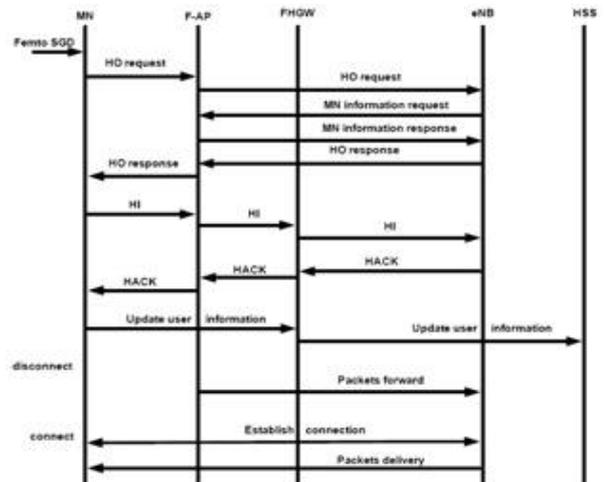


그림 4. Femtocell에서 Macrocell로의 HO 시나리오
Fig. 4. HO scenario from Femtocell to Macrocell

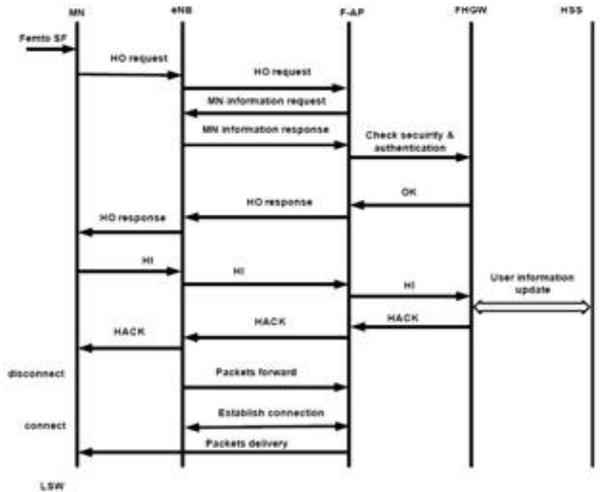


그림 5. Macrocell에서 Femtocell로의 HO 시나리오
Fig. 5. HO scenario from Macrocell to Femtocell

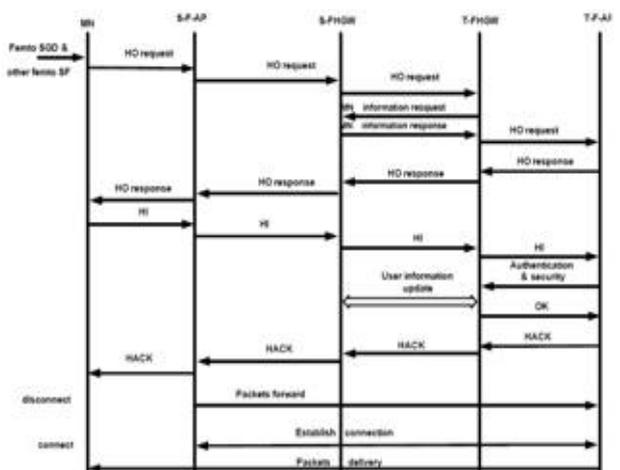


그림 6. Femtocell에서 Femtocell로의 HO 시나리오
Fig. 6. HO scenario from Femtocell to Femtocell

2. Power Control

Femtocell의 Power Control은 Macrocell 사용자와 인접한 다른 Femtocell 사용자에게 주는 간섭을 줄이기 위해 사용된다.

Femtocell의 SINR은 다음과 같다.

$$SINR = \frac{P}{\sum \frac{P_M}{L_M} + \sum \frac{P_F}{L_F} + N} \quad (4)$$

여기서 L는 Pathloss와 Fading등에 의한 감쇄부분이다. 이렇게 구한 SINR을 이용하여Shanon방정식에 의한 Throughput을 구하게 되면 아래와 같다.

$$R = \sum \log_2(1 + 0.5 * SINR) \text{ bps/Hz} \quad (5)$$

이를 반대로 계산하면 일정한 R 값을 이용하여 반대로 원하는 P_F값을 구할 수 있다. 이러한 P_F값이 시스템이 허용하는 일정한 범위 내에 있을 때 범위 안에서 P_F값에 맞춰 Femtocell의 Power를 조정하게 된다.

3. SON(Self-Organization Network)

Femtocell은 사용자가 직접 설치 가능하다는 특징이 있다. 따라서 사업자가 중앙에서 기지국의 간섭제어를 하는 일이 쉽지 않으며 이를 보완하기 위해 고려되는 기술이다.

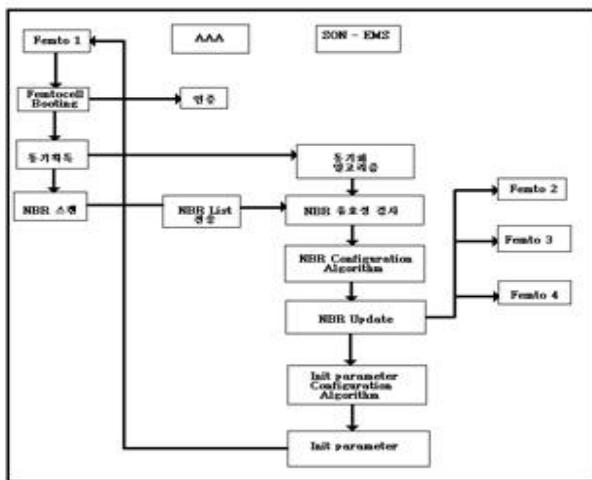


그림 7. SON 시나리오
Fig. 7. SON scenario

그림 7은 SON의 시나리오이다. Femtocell의 AP가 부팅을 하게 되면 중앙 서버에 인증을 하게 되고 동기화를 하며 주변 기지국에 대한 정보를 받아온다. 이후 주변 기

지국과 자기의 기지국 리스트에 자기 자신을 등록하게 되며 스스로의 상황에 맞는 최적화된 Configuration을 하게 된다. 반대로 Femtocell이 전원을 끄게 되면 자신을 기지국 리스트에서 제외하게 되며 이러한 정보를 바탕으로 주변 Femtocell들은 다시 Self Configuration을 하게 된다.

IV. 시스템 성능

Femtocell의 성능은 그림 8,9와 같다.^[1] 각 그림은 하나의 섹터에 10개의 Femtocell을 배치하고 시뮬레이션을 한 결과이다. 환경은 앞서 설명한 시스템 모델을 이용하였으나 Shadow Fading을 고려하지 않았다.

결과를 살펴보면 주변의 Macrocell의 성능과 비교해보면 매우 높은 전송속도를 보여주는 것을 알 수 있다. 그림 8에서 Macrocell에서의 Downlink 성능은 매우 완만한 곡선을 나타내며 평균 10Mbps 이하의 성능을 나타내는 반면 Femtocell에서는 상당히 높은 곡선을 그리며 뾰족한 모양으로 약 2~30Mbps의 성능을 보이고 있다. 약 3배의 성능을 보여주고 있다. 이는 셀 중앙의 Macrocell 부근의 매우 좋은 환경에서의 성능과 거의 비슷한 수준이다.

Uplink에서도 높은 성능을 보여준다. 그림 9를 보면 Uplink에서도 Macrocell은 약 15Mbps 이하의 성능을 보여주는 반면 Femtocell의 경우는 Femtocell 부분에서 급격하게 상승하며 3~40Mbps의 성능을 보여주고 있다. 역시 기지국과 근접한 지역에서의 성능과 비슷한 정도의 성능을 보여주고 있다.

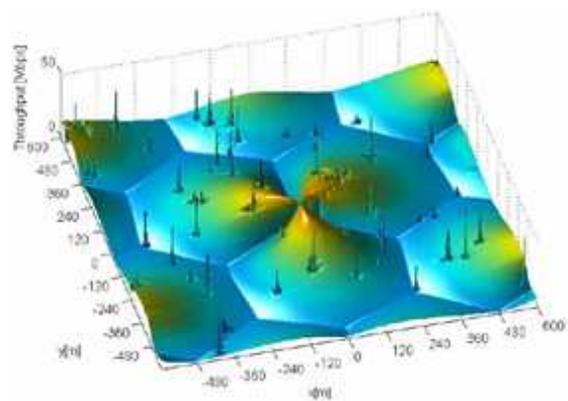


그림 8. 하향 링크 성능
Fig. 8. Downlink Throughput

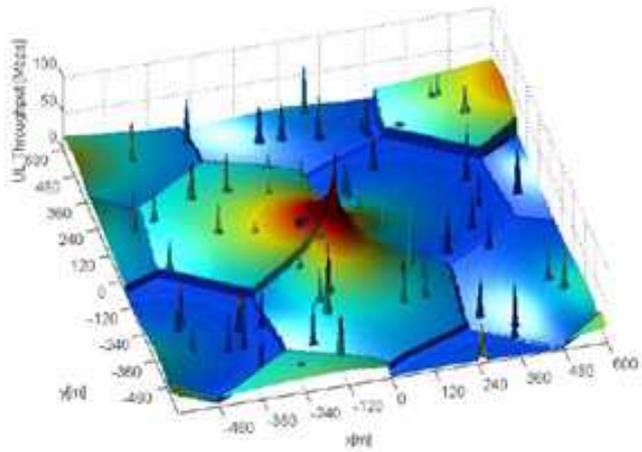


그림 9. 상향 링크 성능
Fig. 9. Uplink Throughput

참 고 문 헌

- [1] Holger Claussen, Lester T.W.Ho, and Louis G.Samuel "An Overview of the Femtocell Concept", Bell Labs Technical Journal 13(1), 2008
- [2] Vikram Chandrasekhar and Jeffrey G.Andrews, Alan Gatherer, "Femtocell Networks:A Survey", 2008
- [3] Vikram Chandrasekhar and Jeffrey G.Andrews, "UplinkCapacity and Interference Avoidance for Two-Tier Cellular Networks", 2007
- [4] FMC Forum, 대한전자공학회, 제3회 차세대 초소형 기지국 핵심기술 워크샵, 2009

V. 결 론

현재 Femtocell은 많은 기대를 받고 있는 차세대 기술 중 하나이다. 2010년이면 대부분의 표준화가 완료되며 2011년이면 본격적인 상용화가 시작될 것으로 예상된다.

그러나 아직 많은 문제점이 존재하고 있다. Femtocell을 널리 보급하고 상용화시키기 위해서는Femtocell 장비의 저가화가 실현되어야 한다. 많은 업체들은 100\$ 정도의 가격이어야 시장 경쟁력이 있다고 한다. 그러나 위에서 소개한 SON등의 시스템 구축을 위해 장비에 많은 비용이 들어가야 하며 이는 추후 해결할 과제로 남아 있다. 이러한 부정적인 시각에도 불구하고 Femtocell은 아직도 매력적인 장점들이 많이 있기에 앞으로 많은 연구가 이뤄지고 많은 보급이 이뤄질 전망이다.

저자 소개

정 재 환(준회원)



- 2008년 동국대학교 전자공학과 학사
 - 2009년 현재 동국대학교 전자공학과 석사 과정
- <주관심분야 : 4G 이동통신 시스템, Femtocell, LTE>

손 인 수(정회원)



- 1994년 Rensselaer Polytechnic Institute, Computer Engineering (학사)
 - 1996년 New Jersey Institute of Technology, Electrical Engineering (석사)
 - 1998년 Southern Methodist University, Electrical Engineering (박사)
 - 2009년 현재 동국대학교 전자공학과 교수.
- <주관심분야 : 4G 이동통신 시스템, 통신신호처리>