

FFR 기반의 Femtocell 네트워크를 위한 적응 주파수 자원 할당 방법

배원건*, 김정곤^o

Adaptive Frequency Resource Allocation For FFR Based Femtocell Network Environment

Won Geon Bae*, Jeong Gon Kim^o

요 약

4G 이동통신 핵심 기술 중 펌토셀 시스템 실제 구현 시에 매크로셀과 펌토셀이 동일 주파수를 사용하면 동일 채널 간섭이 발생되기 때문에 이를 해결하기 위해 주파수 자원을 서로 다르게 할당하는 간섭 회피 기술이 필요하다. 본 논문에서는 매크로셀과 펌토셀 간의 기존 자원 할당 방식을 분석하여, 문제점을 도출하고 이를 기반으로, 본 논문에서는 FFR (Fractional Frequency Reuse) 기반의 펌토셀이 분포된 환경에서 셀 용량을 증가시키고 주파수 효율을 최대화하기 위한 적응 주파수 자원 할당 방식에 대해 제안하였다. 모의 실험 수행 결과, 기존 방식과 비교하여 SINR (Signal to Interference Noise Ratio) 분포에서는 근소한 개선 효과를 보였고, 전체 셀 용량에서는 큰 개선 효과를 보여주었다. 본 논문의 현실적인 구현을 위해 펌토 및 매크로 유저 분포의 검출 방안 등에 대한 연구 및 전력 제어나 다중 신호 간섭 검출을 통해 간섭을 완화하는 방안과의 결합방식 등에 대한 연구가 향후 추가적으로 더 진행되어야 할 것으로 생각된다.

Key Words : Femtocell, FFR, 간섭 제어, 주파수 할당, 적응 자원 할당

ABSTRACT

According to distribute of resource of macro cell and reduce distance between transmitter and receiver, Femto cell system is promising to provide costeffective strategy for high data traffic and high spectral efficient services in future wireless cellular system environment. However, the co-channel operation with existing Macro networks occurs some severe interference between Macro and Femto cells. Hence, the interference cancellation or management schemes are imperative between Macro and Femto cells in order to avoid the decrease of total cell throughput. First, we briefly investigate the conventional resource allocation and interference cancellation scheme between Macro and Femto cells. So we found that cell throughput and frequency reuse were decreased. Then, we propose an adaptive resource allocation scheme based on the distribution of Femtocell traffic in order to increase the cell throughput and also maximize the spectral efficiency over the FFR (Fractional Frequency Reuse) based conventional resource allocation schemes. Simulation Results show that the proposed scheme attains a bit similar SINR (Signal to Interference Noise Ratio) distribution but achieves much higher total cell throughput performance distribution over the conventional resource allocation schemes for FFR and future IEEE 802.16m based Femtocell network environment

※본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT 융합 고급인력과정 지원사업의 연구 결과로 수행되었습니다.(NIPA-2012-H0401-12-1007)

◆ 주저자 : 한국산업기술대학교 전자공학과, zeroploe@gmail.com, 정회원

◦ 교신저자 : jgkim@kpu.ac.kr, 중신회원

논문번호 : KICS2012-01-021, 접수일자 : 2011년 1월 20일, 최종논문접수일자 : 2012년 6월 25일

I. 서 론

4G 이동통신 네트워크의 주요 목표는 실내 유저든 실외 유저든 언제 어디서나 높은 속도로 서비스할 수 있도록 하는 것이다. 그러나 실내 유저는 신호가 벽을 통과하면서 생기는 통과율 때문에 강한 신호를 제공받을 수 없어 낮은 속도로 서비스를 받아야하고, 높아지는 요구 트래픽을 한정된 자원으로 매크로 기지국이 수용하기에는 많은 어려움이 따른다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 기존의 매크로셀의 커버리지에 펠토셀 장치를 설치하는 것은 좋은 해결책이 될 수 있다^[1]. 게다가, 이런 작은 범위로 밀집하게 설치된 셀은 공간 재사용율을 높여 높은 용량을 제공할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 서비스 공급자의 허가대역을 공유하여 사용하는 매크로셀과 펠토셀의 혼용하는 네트워크 환경은 서로 간의 간섭이 많아져 전체 셀 용량과 서비스 품질을 저하시키기 때문에 매크로셀과 펠토셀이 혼용된 환경에서는 간섭을 제거하거나 완화시킬 필요가 있다^[2,3]. 또한, 이동통신 사업자에 의해 정교하게 배치되는 매크로셀과 달리 펠토셀의 위치와 개수는 예측 불가능하기 때문에 상호간의 간섭은 네트워크 계획에 따라 쉽게 제어할 수 없는 문제점도 존재한다^[3]. 그래서 본 논문에서는 매크로셀과 펠토셀이 공존하는 환경에서 자원 관리 방법을 통한 간섭 제어 방법과 주파수 활용을 극대화 할 수 있는 방식에 대해 살펴보았다.

펠토셀과 매크로셀이 혼용된 네트워크 환경에서 동일채널 간섭을 제어하기 위한 연구는 폭넓게 연구되어왔다^[4-8]. 기존의 펠토셀 동작 방식은 시스템의 전체 대역을 모두 사용하는 방식으로, 이러한 방식은 동일채널 주파수 할당 (co-channel Frequency Allocation: co-channel FA) 이라 한다^[4]. 그러나 이런 방법은 펠토셀의 가용 주파수대역을 증가시킬 수 있지만 매크로셀과 펠토셀 간의 간섭을 증가시켜서 시스템의 SINR 성능을 감소시킬 수 있는 단점이 존재한다. 이러한 단점을 해결하기 위해 직교적 주파수 할당 (Orthogonal Frequency Allocation: OFA) 이 사용되는데 이는 매크로셀과 펠토셀 간의 사용 주파수 대역을 독립적으로 할당하는 방식이다^[5]. 그러나 OFA 방식은 펠토셀의 가용주파수 대역을 감소시켜 시스템의 수율을 저하시킬 수 있다. 이러한 OFA 단점을 해결하기 위해서 개선된 방식이 FFR(Fractional Frequency Reuse) 을 이용한 방식으로 FFR 시스템은 IEEE 802.16m 과 3GPP

LTE-Advanced 에서 표준기술 중하나로 채택되어 실제 구현을 위해 노력하고 있는 분야 중 하나이다. 특히, 최근 4G 이동통신에서는 매크로셀에 대한 주파수 할당 시에 FFR 기법을 기반으로 하여 주파수를 할당하는 방식에 대해 많은 연구가 진행되고 있다^[9-11].

이런 FFR 기반의 주파수 할당 방식에서는, 펠토셀 설치 시에 FFR 을 기반으로 하는 매크로셀에서 사용하는 주파수 대역을 미리 알고 있다면, 펠토셀은 매크로셀이 사용하지 않는 주파수대역을 사용하여 펠토셀과 매크로셀 간의 간섭을 회피할 수 있고, 펠토셀에서는 주파수 자원을 최대한 활용할 수 있어 이에 따라 최적의 전송 용량을 얻을 수 있는 가능성이 존재한다고 할 수 있다. 이 중 동적인 FFR (Dynamic FFR, 이하 D-FFR) 방식은 FFR 을 기반으로 하는 매크로셀의 한 섹터에서 특별하게 사용하지 않는 주파수 자원이 있다면, 이는 펠토셀을 위해 사용될 수 있는 기회가 제공되기 때문에 사용하지 않는 이 주파수 자원을 펠토셀에 사용하도록 하는 것이다^[11]. 그러나 이러한 방식은 간섭 문제를 어느 정도 해결을 하였지만 co-channel FA 방식에 비해 여전히 주파수 자원 활용이 낮아 전체 셀 용량이 낮은 단점이 존재하였다.

이러한 제한점을 극복하기 위해 본 논문에서는 주파수 활용 효율을 높이기 위한 FFR 기반의 적응 주파수 자원할당방식에 대해 제안하였고 이를 분석하였다. 펠토셀 커버리지에 매크로 유저의 유무에 따라 주파수 자원할당 효율을 극대화하고, 펠토셀과 펠토셀 간의 간섭을 제거하기 위해 중첩되는 펠토셀의 수와 펠토셀의 유저의 수에 따라 적응적으로 주파수를 할당하여 간섭을 회피하는 동시에 주파수 사용 효율을 최대화할 수 있는 방법을 제안하였다. 모의 실험결과, 제안 방식은 D-FFR 방식에 비해 SINR 분포가 유사 하게 도출 되지만, 단위 주파수 당 전체 셀 용량은 크게 증가 되는 것을 알 수 있었고, 이는 하나의 매크로셀에 대비하여 펠토셀의 개수 및 상대 분포 비율이 높아짐에 따라 셀 용량 개선 효과가 더 증가함을 동시에 알 수 있었다.

II 장에서는 2가지 서로 다른 형태의 셀 (매크로셀, 펠토셀) 이 공존 하는 FFR 기반의 시스템 모델에 대해 설명 하고 이를 IEEE 802.16m 환경에 실제 적용 할 수 있는 방안에 대해 예를 들어 제시하였다. III 장에서는 동일 채널에서의 주파수 할당과 독립적인 주파수 할당, FFR 기반의 주파수 할당 방식에 대해 설명하였다. IV 장에서는 새로운 적응

적 주파수 자원 할당 방식에 대해 제안하고 분석하였다. V 장에서는 제안방식의 수율 성능에 대해 분석하고, 이를 기존의 방식과 비교하여 평가하였고, VI 장에서는 결론을 맺었다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 매크로셀과 펠토셀의 주파수 할당 방식이 FFR 형태로 구성되어 있는 환경을 가정하였다. FFR 시스템은 셀 경계에 있는 유저의 인접 셀 간 간섭인 inter-cell 간섭을 완화시키기 위한 방법으로 IEEE 802.16m 과 3GPP LTE-A 의 표준에서는 FFR 환경을 표준 규격의 일부로 채택하고 있으며, 이는 향후 4G 이동통신에서 실현 가능성이 매우 높은 시스템 중 하나로써 고려되고 있다고 판단할 수 있을 것이다. 이와 같은 펠토셀이 포함된 FFR 시스템의 주파수 할당 구성도는 그림 1 과 같이 표현할 수 있다.

전체 시스템 대역을 총 4개의 부대역으로 나누고, 셀 중심에서 사용하는 주파수 대역을 f_A , 각 섹터에서 사용하는 대역을 f_B ($f_{B_1}, f_{B_2}, f_{B_3}$) 로 할당하게 되면 그림에서 알 수 있듯이 인접 셀의 섹터마다 다른 주파수 대역을 사용함으로써 간섭을 완화할 수 있다. 이런 FFR 환경에서 펠토셀들이 설치된다면 매크로셀에서 사용하지 않는 대역을 펠토셀들에게 할당하여 매크로셀과 펠토셀 간의 간섭을 회피할 수 있다.

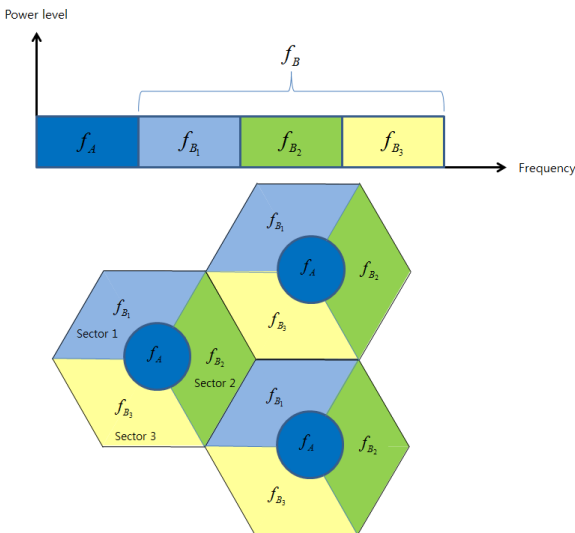


그림 1. FFR 기반의 매크로셀 주파수 할당 방식
Fig. 1. Frequency allocation scheme based FFR

위와 같은 주파수 할당 방식의 한 예로 IEEE 802.16m 에서는 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 전송방식을 사용한다^[2]. 이때, 매크로셀과 펠토셀에서는 PRU(Physical Resource Unit) 를 유저에게 나누어 할당해 주게 되어 있다. 이때의 PRU 는 18개의 subcarrier 와 6개의 심볼로 이루어져 있으며, 10MHz 의 시스템 대역을 갖는 OFDMA 시스템의 경우 사용할 수 있는 총 PRU 의 개수는 CP(Cyclic Prefix) 로 인해 48개의 PRU 를 사용할 수 있다. 따라서 모의 실험을 위해 기존 방식과 제안 방식에서는 총 48개의 PRU 를 각 유저에게 할당하였다.

전체 셀 시스템의 수율을 계산하기 위해 샤논의 채널용량식^[11]을 이용하여 구하였고, 이것은 식 (1) 에 나타내었다.

$$R = BW \times \log_2(1 + SINR) \quad (1)$$

여기서 R 은 시스템 수율을 나타내고, BW 는 각 유저에 할당된 PRU 의 대역폭을 나타낸다. 또, 수율을 계산하기위한 SINR 을 구하기 위해 각 유저마다의 SINR 을 아래의 식을 이용하여 유저마다의 SINR 을 구하였다.

$$SINR = \frac{P_i \times h_i}{\sum_{j=1}^M P_j \times h_j + n_0} \quad (i \neq j) \quad (2)$$

여기서 P_i 는 유저가 속한 매크로셀 또는 펠토셀로부터 받는 수신전력을 나타내고, h_i 는 매크로셀 또는 펠토셀로부터 MS 가 수신하는 채널이득을 나타낸다. P_j 는 같은 PRU 를 사용하는 매크로셀 또는 펠토셀로부터 받는 간섭전력을 나타내고, h_j 는 같은 PRU 를 사용하는 매크로셀 또는 펠토셀로부터 MS 가 수신하는 채널이득을 나타내고, n_0 는 각 유저 별 백색잡음을 나타낸다.

III. 기존 주파수 자원 할당 방식

매크로셀과 펠토셀이 공존하는 네트워크 환경에서 자원을 할당하는 방법으로는 전체 셀 용량을 증가시키기 위해 시스템 주파수 대역 전부를 매크로셀과 펠토셀에 할당하거나 서로 간의 간섭을 회피

하기 위해 서로 다른 주파수 대역을 할당하는 방식들이 존재한다.

3.1 동일채널 주파수 할당 방식(Co-channel FA)

Co-channel FA 방식은 시스템 전체에서 사용가능한 모든 주파수 대역을 매크로셀과 펠토셀에게 할당하는 방식으로써 그림 2 는 이와 같은 co-channel FA 방식의 주파수 할당 방법을 나타내고 있다^[4].

Co-channel FA 방식은 매크로셀과 펠토셀이 주파수 대역을 공유하며 할당하는 방식이기 때문에, 주파수의 활용적인 면을 봤을 때는 가장 이상적인 방식이라 할 수 있다. 하지만 매크로셀과 펠토셀 간의 동일 채널상에서 심각한 간섭문제를 야기 시킬 수 있기 때문에 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다.

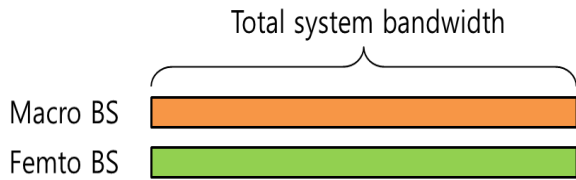


그림 2. 동일 채널 주파수 할당 방식
Fig. 2. Co-channel Frequency Allocation scheme

3.2 Dynamic Fractional Frequency Reuse (D-FFR)

Co-channel FA 방식의 간섭문제를 해결하기위한 방안으로 그림 3과 같이 시스템의 주파수 대역 중 펠토셀에게 할당된 주파수 대역을 제외한 대역을 매크로셀이 사용할 수 있도록 하는 방식인 OFA 방식^[5]이 있다. 그러나 주파수 재사용율이 매우 떨어져 시스템의 수율을 감소시키기 때문에 OFA 방식을 기반으로 주파수 재사용율을 높인 D-FFR 방식이 사용된다^[11].

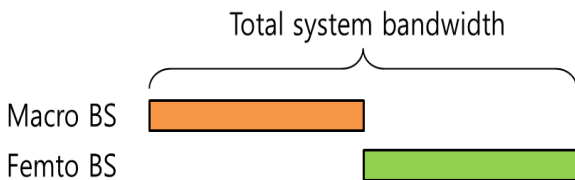


그림 3. 직교적 주파수 할당 방식
Fig. 3. Orthogonal Frequency Allocation scheme

D-FFR 방식은 매크로셀이 FFR 을 기반으로 하여 펠토셀에게 주파수 할당시 동적으로 할당하는 방식으로써 매크로셀과 펠토셀의 사용 주파수 대역을 공유하지 않고 직교적으로 할당하는 방식으로

OFA 방식과 유사한 방식을 채택하고 있다. 그러나 펠토셀에서 사용하는 주파수 대역을 고정적으로 사용하는 것이 아닌 FFR 에 따른 주파수 설정에 따라 동적으로 펠토셀에게 주파수를 할당하는 것이 OFA 방식과 다른 차이점이다. D-FFR의 주파수 할당 방법은 그림 4 에서 나타내고 있다^[11].

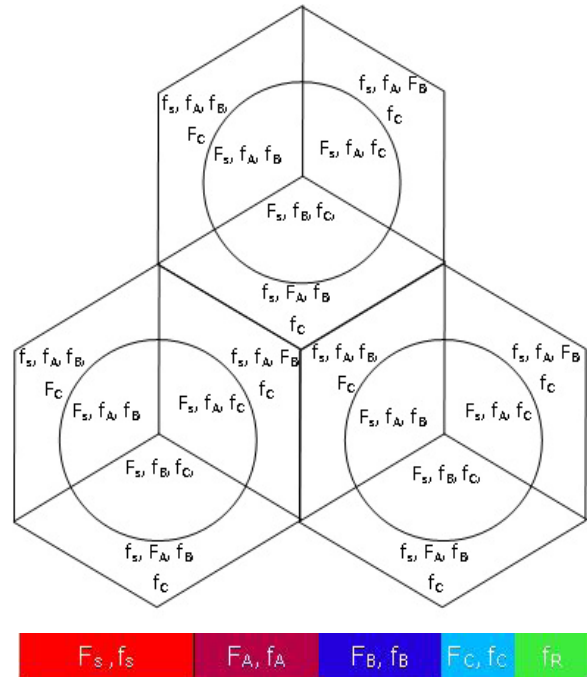


그림 4. FFR 기반의 매크로셀과 펠토셀의 주파수 할당 대안
Fig. 4. Spectrum distribution : FFR scheme for macro tier and alternate for femto tier

여기서 대문자 ‘F’ 는 매크로셀에서 사용하는 주파수 대역을 나타내고, 소문자 ‘f’ 는 펠토셀에서 사용하는 주파수 대역을 나타낸다. 예를 들면, FFR 을 기반으로하는 매크로셀의 한 섹터에게 F_A 대역이 할당되면, 매크로 MS 는 F_A 대역만을 사용할 수 있게 된다. 이때 같은 섹터에 있는 펠토셀은 F_A 대역을 제외한 f_s, f_B, f_C 대역집합을 사용할 수 있도록 하여 펠토 MS 들은 자신의 채널환경에 따라 f_s, f_B, f_C 중 하나를 선택하여 사용하게 된다. 이와 같은 방식으로 각 섹터와 셀 중심영역마다 매크로셀과 펠토셀마다 사용할 수 있는 대역집합을 갖도록 하는 방식이다. 이렇게 하면 한 섹터에서 매크로셀과 펠토셀 사이의 동일채널 간섭문제는 발생되지 않게 된다. 또, f_R 은 펠토 사용자에게만 한정된 예비 주파 대역으로써, 펠토 MS 가 펠토셀의 주파수 대역 집합에서 모두 채널환경

이 좋지 않아서 사용 불가능한 상태일 때, f_R 을 사용 하도록 하여 펠토 MS 의 최소 QoS를 보장하도록 할 수 있는 기능을 제공한다고 볼 수 있을 것이다.

IV. 적응 주파수 자원할당 방식

III 장 에서는 기존의 자원할당 방식으로 co-channel FA, OFA, 매크로셀에서 FFR 을 기반으로 하는 D-FFR 방식에 대해 살펴보았다. FFR 을 기반으로 하는 방식이 다른 방식들에 비해 시스템의 성능을 높이는데 더 좋은 방식임을 알게 되었다. 하지만, D-FFR 방식에서도 여전히 주파수의 낭비가 존재하였고, 또, 매크로셀과 펠토셀 간의 간섭 문제는 해결하였지만 펠토셀과 펠토셀 간의 방식에서는 여전히 간섭문제가 존재하고 있었다.

그림 4 에서 나타난 것과 같이 f_R 은 채널환경이 좋지 않은 경우에 사용하는 주파수 대역으로, 이는 주파수 낭비를 발생시키는 원인이 되고 있다. 왜냐하면 모든 펠토셀들의 사용 채널환경을 미리 양호하게 만들어 준다면, f_R 은 사용이 되지 않을 것이고, 이것은 곧 시스템의 주파수 효율 저하로 이어지기 때문이다. 또, f_R 주파수가 사용되는 환경은 펠토셀의 SINR 이 미리 정해둔 목표 SINR 보다 낮은 경우에 사용되는 것인데, 그러한 경우는 펠토셀과 펠토셀의 커버리지가 중첩되어 중첩된 지역에 있는 MS 가 자신이 속해 있지 않는 펠토셀로부터 간섭을 받는 경우이다. 그러나 분석 결과 다수의 펠토셀이 중첩된 경우는 전체 펠토셀의 10% 정도로 매우 낮은 것으로 판명되었고^[11], 중첩된 펠토셀의 수도 3개 이하로 이는 펠토셀에게 할당된 주파수 대역 집합만을 사용하여 충분히 펠토셀 간의 간섭을 최소화 할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한, D-FFR 방식에서는 펠토셀 범위에 매크로 MS 가 존재하지 않더라도 초기에 설정된 주파수 대역 집합만을 고정적으로 할당함으로써 전체 주파수 효율 측면에서 낭비되는 요소를 감지 할 수 있었다.

본 논문에서는 위에서 분석한 기존 방식의 단점을 해결하기 위해 다음과 같은 적응 주파수 자원 할당 방식을 제안하게 되었다. 매크로셀과 펠토셀 간의 간섭을 회피하기 위해 매크로셀은 FFR 환경을 기반으로하고, 펠토셀은 펠토 MS 가 아닌 매크로 MS 라 하더라도 매크로 MS 로 부터 오는 셀 탐색 신호를 수신할 수 있다^[13]. 그리고 매크로 MS

의 위치를 알고 있는 매크로 기지국과 펠토 기지국은 백홀을 통해 연결되어 있으므로 MS의 위치 정보 교환 및 협력통신을 통해 MS들의 위치 정보를 정확히 파악할 수 있다. 이 정보를 통해 펠토셀 범위 내에 매크로 MS 가 존재하지 않는다면 매크로셀과 펠토셀 간의 간섭이 없는 경우이므로 펠토셀은 시스템의 전체 주파수 대역을 사용할 수 있도록 주파수 자원을 할당하는 방식을 채택하여 사용한다. 한편, 펠토셀의 범위 내에 매크로 MS 가 존재한다면, 펠토셀은 식 (3) 을 만족하는 주파수 대역을 사용하도록 설정한다.

$$f_{femto} = F_{BW} - F_x \tag{3}$$

여기서 F_{BW} 는 시스템에서 사용할 수 있는 전체 주파수 대역이고, F_x 는 FFR 을 기반으로 하는 매크로셀에서 사용하는 주파수 대역이며, f_{femto} 는 펠토셀에서 사용가능한 주파수 대역이다.

또한, 펠토셀들이 서로 중첩 되어 있는 지역에서는 펠토 MS 가 자신 및 이웃 펠토셀들의 프리앰블 신호를 수신 할 수 있다. 이를 통해 펠토 MS 들의 수신 신호를 분석 하면, 이웃 펠토셀로부터 간섭이 있는 지에 대한 여부와 이를 통해 몇 개의 펠토셀들이 중첩되어 있는지에 대한 예측이 가능할 것이다^[13]. 이렇게 펠토셀들이 중첩되어 있는 환경에서는 전체 펠토셀 주파수 f_{femto} 대역을 중첩된 펠토셀의 수 N_{femto} 로 나누어 할당하도록 하여 펠토셀과 다른 펠토셀 간의 간섭을 최대한 회피할 수 있도록 설정한다. 또, 펠토셀과 다른 펠토셀 간의 사용 주파수 대역이 서로 형평성을 이룰 수 있도록 분할비를 다르게 결정할 수 있도록 설정한다. 분할비를 결정하는 요소는 먼저 중첩된 펠토셀에서 자기 영역에 있는 펠토 MS 수를 파악한 후에, 중첩된 펠토셀에 속한 각각 펠토 MS 숫자로 결정한다. 단, 본문에서는 대역폭 효율 향상 및 단위 주파수 당 셀 수율을 최대화하기 위해서 중첩 지역에서의 모든 펠토 MS 들이 항상 동일한 우선순위를 가지며 full traffic 을 요구하는 상황을 가정 하였다.

제안 방식의 전체적인 과정을 순서도로 표현하면 그림 5 와 같이 표현 할 수 있다.

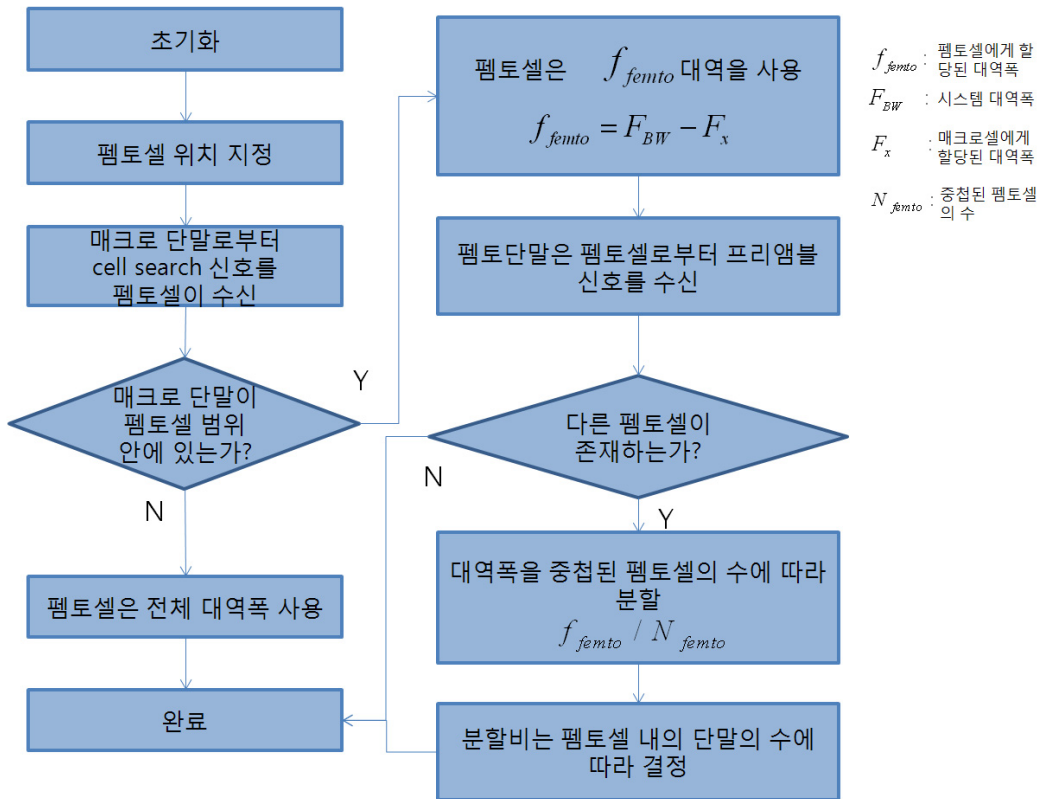


그림 5. 제안 방식의 순서도
Fig. 5. The flow chart of the proposed scheme

예를 들면, 그림 6 (a) 에서 나타난 것처럼 펄토 1 과 펄토 2 가 중첩되어 있고, 펄토 2 에 매크로 MS 가 존재하며, 펄토 2 에 유저가 2명 존재하고 펄토 1 에 유저가 1명 존재한다면, 중첩되는 펄토 셀의 수 N_{femto} 는 2가 되고, f_{femto} 는 2개의 주파수 대역으로 분할되어야 한다. 이때의 분할비는 그림 6의 (b) 에 나타난 것과 같이 펄토 2 와 펄토 1 에 각각 속해 있는 유저수에 따라 2 : 1 이 된다. 이때 각 펄토에게 할당되는 PRU는 총 48개의 PRU 중 매크로셀에서 사용하는 12개를 제외한 36개의 PRU 를 펄토셀1 에게는 12개를 할당하고 펄토셀2 에게는 24개를 할당하여 사용하도록 한다.

V. 모의 실험 및 결과 분석

III, IV 장에서 설명한 기존 방식인 co-channel FA, D-FFR 과 제안 방식에 대해 IEEE 802.16m 환경을 기반으로 모의 실험을 수행하고 성능평가를 통해 서로 비교 분석하였다.

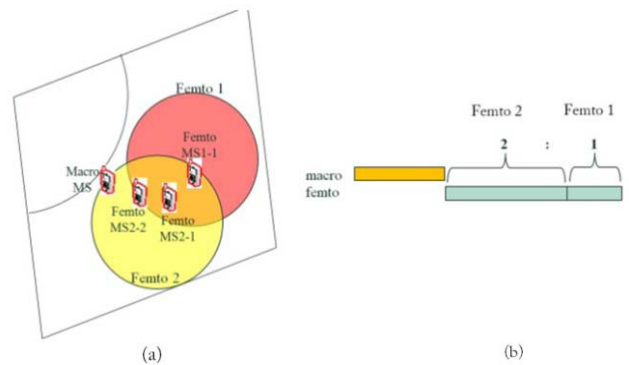


그림 6. 펄토셀사이의 주파수 할당 예
Fig. 6. Example of frequency allocation method among Femto BSs

본 논문에서는 FFR 을 기반으로 하는 하나의 매크로셀과 다수의 펄토셀이 분포된 시스템 모델을 적용하였다^[11]. 그림 7에서 보는 것과 같이 매크로 셀은 정육각형의 모양과 3개의 섹터를 갖도록 하였고, BS 의 위치는 셀의 정중앙에 위치하며 하였다. MS 들은 각 섹터별로 유니폼하게 분포하였고, 펄토 셀과 펄토 MS 의 수는 독립적으로 위치시켰다. 펄토 셀들은 매크로셀과 달리 원형의 모양을 갖도록

하고, 매크로셀의 범위 내에 랜덤하게 분포시켰으며 평균값을 도출하기 위해 시뮬레이션을 100회 실시하였다.

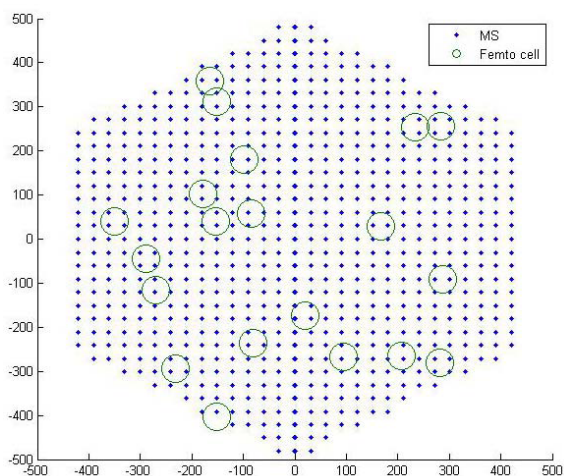


그림 7. MS 와 펠토셀들의 분포
Fig. 7. Distribution of MSs and Femto BSs

표 1 은 IEEE 802.16m EMD 문서^[12]에서 제시하는 펠토셀 성능 평가와 관련된 실험 시나리오 파라미터 환경으로, 본 논문에서는 모의 실험을 위한 파라미터로 이용하였다.

이는 IEEE 802.16m 시스템이 4G 이동통신 표준 시스템의 하나로써 고려되고 있으며, 향후 구축된 펠토셀 관련 시스템 환경 구현 측면에서 매우 유사하다고 판단했기 때문이다. 실내와 실내에서의 경로 손실 모델은 매크로셀과 펠토셀에 따른 실내의 환경을 고려하였으며, 실외 환경은 urban macro cell 모델을 적용하였고, 실내 환경은 indoor small office 모델을 적용하였다^[2]. 그리고 페이딩 효과는 시간 평균을 취하면 0 이 되어 변동이 없을 것으로 예상되어 여기서는 고려하지 않는 것으로 가정하고 진행하였다.

여기서 n_w 는 BS 와 MS 사이의 벽의 수를 나타내고, f_c 는 시스템의 반송 주파수를 나타내며 단위는 GHz 이고, d 는 BS 와 MS 사이의 거리를 나타내며 단위는 m 이다.

각 MS 별 수신 SINR 과 단위 주파수당 수율을 2 CFA(Co-Channel FA) 과 D-FFR 을 제안 방식인 적응 주파수 자원 할당 방식(A-FRAS : Adaptive Frequency Resource Allocation System) 과 비교하였고 그 모의 실험 결과를 그림 8 과 그림 9 에 나타내었다.

표 1. System Parameter
Table 1. 시스템 파라미터

Parameter	Value
Macro BS radius	500 m
Femto BS radius	10 m
Number of Femto	20 EA, 100 EA
Carrier frequency	2.5 GHz
Operating Bandwidth	10 MHz
Macro BS Tx Power	46 dBm
Femto BS Tx Power	0 dBm
Macro MS Noise Figure	5 dB
Femto MS Noise Figure	5 dB
Path Loss Model (Urban Macrocell)	$35.2 + 35\log_{10}(d) + 26\log_{10}(f_c/2)$
Path Loss Model (Indoor Small Office)	$46.4 + 20\log_{10}(d) + 5n_w + 20\log_{10}(f_c/5.0)$

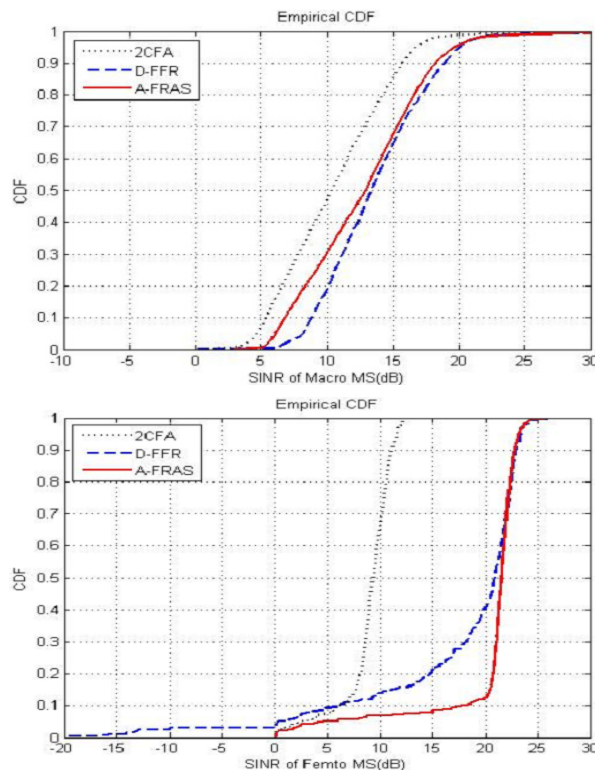


그림 8. 3 개의 알고리즘별 매크로 MS 와 펠토 MS 의 수신 SINR (펠토셀 = 20 개)
Fig. 8. SINR distribution of Macro MS, Femto MS for three different algorithm (# of Femto BS = 20 EA)

그림 8 에서 알 수 있듯이 co-channel FA 방식에서는 매크로셀과 펠토셀 간의 간섭이 많아 다른

방식들에 비해 SINR 성능이 낮음을 보여주었고, 매크로셀과 펠토셀 간의 간섭은 회피할 수 있도록 FFR 을 기반으로 한 제안 방식과 D-FFR 방식은 co-channel 방식보다 더 좋은 성능을 보여주었다.

특히, 매크로 MS의 SINR 그래프에서 보면 제안 방식이 D-FFR 방식보다 낮은 SINR 성능을 보여주고 있다. 그 이유는 A-FRAS 방식은 펠토셀 커버리지 안에 매크로 MS 가 존재하지 않을 경우 펠토셀은 시스템 전체대역을 사용하도록 하고 있다. 따라서 매크로 MS 와 펠토셀 간에 공유되는 주파수 자원이 많아졌고, 이런 상황에서 매크로 MS가 펠토셀 커버리지 근방에 존재하게 되면, 거리적으로 멀리 떨어져 있다 하더라도 같은 대역을 사용하는 펠토셀로부터 간섭을 받을 경우가 더 많이 발생하게 된다. 그 이유로 인해, 주파수 자원을 미리 분리해서 사용하는 D-FFR 방식에 비해 매크로 MS 측면에서는 동일 주파수 대역에서의 간섭이 더 많이 발생하게 되어 매크로 MS 에 대한 SINR 성능이 감소하게 되었다. 그러나, 이는 주파수 자원 효율을 높여 전체 셀 수율을 향상시키기 위해서는 필연적으로 발생하는 현상으로 생각 될 수 있다. 하지만 펠토셀의 개수가 증가 하게 되면 이러한 매크로 MS 의 SINR 성능 차이가 감소할 것으로 예상되며, 이는 이후 펠토셀 개수를 늘려 실험한 결과에서 이를 확인할 수 있을 것이다.

또한, 다수의 펠토셀이 운영 되는 실제 환경에서는 펠토 MS 의 성능 개선이 매크로 MS 의 성능 개선에 비해 점점 중요도가 증가할 것이고, 전체적인 주파수 효율 및 전체 셀 수율 증대 측면에서 본다면 이러한 성능 감소가 큰 영향을 미치지 않을 것으로 예상 된다.

만약, 이러한 SINR 감소가 큰 영향을 주게 된다면 매크로셀과 펠토셀의 간섭 신호에 대한 정보를 기지국 간의 협력 통신 등을 사용해서 미리 전송받아 펠토셀로부터 오는 간섭 신호를 제거하는 방법 등을 활용 할 수 있을 것이다. 그렇게 되면 매크로 MS 에 대한 SINR 성능 또한 소수 펠토셀 환경에서도 크게 개선될 수 있음을 예상할 수 있을 것이다.

한편, 펠토 MS의 SINR 성능에서는 50% 이상의 펠토 MS 들이 D-FFR과 제안방식이 유사한 성능을 보여주었고, 50% 이하의 펠토 유저들은 다수의 중첩되는 펠토셀 간의 간섭을 영향 받는 유저로서 제안방식이 자원 할당을 통해 간섭 회피를 하여 D-FFR 보다 좋은 SINR 값을 가질 수 있었다.

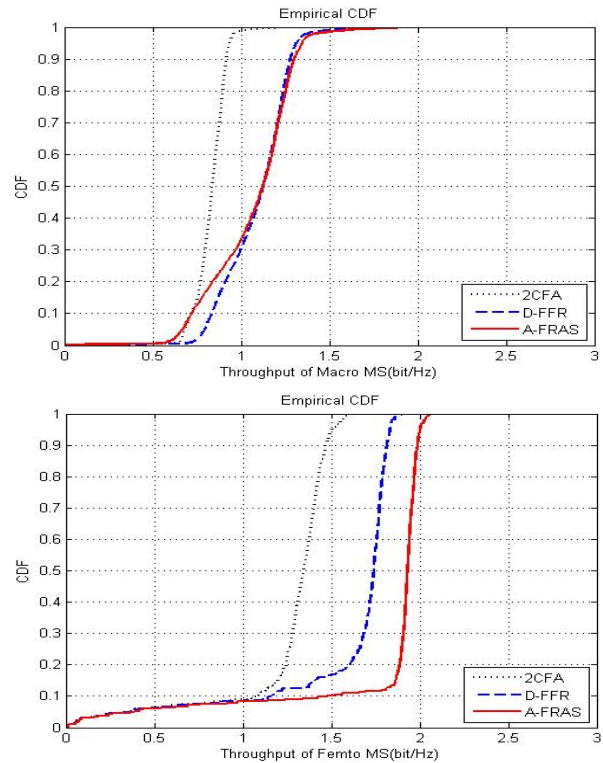


그림 9. 3 개의 알고리즘별 매크로 MS 와 펠토 MS 의 셀 수율 (펠토셀 = 20개)
 Fig. 9. Cell throughput of Macro MS & Femto MS for three different algorithm (# of Femto BS = 20 EA)

그림 9 에서도 마찬가지로 FFR 기반으로 한 2가지 방식이 매크로 MS 에게 비슷한 대역폭을 할당함으로써 FFR 기반으로 한 2가지 방식이 비슷한 수율을 갖는 것을 알 수 있었다. 그러나 펠토 MS 의 수율값은 많은 차이를 보여주고 있다. 그 이유는 D-FFR 방식에서는 주파수 가용 대역이 고정인 것에 반해, 제안 방식은 매크로 MS 의 존재 유무에 따라 사용 가능한 주파수 대역을 동적으로 변화시켰고, D-FFR 방식에서처럼 f_R 대역을 따로 두지 않고, 시스템의 가용 주파수 대역을 확장시켰기 때문이라 할 수 있다. 즉, 이런 이유로 인해 D-FFR 에 비해 제안 방식이 펠토셀에서 사용할 수 있는 주파수 대역 및 사용 효율 측면에서 더 최적화 되었으므로, 전체적인 단위 주파수당 셀 수율을 증가시켰다고 생각할 수 있다.

유저 분포에 따른 변화를 알아보기 위해 기존 환경에서 각 펠토셀 내의 펠토 MS의 수를 2배 증가시켜 보았고, 그 결과는 그림 10 과 그림 11 에 나타내었다.

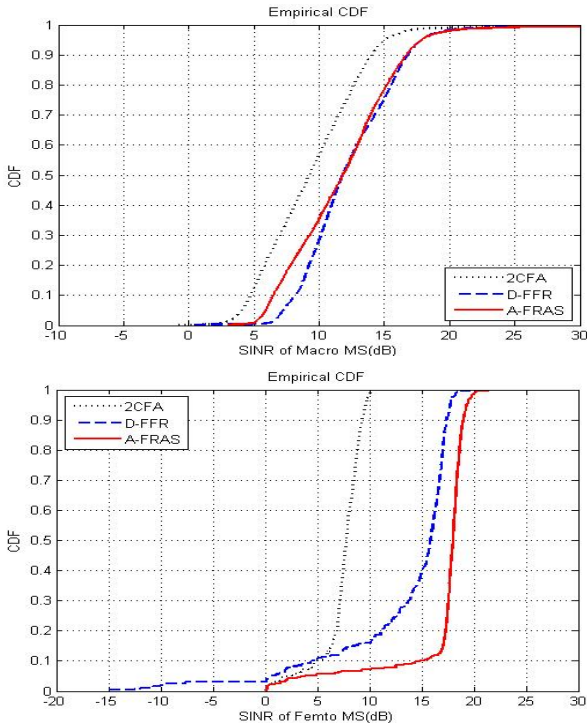


그림 10. 펠토 MS의 수를 증가시킨 3 개의 알고리즘별 매크로 MS 와 펠토 MS 의 수신 SINR (펠토셀 = 20 개)
 Fig. 10. SINR distribution of Macro MS, Femto MS for three different algorithm in increased Femto MS (# of Femto BS = 20 EA)

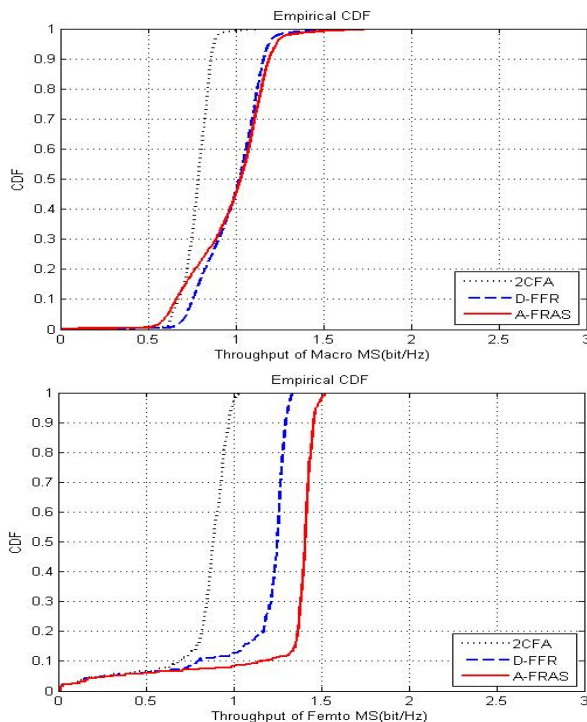


그림 11. 펠토 MS의 수를 증가시킨 3 개의 알고리즘별 매크로 MS 와 펠토 MS 의 셀 수율 (펠토셀= 20)
 Fig. 11. Cell throughput of Macro MS & Femto MS for three different algorithm in increased Femto MS (# of Femto BS = 20 EA)

펠토 MS의 수를 2배 증가시킨 결과 전체적인 성능의 열화가 발생했다. 그 이유는 펠토 유저가 증가함에 따라 각 펠토셀에서 사용되는 PRU의 값이 증가하면서 매크로와 펠토셀 간의 간섭 영향이 전체적으로 증가를 하면서 SINR 성능이 감소하였고, 수율 또한 제한적인 자원을 유저에게 할당하기 위해 분할하여 사용하다보니 유저당 사용대역폭이 감소하여 수율이 감소하게 되었다.

이번에는 펠토셀 간의 간섭 영향을 좀 더 알아보기 위해 펠토셀의 수를 20에서 100개로 증가시켜 보았고, 그 결과는 그림 12 와 그림 13 에 나타내었다.

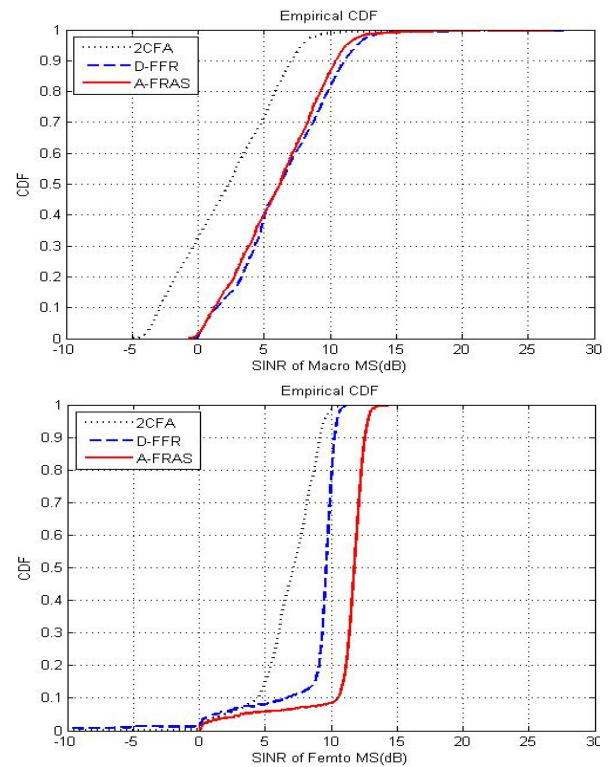


그림 12. 3 개의 알고리즘별 매크로 MS 와 펠토 MS 의 수신 SINR (펠토셀 = 100 개)
 Fig. 12. SINR distribution of Macro MS, Femto MS for three different algorithm (# of Femto BS = 100 EA)

펠토셀의 수가 20개에서 100개로 증가하면서 SINR 의 성능이 전체적으로 그림 8과 펠토유저를 증가시킨 그림 10 에 비해 낮은 것을 볼 수 있었다. 그 이유는 앞서 설명한 바와 같이 펠토셀 간의 간섭 영향이 상대적으로 매우 커졌기 때문이라고 할 수 있을 것이다. 특히, 그림 8 에서의 펠토셀이 20 개일 경우의 매크로 MS 의 SINR 성능이 D-FFR 방식과 A-FRAS 방식의 SINR 성능이 거의 유사하

게 나타나는데, 이는 앞의 결과와 달리 매크로 MS와 동일 주파수 대역을 사용하는 펠토셀의 수가 증가함으로 인해 간섭 영향이 비슷하게 발생했기 때문이다. 또, 펠토 MS의 SINR 성능은 앞에서 본 것과 달리 전체적으로 D-FFR보다 높은 분포를 보인다. 그 이유는 D-FFR 방식과 달리 매크로셀의 한 섹터에서 펠토셀 간의 간섭을 고려해 펠토셀마다 다른 주파수 자원을 할당하였기 때문이다. 그 결과 간섭이 심하게 발생하는 중첩지역에 해당하는 섹터에서는 펠토셀 간의 간섭을 최소화할 수 있었다.

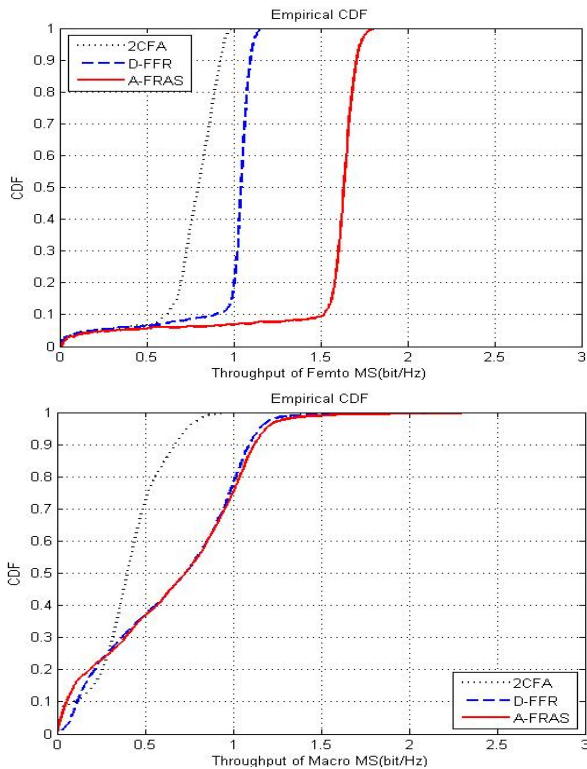


그림 13. 3 개의 알고리즘별 매크로 MS 와 펠토 MS 의 셀 수율 (펠토셀 = 100개)
 Fig. 13. Cell throughput of Macro MS & Femto MS for three different algorithm (# of Femto BS = 100 EA)

그림 13에서는 각 방식들의 셀 수율 성능을 보여 주고 있다. 앞의 그림 9와 비교하면 전체적으로 SINR 분포 성능이 감소하였기 때문에 역시 셀 수율 전체적으로 감소하는 것을 알 수 있었다. 또, 매크로 MS의 수율 성능은 앞에서와 마찬가지로 FFR을 이용한 방식은 유사한 결과를 보여주었다. 그러나 펠토 MS의 수율 성능은 앞에서와 달리 D-FFR과 많은 차이를 보여주고 있다. 기존 방식들의 경우에는 대부분 1.2 bit/Hz 이하의 수율을 보이는 반면에 제안 방식에서는 90% 정도가 1.5

bits/Hz 이상의 수율 성능을 보여 주는 것을 볼 수 있었다. 이를 통해, 펠토셀 증가를 통해서 기존 매크로셀 간섭 외에 펠토셀 간의 간섭 효과까지 더 커지는 상황에서는 본 논문에서 제안 하는 적응 주파수 자원 할당을 통한 간섭 신호의 제어 및 회피 효과가 더 크게 나타나게 됨으로써 전체 시스템 셀 수율을 최대화 할 수 있음을 알 수 있었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 FFR을 기반으로 하는 매크로셀 환경에서 매크로셀과 펠토셀 간의 간섭을 제거할 수 있는 자원할당 방식에 대해 살펴보고 각각의 방식에 대한 장단점에 대해 분석 및 모의실험을 수행하였다. 먼저, 기존 주파수 자원 할당 방식에 대해 살펴 보았고, III장에서 설명한 기존 방식의 단점을 극복하고, 주파수 사용 효율을 증가시키기 위해 사용 빈도수가 낮은 주파수 대역을 삭제시키고 이로 인해 발생하는 중첩된 펠토셀들 간의 간섭 제거를 위해서 펠토셀 대역을 분할하고 사용자의 유저수에 따라 분할비를 달리하는 방식에 대해 제안하였다. 모의실험 결과에서 소수의 펠토셀이 존재하는 경우에는 SINR 분포가 유사하지만, 단위 주파수당 전체 셀 수율은 증가됨을 알 수 있었고, 다수의 펠토셀이 존재하는 경우에는 펠토셀 간의 간섭제거 효과가 증대되어 수신 SINR 성능을 개선시키고, 단위 주파수 당 전체 셀 수율 또한 크게 증가 되었음을 알 수 있었다.

향후, 4세대 이동통신이 본격적으로 상용화가 되면, 한정된 주파수 자원 환경에서 늘어나는 트래픽의 요구량을 수용하기 위해서는 펠토셀이나 소형 셀들의 도입은 반드시 필요할 것으로 예상되며, 이때 발생하는 이기종 네트워크간의 간섭문제를 해결할 수 있는 방안으로 본 논문에서 제안한 적응 주파수 자원 할당 방식이 실제 적용되어 활용 가능할 것으로 판단된다.

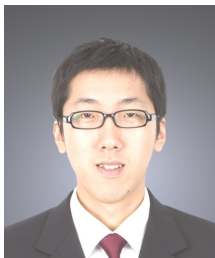
제안 방식을 구현하기 위해 full 트래픽 요구 상황으로 가정하였지만 이는 실제 적용되기에는 다소 힘든 가정이다. 그러므로 실제적인 적용을 위해서는 단말간의 트래픽 요구 상황에 맞게 형평성을 고려해야한다. 따라서 모든 펠토 MS들의 SINR 정보 및 전송 우선순위에 따른 Fairness Index를 설정한 후의 성능 평가 및 분석이 필요할 것이다. 또한 펠토 유저 및 매크로 유저 분포의 정확한 검출 방안 등에 대한 연구가 향후 추가적으로 필요할 것으로

판단된다. 또한, 본 논문의 제안방식은 펌토셀 내에 매크로 유저가 없는 경우 동일 주파수를 사용하도록 하여 대역폭 사용율을 증가시켰지만 기지국과 펌토셀이 가까이 있는 경우에는 동일 채널을 사용할 경우 간섭이 심하게 작용될 것이다. 그러므로 동일 주파수 대역을 사용하지 않거나 다른 형태의 접근 방법으로 펌토셀의 송신 전력을 적절히 제어하여 매크로셀로의 간섭 발생 요인을 감소시키는 방안이 필요하다. 다른 방법으로는 이기종의 기지국끼리 서로 채널 정보 및 수신 신호를 교환하는 협력 통신을 이용하는 방법이다. 이 방법은 인접 기지국으로부터 받는 간섭 신호에 대한 정보를 수신하고 이를 활용 하여 간섭 신호를 포함 하여 다중 검출을 수행하여 간섭 신호를 효과적으로 제거 할 수 있게 하는 다중 검출 기술을 활용 하는 방법이라고 할 수 있다. 대표적으로, 협력 통신을 통해 정보 교환을 수행한 이후, MMSE (Minimum Mean Square Error) 나 SIC (Successive Interference Cancellation) 등과 같은 다중 검출 기법들과 결합 하여 적용 할 수 있는 방법이다. 이렇듯 본 논문에서 제시된 주파수 자원 할당 기법 이외에도 좀 더 효과적인 간섭 제거를 위해 앞서 말한 전력제어나 협력통신을 이용한 간섭 제어방식 또한 향후 펌토셀 관련 연구 주제 중의 하나로서 이와 관련된 지속적인 후속 연구가 추가적으로 필요할 것으로 생각될 수 있을 것이다.

References

- [1] 임성묵, 권태훈, 박성수, 홍대식, “펌토셀에서의 간섭 완화 및 회피 기법”, *한국통신학회지* vol 25, no 12, p41-48, 2008
- [2] Andrews, M., Capdevielle, V., Feki, A., Gupta, P., “Autonomous Spectrum Sharing for Mixed LTE Femto and Macro Cells Deployments”, *INFOCOM IEEE Conference on Computer Communications Workshops* 2010, pp. 1-5, 2010
- [3] 박상규, 박세웅, “자가구성 펌토셀의 동적 셀간 간섭 회피 기법”, *한국통신학회논문지*, vol 36, no3, p259-266, 2011
- [4] H. Claussen, “Performance of macro- and cochannel femtocells in a hierarchical cell structure,” *IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2007)*, pp. 1 - 5, Athens, Greece, September 2007.
- [5] K. Cho, W. Lee, D. Yoon, K. Hyun, and Yun-Sung Choi, “Resource allocation for orthogonal and co-channel femtocells in a hierarchical cell structure,” *13th IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE2009)*, pp. 655-656, 25-28 May 2009.
- [6] L. T. W. Ho and H. Claussen, “Effects of userdeployed, cochannel femtocells on the call drop probability in a residential scenario,” *IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2007)*, pp. 1 - 5, Athens, Greece, September 2007.
- [7] I. Guvenc, M. R. Jeong, F. Watanabe, and H. Inamura, “A hybrid frequency assignment for femtocells and coverage area analysis for cochannel operation,” *IEEE Communications Letters*, pp. 880 - 882, December 2008.
- [8] D. López-Pérez, G. De La Roche, A. Valcarce, A. Juttner and J. Zhang, “Interference avoidance and dynamic frequency planning for WiMAX femtocells networks,” *Communication Systems, 2008(ICCS 2008)*, *11th IEEE Singapore International Conference*, pp. 1579 - 1584, 19-21 November 2008.
- [9] Tara Ali-Yahiya and Hakima Chaouchi “Fractional Frequency Reuse for Hierarchical ResourceAllocation in Mobile WiMAX Networks”, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2010.
- [10] Thomas Novlan et al, “Comparison of Fractional Frequency Reuse Approaches in the OFDMA Cellular Downlink”, *IEEE GLOBECOM 2010*, vol., no., pp.1-5, 6-10 Dec. 2010.
- [11] Tariq, F, Dooley, L.S, Poulton, A.S, Yusheng Ji, “Dynamic fractional frequency reuse based hybrid resource management for femtocell networks”, *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 2011 7th International, pp.272-277, 2011
- [12] IEEE 802.16m Standardization Group, “802.16m Evaluation Methodology Document”, v. 1.0, Jan. 2009.
- [13] IEEE 802.16m Standardization Group, “802.16m System Description Document”, Dec. 2010.

배 원 건 (Won Geon Bae)



2009년 2월 한국산업기술대학교 전자공학과 졸업
2009년 2월 한국산업기술대학교 지식기반 에너지 대학원 석사 졸업
<관심분야> 이동통신, 펌토셀, 간섭 제어

김 정 곤 (Jeong Gon Kim)



1991년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업
1993년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1998년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
1998년 6월~1999년 5월 미국

University of Hawaii 전자공학과 Post-Doc.

1999년 6월~2001년 4월 LG Telecom 차세대 통신 연구소 선임연구원

2001년 5월~2003년 2월 삼성전자 통신 연구소 표준 연구팀 책임연구원

2003년 3월~현재 한국산업기술대학교 전자공학과 부교수

<관심분야> 4G 이동통신, MIMO, 셀룰러 시스템, 협력통신, WBAN 구현 및 응용기술