

OFDMA 펌토셀 환경에서 전력 제어를 이용한 동적 하향링크 자원관리 방법

정희원 이 상 태*, 안 천 수*, 신 지 태**

Dynamic Downlink Resource Management of Femtocells Using Power Control in OFDMA Networks

Sangtae Lee*, Chunsoo Ahn*, Jitae Shin** *Regular Members*

요 약

최근에 실내 커버리지 확장 및 광대역 데이터 서비스를 위한 가정용 기지국인 펌토셀에 대한 연구가 활발하다. 펌토셀이 배치될 때, 기존에 있던 네트워크 상황 속에서 다양한 기술적인 문제들을 발생 시킬 수 있다. 본 논문에서는 OFDMA 시스템에서 펌토 - 매크로셀 간의 간섭 완화에 대하여 연구하였고, 동적인 하향링크 자원 관리 방법을 제안하였다. 펌토셀의 전송 파워를 매크로셀로부터 오는 신호의 세기에 기반을 두어서 선택하는 방법과 펌토셀 에게 할당할 부반송파를 동적으로 관리하는 방식을 제안하였다. 이러한 방법으로 펌토셀과 매크로셀 사용자와의 간섭을 줄일 수 있다. 제안하는 방법은 수용율을 비롯한 여러 평가 지표로 성능을 검증하였다.

Key Words : Femtocell, Interference Management, OFDMA, Power Control, 펌토셀, 간섭관리, 직교 주파수 다중 분할방식, 전력제어

ABSTRACT

Femtocells as home base station for indoor coverage extension and wideband data service, have been studied with significant interests. When femtocell is deployed, the existing cell structural of changes causes various technical problems. In this paper, we investigate the femto-macro cell interference mitigation in OFDMA system. We propose dynamic downlink resource management scheme which adjust the transmitted power of femtocell according to the strength of received macrocell signal and allocates subcarrier to femtocells in a dynamic manner. In this way, the interference between the macrocell users and femtocells is reduced. The simulation results show that proposed scheme enhances both macrocell and femtocell throughputs.

I. 서 론

최근에, 펌토셀은 실내 영역 확장과 무선 셀룰러 시스템에서 효율이 높은 대역폭 서비스를 위해 제안되었다. 그러나 펌토셀이 매크로셀과 같은 스펙트럼을 사용함으로써 인해서 발생할 간섭이 심하게 발생할 수

있기 때문에 이 문제는 사전에 해결되어야 한다. 매크로셀 사용자가 일반적으로 펌토셀 사용자 보다 높은 우선순위를 갖고 있기 때문에, 기존 매크로셀 사용자는 새롭게 배치되는 펌토셀과의 제한된 동일 채널 간섭 (Co-Channel Interference (CCI)) 을 용납할 수 있다. 이러한 상황에서 새로운 펌토셀의 설치가 기존 매

* 성균관대학교 정보통신대학 전자전기공학부 ({banyagox, navy12, jtshin}@skku.edu), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2012-01-022, 접수일자 : 2012년 1월 20일, 최종논문접수일자 : 2012년 5월 1일

크로셀 사용자에게 미치는 간섭은 최소화 되어야 한다.

부분 주파수 재사용 (Fractional Frequency Reuse (FFR))은 매크로셀 시스템에서, 특히 셀 가장자리 사용자를 위해 셀 간 간섭을 줄이기 위한 주요 해결 방법들 중 하나이다^[12]. 그러나 매크로셀과 펠토셀이 공존하는 시스템에서 부분 주파수 재사용 기법을 사용하는 것은 간단하지 않다. 따라서, 본 논문은 매크로셀 사용자의 우선순위를 고려하면서 매크로셀과 펠토셀 사이의 간섭을 최소화하는 자원할당 기법에 초점을 두었다. 간섭 관리에 관해서는 정적인 주파수 할당 방법 뿐만 아니라 동적인 주파수 할당 방법들도 연구되어왔지만 이 방법은 셀 간의 관리로 인하여 복잡도가 많이 증가하게 되는 점이 있다. [3]은 직교 주파수 분할 다중 접속 (Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)) 네트워크에서 셀 간 간섭을 줄이기 위해 높은 복잡도의 동적 간섭 회피 기법이 제안되었다. 간섭 회피 요청 (Interference Avoidance Request (IAR))을 기반으로 하는 동적 부분 주파수 재사용 방식이 다운링크 OFDMA 셀룰러 네트워크의 셀 간 간섭을 억제하기 위해 제안되었다^[4]. 기본적인 아이디어는 기지국이 서로 IAR 메시지를 교환하고, 수신한 IAR 메시지에 따라 송신 전력을 동적으로 설정하는 것이다. 그러나 이러한 연구는 펠토셀의 환경을 고려하지 않았다. 따라서 매크로셀 사용자와 펠토셀 사이의 간섭은 이러한 방법을 이용해서 관리될 수 없다.

와이맥스 (WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access) 펠토셀 네트워크를 위한 동적 주파수 할당 방법 (DFP: Dynamic Frequency Planning) 알고리즘은 간섭 회피에 대한 또 다른 접근 방법이다^[5]. OFDMA 네트워크를 다수의 섹터로 나눈 후, 같은 주파수 대역을 사용하는 섹터들이 있을 때 섹터들 사이에서의 간섭량을 계산한다. 전체적인 네트워크 간섭을 최소화시키기 위해서 높은 복잡도의 최적화 기법이 사용된다. 게다가, 주파수 할당에 대한 몇 가지의 heuristic 알고리즘을 연구 하였다^[6]. 최소 간섭 전력 알고리즘^[6]은 간섭 레벨을 최소화 시키는 주파수 세그먼트를 선택한다. 그러나 펠토셀은 실용적인 방식이 아닌 직사각형 매트릭스의 형태로 분포되어 있다. 또한, 매크로셀과 펠토셀 사이의 간섭은 평가되지 않았다. LTE (Long-Term Evolution) 시스템에서 사용되는 대표적인 간섭회피 방법을 보면 스펙트럼의 일부만 펠토셀과 공용으로 사용하고 다른 부분은 매크로셀에서만 전용으로 사용하는 형태^[7]가 있

고, 주위 매크로셀 사용자(UE)를 보호하기 위해 펠토셀의 전송 전력을 조절하는 방법^[8], Cognitive Radio 기능을 가진 펠토셀이 근처의 매크로셀 UE가 사용하는 RB (resource block) 를 피하는 방법^[9], 주위 간섭 상황을 고려하여 FFR을 적응적으로 적용하여 펠토셀 간의 간섭을 줄이는 방법^[10] 등을 들 수 있다. 펠토셀 간섭관리의 광범위한 최근의 요약은 [11]에 잘 정리되어 있다.

OFDMA 네트워크에 펠토셀을 도입 시 고려해야 할 또 다른 사항 중 상향링크 (uplink (UL))과 하향링크 (downlink (DL))를 간섭관리에 동시에 고려해야 하는 점이 있다. 일반적인 경우는 UL과 DL에 서로 다른 RBs (즉 시간/주파수 자원단위들) 할당하기 때문에 이론적으로는 각각의 링크 별로 간섭관리를 따로 하면 된다. 그러나 사용자가 임의로 설치하는 펠토셀들과 관련된 매크로셀 간에 시간동기가 맞지 않게 되면 DL/UL 전송이 서로 오버랩이 되어 간섭을 발생할 수도 있다. 이 경우는 좀 더 신뢰할 수 있는 시간동기를 제공하는 펠토셀^[12] (예, Global Positioning System(GPS) 수신기채용, IEEE-1588 동기프로토콜 등)을 사용하는 방안을 강구해야 해야 하지만 이는 설치 구현 이슈로 따로 취급할 수 있다. 펠토셀 도입에 따른 UL 간섭문제는 세 가지 간섭들, 즉 매크로셀 사용자가 펠토셀에게, 펠토셀 사용자가 매크로셀에게, 펠토셀들 간의 간섭으로 나눌 수 있다. 이에 대한 방법들이 [13]에 잘 다루고 있다. 본 논문은 DL 간섭관리에 국한하여 다루며, 이에 대한 간섭종류는 펠토셀이 매크로셀 사용자에게, 매크로셀이 펠토셀 사용자에게 주는 것으로 나눌 수 있다.

본 논문은 펠토셀에 관한 전력 제어 대한 내용도 다룬다. 펠토셀의 전송 신호는 이웃하고 있는 매크로셀 사용자와 펠토셀 사용자의 Signal to Interference and Noise Ratio (SINR)를 저하시킬 수 있다. 그것은 또한 시스템 용량을 저하시킬 수 있다. 특히 펠토셀 근처의 매크로셀 사용자는 자신이 서비스 받고 있는 매크로셀로부터 거리가 멀어질수록 펠토셀에게 많은 간섭 영향을 받는다. 따라서 펠토셀의 전력을 낮추는 것이 매크로셀 사용자에게 간섭 영향을 감소시킬 수 있고 수신 SINR 을 강화 시킬 수 있다. 전력 제어 방법은 펠토셀의 파워의 크기를 선택하는 주체가 누구냐에 따라서 두 가지 범주로 나눌 수 있다. 중앙집중 방법은 전체적인 네트워크 상황을 고려하여 최적의 전력을 할당한다. 이 방식은 뛰어난 성능을 가져올 수 있지만 복잡도가 상당히 높고 기지국이 어떤 방법으로 전체적인 네트워크의 정보를 획득 하는 지가 문제

로 제기 될 수 있다. [14]의 저자들은 GPS를 이용하여 모든 사용자들의 거리 정보를 획득하고 그 정보를 이용하여 전력을 설정한다. 이와 유사하게 펠토-매크로 채널 상태의 평균을 측정하는 중앙집중 방식이 연구되었다^[15]. 반면에 분산 방식은 전체적인 네트워크 상황을 고려하지 않고 펠토셀 스스로 정보를 획득한다. 이 방식은 반복과정의 기법을 사용하기 때문에 전력의 수렴 시간이 필요하다. 일반적으로 중앙집중 방식이 분산 방식보다 더 좋은 성능을 보인다^[16]. 본 논문은 전력 제어를 사용하면서 OFDMA 펠토셀 네트워크의 다운 링크를 위한 동적 주파수 할당 방법을 제안한다. 매크로셀 기지국은 펠토셀로부터 오는 간섭량을 기반으로 해서 펠토셀이 사용할 수 있는 부반송파들을 선택한다. 펠토셀은 부반송파의 재사용에 관한 할당 정보를 식별 할 수 있다. 이 과정은 펠토셀의 수용율을 증가시킴과 동시에 매크로셀 목표 처리량을 만족시킨다. 그리고 수신되는 매크로셀 신호의 세기에 따라서 펠토셀의 전송 전력을 조절하며, 이는 펠토셀의 전력 소비량을 줄일 수 있을 뿐 아니라 매크로셀 사용자에게 주는 간섭량 또한 감소시킬 수 있다.

II. 시스템 모델 과 문제 정의

본 논문에서 가정하고 있는 OFDMA 펠토셀 네트워크 시스템에서 문제 정의의 첫 번째 단계는 부분 주파수 재사용 방식에 따라 매크로셀 사용자들에게 sub-band 를 할당하는 것이다. 매크로셀 사용자들을 위한 최적의 할당이 이루어진 상태라 가정 한 후에, 펠토셀을 위한 주파수 할당이 수행된다. 매크로셀 사용자들이 펠토셀 사용자보다 우선순위가 더 높기 때문에 이 할당 순서는 적절하다. 이순서는 계층 셀 구조에서 최적화 문제 해결 방법의 복잡도를 줄여줄 수 있다. 매크로셀에 대한 최적의 sub-band 할당은 이전 연구인 [2, 17]을 참조하여 가정하였다. [2] 의 실험 결과들은 center region 의 반경을 전체 셀 반경의 63%로 설정하는 것과 edge region의 reuse factor를 3으로 하는 것이 최적의 성능을 나타내는 것으로 보여 주었다. 또한 균일한 주파수 재사용 보다 3-섹터를 사용하는 것이 시스템 용량을 향상시키지만 3-섹터 이상의 섹터 구분은 성능 향상에 큰 영향을 미치지 못하는 것을 [17]에서 확인 할 수 있다. 이전의 연구결과들을 이용하여 본 논문은 그림 1과 같은 형태로 매크로셀 사용자에게 주파수 할당을 가정하였다.

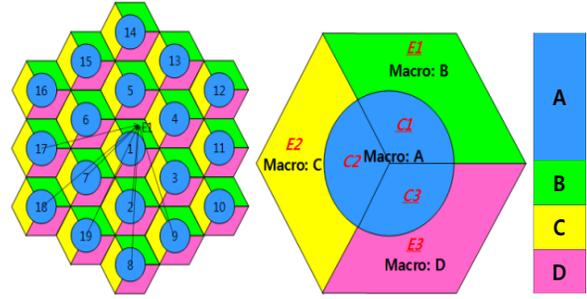


그림 1. (a) 19 개의 멀티셀 OFDMA 구조; (b) sectored-FFR을 사용하는 매크로셀 사용자의 sub-band 할당 (c) Sub-band 분배
Fig. 1. (a) 19 multi-cell OFDMA structure; (b) Allocation for macrocell users using sectored-FFR; (c) Sub-band division

위와 같은 매크로셀의 환경에서, 펠토셀로부터 오는 간섭의 영향을 판단하기 위하여 펠토셀이 없는 상태에서의 매크로셀 처리량을 계산한다.

$$SINR_{m,k} = \frac{P_{Mk}G_{m,Mk}}{N_0\Delta f + \sum_M P_{M',k}G_{m,M',k}} \quad (1)$$

$SINR$ 은 Signal to Interference and Noise Ratio 이며 $P_{M,k}$ 는 부반송파 k 를 사용할 때 매크로셀 기지국 M 의 전송 전력을 뜻하며 $P_{M',k}$ 는 부반송파 k 를 사용할 때 이웃 매크로셀 기지국 M' 의 전송 전력을 말한다. $G_{m,M,k}$ 는 부반송파 k 를 사용할 때 매크로셀 M 과 매크로셀 사용자 m 사이에서의 채널 이득을 뜻한다. 이웃 매크로셀 기지국 M 으로부터의 채널 이득은 $G_{m,M,k}$ 로 표시할 수 있다. N_0 은 백색 잡음 전력 밀도를 뜻하고, Δf 는 부반송파 간격이다. [1]과 식 (1)로부터의 획득할 수 있는 용량을 아래와 같은 식(2)로 도출 할 수 있다.

$$C_{m,k} = \Delta f \cdot \log_2(1 + \alpha SINR_{m,k}) \quad (2)$$

α 는 목표 Bit Error Rate (BER)에 대한 SINR gap 이다. 여기서는 α 를 $\alpha = -1.5/\ln(5BER)$ 으로 BER을 10^6 로 설정한다. 목표 용량은 매크로셀 수용율 $\delta(0 < \delta < 1)$ 를 곱하여 $C_{m,k}^{target} = \delta \cdot C_{m,k}$ 이와 같은 결과 값으로 정의 내릴 수 있다. 목표 용량을 얻기 위해서 식 (1)의 $SINR$ 에 목표율 γ 을 곱하여 아래와 같은 식을 얻어 낸다.

$$C_{m,k}^{target} = \Delta f \cdot \log_2(1 + \alpha \cdot \gamma \cdot SINR_{m,k}) \quad (3)$$

목표 SINR 은 $SINR_{m,k}^{target} = \gamma \cdot SINR_{m,k}$ 와 같이 목표 용량에 일정한 값으로 만족하는 것으로 나타낼 수 있다.

펨토셀들이 매크로셀에 설치되었을 때, 매크로셀 SINR 은 감소하게 될 것이고 펨토셀로부터 오는 간섭의 양을 고려하여 목표 SINR 을 구하면 식 (4) 와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{P_{M,k}G_{m,M,k}}{\sum_M P_{M',k}G_{m,M',k} + \sum_F P_{F,k}G_{m,F,k} + N_0\Delta f} \geq SINR_{m,k}^{target} \quad (4)$$

F 는 이웃 매크로셀에 있는 펨토 기지국을 말한다. 용인할 수 있는 펨토셀의 간섭량은 식(5) 와 (6) 을 통해서 정의 할 수 있다.

$$\sum_F P_{F,k}G_{m,F,k} \leq \frac{P_{M,k}G_{m,M,k}}{SINR_{m,k}^{target}} - \sum_M P_{M',k}G_{m,M',k} - N_0\Delta f \quad (5)$$

$$\text{정의 : } I_F^{vail} \equiv \sum_F P_{F,k}G_{m,F,k} \quad (6)$$

획득한 용량으로부터, 매크로셀 M 과 펨토셀 f 의 처리량은 아래 식과 같이 표현할 수 있다.

$$T_M = \sum_m \sum_k \beta_{m,k} C_{m,k}, \quad T_F = \sum_f \sum_k \beta_{f,k} C_{f,k} \quad (7)$$

$\beta_{m,k}$ 와 $\beta_{f,k}$ 는 각각 매크로셀과 펨토셀이 부반송파 k 의 할당 받았는지의 여부를 나타내는 지시자 역할을 한다.

$\beta_{m \text{ or } f, k} = 1$ 일 때 부반송파 k 가 매크로셀 사용자 m 또는 펨토셀 f 에 할당 되었다는 것을 의미하고, 할당 받지 않았다면 $\beta_{m \text{ or } f, k} = 0$ 이다.

III. 제안한 동적 자원관리 방법

3.1. 펨토셀에 관한 동적인 부반송파 할당

먼저 그림 1에서와 같이 매크로셀 사용자들은 각 지역에 따라서 주파수 자원을 이미 할당 받았다. 매크로셀은 center zone과 edge zone 로 나뉘는데 center zone은 $C1, C2, C3$ 구역으로 지정되어 있으며, edge zone은 3-섹터 인 $E1, E2, E3$ 로 구성되어 있다. 전체 주파수 대역은 두 부분으로 분할된다. 전체 주파수 대역의 절반을 A 대역이 차지하고 있으며 나머지 절반을 다시 삼등분하여 B, C, D 대역으

로 설정한다. 그림 1처럼 center zone의 매크로셀 사용자들은 A 대역에 분포한 부반송파를 할당 받으며, edge zone의 매크로셀 사용자들은 3-섹터 구조이므로 각각 B, C, D 대역의 부반송파를 할당 받는다. 그림 2는 펨토셀이 있는 상황에서 IEEE 802.16m 의 네트워크를 간단하게 보여준다. IEEE 802.16m 시스템은 간섭관리의 기술들을 다양하게 명시하고 있다. 이런 기술 및 구현의 활용은 필수가 아니므로 사용자가 직접 구체적인 네트워크 시나리오에 따라 적합한 설정을 선택할 수 있다.

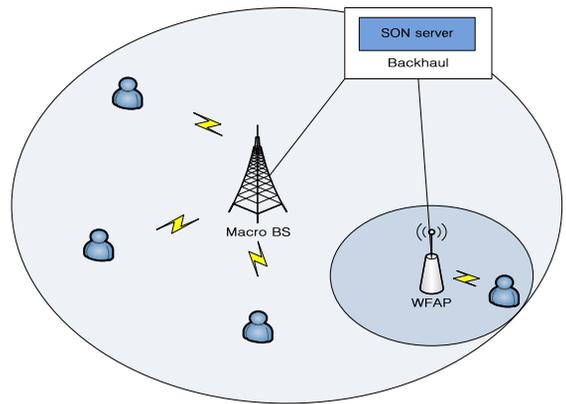


그림 2. 간략화된 WiMAX 네트워크 구조
Fig. 2. Simplified WiMAX network architecture

매크로셀 안에서 펨토셀이 배치되면 WiMAX femtocell access point (WFAP) 는 간섭관리를 위하여 self-organized network (SON)과 같은 네트워크 엔티티에 자원요청을 수행한다. 간섭관리는 매크로셀이 매크로셀 사용자의 Quality of Service (QoS)를 충족시켜야 할 뿐만 아니라 WFAP 가 자신의 펨토셀 사용자의 QoS도 보장해야함을 의미한다^[16]. 여기에서 WFAP는 간단하게 펨토셀 기지국이라고 고려해도 무방하다. 이런 시나리오에 따라 WFAP는 SON 서버에 자기 자신의 위치 정보를 전송한다. 그 후에 SON 서버는 매크로셀 기지국에 펨토셀이 사용할 부반송파를 요청한다. 매크로셀 기지국은 동적으로 펨토셀이 사용해야 할 부반송파를 식 (5) 와 (6)에 따라 결정한다. 하나의 부반송파를 펨토셀이 최대한 많이 사용하기 위한 가장 쉬운 방법은 채널 이득에 따라서 펨토셀을 선택 하는 것이다. 이 방법을 적용함으로써 식 (3)에서의 매크로셀 사용자의 목표 수용율을 충족하면서 펨토셀 사용자의 수용율을 극대화 할 수 있다. 제안하는 방법은 펨토셀이 가능한 많은 부반송파를 재사용 하면서 매크로셀 사용자에게도 적은 간섭을 미칠 수 있다.

펌토셀에 대한 동적인 부반송파 할당 알고리즘은 그림 3에서 잘 설명하고 있다.

본 논문에서는 펌토셀 사용자에게 관한 부반송파 할당만을 고려하고 있다. 이는 펌토셀 사용자들이 자원할당을 받기 전에 이미 매크로셀 사용자들의 부반송파는 수행되었다는 것을 의미한다. 그러므로 매크로셀 기지국은 제안하는 알고리즘을 적용하기 전에 매크로셀 사용자가 어떤 특정한 부반송파를 사용하고 있는지 알고 있다. $\beta_{f,k}$ 은 펌토셀 f 가 부반송파 k 를 사용하고 있는지의 여부를 나타내는 지시자이다. $SINR_{m,k}^{target} = \gamma \cdot SINR_{m,k}$ 은 매크로셀 사용자 m 이 부반송파 k 를 사용하였을 때 γ 값을 이용하여 목표 $SINR$ 을 나타내고 있다. S_k 는 행렬로서 부반송파 k 를 할당받게 될 펌토셀의 집합을 말한다. \mathbf{S} 는 행렬 S_k 의 열 성분을 나타낸다. F_{sort} 는 채널 이득에 따라서 펌토셀들을 정렬해 놓은 집합이다. I_k^{avail} 은 부반송파 k 에 관하여 매크로셀 사용자가 용인할 수 있는 간섭의 양을 뜻한다. I_k 는 펌토셀이 부반송파 k 를 사용할 때 총 합해진 간섭의 현재 양을 뜻한다. 매크로 기지국은 사용자로부터 오는 피드백으로 인하여 다운링크 채널의 상태를 전부 알 수 있다. 또한 매크로셀 사용자의 위치 정보를 알 수 있을 뿐만 아니라 SON 서버를 통하여 펌토셀의 위치 정보도 파악 하고 있다. 이런 가정들은 매크로 기지국이 펌토셀과 매크로셀 사용자 사이의 간섭양을 계산할 수 있다는 사실을 뒷받침 해준다.

그림 3의 제안하는 알고리즘을 설명 하면 다음과 같다. 첫 째로, 각 부반송파마다 목표 $SINR$ 과 I_k^{avail} 을 계산한다. 이 때, 매크로셀 사용자와의 채널 이득이 높은 순서대로 펌토셀들을 정렬 시킨다. 그리고 매크로 기지국은 펌토셀과 매크로 사용자와의 간섭량 I_k 을 계산한다. 만약 I_k 이 I_k^{avail} 을 초과하지 않으면, 펌토셀 f 는 S_k 에 포함된다. 이것은 펌토셀 f 가 부반송파 k 를 재사용한다는 것을 의미한다. 이 방법은 목표 $SINR$ 을 만족시키면서 부반송파를 가능한 많은 펌토셀이 재사용하도록 하는 방법이다. 매크로기지국은 모든 부반송파에 관하여 할당받을 펌토셀들을 정하고 그에 맞는 할당 매트릭스를 만든다. 매크로 기지국은 SON 서버를 통하여 펌토셀들이 사용할 부반송파 할당 정보를 전송한다. 펌토셀들은 이 정보를 수신한 후에 자기 자신에게 맞는 부반송파를 사용한다.

```

Initialize  $\beta_{f,k} = 0, SINR_{m,k}^{target} = \gamma \cdot SINR_{m,k}, S_k = \emptyset, \mathbb{S} = \emptyset$ 
 $F^{sort} = \emptyset, f = 1 \dots F, k = 1 \dots K, m = 1 \dots M$ 
1: for  $k=1$  to  $K$  do
2:   calculate  $I_k^{avail} \triangleq \frac{P_{M,k} G_{m,M,k}}{SINR_{m,k}^{target}} - \sum_{M'} P_{M',k} G_{m,M',k} - N_0 \Delta f$ 
3:   sort femtocells according to channel gain from macro-user  $m \rightarrow F^{sort}$ 
4:   for  $f$  in order of  $F^{sort}$  do
5:     calculate  $temp = P_{f,k} G_{m,f,k}$ 
6:      $I_k = I_k + temp$ 
7:     if  $I_k < I_k^{avail}$  do
8:        $S_k = S_k \cup \{f\}, f \in F^{sort}$ 
9:     else do
10:      break
11:    end if
12:  end for
13: end for
14: do transmits allocation information  $\mathbb{S} = \{S_1, S_2, \dots, S_K\}$  to femtocells
    
```

그림 3. 제안하는 펌토셀에 관한 동적인 부반송파 할당 알고리즘
 Fig. 3. Proposed dynamic sub-carriers allocation algorithm for femtocell

OFDMA 의 특성으로 인하여 매크로셀은 셀 간의 간섭을 피할 수 없다. 그러나 이에 대한 간섭은 부분 주파수 재사용 기술로 인하여 경감시킬 수 있다. 펌토셀이 새롭게 네트워크에 존재하게 되면 상황은 복잡해진다. 펌토셀들은 매크로셀로부터 오는 직접적인 간섭을 피하기 위해 다른 부반송파를 사용해야한다. 펌토셀의 전송 전력이 작다는 점을 고려할 때, 적절히 부반송파를 재사용하면서 펌토셀과 매크로셀 사이의 간섭을 감소 할 수 있다. edge zone에 있는 사용자들의 성능을 높이기 위해 edge zone에 있는 펌토셀들에게 많은 부반송파가 할당되었다. 왜냐하면 edge zone에 있는 펌토셀들이 매크로셀 사용자로부터 멀리 떨어져 있어서 채널 이득이 높기 때문이다.

3.2. 펌토셀에 관한 전력제어 방법

본 연구의 기본 개념은 매크로셀로부터 오는 신호의 세기에 따라서 펌토셀의 전송전력을 설정하는 것이다. 펌토셀의 목표 반경인 $20m$ 를 근거로 하여 그 지역 안에 있는 펌토셀의 사용자는 QoS를 보장한다. 펌토셀의 최대 파워는 $20mW$ 이고 최소 파워는 $5mW$ 로 고려하였다. 매크로셀의 신호를 기반으로 해서 펌토셀의 파워를 설정하므로 각각의 펌토셀들의 전송 전력은 크기는 각각 다르다. 펌토셀의 전송 전력은 아래와 같은 수식으로 설정할 수 있다.

$$P_{femto}(dB) = median(P_{min}, P_{macro} - L_{macro}(d) + L_{femto}(r), P_{max}) \quad (8)$$

$L_{femto}(r)$ 은 목표 반경 r 에서의 경로 손실을 뜻하고, P_{macro} 는 펠토셀이 위치하고 있는 지역에서의 매크로셀 전송 전력이다. $L_{macro}(d)$ 는 거리 d 에 있는 펠토셀의 평균 매크로셀 경로 손실이다. $L_{macro}(d)$ 는 거리와 채널 모델에 의해서 계산된 값이다. 목표 반경 20m는 매크로셀 사용자에게 영향을 주지 않을 수 있는 적합한 실내 반경이며, 실외에서 이동하는 매크로셀 사용자의 빈번한 핸드오버도 줄일 수 있는 장점이 있다. 펠토셀 파일럿과 전송 전력은 펠토셀 자체 내에서 자동적으로 수행된다. 자세한 절차는 [18]에 서술되어 있다. 일반적으로 펠토셀이 매크로셀 기지국에 멀리 위치 있을 경우 전력제어 방법을 사용하면 전송 전력이 줄어들기 때문에 edge 영역에 있는 매크로셀 사용자에게 적은 간섭을 미친다. 즉 dead zone 영역을 줄일 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과

네트워크의 전체적인 구성은 그림 1과 같이 two-tier로 19의 매크로셀로 구성되어 있으며 펠토셀은 전체 매크로셀에 랜덤하게 분포되어 있다. 모든 기지국들은 OFDMA 다운링크 형태로 운영된다. 펠토셀의 밀도 효과를 알아보기 위해 하나의 매크로셀 안에 펠토셀의 개수를 30개에서 180까지 조절하였다. 본 연구는 매크로셀 사용자가 펠토셀 사용자보다 높은 우선순위를 갖는다는 가정으로 하여 처리량과 사용자의 SINR에 관한 누적 분포로 제안하는 방법을 평가하였다. 실험 환경은 표 1에 나타내었다. 본 논문은 제안한 방법과 여러 가지 다른 방법들로 성능을 비교하였다.

‘Nofemto’는 펠토셀이 분포되어 있지 않고 오로지 매크로셀만 존재하는 방법을 뜻한다. ‘Dynamic-PC’는 전력제어(PC: Power Control) 방식을 사용함과 동시에 펠토셀들이 동적으로 부반송파를 할당 받는 방법이다. 한편, ‘Dynamic-avg.’는 동적으로 부반송파를 할당 받지만 전력제어 방식은 사용하지 않는다. ‘-avg.’는 전력제어(PC)방법을 통해 평균 전력을 구하여 그 값을 고정된 전력으로 사용하는 방법이다.

표 1. 실험 환경
Table 1. Simulation Parameters

Parameters	Values	
	Macro	Femto
Number of cells	19 (two-tier)	30-180/macro
Cell coverage	580m	20m
기지국 transmit power	FFR: 15, 22W w/o FFR: 20W	Min: 5mW Max: 20mW
Number of users in one macrocell	180	300
Channel Bandwidth	5MHz	
FFT size	512	
Number of occupied sub-carriers	300	
Sub-carrier spacing	15kHz	
White noise power density	-174dBm/Hz	
Size of center zone	0.63 of macro coverage	
Channel model (Path loss, PL)	$PL_{outdoor} = 28 + 35\log_{10}(d)$ $PL_{\in door} = 38.5 + 20\log_{10}(d) + L_{walls}$ $L_{walls} = 7 \text{ dB, if } d \text{ in } (0,10]$ $L_{walls} = 10 \text{ dB, if } d \text{ in } (10,20]$	

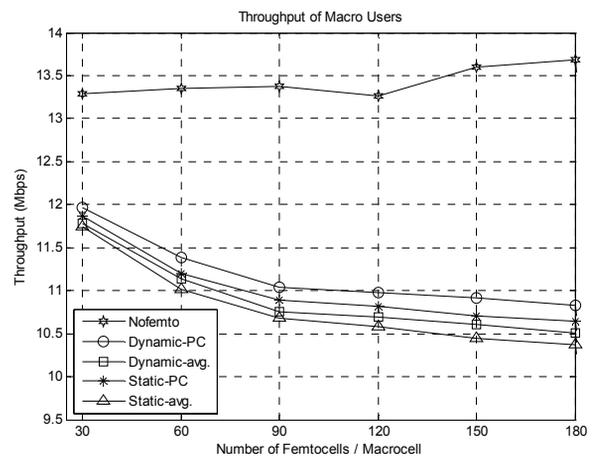


그림 4. 매크로셀 사용자의 수용율
Fig. 4. Throughput of Macrocell Users

네트워크 환경은 동일하고 매크로셀 사용자의 목표 수용율을 만족하면서 펠토셀이 부반송파를 정적으로 할당받는 방법이 [19]에서 연구 되었다. 이 방법을 본 논문에서는 ‘Static-’이라 명명 하였다. 실험 결과에서는 ‘Dynamic-’ 과 ‘Static-’ 방법에서의 해당 목표 수용율을 70%로 적용했다.

그림 4는 펠토셀의 수를 변경하였을 때, 매크로셀 사용자만의 수용율을 보여준다. ‘Dynamic-’방법

은 펌토셀들이 채널이득이 높은 순서로 I_{k}^{avail} 양을 초과하지 않는 범위 내에서 부반송파를 할당 받게 되므로 펌토셀과 매크로셀 사용자들이 같은 부반송파를 사용하지만 간섭 영향을 많이 줄 일 수 있는 효과를 얻게 된다. 그러므로 매크로셀 사용자의 목표 수용율을 보장하면서 펌토셀들이 많은 부반송파들을 재사용할 수 있다. 또한 제안하는 방법은 목표율 0.7을 만족함을 확인 할 수 있다. ‘PC’ 방법은 펌토셀 각각마다 전력의 크기가 다르다. 특히 셀의 가장 자리에 있는 펌토셀은 고정된 전력을 사용하는 ‘avg.’ 방법 보다 적은 전력을 사용하게 되므로 매크로셀 사용자에게는 적은 간섭을 주게 된다.

그림 5에서는 펌토셀이 180개 배치되었을 때, edge 영역에 있는 매크로셀 사용자들의 SINR 분포가 어떠한지를 알려준다. 다른 방법들에 비하여 ‘Dynamic-PC’ 방법이 가장 우수한 결과를 보이고 있다. 채널이득이 크다는 것은 직관적으로 거리가 멀다는 것을 의미한다. 매크로셀 사용자와 같은 부반송파를 사용하는 펌토셀들이 멀리 떨어져 있기 때문에 매크로셀 사용자가 받는 간섭의 양이 상당히 줄어들었다. 뿐만 아니라 펌토셀이 가장 자리에 위치할수록 적은 양의 전력을 사용하게 되므로 이런 점도 매크로셀 사용자의 입장에서 간섭을 적게 받는 하나의 이유가 될 수 있다. 동적인 부반송파 할당과 전력제어 방법의 합하여 극대화된 성능을 나타낸 것으로 볼 수 있다.

‘Dynamic-’ 기법이 ‘Static-’ 기법보다 많은 성능 차이를 보이는 것은 펌토셀 사용자의 수용율인데 이는 그림 6에서 확인 할 수 있다. 동적인 부반송파 할당은 정적인 부반송파 할당 보다 많은 수의

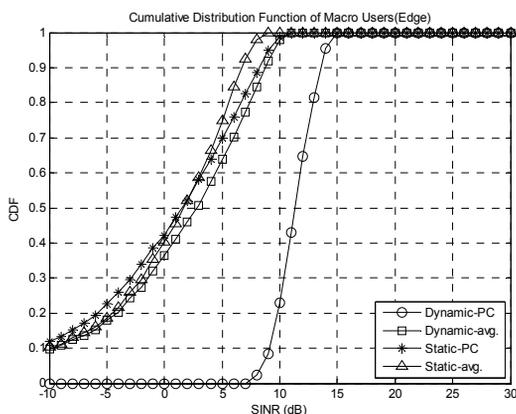


그림 5. edge 영역에 있는 매크로셀 사용자들의 누적분포
Fig. 5. Cumulative Distribution Function of macrocell users (edge)

부반송파를 재사용할 수 있다. 이를 가능 하게 하는 것은 채널이득이 가장 좋은 펌토셀에게 우선순위를 두어 부반송파를 할당하였기 때문이다.

정적인 부반송파 할당은 특정 sub-band 안에서 펌토셀에게 랜덤한 방식으로 부반송파를 할당하므로 동적인 부반송파 할당 방법보다 더 적은 부반송파

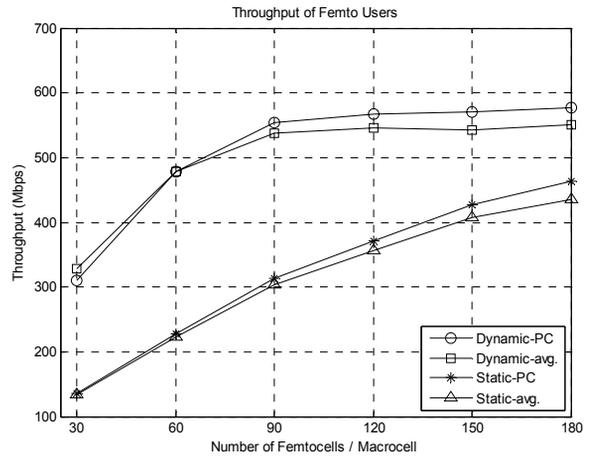


그림 6. 펌토셀 사용자의 수용율
Fig. 6. Throughput of Femto Users

를 재사용하게 된다. ‘PC’ 방법은 펌토셀들이 자신의 영역 안에 있는 사용자들에게는 QoS를 보장하는 적절한 전력을 선택하기 때문에 ‘avg.’ 방법보다는 수용율에서 더 좋은 성능을 보여준다.

V. 결론

본 논문에서는 펌토셀을 위한 동적인 부반송파 할당과 전력제어 방법을 제안하였다. 제안하는 방법을 통하여 매크로셀 사용자의 목표 처리량을 만족함과 동시에 펌토셀 사용자의 처리량을 향상시켰다. 이 방법은 매크로셀 사용자와 펌토셀 사이의 직접적인 간섭을 피하며 단순하고 효율적이다. 각 상황에 맞게 펌토셀이 사용할 부반송파를 동적으로 할당하여 매크로셀/펌토셀 사용자의 처리량을 증가시켰고, 펌토셀 자체적으로 전력 제어를 함으로써 셀 가장자리에 있는 매크로셀 사용자의 QoS를 보장해 주었다. 처리량과 사용자 SINR의 누적 분포를 통하여 제안 하는 방법의 성능을 평가 하였다. 다음 연구에서는 펌토셀의 밀도가 높은 지역을 고려하여 펌토셀 간의 간섭을 제어할 수 있는 효율적인 자원 관리에 관한 접근이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] H. Lei, L. Zhang, X. Zhang, and D. Yang, "A Novel Multi-cell OFDMA System Structure Using Fractional Frequency Reuse," IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Sept. 2007.
- [2] M. Assaad, "Optimal Fractional Frequency Reuse (FFR) in Multicellular OFDMA System," IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), Sept. 2008.
- [3] M. Rahman and H. Yanikomeroglu, "Enhancing Cell-Edge Performance: A Downlink Dynamic Interference Avoidance Scheme with Inter-Cell Coordination," IEEE Trans. on Wireless Communications, vol. 9, no.4, Apr. 2010.
- [4] L. Liu, D. Qu, and T. Jiang "Dynamic Fractional Frequency Reuse based on Interference Avoidance Request for Downlink OFDMA Cellular Networks," ACM Int. Conf. on Wireless Communication and Mobile Computing (IWCMC), Jun. 2010.
- [5] D. Lopez-Perez, G. Roche, A.Valcarce, A. Juttner, Jie Zhang, "Interference Avoidance and Dynamic Frequency Planning for WiMAX Femtocells Networks," IEEE Int. Conf. on Communication Systems (ICCS), Nov. 2008.
- [6] H. Zeng, C. Zhu, and W. Chen, "System Performance of Self-Organizing Network Algorithm in WiMAX Femtocells," ACM Int. Conf. on Wireless Internet (WICON), Nov. 2008.
- [7] 3GPP TR.25.820, "3G Home NodeB Study Item Technical Report," (Release 8), Sept. 2008.
- [8] K. Han, Y. Choi, D. Kim, M. Na, S. Choi, and K. Han, "Optimization of femtocell network configuration under interference constraints," 7th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks, Jun. 2009.
- [9] M. E. Sahin, I. Guvenc, M.-R. Jeong, and H. Arslan, "Handling CCI and ICI in OFDMA femtocell networks through frequency scheduling," IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 55, no. 4, pp. 1936-1944, Nov. 2009.
- [10] H.-C. Lee, D.-C. Oh, and Y.-H. Lee, "Mitigation of inter-femtocell interference with adaptive fractional frequency reuse," IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 1-5, May 2010.
- [11] T.Zahir, K.Arshad, A.Nakata, K. Moessner, "Interference Management in Femtocells," IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2012 (to be appeared).
- [12] D. Lopez-Perez, A. Valcarce, G. Roche, and J. Zhang, "OFDMA femtocells: A roadmap on interference avoidance," IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 9, pp.41-48, Sep. 2009.
- [13] Y. Sun, R.P. Jover, and X. Wang, "Uplink Interference Mitigation for OFDMA Femtocell Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 11, no. 2, Feb. 2012.
- [14] X. Li, L. Qian and D. Khatraia, "Downlink Power Control in Co-Channel Macrocell Femtocell Overlay," IEEE Information Sciences and Systems Conf., March 2009.
- [15] D. I. Kim, Long le and E. Hossain, "Resource Allocation for Cognitive Radios in Dynamic Spectrum Access Environment," IEEE Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications Conf., May 2008.
- [16] V. Chandrasekhar, J.G Andrews, T. Muharemovic, Z. Shen and A. Gatherer, "Power Control in Two-Tier Femtocell Networks," IEEE Trans. On Wireless Commun., vol. 8, pp.4316-4328, 2009.
- [17] D. Lee, C. Xu, U. Mayekar, M. Mohile, "Frequency reuse factor vs. pathloss exponent and sectorization," IEEE MTT-S Symposium on Technologies for Wireless Applications Digest, 1997.
- [18] H. Claussen, "Performance of Macro- and Co-channel Femtocells in a Hierarchical Cell Structure," IEEE Int. Sym. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2007.
- [19] T. Lee, H. Kim, J. P, and J. Shin, " An Efficient Resource Allocation in OFDMA Femtocells Networks," IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), Sept. 2010.

이 상 태 (Sangtae Lee)

정회원



2010년 2월 광운대학교 전파공학과 졸업

2012년 2월 성균관대학교 휴대론학과 석사

2012년 3월~현재 삼성전자 연구원

<관심분야> 펌토셀, 간섭관리,

유무선 통신네트워크

안 천 수 (Chunsoo Ahn)

정회원



2005년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업

2006년 8월 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사

2012년 3월~현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사과정

2006년~2012년 삼성전자 반도체 선임연구원

<관심분야> 영상처리, 유무선 통신네트워크 시스템, 멀티미디어 통신, 임베디드 시스템

신 지 태 (Jitae Shin)

정회원



1986년 2월 서울대학교 전기공학과 학사

1988년 2월 KAIST 원자력공학과 석사

2001년 5월 Univ. of Southern California (USC), Dept. of Electrical Eng. 석사 및 박사

사

1988년~1991년 한국전력공사 고리원자력 발전소

1991년~1996년 한국원자력연구소 계측제어설계부

2001년 8월~2002년 2월 경희대학교 정보통신전문대학원 교수

2008년 8월~2009년 8월 Univ. of Toronto, Canada 방문교수

2002년 3월~현재 성균관대학교 정보통신대학 교수

<관심분야> 멀티미디어 통신/네트워크, 이동휴대 방송기술, 유무선 통신네트워크 시스템, 영상처리