

기업형 펌토셀 네트워크에서 부분 주파수 재사용 방법의 성능분석

Performance Analysis of Fractional Frequency Reuse Scheme for Enterprise Femtocell Networks

김 세 진*
Se-Jin Kim

요 약

본 논문에서는 회사 또는 백화점 등과 같은 고층 건물에 다수의 펌토셀 기지국들(Femtocell base stations, fBSs)이 밀집되어 배치되는 기업형 펌토셀 네트워크(Enterprise femtocell network, EFN) 환경에서 부분 주파수 재사용 (Fractional frequency reuse, FFR) 자원할당 방법을 이용하여 하향링크에 대한 시스템 성능을 분석한다. 이를 위해, 먼저 매크로셀과 펌토셀 사이의 주파수 간섭을 완화시키는 Split reuse 주파수 할당 방법에 대해 소개하고, 이후 EFN의 fBS들에게 주파수 간섭 완화 및 주파수 효율을 극대화할 수 있는 FFR을 이용한 자원할당 방법을 제안한다. 마지막으로 시뮬레이션을 통해 제안하는 FFR 자원할당 방법의 시스템 성능을 분석하고, EFN 환경에서 주파수 재사용 계수(Frequency reuse factor: FRF)를 4로 사용하는 전형적인 FRF 4 방법보다 제안하는 FFR 자원할당 방법이 평균 fUE 용량, 전체 EFN 용량, 그리고 Outage probability 측면에서 우수한 성능임을 보인다.

☞ 주제어 : 펌토셀 네트워크, 기업형, 부분 주파수 재사용, 자원관리

ABSTRACT

In this paper, we propose a novel frequency reuse method using the fractional frequency reuse (FFR) for enterprise femtocell networks (EFNs) in which a lot of femtocell base stations (fBSs) are deployed in a building, e.g., business companies, department stores, etc, and evaluate the system performance for the downlink of EFNs. First, we introduce the concept of the split reuse method to allocate the frequency bandwidth with considering the interference between the macrocell and femtocell. Then, we propose the resource allocation with the FFR for fBSs of EFNs to reduce the interference and increase the system capacity. Through simulations, we show that the proposed FFR method outperforms a traditional resource allocation method with frequency reuse factor 4 in terms of the mean fUE capacity, total EFN capacity, and outage probability.

☞ keyword : Femtocell networks, Enterprise, Fractional frequency reuse, Resource management

1. Introduction

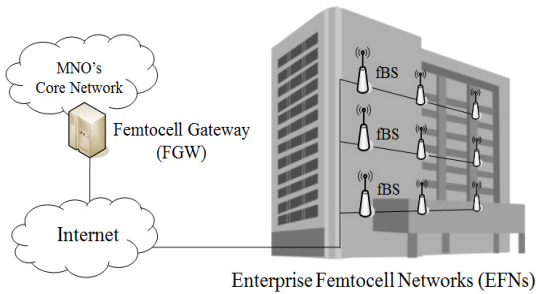
최근 발표된 시스코의 보고서에 따르면 고화질 비디오 스트리밍, 사물인터넷, 그리고 소셜 네트워크 서비스 등 대용량의 멀티미디어 서비스에 대한 사용자들의 요구가 크게 증가하면서 2017년에 매월 11 Exabytes (EB)가 발생하고 있는 모바일 데이터 트래픽이 2021년에는 매월 49 EB까지 약 4배 이상 급격하게 증가될 것으로 예상되고 있다 [1]. 폭증하는 모바일 트래픽을 처리하기 위해 매크로 기지국의 주파수 효율을 증대시키고 새로운 주파수

대역을 활용하는 방안으로는 한계가 있어 향후 이동통신 사업자들(Mobile network operators, MNOs)은 이종망(Heterogeneous network, HetNet) 기술 중의 하나인 펌토셀(Femtocell)을 적극 활용할 것으로 예상된다[2]. 펌토셀은 크기가 작아 공간이 협소한 지역이나 인구가 밀집된 곳에 설치가 용이하다. 또한, CAPEX 측면에서 초기 설치비가 적게 들고 단기간에 구축이 가능하여 사용자의 데이터 수요 증가에 신속하게 대응하여 구축이 가능하며, OPEX 측면에서도 별도의 부가 비용이 들지 않으며 전력 소비가 작고 유지보수 비용이 적게 소요되는 장점이 있다[3,4]. 하지만, 회사 또는 백화점 등과 같은 고층 건물에 다수의 펌토셀 기지국들(Femtocell base stations, fBSs)이 밀집되어 배치되는 기업형 펌토셀 네트워크(Enterprise femtocell network, EFN)에서는 펌토셀 사용자(Femtocell user equipment, fUEs)가 받는 주파수 간섭이 크게 증가하

¹ Department of Computer Science and Statistics, Chosun University, Gwangju 61452, Korea.

* Corresponding author (sjkim@chosun.ac.kr)

[Reviewed 22 August 2017, Reviewed 23 August 2017, Accepted 28 November 2017]



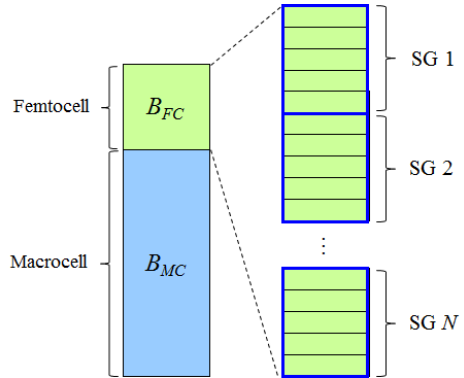
(그림 1) 기업형 펌토셀 네트워크의 시스템 아키텍처
(Figure 1) System architecture of EFNs

여 시스템 성능이 감소하게 된다[5].

최근 발표된 EFN 환경에서 주파수 간섭 및 자원할당과 관련된 논문은 다음과 같다 [6][7]. 논문 [6]에서 저자들은 fBS 밀도가 높은 펌토셀 네트워크 환경에서 유동적 주파수 재사용 방법을 제안하였다. 먼저, fBS들의 주파수 간섭을 고려하여 주파수를 할당받은 후, 만약 fUE에게 서비스하기 위해 주파수가 더 필요한 경우 이웃한 fBS들에게 할당된 주파수 중에서 사용하지 않는 주파수를 요청하여 추가로 사용한다. 논문 [7]에서 저자들은 그래프 컬러링을 이용하여 유동적 주파수 재사용 방법을 제안하였다. 먼저, 그래프 컬러링을 이용하여 생성한 간섭 그래프를 기반으로 fBS에게 주파수를 할당한 후, 주변의 fBS들이 사용하지 않는 주파수를 요청하여 추가로 사용한다. 하지만, 위 두 가지 방법들은 트래픽 부하가 증가할수록 fBS들 사이에 교환하는 주파수 요청/응답 메시지가 크게 증가하여 트래픽 부하를 유발하는 단점이 있다.

본 논문에서는 회사 또는 백화점 등과 같은 고층 건물에 다수의 fBS들이 밀집되어 배치되는 EFN 환경에서 부분 주파수 재사용 (Fractional frequency reuse, FFR) 자원할당 방법을 이용하여 하향링크에 대한 시스템 성능을 분석한다. 이를 위해, 먼저 매크로셀과 펌토셀 사이의 주파수 간섭을 완화시키는 Split reuse 주파수 할당 방법에 대해 소개하고, 이후 fBS들에게 주파수 간섭 완화 및 주파수 효율을 극대화할 수 있는 FFR을 이용한 자원할당 방법을 제안한다. 마지막으로 시뮬레이션을 통해 제안하는 FFR 자원할당 방법의 시스템 성능을 분석하고, EFN 환경에서 주파수 재사용 계수(Frequency reuse factor: FRF)를 4로 사용하는 전형적인 FRF 4 방법보다 제안하는 FFR 자원할당 방법이 평균 fUE 용량, 전체 EFN 용량, 그리고 Outage probability 측면에서 우수한 성능임을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 다양한 시스



(그림 2) 펌토셀 네트워크에서 Split reuse 방법
(Figure 2) Split reuse method in EFNs

템 모델을 소개하고, 3장에서는 제안하는 FFR 자원할당 방법을 설명한다. 이후, 4장에서 시스템 성능을 분석하고, 마지막으로 5장에서 향후연구와 함께 결론을 맺는다.

2. System Model

2.1 System architectures for ESNs

(그림 1)은 EFN의 시스템 구조를 나타낸다 [8][9]. EFN은 다수의 fBS들이 회사 또는 백화점 등의 고층 건물 내부에 설치되고, 모든 fBS들은 인터넷과 펌토셀 게이트웨이(Femtocell gateway, FGW)를 공유하여 MNO의 코어망(Core network)과 연결된다. 이후, FGW는 fBS들의 초기설정, 자원관리, 핸드오버 등의 다양한 기능을 제어한다.

펌토셀 네트워크에서 매크로셀과 펌토셀에게 주파수를 할당하는 대표적인 두 가지 방법은 Shard reuse와 Split reuse 방법이 있다 [10]. Shard reuse 방법은 전체 주파수를 매크로셀에서 이용하며 펌토셀은 전체 주파수의 일부를 공유하며 사용하는 방법이다. 이 방법의 특징은 매크로셀이 전체 주파수를 사용할 수 있는 장점이 있지만, 펌토셀과 공유하여 사용하는 주파수 대역에서 매크로셀과 펌토셀 사이의 간섭으로 매크로셀과 펌토셀 사용자 모두의 SINR이 감소하는 단점이 있다. 반면, Split reuse 방법은 전체 주파수 대역을 두 개의 주파수 그룹으로 분리한 후, 한 그룹은 매크로셀에서 다른 그룹은 펌토셀에서 이용하는 방법이다. 이 방법의 특징은 매크로셀과 펌토셀 사이의 간섭이 없어 매크로셀과 펌토셀 사용자 모두의 SINR이 향상되지만, 매크로셀과 펌토셀에게 할당되는 주파수 양이 감소하는 단점이 있다.

(그림 2)는 Split reuse 방법을 나타내며, 본 논문에서는 Split reuse 방법을 이용한다. 이유는 Shard reuse 방법은 매크로셀 기지국과 EFN이 구축된 건물 사이의 거리에 따른 간섭 영향이 시스템 성능에 큰 영향을 주기 때문이다. 따라서, (그림 2)에서 전체 주파수, B_{Total} ,는 두 그룹 B_{MC} 와 B_{FC} 로 분리되어 각각 매크로셀과 펌토셀에게 할당되며, 매크로셀과 펌토셀 사이의 간섭 영향은 없다. 또한, B_{FC} 는 EFN의 fBS들 사이에 발생하는 간섭을 완화하고 주파수를 재사용하기 위해 다시 N 개의 Subchannel group (SG)으로 분리되어 fBS에게 할당된다. EFN이 구축된 건물은 I 개의 층으로 구성되며, 각 층은 $W_{Building}$ 의 길이를 갖는 정사각형 구조를 갖는다. 각 층의 높이와 층간 간격의 높이는 각각 H_{Floor} 와 H_{Gap} 이며, fBS와 fUE의 높이는 각각 H_{fBS} 와 H_{fUE} 이다. 건물의 각 층에는 J 개의 fBS가 그리드 형태(Grid pattern)로 배치되며, K 개의 fUE가 균일하게 분포(Uniform distribution)된다.

2.2 Channel and SINR models

본 논문에서 성능분석을 위해 이용하는 fBS와 fUE 사이의 Path loss 모델, PL ,은 다음과 같다.

$$PL = \begin{cases} \alpha + \beta & \text{for the same floor} \\ \max(\alpha, \delta) + \beta & \text{for different floors,} \end{cases} \quad (1)$$

여기에서 $\alpha = 38.46 + 20 \cdot \log_{10} R$ 와 $\beta = 0.7d_{2D,im} + 18.3 \cdot \zeta((\zeta + 2)/(\zeta + 1) - 0.46)$ 이다. R 은 fBS와 fUE 사이의 거리를 나타내며, ζ 는 건물의 층 수에 따라 감소되는 신호 감쇄의 크기, $0.7d_{2D,im}$ 은 같은 층에서 벽에 의한 신호 감쇄의 크기, 그리고 $\delta = 15.3 + 37.6 \cdot \log_{10} R$ 이다 [11].

$\gamma_{SUE_{i,j,k}}^n$ 는 건물의 i 번째($1 \leq i \leq I$) 층에서 k 번째($1 \leq k \leq K$) fUE가 j 번째($1 \leq j \leq J$) fBS로부터 n 번째($1 \leq n \leq M$) SG를 이용하여 서비스를 제공 받을 때, Signal to interference plus noise ratio (SINR) 모델을 나타낸다.

$$\gamma_{fUE_{i,j,k}}^n = \frac{R_{fBS_{i,j,k}}^n}{N_0 + \sum_{x=1}^I \sum_{\substack{y=1 \\ (x=i|y \neq j)}}^J I_{fBS_{x,y,k}}^n \cdot \psi_{x,y}^n}, \quad (2)$$

여기에서 $R_{fBS_{i,j,k}}^n$ 는 건물의 i 번째 층에서 j 번째 fBS가 k 번째 fUE를 n 번째 SG를 이용한 수신된 신호의 세기를 나타낸다. 반면, $I_{fBS_{x,y,k}}^n$ 는 건물의 x 번째($1 \leq x \leq I$) 층

서 y 번째($1 \leq y \leq J$) fBS가 k 번째 fUE를 n 번째 SG를 이용할 때, 간섭 신호의 세기를 나타낸다. 또한, N_0 는 백색 잡음을 나타내고, $\psi_{x,y}^n$ 는 2진 값을 갖는 변수로 만약 $\psi_{x,y}^n = 1$ 이면 x 번째 층에서 y 번째 fBS가 n 번째 SG를 사용하고 $\psi_{x,y}^n = 0$ 이면 사용하지 않는다.

2.3 System capacity and outage probability

$\gamma_{SUE_{i,j,k}}^n$ 가 계산되면, 쉐논의 이론을 이용하여 i 번째 층에서 j 번째 fBS가 k 번째 fUE에게 n 번째 SG를 이용하여 서비스 가능한 fUE 용량, $C_{fUE_{i,j,k}}^n$,은 다음과 같다.

$$C_{fUE_{i,j,k}}^n = \left(\frac{B_{FC}}{N} \right) \cdot \log_2 \left(1 + \gamma_{fUE_{i,j,k}}^n \right). \quad (3)$$

이후, EFN이 구축된 건물의 모든 fBS들의 용량, $C_{Building}$,과 평균 fUE 용량, $\overline{C_{fUE}}$,은 각각 식 (4)와 (5)와 같이 계산된다.

$$C_{Building} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \left(\frac{B_{FC}}{N} \right) \cdot \log_2 \left(1 + \gamma_{fUE_{i,j,k}}^n \right) \cdot \zeta_{fUE_{i,j,k}}^n, \quad (4)$$

$$\overline{C_{fUE}} = \frac{C_{Building}}{I \cdot N}, \quad (5)$$

여기에서 $\zeta_{fUE_{i,j,k}}^n$ 는 이진 값을 갖는 변수로 만약 $\zeta_{fUE_{i,j,k}}^n = 1$ 이면 i 번째 층의 j 번째 fBS가 k 번째 fUE에게 서비스를 제공하는데 n 번째 SG를 사용하고 $\zeta_{fUE_{i,j,k}}^n = 0$ 이면 사용하지 않는다.

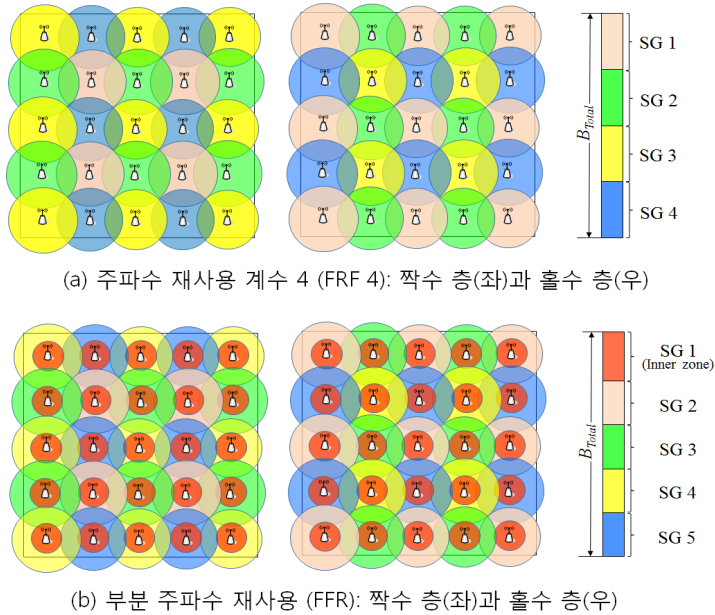
또한, fUE의 Outage probability, P_{out} ,는 다음과 같다.

$$P_{out} \approx \frac{\eta}{I \cdot K}, \quad (6)$$

여기에서 η 는 fUE의 SINR이 SINR 경계값, γ_{th} , 미만이 fUE의 수를 나타낸다.

마지막으로 fUE에 대한 Resource utilization, U_{Re} ,은 다음과 같이 계산된다.

$$U_{Re} = \frac{\zeta_{fUE_{i,j,k}}^n}{B_{Total} \cdot I \cdot K} \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \left(\frac{B_{FC}}{N} \right). \quad (7)$$



(그림 3) EFN 환경에서 전형적인 FRF 4 를 이용하는 방법과 제안하는 FFR 방법
 (Figure 3) Traditional FRF 4 and proposed FFR methods for EFNs

3. Proposed FFR Scheme for EFNs

본 장에서는 다수의 fBS들이 밀집되어 배치되는 EFN 환경에서 주파수 간섭을 고려한 전형적인 주파수 재사용 방법을 먼저 소개하고, 이후 주파수 간섭 완화 및 주파수 효율을 향상시킨 FFR 자원할당 방법을 제안한다.

(그림 3)은 EFN 환경에서 전형적인 FRF 4를 이용하는 방법과 제안하는 FFR 자원할당 방법을 나타낸다. (그림 3-(a))는 EFN 환경에서 주파수 간섭 완화를 위해 일반적으로 사용 가능한 FRF 4 를 이용한 방법을 나타낸다. 건물의 각 층에 25개의 fBS가 5×5 그리드 형태로 배치된 환경에서 B_{FC} 를 4개의 SG로 나누어 fBS들에게 할당한다. 즉, $N=4$ 이고 각 fBS는 B_{FC}/N 의 주파수를 할당 받는다. 또한, 홀수 층과 짝수 층에 위치한 fBS 사이에 간섭을 완화하기 위해 서로 다른 SG를 할당한다. 반면, (그림 3-(b))는 EFN 환경에서 주파수 간섭 완화 및 주파수 효율을 극대화하기 위해 제안하는 FFR 자원할당 방법을 나타낸다. 이를 위해, 각 fBS의 커버리지를 Inner zone, Z_{Inners} 과 Outer zone, Z_{Outers} , 으로 분류하며, 만약 fUE와 fBS 사이의 거리가 Z_{Inner} 의 경계값, B_{Inners} 보다 가까운 거리에 위치하면 Z_{Inner} 에 fUE가 위치함을 의미한다. 이후, B_{FC} 를 5개의 SG

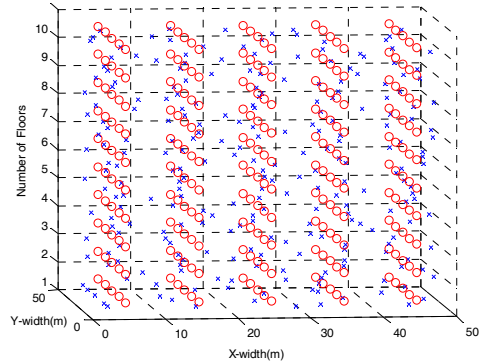
로 나누어 SG 1은 Z_{Inner} 에 위치한 fUE에게 할당하고 나머지 4개의 SG는 (그림 3-(a))의 FRF 4 방법과 동일하게 할당한다. 즉, $N=5$ 이므로 B_{FC} 는 5개의 SG로 나누어지며 각 SG는 B_{FC}/N 의 주파수를 갖는다. 따라서, Z_{Inner} 에 위치한 fUE에게 모든 fBS들은 SG 1의 주파수를 할당하고, Z_{Outer} 에 위치한 fUE들에게는 SG 2와 SG 5 사이에서 각 fBS가 할당받은 주파수를 할당한다. Z_{Inner} 에 위치한 fUE는 Z_{Outer} 에 위치한 fUE들과 비교해 주변 fBS들로부터 간섭량이 훨씬 크지만 자신이 서비스 받는 fBS로부터 받는 신호의 세기도 크기 때문에 높은 SINR을 갖는다. 하지만, 제안하는 FFR 자원할당 방법은 B_{FC} 를 5개의 SG로 분류하기 때문에 FRF 4를 사용하는 방법보다 각 fBS가 할당받는 주파수 양이 적다. 또한, 두 가지 자원할당 방법에서 fUE들은 균일하게 분포하기 때문에 특정 fBS는 서비스하는 fUE를 갖지 않는 반면 다른 fBS는 다수의 fUE들을 서비스하게 된다. 이때, 1개의 fUE를 서비스하는 fBS는 자신이 할당받은 SG의 전체 주파수에 해당하는 B_{FC}/N 을 자신의 fUE에게 할당하지만, k 개의 fUE를 서비스하는 fBS는 자신에게 할당된 주파수를 k 개로 나누어 $B_{FC}/(N \cdot k)$ 를 각 fUE에게 할당한다.

(표 1) 시스템 파라미터
(Table 1) System parameters

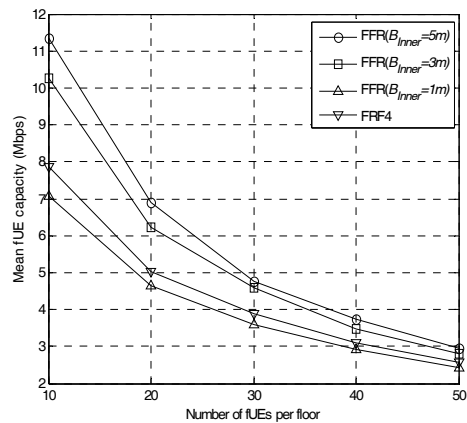
Parameter	Value
Carrier frequency	2GHz
B_{Total}, B_{FC}	20MHz, 5MHz
The number of floors (I)	10
The number of fBSs per floors (J)	25 (5x5 grid pattern)
The number of fUEs per floors (K)	10, 20, 30, 40, 50
The number of SG (N)	FRF 4: 4SGs Proposed FRF: 5SGs
FFR 자원할당 방법에서 Inner zone의 경계값 (B_{Inner})	1m, 3m, 5m
fBS Tx power	20dBm [12]
$W_{Building}$	50m
H_{Floor}	3m
H_{Gap}	0.5m
H_{fBS}	3m
H_{fUE}	1.5m
SINR threshold (γ_{th})	-6dB
Boundary of P_{out}	0.01
N_0	-174dBm/Hz

4. Performance Evaluation

본 장에서는 EFN 환경에서 제안하는 FFR 자원할당 방법의 시스템 성능분석을 위해 Matlab 소프트웨어를 이용한 시스템 레벨 시뮬레이션을 수행한다. 성능분석은 평균 fUE 용량, 전체 EFN 용량, 그리고 Outage probability 측면에서 분석하며, (그림 3-(a))에서 소개한 FRF 4 방법과 성능을 비교/분석한다. 건물의 각 층에 배치되는 fUE의 수 K 는 10에서 50까지 변화시키며 성능을 분석한다. EFN은 회사 또는 백화점 등의 개방된 실내 환경을 고려하여, α 는 2.5로 한다 [12]. fBS와 fUE 사이의 Log-normal shadow fading은 Zero mean과 4dB의 standard deviation을 가정한다 [12]. 또한, 제안하는 FFR 자원할당 방법에서 Inner zone의 크기 B_{Inner} 는 1m, 3m, 그리고 5m에서 분석하며, 실험을 통해 최적의 B_{Inner} 를 도출한다. $W_{Building}$, H_{Floor} 그리고 H_{Gap} 은 각각 50m, 3m 그리고 3m이며, H_{fBS} 와 H_{fUE} 는 각각 3m와 1.5m이다. Split reuse 방법에서 B_{SC} 는 5MHz, 건물이 갖는 전체 층 수 I 는 10, 그리고 각 층에 배치되는 fBS의 수 J 는 25개로 5x5 그리드 형태로 배치된다. SINR 경계값 γ_{th} 는 -6dB이며, Outage probability의 경계값은 10^{-2} 이다 [12]. 표 1은 시스템 성능분석을 위한



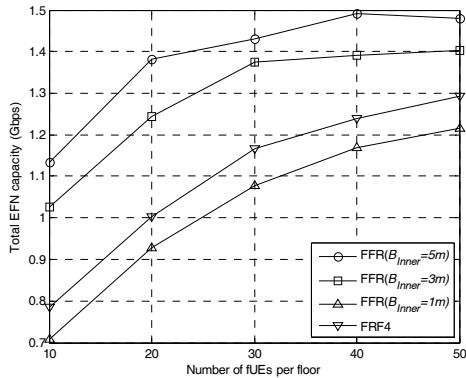
(그림 4) 건물의 각 층에 25개(5x5 grid pattern) fBS와 25개 fUE가 배치된 예
(Figure 4) An example of deployment of 25 fBSs with the 5x5 grid pattern and 25 fUEs per floor in a building



(그림 5) 평균 fUE 용량 vs. fUE 수/층
(Figure 5) Mean fUE capacity vs. the number of fUEs per floor

시뮬레이션 파라미터를 나타내며, (그림 4)는 EFN이 구축된 건물에서 각 층에 25개의 fBS와 25개의 fUE가 배치된 예를 나타낸다.

(그림 5)는 전형적인 FRF 4와 제안하는 FFR 자원할당 방법의 평균 fUE 용량을 분석한 결과이다. fUE의 수가 증가함에 따라 평균 fUE의 용량은 감소하며, 그 이유는 fUE들 사이의 간섭이 증가할 뿐만 아니라 각 fUE에게 할당되는 자원이 감소하기 때문이다. 또한, FRF 4는 제안하는 FFR 자원할당 방법에서 B_{Inner} 가 1m인 경우보다



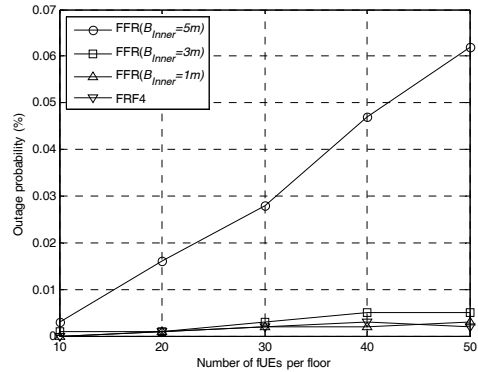
(그림 6) 전체 EFN 용량 vs. fUE 수/층

(Figure 6) System capacity vs. the number of fUEs per floor

는 성능이 높지만, 제안하는 FFR 자원할당 방법에서 B_{inner} 가 3m와 5m인 경우보다는 성능이 낮다. 결과적으로 제안하는 FFR 자원할당 방법에서 B_{inner} 가 5m 일 때, 평균 fUE 용량에서 가장 높은 성능을 보인다. 이유는 B_{inner} 가 3m 인 경우보다 5m인 경우에 fBS가 fUE들에게 서비스를 제공하는데 SG 1에 대한 주파수 간섭을 완화하면서 SG 2에서 SG 5 사이의 주파수를 더 많이 재활용하기 때문이다.

(그림 6)은 전형적인 FRF 4와 제안하는 FFR 자원할당 방법의 전체 EFN 용량을 분석한 결과이다. fUE의 수가 증가함에 따라 전체 EFN 용량은 증가하며, 그 이유는 (그림 5)에서 평균 fUE의 용량은 감소하지만 fUE의 수가 증가함에 따라 모든 fUE 용량의 합은 증가하기 때문이다. 또한, FRF 4는 제안하는 FFR 자원할당 방법에서 B_{inner} 가 1m 인 경우보다는 성능이 높지만, 제안하는 FFR 방법에서 B_{inner} 가 3m와 5m인 경우보다는 성능이 낮다. 결과적으로 제안하는 FFR 자원할당 방법에서 B_{inner} 가 5m 일 때, 전체 EFN 용량에서 가장 높은 성능을 보인다. 이유는 (그림 5)의 평균 fUE 용량에서 설명한 내용과 동일하다.

(그림 7)은 전형적인 FRF 4와 제안하는 FFR 자원할당 방법의 Outage probability 성능을 분석한 결과이다. fUE의 수가 증가함에 따라 Outage probability는 증가하며, 그 이유는 fUE의 수가 증가함에 따라 간섭이 증가하여 fUE의 SINR이 γ_{th} 이하로 내려가는 fUE의 수 η 가 증가하기 때문이다. (그림 5)와 (그림 6)의 결과에서는 제안하는 FFR 방법의 B_{inner} 가 5m 일 때 성능이 가장 높았지만, Outage probability는 급격하게 증가하여 fUE의 수가 15명 일 때 Outage probability의 경계값 10^{-2} 보다 훨씬 높은 결과를



(그림 7) Outage probability vs. fUE 수/층

(Figure 7) Outage probability vs. the number of fUEs per floor

보인다. 그 이유는 B_{inner} 가 5m 일 때, Inner zone에 위치한 fUE의 수가 증가하여 주파수 재사용률도 증가하게 되고 결국 시스템 성능은 높아진다. 하지만, 주파수 간섭이 증가하여 fUE의 SINR이 γ_{th} 이하로 내려가는 fUE의 수 η 가 크게 증가하기 때문이다. 결과적으로 제안하는 FFR 자원할당 방법에서 B_{inner} 가 5m인 경우는 사용하기 어렵고, B_{inner} 가 3m인 경우가 Outage probability의 경계값을 만족할 뿐만 아니라 평균 fUE 용량 및 전체 EFN 용량도 높은 결과임을 알 수 있다.

5. Conclusion

본 논문에서는 회사 또는 백화점 등과 같은 고층 건물에 fBS들이 밀집되어 배치되는 EFN 환경에서 FFR 자원할당 방법을 이용하여 하향링크에 대한 시스템 성능을 분석하였다. 이를 위해, 먼저 매크로셀과 펌토셀 사이의 주파수 간섭을 완화시키는 Split reuse 주파수 할당 방법에 대해 소개하였고, 이후 fBS들에게 주파수 간섭 완화 및 주파수 효율을 극대화할 수 있는 FFR을 이용한 자원할당 방법을 제안하였다. 마지막으로 시뮬레이션을 통해 제안하는 FFR 자원할당 방법의 시스템 성능을 분석하였고, EFN 환경에서 FRF를 4로 사용하는 전형적인 FRF 4 방법보다 제안하는 FFR 자원할당 방법이 평균 fUE 용량, 전체 EFN 용량, 그리고 Outage probability 측면에서 우수한 성능임을 보였다. 특히, 제안하는 FFR 자원할당 방법에서 B_{inner} 가 3m 일 때, 목표하는 Outage probability를 만족할 뿐만 아니라 시스템 성능도 가장 높은 결과임을 알

수 있었다. 향후 연구에서는 매크로셀과의 EFN 사이의 간섭영향을 분석할 뿐만 아니라 매크로셀과 펌토셀 사용자의 분포와 SINR에 따라 B_{MC} 와 B_{FC} 에 유동적인 주파수를 할당하는 Split reuse 자원할당 방법을 연구할 계획이다.

Reference

- [1] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016 - 2021, White paper, CISCO, 2017.
<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>
- [2] A. d. l. Fuente, R. P. Leal, A. G. Armada, "New Technologies and Trends for Next Generation Mobile Broadcasting Services," IEEE Communications Magazine, Vol. 54, No. 11, pp.217-223, 2016.
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2016.1600216RP>
- [3] V. Chandrasekhar, J.G. Andrews, and A. Gatherer, "Femtocell Networks: A Survey," IEEE Communication Magazine, Vol. 46, No. 9, pp.59-67, 2008.
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2008.4623708>
- [4] S. Fortes, A. Aguilar-García, R. Barco, F. B. Barba, J. A. Fernández-luque; A. Fernández-Durán, "Management architecture for location-aware self-organizing LTE/LTE-a small cell networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 53, No. 1, pp.294-302, 2015.
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2015.7010548>
- [5] N. Zhao, X. Liu, F. R. Yu, M. Li, V. C. M. Leung, "Communications, caching, and computing oriented small cell networks with interference alignment," IEEE Communications Magazine, Vol. 54, No. 9, pp.29-35, 2016.
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2016.7565184>
- [6] J. M. R. Aviles, S. Luna-Ramirez, M. Toril, F. Ruiz, I. de la Bandera-Cascales, P. Munoz-Luengo, "Analysis of load sharing techniques in enterprise LTE femtocells," WiAd 2011, pp.195-200, 2011.
<https://doi.org/10.1109/WiAd.2011.5983310>
- [7] G. Cao, D. Yang, R. An, X. Ye, R. Zheng, X. Zhang, "An adaptive sub-band allocation scheme for dense femtocell environment," WCNC 2011, pp.102-107, 2011.
<https://doi.org/10.1109/WCNC.2011.5779114>
- [8] 3GPP TS 22.220, Service Requirements for Home NodeB (HNB) and Home eNodeB (HeNB), 2009.
<http://www.tech-invite.com/3m22/tinv-3gpp-22-220.html>
- [9] <http://www.smallcellforum.org>, Small-Cell Forum.
- [10] Y. Shi, A. B. MacKenzie, L. A. DaSilva, "On Resource Reuse for Cellular Networks with Femto and Macrocell Coexistence," IEEE GLOBECOM 2010, pp.1-6, 2011.
<https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2010.5683443>
- [11] 3GPP TSG-RAN WG 4, R4-092042, Simulation assumptions and parameters for FDD HeNB RF requirements, 2009.
http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/136900_136999/136921/09.00.00_60/tr_136921v090000p.pdf

● 저 자 소 개 ●



김 세 진(Se-Jin Kim)

2004년 조선대학교 전산학과(이학사)

2006년 고려대학교 대학원 전산학과(이학석사)

2010년 고려대학교 대학원 전산학과(이학박사)

2015년~현재 조선대학교 컴퓨터통계학과 교수

관심분야 : 정보통신, 이동통신, Software Defined Network, 사물인터넷 etc.

E-mail : sjkim@chosun.ac.kr