셀룰러 펨토 시스템에서 부하 분산을 통한 분산적 부채널 ON/OFF 스케쥴링 기법

Distributed Subchannel ON/OFF Scheduling by using Load Distribution for Cellular Femto Systems

윤강진*, 김영용*

Kang-Jin Yoon*, Young-Yong Kim*

요 약

셀룰러 펨토 시스템에서 펨토 기지국(f-BS: femto base station)은 좁은 영역에 중복 설치 및 과밀 설치될 수 있다. 이러한 불필요한 설치는 채널을 공유하는 인접 f-BS간 간섭문제를 야기하여서 시스템의 용량과 커버리지에 영향을 미칠 수 있다. 본 논문은 셀룰러 펨토 시스템에서 발생할 수 있는 이러한 성능하락 문제를 해결하기 위하여 강제 핸드오버를 이용한 부하분산과 확률적 자원 이용방법을 제시한다. 제안하는 기법은 중앙 컨트롤러의 조정이 아닌 이웃 f-BS간의 통신을 통한 분산적인 방법이며, f-BS가 주변 정보를 수집하여 스스로 과밀지역에 분포하였음을 인식하고 부하 및 자원 이용의 조절하는 방법을 포함한다. 평균 셀 수율, 사용자당 평균 수율을 바탕으로 제안하는 기법의 성능 향상을 모의실험을 통해 검증하였다.

Abstract

In cellular femto systems, femto Base stations(f-BSs) can be installed unnecessarily and overcrowded in small areas. This will cause an interference problem and it can impact on the capacity, blocking probability, and coverage of femtocells in the shared channel systems. In this paper, we propose a load distribution scheme by using forced handover and probabilistic subchannel scheduling policy to resolve the problem. The proposed scheme operates in distributed manner though communication with neighboring f-BSs, and includes self-detection of overcrowded area and radio resource management based on measurements. We evaluate the performance of the proposed scheme in terms of average cell throughput and average throughput per users.

Key words : Cellular Femto Systems, Load Distribution, Probabilistic Subchannel Scheduling

I. 서 론

무선 이동통신 시스템에서 멀티미디어 컨텐츠, 스트리밍 등 고용량 서비스와 양방향 서비스를 지원하기 위해 셀 용량을 늘리는 시도는 계속되고 있다. 이러한 시도 중에서 높은 주파수 대역을 사용하고 셀 반경을 줄이는 접근이 있어왔는데, 피코셀(picocell)과 같이 셀 반경이 작은 셀을 적용하면, 같은 면적에 더 많은 기지국을 설치해야 하므로 비용이 많이 들게 되는 문제가 있다. 하지만 셀 반경을 줄이면, 기존 셀룰

* 연세대학교 전기전자공학과 (Department of Electrical and Electronics Eng., Yonsei University)
· 제1저자 (First Author) : 윤강진
· 투고일자 : 2012년 5월 25일
· 심사(수정)일자 : 2012년 5월 26일 (수정일자 : 2012년 6월 15일)
· 게재일자 : 2012년 6월 30일

러 시스템에서 쓰던 주파수 보다 높은 대역을 사용할 수 있게 되어, 더 많은 정보를 전달하는 것이 가능하다. 최근 조사에 따르면, 향후 50%의 전화와 70%의 데이터 서비스가 옥내에서 이루어 질 것이라고 예상되고 있는데 [1], 이런 작은 셀을 사용하여 셀 용량과 커버리지를 향상시키는 접근 중에 최근 가장 눈에 띄는 것은 셀룰러 펨토 시스템이다. 펨토셀(femtocell)은 그림 1과 같이 기존 매크로 기지국(M-BS: Macro basestation)의 영역 안에 반경 10~20m정도를 서비스하는 초소형, 저전력을 사용하는 펨토기지국(f-BS: Femto basestation)을 가정/사무실 등의 DSL(digital subscriber line)과 같은 댁내망에 연결하여 실내 소규모 무선 환경을 제공하는 것을 의미한다 [2]. 펨토셀은 실내 서비스 가능 영역을 개선하고 용량을 향상시켜서 서비스의 품질을 높여줄 수 있으며, 셀을 추가 설치할 때 소요 시간의 단축 및 운용에 따른 비용을 절감하여 차세대 이동통신 시스템을 완전히 정착시킬 수 있을 것으로 기대되고 있다.

펨토셀의 중요한 특성은 신규 설치 후 주변에 간섭으로 인한 심각한 영향을 미쳐서는 안 되며, 주변에 심각한 성능감소를 초래한다면 해당 펨토셀의 이용을 제한해야만 한다는 것이다. 하지만 일반적으로 f-BS는 사용자 기반으로 설치되기 때문에 최적의 위치와 기지국의 밀도 및 주변 간섭을 고려한 설치가 어렵고, 과밀지역에 불필요한 설치로 인한 시스템의 성능저하가 발생 할 수 있다. 또한 이를 중앙의 제어장치에서 제어할 경우 수많은 f-BS를 제어해야 하므로 높은 운용비용 및 제어 복잡도를 야기하여 비효율적인 시스템 운용을 불러올 수 있다. 때문에 최근 간섭으로 인한 펨토셀의 성능저하를 개선하기 위한 분산적이고 자가 최적화(Self-optimization)가 가능한 다수의 연구가 진행되고 있다.

[3]은 기지국의 측정에 기반하여 파일롯 신호의 세기를 조정하여 펨토-매크로셀간 빈번하게 발생할 수 있는 핸드오버를 조절하였으며, [4]에서는 IEEE 802.16e 기반의 펨토셀의 성능을 분석하고 자가 최적화가 가능하도록 간섭을 피하는 휴리스틱(Heuristic) 주파수 할당 기법을 제안하였다. [5]는 미리 정의된 수의 부채널을 분산적으로 선택하는 기법을 제안하였으며 [6]은 이에서 더 나아가 중앙의 제어장치 없이 초기 동작 주파수를 결정한 뒤 인접한 이웃셀에 영향을 주지 않는 선에서 추가적인 주파수

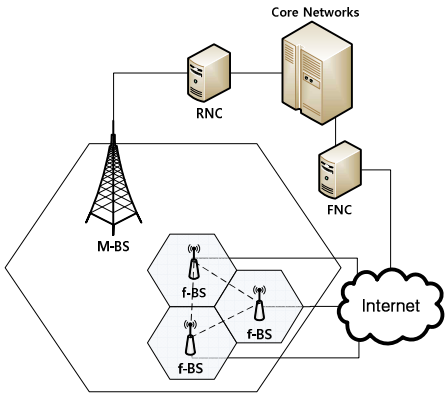

그림 1. 펨토 셀룰러 시스템의 구조
Fig. 1. Architecture of the femtocell cellular system

자원을 선택하는 자가 주파수 재사용 조절 기법을 제시하였다. 이제까지의 대부분의 연구는 최적화와 주변의 인지를 통해 주파수자원을 분할하거나 전송파워를 조절하는 방법으로의 접근이었다.

본 논문에서는 셀룰러 펨토 시스템에서 중복 설치 및 과밀한 설치된 f-BS으로 발생하는 성능하락을 보상하기 위하여 강제 핸드오버를 이용한 부하분산과 확률적 부채널 스케쥴링 방법을 제시한다. 제안하는 기법은 중앙 제어장치의 조정이 아닌 f-BS간의 통신을 통한 분산적인 방법이며, f-BS가 사용자가 수집한 주변 정보를 기반으로 과밀지역에 분포하였음을 인식하고 부하 및 자원 이용의 조절을 통해 간섭으로 발생하는 성능 저하를 극복한다. 이를 통해 주변에 미치는 간섭을 조절하여 전체 시스템의 성능을 향상시키는 것을 목적으로 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어있다. II장에서는 셀룰러 펨토 네트워크의 시스템 모델을 제공하고, III장에서는 제안하는 부하분산 및 부채널 스케쥴링 기법을 소개한다. IV장에서는 모의실험을 통해 제안하는 기법의 성능을 보였다. V장을 통해 논문의 결론에 대해 논의한다.

Ⅱ. 시스템 모델

각 f-BS는 그림 1과 같이 인터넷을 통해 펨토셀 제어국(FNC: Femtocell Network Controller)와 연결되어 인증, 과금 등 제어를 받으며 미리 등록된 제한된 사용자(CSG: Closed Subscriber Group)에게 서비스를 제공하지만, 요청이 있을 경우 등록되지 않은 사용자에게도 에게도 서비스를 할 수 있다. 이러한 펨토셀의 접근을 혼합접근(Hybrid Access)라고 하며, 등록되지 않는 사용자는 자원의 이용에 제한을 둘 수 있다 [7].

단말은 3GPP LTE에서 제안된 ANR(Automatic Neighbour Relation Function) 기법[8]과 같이 주변 셀들의 신호를 측정하여 자신의 f-BS에게 전달하며, f-BS는 이를 통해 주변에 이웃셀의 존재를 인지하고 관리한다. 이웃셀이 감지되면 f-BS는 FNC를 통해 이웃셀과 연결정보를 확인하고 서로간의 직접 통신을 위해 인터페이스[9]를 생성하며, 이것을 통해 핸드오버, 부하, 전송자원 사용 정보를 주고받는다.

본 논문에서는 M개의 f-BS이 N_s개의 부반송파로 이루어진 N_c 개의 동일한 부채널을 공유하는 시스템의 하향링크를 가정한다. M-BS와 f-BS는 서로 다른 채널을 사용하여 서로간의 간섭은 발생하지 않지만, f-BS간에는 동일한 채널을 공유하기 때문에 간섭이 발생한다. 각 f-BS는 n_m 명의 사용자를 서비스하며, 총 펨토셀 사용자는 $N_u = \sum_{m=1}^{M} n_m$ 명이다. 모든 f-BS는 각 부반송파에 P_s의 동일한 파워를 할당한다. f-BS m과 사용자 n간의 부채널 c 내의 부반송파 s의 채널이득을 $H_{m,n}^{c,s}$ 이라고 정의하면, SIR(signal to interference ratio) $\gamma_{m,n}^{c,s}$을 다 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_{m,n}^{c,s} = \frac{P_s \left| H_{m,n}^{c,s} \right|^2}{\sum_{i=1, i \neq m}^{M} P_s \left| H_{i,n}^{c,s} \right|^2} \quad (1)$$

그리고 [4]와 같이 EESM(Exponential Effective SIR Mapping) 방법을 이용하면 N_s개로 이루어진 부채널 c 의 SIR을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SIR_{m,n}^{c} = -\beta \ln\left(\frac{1}{N_s} \sum_{s=1}^{N_s} e^{-\gamma_{m,n}^{c,s}/\beta} \right) \quad (2)$$

다음 표 1은 변조 및 코딩 기법(MCS: Modulation and coding schemes)을 적용하기 위한 부채널의 요구

표 1. 하향 링크에서 변조 및 코딩 기법
Table 1. Modulation and coding schemes (MCS) in the downlink

MCS (반복 기본값 = 1)		주파수효율 (bps/Hz)	수신 SIR (dB)	β (dB)
QPSK	1/2 (4)	0.25	-2.5	2.18
	1/2 (2)	0.5	0.5	2.28
	1/2	1	3.5	2.46
	3/4	1.5	6.5	2.56
16QAM	1/2	2	9.0	7.45
	3/4	3	12.5	8.93
64QAM	1/2	3	14.5	11.31
	2/3	4	16.5	13.80
	3/4	4.5	18.5	14.71

SIR과 β 값을 정리한 것이다. 이것을 이용하여 사용자가 f-BS m의 부채널 c에 할당되어있을 경우 사용자의 수율(throughput)을 주파수 효율(SE: Spectral efficiency, bps/Hz)과 부채널 대역폭 Wc의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$TH_{m,n}^{c} = W_c \cdot SE_{m,n}^{c} \quad (3)$$

사용자는 각 f-BS가 사용하는 고유의 프리엠블을 이용하여 자신의 f-BS의 신호크기와 주변의 f-BS의 간섭량을 측정하여 이를 자신의 f-BS에 보고하고 f-BS는 보고된 측정값을 바탕으로 해당 프레임에서 전송할 사용자와 부채널을 결정한다. 매 프레임마다 f-BS는 한 채널에 한 명씩의 사용자를 스케쥴링하는데 이때 한 프레임에 서비스되는 사용자의 비율인 서비스율은 $S_m = \min(N_c/n_m, 1)$로 표현된다. 여기서 사용자와 채널의 선정은 다중채널 비례공정(PF: Proportional fair) 스케줄러를 이용한다 [10]. 현재 프레임을 t 라고 했을 때, 현재까지 사용자 n의 누적 수

율을 $TH_n(t)$이라고 하자. f-BS는 매 스케쥴링시점 t 마다 사용자 n을 부채널 c에 할당하였을 때 사용자의 예상 수율 (3)을 이용하여 효용함수 $U_n^c(t) = TH_n^c / \{TH_n(t-1) + TH_n^c\}$를 생성한다. 그리고 아래 식 (4)와 같이 전체 부채널에서 최대 효용을 가지는 사용자를 선정하여 할당한다. 할당이 이루어진 후에는 사용자가 한 프레임에 한 부채널만을 사용할 수 있게 하기 위해, 모든 c에 대하여 $U_{n*}^c(t) = 0$로 갱신한다. 매 프레임의 스케쥴링은 $\min(N_c, n_m)$만큼 반복하여 수행된다.

$$(c^*, n^*) = \arg min U_n^c(t), \quad \forall c \in [1, N_c], \forall n \in [1, n_m] \tag{4}$$

위의 스케쥴링을 통해 사용자 n이 f-BS m의 각 부채널 c에서 서비스 받은 이용률을 $\alpha_{m,n}^c$라고 하면, 아래와 같이 f-BS m의 평균 수율을 나타낼 수 있다.

$$TH_m = \sum_{c=1}^{N_c} \sum_{n=1}^{n_m} \alpha_{m,n}^c TH_{m,n}^c \tag{5}$$

Ⅲ. 제안하는 기법

그림 2 는 8개의 f-BS가 존재하는 셀룰러 펨토 시스템의 예이다. 그림 2의 (a)에서 f-BS 8 과 9는 다른 셀에 의해 둘러싸여 있으므로 주변의 높은 간섭으로 인해 사용자의 수율에 감소가 나타나게 된다. 또한 주변의 다른 f-BS도 f-BS 8과 9가 발생시키는 간섭의 영향을 받아 성능의 감소가 나타날 수 있다. 제안하는 기법은 중첩지역에 존재하는 펨토셀의 사용자를 그림 2의 (b)와 같이 인접한 펨토셀로 핸드오버 시키고, 옮겨진 사용자의 비율만큼 중첩지역 펨토셀의 채널이용을 제한하여 전체 시스템의 성능을 향상시키는 것을 목적으로 한다.

제안하는 기법은 과밀지역 분포의 감지, 부하 분산을 위한 핸드오버 결정, 그리고 부채널 스케쥴링의 세 가지 단계로 이루어진다.

3-1 과밀지역 분포의 감지

Ⅱ장에서 언급하였듯이 설치된 f-BS는 사용자의 측정에 기반하여 이웃셀의 존재를 인지한다. 각 f-BS는 ANR 기법을 이용하여 사용자에게 주변 셀의 상황을 보고하도록 명령할 수 있다. 주변 f-BS는 브로드캐스트 채널을 통해 주기적으로 자신의 셀정보

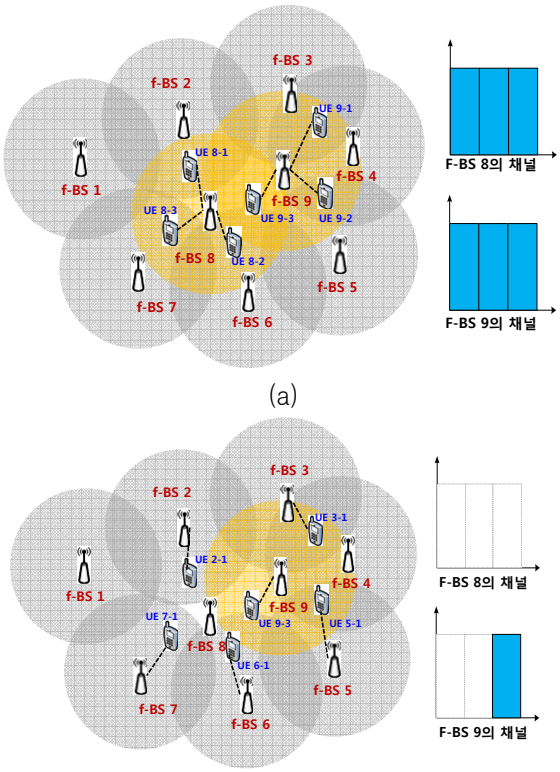

그림 2 제안하는 기법의 동작 예
Fig. 2 An operation of the proposed scheme

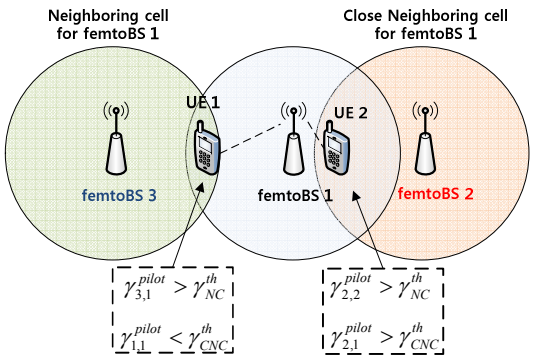

그림 3. 일반 이웃셀과 가까운 이웃셀의 관계
Fig. 3. Relationship between neighboring cells and close neighboring cell

(CID: cell identification)와 파일롯 신호를 전송하므로, 명령을 받은 사용자가 이웃셀의 정보를 수신하면 수신한 f-BS의 셀정보와 파일롯 신호의 SIR을 계산하여 자신의 f-BS로 전달한다. 이때 이웃셀을 측정한 사용자의 상태를 바탕으로 본 논문에서는 이웃셀의 종류를 일반이웃셀(NC: Neighboring cell)과 가까운 이웃셀(CNC: Close Neighboring cell)로 세분화하였다.

그림 3는 CNC와 NC의 차이점을 보여주고 있다. CNC란 자신의 f-BS에 게서 충분한 SIR을 얻을 수 있는 사용자에게 감지된 이웃셀이다. CNC가 존재하는 경우 두 셀 간에 많은 영역이 중첩되는 경우라 할 수 있으며 다수의 CNC가 존재하는 경우, 해당 셀은 과밀지역에 분포되어 있다고 고려될 수 있다. NC는 일반적인 이웃셀 관계를 가지는 셀이며 셀 경계에서 중첩되는 영역이 존재한다.

그러므로 f-BS i는 사용자 k가 발견한 다른 f-BS j의 파일롯 신호의 SIR인 $\gamma_{j,k}^{pilot}$ 값이 이웃셀 임계치인 γ_{NC}^{th}보다 큰 경우 우선 NC 항목에 f-BS j를 등록한다. 그 후 사용자 k와 현재 자신 사이의 파일롯 신호의 SIR인 $\gamma_{i,k}^{pilot}$가 가까운 이웃셀 임계치인 γ_{CNC}^{th}보다 큰 경우 해당 이웃셀 j는 CNC 목록으로 이동되어 등록된다. 여기서 $\gamma_{NC}^{th} \leq \gamma_{CNC}^{th}$ 이다.

3-2 핸드오버 결정

이웃셀(또는 가까운 이웃셀)로 등록된 f-BS끼리는 서로간의 유선 인터페이스를 통해 정보를 주고 받는다. 제안하는 기법에서는 f-BS 간에 사용자당 평균 셀 수율을 계산하여 정보를 공유한다고 가정한다. 사용자당 평균 수율은 식 (5)를 이용하여 다음의 $TH_m^{avg} = TH_m / n_m$ 와 같이 계산할 수 있다. 과밀지역에 분포한 f-BS에 속한 사용자들은 인접 f-BS로부터 간섭의 영향을 크게 받으므로 사용자당 평균 수율은 셀 내의 분포에 따라 주변 다른 셀 보다 작을 수 있다. 그러므로 가까운 이웃셀이 존재하는 f-BS i는 자신의 가까운 이웃셀 목록 안의 f-BS j의 사용자당 평균 수율을 비교하여 $TH_i^{avg} < TH_j^{avg}$ 인 j(j≠i) 가 존재할 경우 사용자의 핸드오버를 결정하게 된다. 이때 이웃셀로 핸드오버하는 사용자는 $\gamma_{j,k}^{pilot}$가 큰 사용자부터 선택하여 순차적으로 f-BS j로의 이동을 명령하고 유선 인터페이스를 통해 f-BS j에게 핸드오버를 받아줄 것을 요청한다.

$$(j^*, k^*) = \arg min \gamma_{j,k}^{pilot}, \quad \forall j \in [1, M], \forall k \in [1, n_m] \tag{6}$$

3-3 부채널 스케쥴링

혼합 엑세스로 동작하는 셀룰러 펨토 시스템의 경우 등록되지 않은 사용자에게 서비스를 제공할 때, 등록되지 않은 사용자의 자원이용을 제한할 수 있다[7]. 하지만 이 경우 이동한 사용자의 서비스 품질을 보장할 수 없기 때문에 제안하는 기법에서는 위에서 선택된 핸드오버를 결정한 f-BS의 자원의 사용을 제한하는 방향으로 접근한다. 핸드오버를 하여서 현재 f-BS의 부하가 줄어든 상태이기 때문에 부채널의 사용을 제한하여 인접 f-BS의 성능감소를 보상한다.

앞서 각 펨토셀은 PF 스케줄러를 이용하여 사용자와 채널을 선정한다고 가정하였다. 실내에 분포하는 펨토셀 사용자는 움직임이 적고 시스템 모델에서 각 f-BS는 부반송파에 P_s의 동일한 전송파워를 이용한다고 가정하였기 때문에 시간에 따른 각 부채널의 변화가 매우 적다고 가정할 수 있다. PF 스케쥴러로 계산되는 각 사용자의 각 부채널 이용률은 순환 순차(RR: Round Robin) 스케줄러와 동일하게 된다. 만약 사용자가 한 프레임에서 다수의 부채널을 가져갈 수 있다고 가정하였을 때, f-BS m에서 프레임당 사용자의 평균 부채널 사용 개수인 $O_{m,n}$(채널 / 프레임)은 다음과 같이 표현할 수 있다. 단, 본 논문의 시스템 모델은 한 사용자는 한 프레임에서 하나의 부채널만을 사용한다고 가정하였으므로. 실제 부채널의 사용 개수는 셀의 서비스율 S_m과 같다.

$$O_{m,n} = \frac{N_c}{n_m} \tag{7}$$

사용자를 핸드오버 시키기면 분모가 감소하므로 해당 셀의 사용자당 평균 부채널 사용 개수는 증가한다. 제안하는 기법은 핸드오버 이전의 값으로 평균

부채널 사용 개수를 조정하기 위해 각 부채널의 사용을 on/off 스케쥴링 한다. 사용자 N_{HO} 명을 핸드오버 시켰을 경우 제한해야하는 부채널의 개수 N_{limit}는 아래와 같이 구할 수 있다.

표 2. ρ_i^c을 구하기 위한 슈도코드

Table 2. Pseudo code for ρ_i^c

Initiate:

$\rho_i^c = 1$ for $\forall c \in [1, N_c]$

$c = 1$

Calculation:

while $N_{limit} > 0$

if $N_{limit} \geq 1$

$\rho_i^c = 0$

$N_{limit} = N_{limit} - 1$

$c = c + 1$

elseif $N_{limit} < 1$

$\rho_i^c = \rho_i^c - N_{limit}$

$N_{limit} = 0$

end

end

$$\frac{N_c}{n_m} = \frac{N_c - N_{limit}}{n_m - H_{HO}}$$
$$\rightarrow N_{limit} = N_c - \frac{N_c(n_m - N_{HO})}{n_m} \quad (8)$$
$$= \frac{N_c N_{HO}}{n_m} = O_{m,n} N_{HO}$$

핸드오버셀 f-BS i는 N_{limit}개의 부채널을 매 프레임마다 사용을 제한 (off) 해야 한다. 핸드오버셀 f-BS i에서 각 부채널 c 의 사용할 확률 ρ_i^c을 위의 표 2와 같이 계산한다.

부채널에 on/off 스케쥴링이 적용되면 인접한 f-BS j (j≠i)의 사용자 k의 SIR은 시간에 따라 변화하게 된다. ρ_i^c는 매 프레임에서 f-BS i의 부채널 이용률을 나타내므로 부반송파 s의 평균 SIR은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E[\gamma_{j,n}^{c,s}] = \frac{P_s |H_{j,n}^{c,s}|^2}{\sum_{i=1, i \neq j}^{M} \rho_i^c P_s |H_{i,n}^{c,s}|^2} \quad (9)$$

이때, $0 \leq \rho_i^c \leq 1$ 이므로, 인접셀 사용자가 감

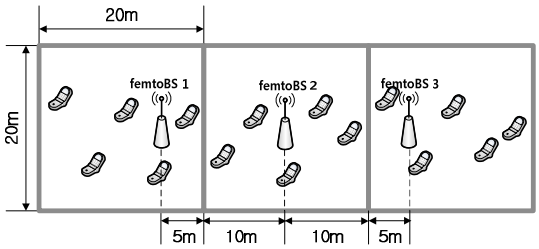

그림 4. 모의실험 시나리오

Fig. 4. Simulation scenario

지하는 간섭의 양이 줄어들게 되어 평균 SIR은 핸드오버 사용자를 받아들이기 전보다 증가하게 되고 사용자 및 셀 수율의 증가로 이어질 수 있다. 또한 핸드오버셀의 사용자 당 부채널 사용개수는 이전과 동일하게 유지되므로 핸드오버셀의 기존 사용자의 서비스 품질의 보장도 이루어진다.

Ⅳ. 제안하는 기법의 성능 모의실험

4-1 모의실험 환경

본 모의실험을 위해서 그림 4와 같은 실내에 설치된 대칭적 펨토셀 구조를 가정하였다. 3개의 구역은 각 (20x20) m2의 영역에 신호감쇄가 발생하는 벽으로 서로 구분되어 있다. 각 채널의 이득은 거리에 따른 감쇄와 벽의 감쇄만을 고려하였다. 실내에서 거리 d에 따른 신호감쇄모델은 [11]의 각 12dB의 신호감쇄가 발생하는 두꺼운 벽을 통과하는 indoor small office의 Non-Line-of-sight모델을 따른다. f-BS와 동일한 실내에서는 벽을 통한 감쇄는 일어나지 않으며 n_w는 통과하는 벽의 개수, 반송파 주파수는 2.5GHz이다.

$$PL = 46.4 + 20\log_{10}(d[m]) + 12n_w \quad (10)$$
$$+ 20\log_{10}(f[GHz]/5.0)$$

f-BS 2 는 셀의 정중앙에 위치하고 있지만 인접한 f-BS 1와 3은 중앙셀로 치우치게 배치되어서 f-BS 2 는 과밀지역에 분포한 펨토셀로 동작하게 된다. 정량적인 분석을 위하여 사용자는 x 축상으로는 $20/n_m$ 만큼의 거리를 두고 분포하며 y 축상으로는 균등분포 (uniform distribution)을 이루도록 하였다.

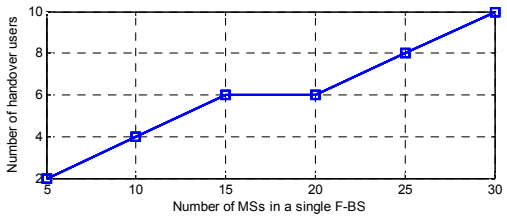

그림 5. 핸드오버 사용자의 수
Fig. 5. Number of handover users

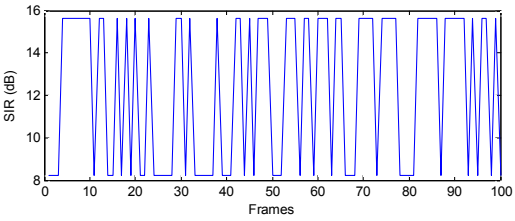

그림 6. 셀 경계 사용자의 SIR 변화
Fig. 6. SIR for user in f-BS1 cell edge

각 f-BS의 부채널당 전송 파워는 13dBm으로 동일하며 W_c와 N_s는 수율의 표현에서 단순히 스칼라 곱을 나타내므로 각 1로 고정하였다. 또한 각 부채널의 SIR 이 -2.50 dB 미만인 경우 해당 사용자는 아웃티지(outage)가 발생한 것으로 간주하여 전송에서 제외하였다. 실제로 셀당 사용자의 수를 5에서 30으로 5명씩 변화시켰을 때, f-BS 2의 양 끝에 존재하는 사용자 중 [0, 2, 2, 4, 4, 4] 명이 아웃티지가 발생한다. 본 모의실험에서는 펨토셀에서 사용하는 부채널의 수를 15개로 고정하고 각 펨토셀영역의 등록된 사용의 수를 각 5에서 30까지 변화시켜가면서 제안하는 기법의 성능 향상을 보였다. 본 논문에서는 채널 추정이 완벽하고 낮은 이동성의 펨토셀 사용자를 가정하여 움직임은 고려하지 않았다.

4-2 부채널 스케쥴링 결과

그림 5는 제안하는 방식으로 부하분산을 위해 핸드오버를 수행하였을 경우 각각 핸드오버 사용자의 평균 수를 나타낸 것이다. 핸드오버 사용자의 수는 채널수에 영향을 받지 않지만 셀당 사용자의 수가 증가하면 셀 경계의 사용자가 많아지므로 증가하게

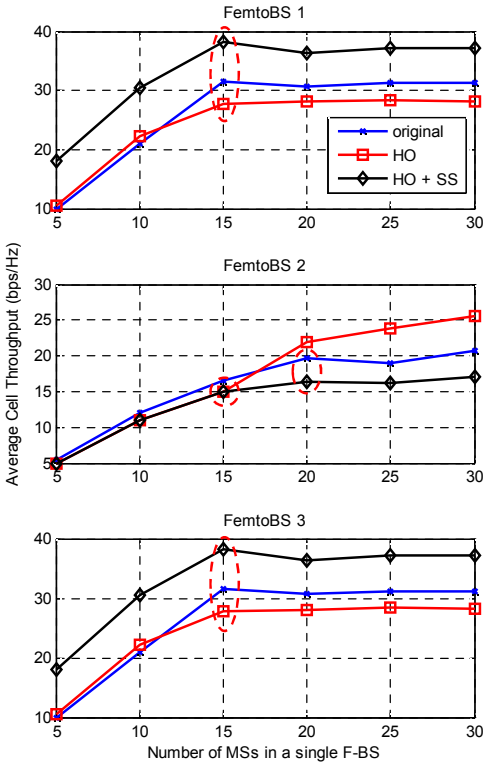

그림 7. 평균 셀 수율 (bps/Hz)
Fig. 7. Average cell throughput (bps/Hz)

된다. f-BS는 핸드오버사용자의 수에 따라 식 (8)을 이용하여 제한해야하는 채널을 결정하게 된다. 그림 6은 N_c = 15, n_m=20 의 경우 f-BS 1의 셀 경계에 있는 사용자의 5번째 부채널의 SIR 변화를 측정한 것이다. 이때 f-BS 2 은 1~4 번 부채널은 항상 off 상태로 두고 5번째 부채널을 0.5의 확률로 on/off 스케쥴링 하게 된다. 셀 경계사용자의 SIR은 on 상태일 때 8.20 dB, off 상태일 때 15.65 dB로 변화하게 되고, 평균 13.65 dB의 SIR을 가지게 된다. 평균 SIR은 핸드오버 사용자를 받아들이기 전보다 증가하게 되고 사용자 및 셀 수율의 증가로 이어질 수 있다.

4-3 평균 셀 수율 성능

그림 7 는 혼합접근방식으로 동작하는 셀룰러 펨토 시스템에서 부하 분산을 수행하지 않고 CSG에게만 서비스를 제공하는 기존 시스템(original)과 부하 분산만을 수행한 경우(HO), 그리고 부하 분산에 따른 부채널 스케쥴링을 적용한 경우(HO+SS)의 평균

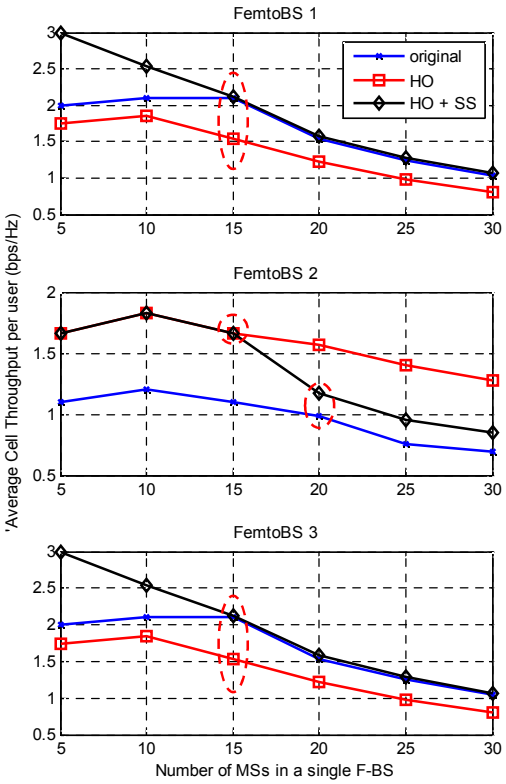

그림 8 사용자당 평균 셀 수율 (bps/Hz)
Fig. 8. Average cell throughput per user (bps/Hz)

셀 수율 성능을 보여준다. 채널이 15개 이므로 셀 수율은 사용자의 수가 15명까지는 채널의 수가 사용자의 수 보다 많다. 그러므로 양 옆에 존재하는 f-BS 1 과 3은 평균 셀 수율은 15명까지는 증가하다가 이후 수렴하게 된다. 가운데의 f-BS2는 과밀지역 분포로 인해 셀 경계 사용자의 아웃티지가 발생하므로 이러한 사용자를 제외하고 스케쥴링이 이루어지게 되고, 20명의 사용자까지는 증가하다가 수렴한다.

핸드오버(HO)만을 적용하였을 경우 인접셀의 사용자는 증가하지만 f-BS 2 가 발생시키는 간섭의 양은 변화하지 않는다. 그러므로 f-BS 1과 f-BS 3의 셀 수율은 HO 시에 기존 값보다 15명 이하 일 때 최대 12%, 15명 초과인 경우 30명 일 때 최대 9.76% 감소하게 되지만 f-BS 2는 사용자가 감소하였으므로 12%에서 25% 까지 셀수율이 증가한다. 이때 부채널의 스케쥴링(HO + SS)을 적용하여 f-BS 2의 일부 부채널 사용을 제한하면 인접한 셀에 존재하는 사용자의 SIR이 증가하고 해당 셀의 평균셀 수율은 18.37%에서 5명일 때 최대 71.43%까지 증가하게 된다. f-BS2는 사용자가 줄어든 만큼 평균 셀 수율은 30명일 때 최대 18.19%의 감소가 나타나게 된다.

하지만 그림 8과 같이 사용자 당 평균 셀 수율로 결과를 살펴보면 제안하는 기법(HO+SS)를 적용하였을 때, f-BS 2 의 성능은 기존(original)대비 19.93%에서 52.75% 까지 증가하게 된다. 이는 채널 상황이 좋지 않은 사용자를 인접셀로 이동시켰으므로 셀 안에 남아있는 사용자의 평균 SIR이 높아지기 때문이다. 또한 인접셀의 경우에는 제안하는 기법을 적용하였을 때 원래 사용자수가 15명 이전에는 사용자당 평균 셀 수율이 기존 보다 최대 50%까지 더 높게 나타나며 15 명부터는 기존의 성능과 동일한 결과를 보인다.

V. 결 론

본 논문은 사용자 기반으로 설치되는 셀룰러 펨토 시스템에서 불필요한 설치로 인해 발생할 수 있는 간섭으로 인한 성능 감소를 극복하기 위한 방안을 제시하였다. 제안하는 기법은 과밀지역에 존재하는 f-BS가 이를 스스로 인지하고 주변과의 통신을 통해 자신의 부하(사용자)를 강제 핸드오버를 이용하여 분산시키고 확률적으로 부채널 스케쥴링하여 주파수 자원의 사용률을 조절하는 것이다. f-BS는 이웃셀에게 옮겨진 사용자의 비율만큼 부채널의 사용을 제한함으로 자신의 사용자당 평균 셀수율을 유지하면서 사용자를 받아들인 이웃셀의 평균 셀수율을 향상시키는 것을 모의실험을 통해 확인하였다.

제안하는 방법을 적용함으로서 f-BS는 복잡한 채널의 할당 과정 없이 동작하게 되며 비효율적인 설치로 인한 셀룰러 펨토 시스템을 효과적으로 분산제어 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2012-H0301-12-1001)

참 고 문 헌

[1] D. Lopez-Perez, A. Valcarce, G. de la Roche, and Zhang Jie, "OFDMA femtocells: A roadmap on interference avoidance," *IEEE Communications Mag.*, vol.47, no.9, pp.41-48, September 2009.

[2] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, “Femtocell networks: A survey,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no. 9, Sept. 2008, pp. 59-67.

[3] H. Claussen, L.T.W. Ho, and L.G. Samuel, "Self-optimization of coverage for femtocell deployments," *Wireless Telecommunications Symposium*, pp.278-285, 24-26 April 2008.

[4] H. Zeng, C. Zhu, and W.-P. Chen, “System performance of self-organizing network algorithm in WiMAX femtocells,” *in Proceedings of the 4th Annual International Conference on Wireless Internet*, *ICST*, Brussels, Belgium, 2008, pp. 25:1-25:9.

[5] Chiao Lee, Jane-Hwa Huang, and Li-Chun Wang, "Distributed channel selection principles for femtocells with two-tier interference," *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring)*, pp.1-5, 16-19 May 2010.

[6] L.G.U. Garcia, I.Z. Kovacs, K.I. Pedersen, G.W.O Costa, and P.E. Mogensen, "Autonomous component carrier selection for 4G femtocells - A fresh look at an old problem," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.30, no.3, pp.525-537, April 2012.

[7] A. Golaup, M. Mustapha, and L.B. Patanapongpibul, "Femtocell access control strategy in UMTS and LTE," *IEEE Communications Magazine*, vol.47, no.9, pp.117-123, September 2009.

[8] 3GPP TS 36.300 V10.7.0, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA) and evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN); overall description; stage 2," Mar. 2012.

[9] 3GPP TS 36.423 V11.0.0 "Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 application protocol (X2AP)," Mar. 2012.

[10] M. Kaneko, P. Popovski, and J. Dahl, "Proportional fairness in multi-carrier system: Upper bound and approximation algorithms," *IEEE Communication Letters*, vol. 10, no. 6, June 2006.

[11] IEEE 802.16m-08/004r5, IEEE 802.16m Evaluation Methodology Document (EMD).

윤 강 진 (尹江鎭)

2004년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
2006년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
2006년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
관심분야 : 이동통신 시스템 자원관리, Self-organizing Networks, 펨토셀 시스템

김 영 용 (金泳龍)

1991년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1993년 2월 : ABCD Univ. 전기공학과(공학석사)
1999년 : The university of Rexas at Austin 전기 및 컴퓨터 공학 박사
2000년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 교수
관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, 무선네트워크2)