

OFDMA 기반의 기업형 펌토셀 네트워크를 위한 협력 통신 기법

정회원 김 승 연*, 이 상 준**, 종신회원 류 승 완***, 조 충 호**, 정회원 이 형 우*

Cooperative Transmission Scheme for OFDMA Based Enterprise Femtocell Networks

Seung-Yeon Kim*, Sang-Joon Lee** *Regular Members*

Seung-Wan Ryu***, Choong-Ho Cho** *Lifelong Member*, Hyong-Yoo Lee*^o *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 OFDMA 기반의 기업형 펌토셀 네트워크 환경에서 펌토셀의 성능 향상을 위한 협력 통신 기법(cooperative transmission scheme; CTS)을 제안한다. 제안된 알고리즘에서 UE(user equipment)는 현재 접속 중인 fBS(serving femtocell base station)에서 뿐만 아니라 주변 fBS에서 원하는 신호(desired signal)를 받게 된다. 따라서 UE는 동기화된 두 개의 신호에 의해 향상된 신호 대 간섭 잡음 비(SINR)를 얻게 된다. 알고리즘의 성능 평가를 위해 콜 레벨 QoS(quality of service)와 패킷 레벨 QoS를 성능 지표로 나타낸다. 먼저 다양한 offered load에서 하향 링크 자원에 대한 호 차단 확률과 자원 이용률을 측정한다. 그리고 측정된 값을 사용하여 시스템의 outage 확률과 시스템 처리량(effective throughput)을 시뮬레이션 한다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 알고리즘이 기존 시스템에 비해 시스템 처리량에서 향상된 성능을 가짐을 보인다.

Key Words: Enterprise femtocell, cooperative transmission, synchronized signal, outage probability, effective throughput

ABSTRACT

In this paper, we propose the cooperative transmission scheme (CTS) for system throughput maximization in OFDMA based enterprise femtocell networks. In our scheme, the user equipment (UE) can receive the desired signal from serving femtocell BS (fBS) as well as an adjacent fBS. Thus, UE achieves an improved signal to interference plus and noise ratio (SINR) by the synchronized two signals. The performances of this strategy consider not only the call-level quality of service (QoS) but also the packet-level QoS. We first measure the call blocking probability and utilization for the downlink resources for various offered load in femtocell. Based on that, the outage probability and effective throughput of the system are simulated. Simulation results show that the proposed scheme can reduce the outage probability for enterprise femtocell compared with conventional systems

I. 서 론

펌토셀은 저전력, 저비용 데이터 접속 기지국으로 주택 내부에서 빠른 데이터 전송 및 음성 전송을 원하

* 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임(2011-0014295)

* 고려대학교 전자정보공학과 B-ISDN 연구실 (kimsy8011, hwlee@korea.ac.kr), (°:교신저자)

** 고려대학교 컴퓨터정보학과 BCN 연구실 (leesj1124, chcho@korea.ac.kr) *** 중앙대학교 정보시스템학과 (ryu@cau.ac.kr)

논문번호 : KICS2012-01-006, 접수일자 : 2012년 1월 4일, 최종논문접수일자 : 2012년 4월 26일

는 사용자를 위해 10m이내의 작은 서비스 커버리지를 제공할 수 있다^[1]. 또한 펌토셀은 무선 통신 사용자들의 증가된 서비스 요구에 맞추어 무선 자원의 부족을 해결하도록 매크로셀로부터의 트래픽을 분산시킬 수 있다. 원래 펌토셀은 가정에서 사용될 목적으로 만들어 졌으나 앞서 설명한 펌토셀의 이점들 때문에 공공장소나 기업 사무실에서 사용이 가능하다. 그리고 특별히 이와 같은 펌토셀을 기업형 펌토셀(enterprise femtocell)이라 한다^[2]. 그러나 공공장소나 기업 사무실 환경에서 펌토셀을 설치한다는 것은 제한된 장소에 다수의 펌토셀을 설치해야 하기 때문에 신호의 감쇄 및 간섭의 증가로 인해 사용자의 성능이 저하될 수 있다^[3].

셀 간 간섭에 대한 기존 연구에서는 매크로 셀과 같은 환경에서 inter cell interference (ICI) 발생 문제를 해결하기 위한 방법들이 있었다. 주파수 배치가 가장 일반적인 해결 방법의 하나로 주파수 재사용 기술(fractional frequency reuse; FFR)은 정적인 주파수 재사용으로 시스템의 성능 향상을 가져온다^[4]. 하지만 펌토셀과 같은 작은 커버리지를 서비스하는 시스템에는 적당하지 않다^[5]. 향상된 주파수 공유 기법으로 간섭 그래프(interference graph)^[6]와 게임 이론(game theory)^[7]이 있다. 주파수 할당 기법에 기초를 둔 간섭 그래프와 게임 이론은 시스템의 성능 향상을 가져오는 반면 주파수 할당에 있어 복잡도가 큰 단점을 가지고 있다. 예를 들어 [14]에서 소개된 게임 이론을 적용할 경우, 하나의 펌토셀에 존재하는 전체 사용자가 N 명 있다고 가정하면 각 기지국들은 매 순간마다 N 개의 단말과의 경로 이득을 추정하여 N차 방정식의 근과 주변 기지국에 존재하는 단말의 경로이득을 모두 찾아야 하기 때문에 사용자가 늘어날수록 기지국의 부담은 더욱 커지게 된다.

따라서 본 논문에서는 기업형 펌토셀 환경에서 펌토셀의 시스템 처리량 증대를 위해 데이터 전송 시간 조절을 사용하는 협력 통신 기법 (cooperative transmission scheme; CTS)을 제안한다. 데이터 전송 시간 조절은 다수의 안테나로부터 하나의 수신기로 신호가 동기화되어 다이버시티 게인 (diversity gain)을 얻을 수 있는 기법으로 송신기와 수신기 사이의 거리가 작을수록 높은 다이버시티 게인을 얻을 수 있고^[8], 현재 사용 중인 기지국과 협력 통신을 해야 할 기지국간의 채널 사용 유무를 판단하기 때문에 계산량도 적기 때문에 기업형 펌토셀 환경에 적합하다.

본 논문은 다음과 같은 구성을 갖는다. 2장에서는 기업형 펌토셀 시스템을 모델링하고 3장에서는 협력

통신 기법을 제안한다. 그리고 4장에서는 제안된 알고리즘에 따른 두 가지의 자원 할당 방법을 소개한다. 5장에서는 알고리즘의 성능 측정을 위한 성능 지표를 세우고, 6장에서는 시뮬레이션 결과를 보인다. 마지막으로 7장에서는 결론을 맺는다.

II. 시스템 토폴로지 및 모델링

2.1. 시스템 모델링

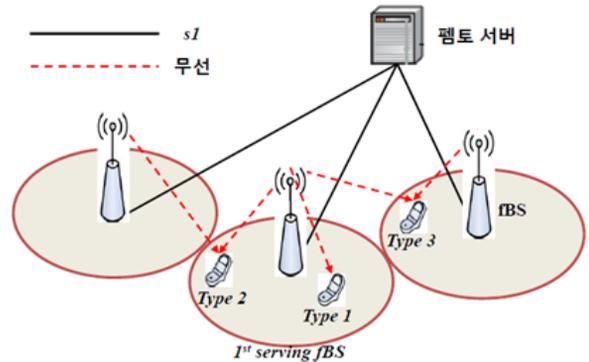


그림 1. 펌토셀의 협력 통신 시나리오
Fig. 1. Cooperative transmission Scenario of femtocell

본 논문에서는 그림 1과 같이 펌토셀과 펌토셀 사용자(UE) 그리고 펌토 서버로 이루어진 계층 구조의 OFDMA기반의 기업형 펌토셀 환경을 가정한다. 다수의 펌토셀이 밀집하여 있고 각 셀의 중심에 펌토셀 BS(femtocell Base Station; fBS)가 위치하여 벽이나 사무실 칸막이와 같은 장애물에 의해 wall loss를 갖는 동일한 크기의 육각셀을 서비스 영역으로 한다. 그리고 각각의 fBS는 인터페이스를 통해 직접 연결되지 않고 s1 인터페이스를 통해 펌토셀 서버와 연결된다^[9]. 펌토셀은 OFDMA 기반의 LTE 시스템으로 일정한 시간 단위 (slot)와 주파수 단위 (sub-carrier)를 갖는 RB (Resource Block)는 갖게 되는데 본 논문에서는 한 프레임 (20slot)당 C개의 RB를 가정한다.

2.2. 신호 및 전파 모델

fBS i와 UE 사이의 거리를 R_i 라하고 UE에 수신된 신호의 파워를 P_i 라 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_i = P \times 10^{-PL(R_i)/10} \times L_i \quad (1)$$

식 (1)에서 P는 펌토셀의 전송 파워이고 PL()은 경로 손실, 그리고 L_i 는 0을 평균으로 σ 를 표준편차로

갖는 log-normal분포 형태의 쉐도잉 효과(shadowing effect)를 나타낸다. 장애물에 의해 wall loss가 발생할 경우 식 (1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_i = P \times 10^{-PL(R_i)/10} \times 10^{-WL/10} \times L_i \quad (2)$$

여기에서 WL은 wall loss (dB)를 나타낸다.

LTE시스템을 사용하는 fBS는 OFDMA 기반으로 모든 fBS로부터 UE에 도착하는 신호들을 표현하면 다음과 같다.

$$y(t) = h_i s_b(t) + z(t) + n(t) \quad (3)$$

여기에서 $h_i s_b(t)$ 는 UE가 원하는 신호 (desired signal)이고 $s_b(t)$ 은 식 (4)와 같다.

$$s_b(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} a_k e^{j2\pi kt/T_u}, -T_g \leq t \leq T_u \quad (4)$$

식 (4)에서 N_c 는 UE가 사용하는 서브 캐리어의 수를 나타내고 a_k 은 서브 캐리어 k 의 정보 심볼 (information symbol)을 나타낸다. T_u 은 OFDM 심볼의 유용한 부분(useful part)의 시간, T_g 은 가드 인터벌 (guard interval)의 시간을 나타낸다^[10]. 식 (3)에서 $z(t)$ 은 주변 fBS로부터 오는 간섭 신호를 나타내고, $n(t)$ 은 잡음을 나타낸다.

III. 협력 통신 기법 (CTS)

다수의 셀로부터 동일한 신호를 동기화하여 전송하게 되면 UE에서 받게 되는 신호는 마치 하나의 셀로부터 전송된 하나의 신호처럼 인식하게 되는데^[11] UE는 향상된 질의 신호를 얻게 되어 ICI를 극복할 수 있게 된다. 본 논문에서는 CTS를 사용하는 UE가 두 개의 경로에서 신호를 받게 되는데 초기에 접속한 fBS (1st serving fBS)경로와 주변의 fBS (2nd serving fBS)에서 오는 경로로 정의한다.

UE의 셀 탐색 과정에서 주변 fBS들로부터 신호를 감지할 때마다 그 신호의 세기 값을 연결된 1st serving fBS를 통해 펠토 서버에 보고하게 된다. 그리고 펠토 서버는 보고된 신호의 세기 값을 통해 UE에 적합한 2nd serving fBS를 결정하게 된다. 펠토 서버는 선택된 fBS에 UE의 현재 RB 구성 정보, 코딩 그리고 모듈레이션 기법 (modulation scheme)을 보내게 된다. 다음으로 UE와 2nd serving fBS는 추가적인 연

결이 이루어지고 UE로부터 전송된 채널 상태 정보 (channel state information)를 통해 1st serving fBS와 데이터 전송 시간을 2nd serving fBS와 동기화 하게 된다. 여기에서 동기화는 1st serving fBS와 2nd serving fBS에서 도착하는 신호들의 시간에 대한 정보를 UE가 채널 상태 정보에 넣어 펠토 서버에 전송함으로써 먼저 도착한 신호가 나중에 도착한 신호와 동기 되어 도착할 수 있도록 fBS의 전송 시간을 조절 하게 됨을 말한다. 따라서 UE는 1st serving fBS와 2nd serving fBS로부터 동일한 RB를 통해 서로 다른 지연 시간(delay)을 갖는 동기화된 두 개의 desired 신호 ($i=0$; 1st serving fBS, $i=1$; 2nd serving fBS)를 받게 되는데 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = \sum_{i=0}^1 h_i s_b(t) + z_c(t) + n(t) \quad (5)$$

여기에서 τ_i 은 fBS i 로부터 UE까지의 전파 지연 (propagation delay)을 나타내고 $z_c(t)$ 은 2nd serving fBS를 제외한 주변 fBS로부터 오는 간섭 신호를 나타낸다. 본 논문에서 펠토 서버는 UE에 가장 큰 신호를 전송할 수 있는 fBS를 2nd serving fBS로 결정하도록 가정한다.

IV. CTS 기반 시스템의 자원 할당 과정

본 장에서는 CTS기반 시스템 자원 사용률과 호 차단 확률을 정의하고 이를 포함하는 콜 레벨 QoS를 측정하기 위한 두 가지의 자원 할당 과정을 소개한다. 본 논문에서 UE는 음성 서비스를 하나의 RB를 사용하는 것으로 가정하여 셀에서 호가 발생하면 RB를 요청하게 되는데 RB가 있을 경우 UE에 할당되는 반면 그렇지 못할 경우 그 UE는 RB를 할당 받지 못한다. 그리고 UE의 전송이 끝나게 되면 RB는 릴리즈 (release)된다. 한정된 RB수로 인해 UE는 RB를 할당 받지 못하게 되는데 이를 호 차단이라 한다. 자원 사용률은 하나의 펠토셀에 할당된 자원이 UE들의 서비스에 의해 점유되는 시간으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{자원사용률} = \left(\frac{\sum \text{사용자의 서비스시간}}{\text{시플레이션 시간}} \right) / \text{RB수} \quad (6)$$

그림 1에 나타난 것과 같이 CTS를 사용하는 펠토 셀 시스템은 다음과 같은 3종류의 UE를 갖게 된다.

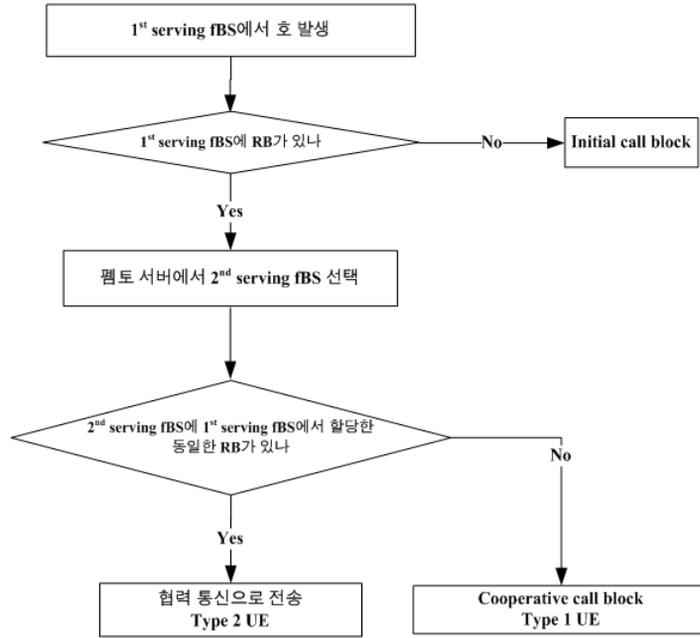


그림 2. Non-preemptive 자원 할당 과정
Fig. 2. Non-preemptive resource allocation procedure

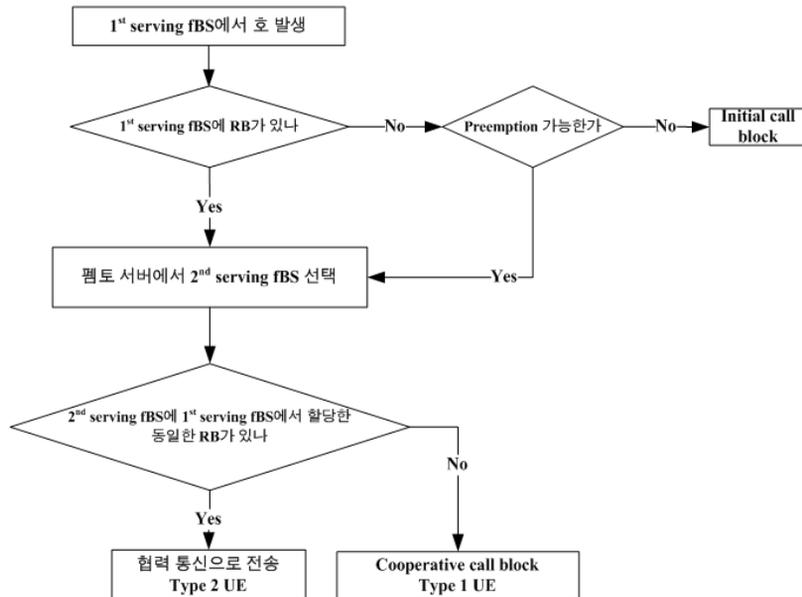


그림 3. Preemptive 자원 할당 과정
Fig. 3. Preemptive resource allocation procedure

- Type 1 UE - 1st serving fBS로부터만 자원을 할당 받아 사용하는 UE
- Type 2 UE - 1st serving fBS와 2nd serving fBS에서 자원을 할당 받아 협력 통신을 하는 UE
- Type 3 UE - 다른 셀에 속하여 1st serving fBS로부터 자원을 할당 받아 협력통신을 하는 UE.

4.1 non-preemptive 자원 할당

1st serving fBS에서 호가 발생하게 되면 UE는 RB를 요청(initial call)하게 된다. RB가 없을 경우 호는 차단(initial call block) 된다. 반대로 RB가 있을 경우 1st serving fBS로부터 RB를 할당 받게 되고 2nd serving fBS에 RB를 요청(cooperative call)하게 되는데 2nd serving fBS에 RB가 없는 경우 호는 차단(cooperative call block)되고 1st serving fBS에서만

$$SINR = \frac{(P \times 10^{-PL(R_0)/10} \times L_0)}{\left(\sum_{i=1}^{n_f} P \times 10^{-PL(R_i)/10} \times 10^{-WL/10} \times L_i \times \nu_i \right) + N_0 B} \quad (8)$$

$$SINR = P_0 + P_1 \times 10^{-PL(R_1)/10} \times 10^{-WL/10} \times \omega(\tau_1 - \tau_0) \times \nu_1 \quad (9)$$

$$/ [P_1 \times 10^{-PL(R_1)/10} \times 10^{-WL/10} \times \{1 - \omega(\tau_1 - \tau_0)\} \times \nu_1$$

$$+ \left(\sum_{i=2}^{n_f} P_i \times 10^{-PL(R_i)/10} \times 10^{-WL/10} \times \nu_i \right) + N_0 B]$$

$$T_{conv} = \lambda(1 - P_B)(1 - P_{out}) \quad (12)$$

$$T_{CTS} = \lambda(1 - P_{CTS}^i) \times \{P_{CTS}^c \cdot (1 - P_{out_i}) + (1 - P_{CTS}^c) \cdot (1 - P_{out_c})\} \quad (13)$$

서비스를 받게 되는 type 1 UE가 된다. 반대의 경우 2nd serving fBS로부터 RB를 할당 받아 두 개의 fBS로부터 서비스를 받는 type 2 UE가 된다. Non-preemptive 자원 할당 과정은 그림 2와 같다. 그리고 호 차단 확률과 자원 사용률은 다음과 같이 표시한다.

호 차단 확률

- P_{CTS}^i : 1st serving fBS에서 initial call block 확률.
- P_{CTS}^c : 1st serving fBS에서 cooperative call block 확률.

자원 사용률

- ρ_{CTS}^i : Type 1 UE에 의해 사용되는 RB의 사용률.
- ρ_{CTS}^c : 1st serving fBS에서 cooperative call block 확률.
- ρ_{oc} : 1st serving fBS에서 cooperative call block 확률.

4.2. Preemptive 자원 할당

Preemptive 자원 할당의 경우 1st serving fBS에서 발생한 호로 인해 UE가 RB를 요청했으나 RB가 없을 경우 non-preemptive 자원 할당과 차이를 보인다. RB가 없는 경우 non-preemptive 자원 할당에서는 initial call block으로 되는 반면 preemptive 자원 할당에서는 현재 1st serving fBS에서 사용되는 RB 중 type 3 UE에 의해 사용되는 RB가 있을 경우 이 RB를 릴리즈(release) 시킨 후 그 RB를 UE에게 할당하여 type 1 UE로 만들게 된다. Preemptive 자원 할당 과정은

그림 3과 같다.

V. Outage 확률과 시스템 처리량

5.1. Outage 확률

본 논문에서는 주변 펌토셀로부터의 간섭에 대한 협력 통신 기법의 성능을 평가를 위해 $E\{|a_k|^2\} = 1$ 로 가정하고 outage는 경계값 γ_{th} 를 정하여 UE가 이보다 작은 SINR을 가질 경우로 정의하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Outage \equiv SINR < \gamma_{th} \quad (7)$$

2장에서 가정한 것과 같이 하나의 RB에 주변 fBS로부터 하나 이상의 신호가 동시에 전송될 경우 간섭이 발생하기 때문에 기존 시스템(conventional system)의 경우 UE가 받는 신호에 대한 SINR은 (8)과 같다. 식 (8)에서 N_0 와 B 는 각각 noise spectral density와 system bandwidth로 잡음을 나타내고, n_f 는 주변 펌토셀의 개수를 나타내고, ν_i 은 지시함수(indicator function)로써 주변 펌토셀 i 로부터 간섭이 존재할 경우 1, 그렇지 않는 경우 0값을 갖게 되는데 자원 사용률이 높을 경우 그만큼 간섭이 발생할 확률이 높고 그렇지 않은 경우 간섭 확률은 낮게 된다^[12].

CTS 기반 시스템에서 UE가 수신하게 되는 신호는 두 부분으로 구성되는데, 정보 심볼(information symbol)을 전송해주는 유용한 부분(useful part)와 잡음, ICI 그리고 ISI (inter symbol interference)를 포함하는 간섭 부분(interfering part)이다. 그리고 두 경로를 통해 들어오는 desired 신호 중에서 가드 인터벌 내에 들어오는 신호는 유용한 부분이 되는 반면 가드

인터벌 이후에 들어오는 신호는 유용한 부분과 간섭 부분을 모두 포함 하게 된다. 따라서 CTS 기반 시스템에서 UE가 수신하는 신호에 대한 SINR은 (9)와 같다⁹⁾. 여기에서 $\omega(\tau_1 - \tau_0)$ 는 웨이팅 (weighting) 함수로써 수신기의 검출 윈도우(detection window)의 시작 시간 τ_0 와 수신된 신호의 딜레이 τ_1 를 나타내고, $\tau_1 - \tau_0 = \Delta\tau$ 라 할 때, 웨이팅 함수 $\omega(\Delta\tau)$ 은 다음과 같다⁹⁾.

$$\omega(\Delta\tau) = \begin{cases} 1, & 0 \leq \Delta\tau < T_g \\ \left(\frac{T_u - \Delta\tau + T_g}{T_u}\right)^2, & T_g \leq \Delta\tau < T_f \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (10)$$

식 (10)에서 $T_f = T_g + T_u$ 이고, 웨이팅 함수는 전파 딜레이와 관련되어 desired 신호의 유용한 부분과 간섭 부분을 나타낸다. 따라서 가드 인터벌 내에 들어오는 desired 신호는 간섭으로 작용하지 않는다. 식 (9)에서 v_1 은 2nd serving fBS로부터 신호를 받는지 그렇지 않는지를 나타내는데 그 값은 type 2 UE의 자원 사용률과 같은 값을 갖게 된다. 또한 $2 < i < C$ 범위에서 v_i 은 간섭이 존재할 확률로 fBS의 자원 총 사용률 $\rho^t = \rho_{CTS}^i + \rho_{CTS}^c + \rho_{oc}$ 와 같다.

CTS 기반 시스템의 outage 확률 P_{out}^{CTS} 을 구하기 위해, type 1 UE의 outage 확률, P_{out-i} 과 type 2 UE의 outage 확률, P_{out-c} 을 구한다. 앞에서 언급한 것과 같이 UE는 type 1 UE 또는 type 2 UE 로써 RB를 사용하기 때문에 CTS 기반 시스템의 outage 확률 P_{out}^{CTS} 은 식 (11)과 같다.

$$P_{out}^{CTS} = \frac{(\rho_{CTS}^i \cdot P_{out-i} + \rho_{CTS}^c \cdot P_{out-c})}{\rho_{CTS}^i + \rho_{CTS}^c} \quad (11)$$

5.2, 시스템 처리량

시스템의 처리량은 발생한 호 개수에서 호 차단율 제외되고 outage를 겪지 않는 개수로 기존 시스템의 처리량 T_{conv} 과 CTS 기반 시스템의 처리량 T_{CTS} 은 (12), (13)과 같이 정의 된다. 식 (12)와 (13)에서 λ 은 호 발생률(call/sec)을 나타내고 P_B 과 P_{out} 은 기존 시

스템의 호 차단 확률과 outage 확률을 나타낸다.

VI. 분석 결과

본 장에서는 CTS 기반의 펠토셀 시스템의 성능을 분석한다. 앞서 설명한 것과 같이 기업형 환경으로 펠토셀 주변의 장애물에 의한 wall loss가 존재하기 때문에 성능 평가에서도 0, 3, 5dB로 값을 변화 시키면서 알고리즘의 성능을 평가한다. 성능 평가는 2tier로 이루어진 펠토셀 환경으로 가정하고 중심의 위치한 펠토셀의 성능을 평가함으로써 경계 효과 (boundary effect) 를 줄였다. 호의 발생률(call arrival rate) λ 는 Poisson process 그리고 호의 길이 (call duration)는 평균 $1/\mu$ (second)의 exponential 분포로 모델링 된다. 또한 각각의 시스템 파라미터는 테이블 1^[13]과 같다.

표 1. 시스템 파라미터
Table 1. System parameters

심볼	의미	값
R	펠토셀의 반경	10m
P	펠토셀 전송파워	20dBm
B	System bandwidth	10MHz
N_0	Noise power spectral density	-174dBm/Hz
γ_{th}	SINR의 경계값	2dB
PL_{dB}	경로손실	127+30log ₁₀ (r) dB (r=거리)
WL	Wall loss (dB)	0, 3, 5 dB
σ_{dB}	log-normal shadow	4dB
C	RB 개수	10
n_f	주변 펠토셀의 수	18

추가적으로 다음과 같은 가정으로 시뮬레이션 한다.

- UE는 펠토셀의 커버리지 내에 균일하게 분포한다.
- 주변 펠토셀로부터 UE에 오는 간섭은 독립적인 신호 파워의 합으로 가정한다.
- UE에 도착하는 desired 신호의 전파 지연 시간은 T_g 이하로 가정한다.

그림 4는 offered load 0 에서 1까지의 변화에 따른 호 차단 확률을 나타낸다. 그림에서 offered load가 증가함에 따라 기존 시스템에 비해 CTS 기반 시스템의 호 차단 확률이 증가하였음을 알 수 있다. CTS의 경우 RB를 주변 fBS와 공유하게 되는데, cooperative call의 경우 1st serving fBS에서 할당된 것과 동일한 RB를 주변 fBS로부터 할당 받아야 하기 때문에 in-

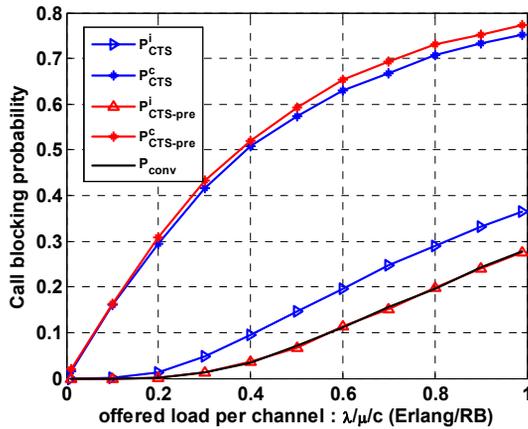


그림 4. offered load에 따른 호 차단 확률
Fig. 4. Call blocking probability vs. offered load

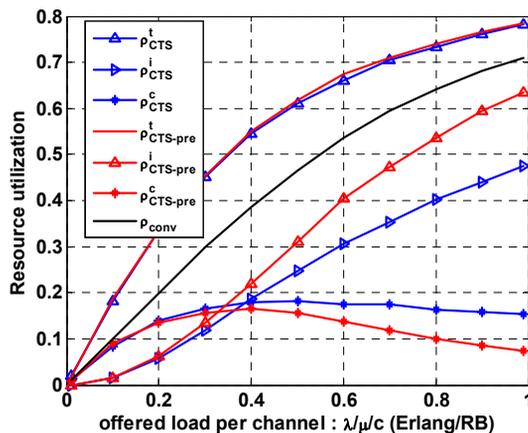


그림 5. offered load에 따른 자원 사용률
Fig. 5. Resource utilization vs. offered load

initial call block보다 높다. Preemptive 자원 할당 방법을 사용하는 CTS의 경우 initial call이 cooperative call보다 우선권이 있기 때문에 기존 시스템의 호 차단 확률과 같은 반면 cooperative call block이 증가하였다.

그림 5는 offered load 0 에서 1까지의 변화에 따른 자원 사용률을 나타낸다. Offered load가 증가함에 따라 기존 시스템에 비해 CTS 기반 시스템의 자원 사용률이 증가하였음을 알 수 있다. 앞에서 언급한 것과 같이 CTS의 경우 RB를 주변 fBS들과 공유하기 때문이다. Cooperative call의 경우 앞의 결과에서 알 수 있듯이 initial call의 자원 사용률에 비해 낮다. Preemptive 자원 할당 방법을 사용하는 CTS의 경우 initial call이 cooperative call보다 높은 자원 사용률을 가짐을 알 수 있다.

그림 6와 7은 패킷 레벨 QoS로써 outage 확률과 시스템 처리량을 기존 시스템, non-preemptive 자원 할당 방법 그리고 preemptive 자원 할당 방법에 따라 나

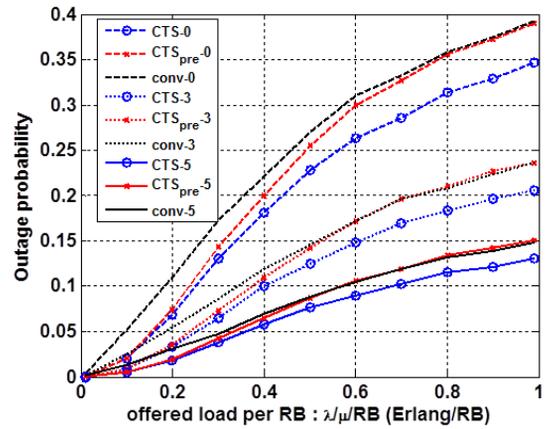


그림 6. offered load에 따른 outage 확률
Fig. 6. Outage probability vs. offered load

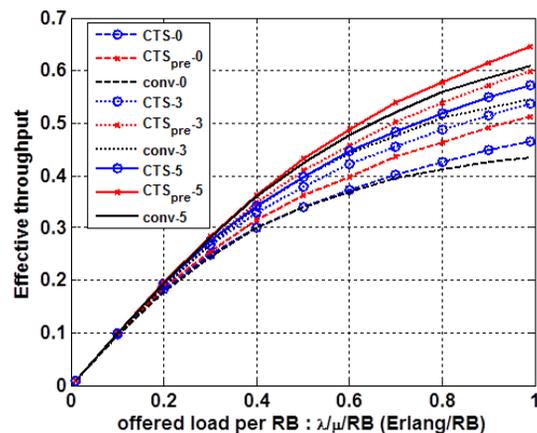


그림 7. offered load에 따른 시스템 처리량
Fig. 7. Effective throughput vs. offered load

타낸다.

그림 6은 offered load와 wall loss의 변화에 따른 outage 확률을 나타낸다. 그림에서 offered load가 증가함에 따라 기존 시스템에 비해 CTS 기반의 시스템의 outage 확률이 감소하였음을 알 수 있다. CTS의 경우 UE가 두 개의 fBS로부터 서비스를 받기 때문에 기존 시스템에 비해 신호의 질이 좋아져 높은 SINR값을 갖기 때문이다. Preemptive 자원 할당 방법을 사용하는 CTS의 경우 offered load가 낮을 때는 non-preemptive 자원 할당 방법과 비슷한 성능을 보이지만 offered load가 높을 때는 기존 시스템과 비슷한 성능을 보인다. 이것은 offered load가 낮을 경우 협력 통신을 하는 UE의 수가 non-preemptive 협력 통신 UE의 수와 비슷하지만 반대의 경우 preemptive 자원 할당으로 기존 시스템처럼 한 곳에서만 서비스 받는 type 1 UE가 많아 졌기 때문이다. 또한 wall loss가 증가함에 따라 outage 확률이 감소하고 각 자원 할당 방법 간의 성능 차이도 줄어들었다. 이것은 wall loss

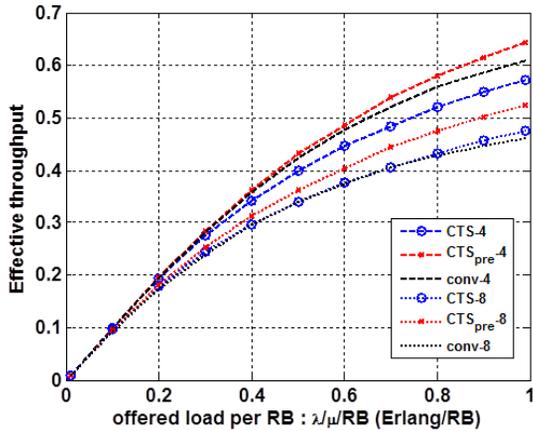


그림 8. 신호 특성 변화에 따른 시스템 처리량
Fig. 8. Effective throughput vs. channel gain

에 의해 상대적으로 간섭의 양도 줄어들고, 2nd serving fBS로부터 오는 신호의 세기도 줄어들어 알고리즘에 의한 성능향상이 줄어들었기 때문이다.

그림 7은 offered load와 wall loss의 변화에 따른 시스템 처리량을 나타낸다. 결과를 통해 offered load가 증가함에 따라 시스템 처리량이 증가함을 알 수 있다. Offered load가 낮을 경우 각 시스템의 성능이 비슷한 반면 offered load가 증가함에 따라 성능의 차이를 보이는데 특히 preemptive 자원 할당 방법을 사용하는 CTS의 경우 non-preemptive 자원 할당 방법을 사용하는 CTS보다 높은 시스템 처리량을 보인다. 이것은 preemptive 자원 할당에 의해 cooperative call의 호 차단 확률 증가한 반면 initial call의 호 차단 확률이 크게 감소되었기 때문으로 시스템 처리량은 cooperative call의 호 차단 확률보다 initial call의 호 차단 확률에 영향을 받음을 알 수 있다. 또한 wall loss가 클수록 시스템의 성능이 향상되는데 앞선 결과에서 유추할 수 있듯이 wall loss에 의해 간섭이 상대적으로 줄었기 때문이다.

그림 8은 wall loss가 5dB일 때, offered load와 단말에 수신 신호 특성의 변화 ($\sigma=4\text{dB}$, 8dB)에 따른 시스템 처리량을 나타낸다. 수신 신호의 특성은 선택도잉 효과에 따라 달라지는데 log-normal 분포의 σ 값이 증가할 경우 수신 신호의 변화도가 크고 반대의 경우 변화도가 작게 된다. Offered load가 낮을 경우 신호 특성의 변화에 따라 각 시스템의 성능이 비슷한 반면 offered load가 증가함에 따라 성능의 차이를 보이는데 특히 preemptive 자원 할당 방법을 사용하는 CTS의 경우 높은 시스템 처리량을 보인다. 또한 신호의 특성의 변화가 작을 경우 ($\sigma = 4\text{dB}$) 기존 시스템과 제안된 알고리즘과의 성능 차이가 크

지 않음을 알 수 있다.

VII. 결 론

본 논문에서는 기업형 펌토셀 네트워크 환경에서 펌토셀의 성능 향상을 위한 협력 통신 기법을 제안하였다. 제안된 알고리즘에서 UE는 두 개의 fBS로부터 동기화된 두 개의 신호에 의해 향상된 신호 대 간섭 잡음 비(SINR)를 갖게 되었다. 두 가지의 자원 할당 방법을 제안하여 시스템의 성능을 비교 하였는데 호 차단 확률의 경우, preemptive 자원 할당 방법을 사용하는 CTS의 경우 initial call이 cooperative call보다 우선권이 있기 때문에 기존 시스템의 호 차단 확률과 같은 반면 cooperative call block이 증가 하였다. 호 차단 확률에서는 preemptive 자원 할당 방법을 사용하는 CTS의 경우 initial call이 cooperative call보다 높은 자원 사용률을 가졌고, outage 확률에서 preemptive 자원 할당 방법을 사용하는 CTS의 경우 offered load가 낮을 때는 non-preemptive 자원 할당 방법과 비슷한 성능을 보이지만 offered load가 높을 때는 기존 시스템과 비슷한 성능을 보였다. 시스템 처리량에서는 offered load가 낮을 경우 각 시스템의 성능이 비슷한 반면 offered load가 증가함에 따라 성능의 차이를 보이는데 특히 preemptive 자원 할당 방법을 사용하는 CTS의 경우 non-preemptive 자원 할당 방법을 사용하는 CTS보다 높은 시스템 처리량을 보였다. Wall loss의 변화에 따른 outage 확률과 시스템 처리량을 평가에서는 wall loss가 작을수록 간섭에 대한 알고리즘의 성능 향상이 큼을 알 수 있었다. 또한 σ 의 변화에 따른 시스템 처리량을 평가에서는 σ 값이 클수록 알고리즘의 성능 향상이 큼을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews and A. Gatherer, "Femtocell Networks: A Survey", IEEE Communications Magazine, September 2008.
- [2] D. N. Knisely, F. Favichia, "Standardization of Femtocells in 3GPP2", IEEE Communications Magazine, September 2009.
- [3] G. De La Roche, A. Ladanyi, D. L'opez-P'erez, C.-C. Chong, and J. Zhang, "Self-organization for LTE enterprise

femtocells,” IEEE Globecom 2010 Worksh
 opo n Femtocell Networks (FemNet), Miami,
 USA, December 2010.

[4] Y. Xiang et al., “ Inter-Cell Interference
 Mitigation through Flexible Resource Reuse
 OFDMA based Communication networks”,
 European Wireless 2007, Paris, France, Apr.
 2007.

[5] V. Capdevielle et al., “ Enhanced Resource
 Sharing Strategies for LTE Picocells with
 Heterogeneous Traffic Loads,” IEEE
 Vehicular Technology Conference, Budapest,
 Hungary, May 2011.

[6] M. C. Necker, “Integrated Scheduling and
 Interference Coordination in Cellular OFDMA
 Networks”, IEEE Broadband Communications,
 Networks and Systems, 2007.

[7] R. Menon, et al., “Game Theory in the
 Analysis of Software Radio Networks”, SDR
 Forum Tech. Conf., Nov.2002.

[8] S. Hyeon, Y. Yun, H. Kim, and S. Choi,
 “Phase diversity for an antenna array system
 with a short interelement separation,” IEEE
 Trans. Veh. Technol., vol. 57, no. 1, pp. 206
 - 214, Jan. 2008.

[9] 3GPP TS 36.300 V9.0.0,”Evolved Universal
 Terrestrial Radio Access (EUTRA) and
 Evolved Universal Terrestrial Radio Access
 Network (EUTRAN)”.

[10] A. Ligeti and S. B. Slimane, “Local Coverage
 Probability Estimation in Single Frequency
 Networks,” Wireless Personal
 Communications, vol.18, no 2, pp.105-128,
 2001.

[11] E. Dahlman, et al., 3G Evolution: HSPA and
 LTE for Mobile Broadband. Oxford, UK:
 Academic Press, 2007.

[12] S. Y. Kim, et al., “Performance Analysis of
 Mobile Multi-hop Relay Uplink System in
 Multicell Environments”, Journal of KICS.
 10-04 Vol. 35 No.4, April 2010.

[13] 3GPP, “Control channel ICIC for macro-femto
 deployments,” 3GPP TSG RAN WG1
 R1-106186, Nov. 2010.

[14] 홍인기, 이덕주, “게임이론을 응용한 무선설계

기술,” 한국통신학회지, 제 28권 제 2호 2011.1,
 page 25-34.

김 승 연 (Seung-Yeon Kim)

정회원



2005년 2월 고려대학교 전자
 및 정보공학부 졸업

2007년 2월 고려대학교 전자정
 보공학과 석사

2007년 3월~현재 고려대학교
 전자정보공학과 박사과정
 <관심분야> 통신망 설계 및

성능 분석, MAC 프로토콜

이 상 준 (Sang-Joon Lee)

정회원



2005년 2월 고려대학교 전산학
 과 학사

2008년 2월 고려대학교 전산학
 과 전산과학 전공 석사

2008년 3월~현재 고려대학교
 전산학과 데이터통신및네트
 워크 전공 박사과정

<관심분야> 무선자원관리, 호수락제어, 메쉬네트워
 크, 이동통신시스템

류 승 완 (Seung-Wan Ryu)

중신회원



1988년 고려대학교 산업 공학
 과 학사

1991년 고려대학교 산업 공학
 과 석사

2003년 뉴욕주립대 (SUNY at
 Buffalo) 산업공학과 박사

1991~1993년 LG전자 영상미

디어연구소 (주임연구원)

1993~2004년 한국전자통신연구원 이동통신연구단
 (선임연구원)

2004년~현재 중앙대학교 정보시스템학과 교수

<관심분야> 이동통신시스템 설계 및 성능 분석, 무
 선 MAC 프로토콜, 컴퓨터 네트워크

조 총 호 (Choong-Ho Cho)

중신회원



1981년 2월 고려대학교 산업공학과 졸업

1993년 2월 고려대학교 산업공학과 석사

1986년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과(석사)

1989년 프랑스 INSA de Lyon

전산학과(박사)

1990~1994년 순천향대학교 전산통계학과 조교수

1994~현재 고려대학교 전산학과 교수

<관심분야> 통신망 트래픽 관리기술, 무선통신 시스템, 멀티미디어통신, 인터넷 비즈니스

이 형 우 (Hyong-Yoo Lee)

정회원



1979년 University of British Columbia Electrical Engineering (학사)

1983년 University of Waterloo, Electrical Engineering (박사)

1983~1991년 Carleton University, System and Computer Engineering 조교수

1992~1995년 University of Waterloo, Electrical and Computer Engineering 조교수

1995~현재 고려대학교 전자 및 정보공학과 교수

<관심분야> 통신망 설계 및 성능 분석, 트래픽 제어, MAC 프로토콜