

이종 셀룰러 네트워크에서 펌토셀 성능향상을 위한 상향링크 간섭 회피 기법

권 중 형*, 상 영 진*, 김 광 순^o

Uplink Interference Avoidance Scheme to Improve Femtocell Performance in Heterogeneous Cellular Networks

Jung Hyoung Kwon*, Young Jin Sang*, Kwang Soon Kim^o

요 약

본 논문에서는 단일 주파수 이종 셀룰러 네트워크에서 매크로셀 사용자로 인해 발생하는 간섭을 회피하여 펌토셀 상향링크 성능을 향상시키는 기법을 제안한다. 매크로셀 사용자가 펌토셀 기지국 주변에 존재할 경우 매크로셀 사용자의 송신 전력이 펌토셀에 심각한 간섭으로 영향을 주어 펌토셀 상향링크 성능이 열화된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 매크로셀 사용자로 부터 극심한 간섭을 받는 펌토셀 기지국은 상하향링크 프레임 위치를 서로 변경한 뒤, 매크로셀 사용자의 데이터를 중계 기법을 통하여 매크로셀 기지국으로 전송하는 기법을 제안한다. 제안한 방식의 펌토셀 상향링크 시간 동안 펌토셀과 매크로셀 사용자가 시간을 나누어 펌토셀 기지국으로 전송하고 하향링크 시간 동안 중첩 부호화 기술을 사용하여 펌토셀 사용자와 매크로 사용자의 데이터를 동시에 전송하게 된다. 본 논문에서는 모의실험을 통하여 제안한 방식이 펌토셀 상하향링크의 성능개선에 효과가 있음을 확인할 수 있다.

Key Words : Femtocell, Uplink Interference Avoidance, Heterogeneous Cellular Networks

ABSTRACT

This paper proposes a cross-tier interference avoidance scheme to improve femtocell performance in single frequency heterogeneous cellular networks (SFHCN). The scheduled macrocell users located close femtocell base stations cause serious interference to those femtocells so that the performance of femtocell is dramatically deteriorated. To solve this problem, this paper proposes an interference avoidance scheme by reversing the uplink and downlink frames of such femtocells. After reversing the uplink and downlink frames, femtocell base station relays the macrocell user data as well as transmitting its own data. In the 1st relaying link, femtocell and macrocell users transmit their data respectively divided uplink frames and in the 2nd relaying link, femtocell base station transmit macrocell and femtocell data using a simultaneously superposition coding scheme. Computer simulation results confirm performance improvement of proposed scheme.

※ 본 연구의 일부는 2011년도 한국통신학회 추계종합학술발표회에 발표되었음¹⁾

※ 이 논문은 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2012-0001571)

◆ 주저자 : 연세대학교 전기전자공학과 디지털통신 연구실, goodream@dcl.yonsei.ac.kr, 학생회원

◦ 교신저자 : 연세대학교 전기전자공학과 디지털통신 연구실, ks.kim@yonsei.ac.kr, 중신회원

* 연세대학교 전기전자공학과 디지털통신 연구실, yjmich@dcl.yonsei.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2013-03-116, 접수일자 : 2013년 3월 5일, 최종논문접수일자 : 2013년 4월 15일

I. 서 론

최근 무선 이동 통신을 통한 다양한 멀티미디어 서비스에 대한 수요가 증가함에 따라 셀룰러 시스템에서 시스템 용량 증대를 통한 성능 향상을 얻을 수 있는 방안의 연구가 활발히 이루어지고 있다^[2]. 이에 실내환경에서 펌토셀 기술은 시스템 용량을 증대시키고 음영지역을 해소할 수 있는 효과적인 해결책으로 제시되고 있으며, 실내외 환경에서 저렴한 백홀 연결성과 간편한 설치 비용등의 장점으로 관련 연구가 활발하게 진행되고 있다^[3]. 펌토셀 기술은 두가지 종류의 접속 방식 기술이 존재하며, 각각 개방형 접속 방식과 폐쇄형 접속 방식으로 나눌 수 있다^[4]. 개방형 접속 방식은 사용자가 계층에 관계없이 매크로셀과 펌토셀 중 사용자에게 가장 효율적인 계층에 접속하는 방식이며, 폐쇄형 접속 방식은 각 계층에 사용이 허가된 사용자만 해당 계층에 접속하는 기법으로 이 경우 서비스 운영자는 쉽게 무선 자원과 사용자 보안을 관리할 수 있으며 무선 품질이 낮은 지역에 소형셀 설치를 통하여 간단하게 사용자의 성능향상을 얻을 수 있다. 하지만, 이 경우 계층간 동일한 주파수 자원의 사용으로 인하여 타 사용자에게 심각한 간섭을 미칠 수 있다는 단점이 존재한다. 특히 매크로셀의 신호가 약한 실내 지역에 펌토셀이 설치되어 있을 경우, 펌토셀에 허가된 사용자들은 좋은 품질의 무선환경을 제공받지만, 근처에 허가 받지 않은 매크로셀 사용자가 존재하게 되면 이로 인하여 펌토셀은 매크로셀에 의하여 발생한 음영 지역에 존재하게 된다^[5].

이와 같은 매크로셀과 펌토셀간의 간섭 문제를 해결하기 위해서 여러 가지 방법이 연구되어 해결책으로 제시되었다. 그 중 첫 번째 방식은 자원의 할당을 통한 계층간의 간섭을 회피하는 방법이다^[6-8]. 계층간에 서로 간섭 영향을 주지 않기 위해서 직교성을 유지하도록 계층간 자원의 할당을 하는 방식으로 이 경우 계층간 직교성으로 인하여 계층간 간섭의 효율적인 제거가 가능하지만 자원의 분할 사용으로 인하여 자원 사용의 효율성이 감소하여 전체적인 전송률 감소를 보이게 된다. 두 번째 방식은 스케줄링을 통한 전력 조절을 활용하여 간섭을 제어하는 기법이다^[9,10]. 이 경우에는 중앙의 제어기에서 매크로셀과 펌토셀의 기지국과 사용자가 최적의 성능을 얻을 수 있도록 전력을 조절하는 방식으로 무선 자원의 최대한 사용이 가능하지만 중앙 제어기에 모든 계층의 정보를 보내야 하기 때문

에 백홀 오버헤드가 존재하며, 제어기에서 각 기지국과 사용자별 최적의 전력할당을 하기 위하여 큰 복잡도의 계산량을 가지는 단점이 존재한다.

이에 본 논문에서는 단일 주파수 이기종 셀룰러 네트워크에서 펌토셀의 상향링크와 하향링크 프레임 구조의 변경을 통한 매크로셀 상향링크 간섭을 회피하는 방법을 제안한다. 매크로셀 간섭을 받는 펌토셀은 프레임 구조를 변경하고 매크로셀 사용자의 데이터를 중계기법을 통하여 전송함으로써 매크로셀 상향링크 간섭을 피할 수 있으며, 이를 통하여 펌토셀 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 폐쇄형 접속의 단일 주파수 이기종 셀룰러 네트워크 모형을 기술하고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 펌토셀 간섭 회피 기법을 제시한다. IV장에서는 본 논문에서 제시한 기법과 기존의 전통적인 이기종 셀룰러 기법과의 성능을 모의실험을 통하여 비교 확인하였다.

II. 시스템 모형

본 논문에서는 그림 1에서와 같이 매크로셀과 폐쇄형 펌토셀의 두 계층으로 이루어진 폐쇄형 이기종 셀룰러 네트워크를 고려한다. 매크로셀과 폐쇄형 펌토셀의 기지국 집합은 $X^m = \{x_0^m, x_1^m, \dots\}$ 와 $X^f = \{x_0^f, x_1^f, \dots\}$ 로 각각 나타낸다. 여기서 x_i^m 와 x_j^f 는 i 번째 매크로셀 기지국과 j 번째 펌토셀 기지국 위치를 나타낸다. 또한, 시간 t 시점에서 스케줄링된 매크로셀의 사용자를 $U^m(t) = \{u_0^m(t), u_1^m(t), \dots\}$, 펌토셀 사용자를 $U^f(t) = \{u_0^f(t), u_1^f(t), \dots\}$ 으로 나타낸다. 여기서 $u_i^m(t)$ 와 $u_j^f(t)$ 는 시간 t 시점에서 i 번째 매크로셀 기지국과 j 번째 펌토셀 기지국에 스케줄링된 매크로셀 사용자와 펌토셀 사용자의 위치를 나타낸다.

본 논문에서 송신기 위치를 y 라고 하고 수신기의 위치를 z 라고 할 때 순간 신호대 잡음비는 아래 수식 (1)과 같이 정의한다.

$$\zeta_{yz}(t) = \frac{P_y \cdot G_{yz}(t) \cdot \|y - z\|^{-\alpha}}{N_o}, \quad (1)$$

여기서 $G_{yz}(t)$ 는 시간 t 시점에서 송신기 y 와 수신기 z 사이의 페이딩 이득이며, α 는 경로 감쇄 지

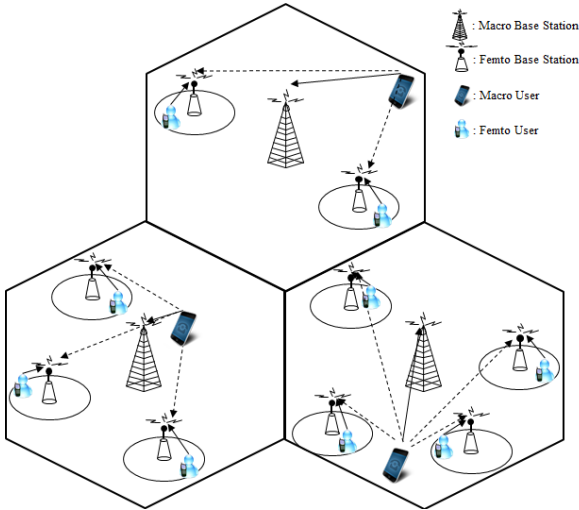


그림 1. 이기종 셀룰러 네트워크 모델
Fig. 1. Heterogeneous Cellular Networks Model

수를 나타내며, $\| \cdot \|$ 는 유클리드 정규 (Euclidean norm), $N_o/2$ 는 양방향 전력 스펙트럼 밀도를 나타낸다. 시간 t 시점에서의 송신기 \mathbf{y} 와 수신기 \mathbf{z} 사이의 순간 수신 신호대 간섭 및 잡음비, $\gamma_{yz}(t)$ 와 순간 달성 가능한 전송률, $R_{yz}(t)$ 은 아래 수식 (2), (3)와 같이 나타낸다.

$$\gamma_{yz}(t) = \frac{\zeta_{yz}(t)}{1 + \sum_{\mathbf{x} \in \Psi_y(t) \setminus \{\mathbf{y}\}} \zeta_{xz}(t)}, \quad (2)$$

$$R_{yz}(t) = \log_2(1 + \gamma_{yz}(t)), \quad (3)$$

여기서 $\Psi_y(t)$ 는 송신기 \mathbf{y} 가 전송하는 시간 t 시점에서의 송신기 집합을 나타낸다.

이기종 셀룰러 네트워크에서 임의의 사용자 \mathbf{y} 가 해당 셀의 기지국 \mathbf{z} 로 전송하기 위한 송신 전력은 아래 수식 (4)와 같이 결정된다.

$$P_y = \min \left(P_{\max}, \frac{P^T}{\| \mathbf{y} - \mathbf{z} \|^{-\alpha}} \right), \quad (4)$$

여기서 P_{\max} 는 송신 가능한 최대 전력을 나타내며, P^T 는 기지국이 요구하는 수신 전력을 나타낸다.

매크로셀 기지국 \mathbf{b} 의 송신 전력 P_b 는 고정된 전력으로 송신하며, 펠토셀 기지국 \mathbf{z} 는 펠토셀 기지국으로부터 임의의 거리에 위치한 펠토셀 사용자의 수신 신호대 간섭 및 잡음비가 일정하게 되도록 아래 수식 (5)와 같이 전력조절을 하게 된다. 여기서, γ_{zf}^T 는 펠토셀 사용자가 요구하는 수신 신호대 간섭 및 잡음비를 나타낸다.

III. 제안하는 간섭 회피 기법

단일 주파수 이기종 셀룰러 네트워크에서 매크로셀에 의한 간섭 영향의 정도에 따라 두가지 종류의 펠토셀로 구분할 수 있다. 매크로셀 사용자가 펠토셀 기지국의 근처에 존재하여 상향링크시 펠토셀 사용자의 상향링크 성능이 나빠지는 펠토셀과 매크로셀 상향링크에 의한 간섭이 그리 크지 않은 펠토셀로 나눌 수 있다.

본 논문에서는 이와 같이 매크로셀 상향링크에 의하여 성능 열화를 보이는 펠토셀의 성능을 향상시키기 위해서 매크로셀로부터 간섭을 받는 펠토셀의 프레임 구조를 변경하여 매크로셀 사용자의 데이터를 펠토셀 기지국이 중계함으로써 매크로셀 상향링크에 의한 간섭을 피하는 기법을 제안한다. 매크로셀의 간섭을 받는 펠토셀 기지국은 상향링크와 하향링크의 프레임을 시간적으로 서로 변경하고, 첫 번째 중계링크인 펠토셀 상향링크에서 상향링크 프레임 시간을 매크로셀 사용자와 펠토셀 사용자에게 할당된 시간의 비, $\delta_{mz}(t)$ 에 따라 나누어 펠토셀 기지국으로 전송한다. 두 번째 중계링크인 펠토셀 하향링크에서는 중첩 부호화 기법을 통하여 각각 매크로셀 기지국과 펠토셀 사용자에게 전송하며 이 때 펠토셀 기지국은 매크로 사용자의 전송률을 보장할 수 있도록 매크로셀 기지국으로의 송신 전력 P_{zb}^* 를 계산하여 송신하도록 한다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 기법의 동작 방식과 프레임 구조를 나타낸 것이다.

본 논문에서 제안한 기법으로 동작할 경우, 그림 2에서 보는 것과 같이 매크로셀 사용자의 간섭이 극심할 경우 펠토셀 기지국이 상향링크 프레임과

$$P_z = \min \left(P_{\max}, \frac{N_o}{\| \mathbf{z} - \mathbf{f} \|^{-\alpha}} \cdot \left(1 + \sum_{\mathbf{x} \in \Psi_z(t) \setminus \{\mathbf{z}\}} \zeta_{xz}(t) \right) \cdot \gamma_{zf}^T \right). \quad (5)$$

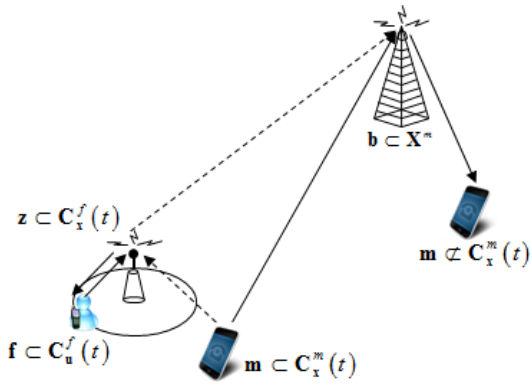


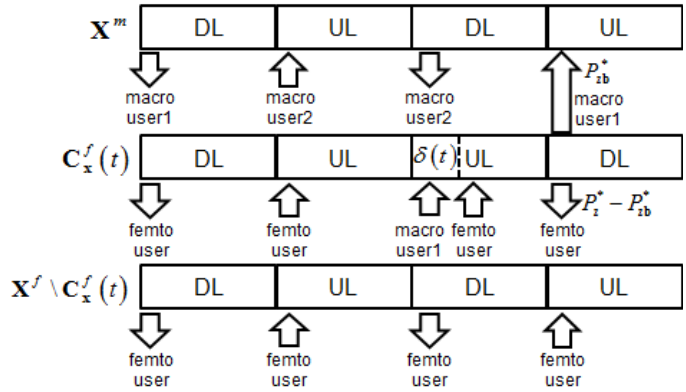
그림 2. 제안한 동작 기법 예시 및 프레임 구조
Fig. 2. Operation and Frame Structure of Proposed Scheme

하향링크 프레임의 순서를 변경하게 되며, 이 경우 시스템에서 시점 t 에 송신하는 송신기의 집합이 변경된다. 기존의 시스템에서 송신기 집합은 아래 수식 (6)과 같이 구분되며, 본 논문에서 제안한 동작 방식으로 운용될 경우 제안한 동작 기법에 관여하는 펌토셀 기지국 집합, $C_x^f(t)$ 과 해당 펌토셀 기지국의 사용자 집합, $C_u^f(t)$ 과 해당 펌토셀 기지국에 간섭으로 영향을 미치는 매크로 사용자 집합, $C_u^m(t)$ 에 의하여 제안한 방식의 송신기 집합은 아래 수식 (7)과 같이 변경된다.

그림 2에서와 같이 펌토셀 기지국 z 는 매크로셀 기지국 b 로부터 펌토셀 기지국에 심각한 간섭을 미치는 매크로셀 사용자 m 이 스케줄링됨을 확인하면, 상하향링크의 시간 프레임을 변경하고 중첩 부호화 기법을 이용하여 수식 (8)의 전력으로 전송하게 된다.

$$P_z^* = \min(P_{\max}, P_{zb}^* + P_z). \quad (8)$$

중첩 부호화 기법을 이용할 때, 펌토셀 기지국이 매크로셀 기지국으로 전송하는 전력은 수식 (4)를 이용하여 수식 (9)과 같이 결정되며, 수식 (9)에서 매크로셀 기지국으로 송신하도록 할당된 전력을 제



외한 나머지 전력, $P_z^* - P_{zb}^*$ 는 펌토셀 하향링크의 데이터를 전송하는데 사용된다.

$$P_{zb}^* = \min\left(P_{\max}, \frac{P^T}{\|z - b\|^{-\alpha}}\right). \quad (9)$$

펌토셀 기지국 z 는 위의 수식 (8)에서 구한 전력으로 송신시의 펌토셀 기지국과 매크로셀 기지국 사이의 전송률을 만족하는 펌토셀 상향링크의 시간 프레임 분할 비, $\delta_{mz}(t)$ 를 알리고 매크로셀 사용자에게 펌토셀 기지국으로의 전송을 요청한다. 이 때, 매크로셀 사용자와 펌토셀 사용자가 프레임을 나누어 사용하는 시간 비는 아래 수식 (10)와 같이 구한다.

$$\delta_{mz}(t) = \frac{\log_2(1 + \gamma_{zb}^*(t))}{\log_2(1 + \gamma_{mz}^*(t))}, \quad (10)$$

여기서, $\gamma_{mz}^*(t)$ 는 제안한 동작 방식에서 매크로셀 사용자 m 가 펌토셀 기지국 z 로 전송할 때의 수신 신호대 간섭 및 잡음비를 나타내며, $\gamma_{zb}^*(t)$ 는 제안한 동작 방식에서 펌토셀 기지국 z 이 매크로셀 기지국 b 으로 전송할 때의 수신 신호대 간섭 및 잡음비를 나타낸다. 이와 같이 제안한 동작 방식을 위

$$\Psi_y(t) = \begin{cases} X^m \cup X^f, & y \in X^m \cup X^f \\ U^m(t) \cup U^f(t), & y \in U^m(t) \cup U^f(t) \end{cases} \quad (6)$$

$$\Psi_y^*(t) = \begin{cases} X^m \cup X^f \cup C_u^f(t) \cup C_u^m(t) \setminus C_x^f(t) & y \in X^m \cup X^f \cup C_u^f(t) \cup C_u^m(t) \setminus C_x^f(t) \\ U^m(t) \cup U^f(t) \cup C_x^f(t) \setminus C_u^f(t) \setminus C_u^m(t) & y \in U^m(t) \cup U^f(t) \cup C_x^f(t) \setminus C_u^f(t) \setminus C_u^m(t) \end{cases} \quad (7)$$

표 1. 링크별 수신 신호대 간섭 및 잡음비
Table 1. Signal to Noise plus Interference Ratio of Each link

link	Equation
$\gamma_{zf}^*(t)$	$\frac{(P_z^* - P_{zb}^*) \cdot \zeta_{zf}(t)}{P_z + \sum_{x \in \Psi_z^*(t) \setminus \{z\}} P_z \cdot \zeta_{xf}(t)}$ (11)
$\gamma_{fz}^*(t)$	$\frac{\zeta_{fz}(t)}{1 + \sum_{x \in \Psi_f^*(t) \setminus \{f\}} \zeta_{xz}(t)}$ (12)
$\gamma_{zb}^*(t)$	$\frac{P_{zb}^* \cdot \zeta_{zb}(t)}{P_z + (P_z^* - P_{zb}^*) \cdot \zeta_{zb}(t) + \sum_{x \in \Psi_z^*(t) \setminus \{z\}} P_z \cdot \zeta_{xb}(t)}$ (13)
$\gamma_{mz}^*(t)$	$\frac{\zeta_{mz}(t)}{1 + \sum_{x \in \Psi_m^*(t) \setminus \{m\}} \zeta_{xz}(t)}$ (14)
$\gamma_{bm}^*(t)$	$\frac{\zeta_{bm}(t)}{1 + \sum_{x \in \Psi_b^*(t) \setminus \{b\}} \zeta_{xm}(t)}$ (15)

표 2. 획득 가능한 최대 전송률
Table 2. Achievable Rate of Each link

link	Equation
$R_{zf}^*(t)$	$\log_2(1 + \gamma_{zf}^*(t))$ (16)
$R_{fz}^*(t)$	$(1 - \delta_{mz}(t)) \cdot \log_2(1 + \gamma_{fz}^*(t))$ (17)
$R_{mb}^*(t)$	$\min(R_{mz}^*(t), R_{zb}^*(t))$ (18)
$R_{bm}^*(t)$	$\log_2(1 + \gamma_{bm}^*(t))$ (19)

한 시간 프레임 분할 비와 중첩 부호화 기법으로 전송하기 위한 전력 할당 비가 결정이 되면, 제안한 동작 방식에서의 모든 링크 별 수신 신호대 간섭 및 잡음비는 위의 표 1과 같이 구할 수 있다. 여기서 $\gamma_{zf}^*(t)$, $\gamma_{fz}^*(t)$, $\gamma_{bm}^*(t)$ 는 본 논문에서 제안한 동작 방식에서의 매크로셀 기지국 **b**, 매크로셀 사용자 **m**, 펠토셀 기지국 **z**, 펠토셀 사용자 **f**에 의하여 형성된 링크의 수신 신호대 간섭 및 잡음비를 나타낸다. 위의 수식 (10)과 수식 (11)-(15)를 이용하여 본 논문에서 제안한 동작 방식에서의 각 링크별 얻을 수 있는 전송률 $R_{zf}^*(t)$, $R_{fz}^*(t)$, $R_{mb}^*(t)$, $R_{bm}^*(t)$ 은 위의 표 2와 같이 구할 수 있다.

여기서, $R_{mz}^*(t) = \delta_{mz}(t) \cdot \log_2(1 + \gamma_{mz}^*(t))$ 이며, $R_{zb}^* = \log_2(1 + \gamma_{zb}^*(t))$ 이다.

각 펠토셀 기지국들은 위의 표 2에서 구한 전송률에서 펠토셀 상향링크 성능인 $R_{fz}^*(t)$ 가 기존의 동작 방식에서의 펠토셀 상향링크 전송률, $R_{fz}(t)$ 보

다 손해를 보지 않으면 본 논문에서 제안한 방식으로 동작하도록 한다. 이는 본 논문에서 제안하는 방식의 상한 경계(upper bound) 성능을 의미한다.

IV. 실험 결과

본 논문에서 제안한 동작 방식의 성능을 확인하기 위해서 다음 표 3과 같은 모의실험 환경에서 실험을 실행하였다. 펠토셀은 매크로셀 내에 정규 분포로 랜덤하게 분포되어 있으며, 각 매크로셀과 펠토셀에는 평균 10명과 5명의 사용자가 랜덤하게 스케줄링 된다고 가정한다. 채널의 경로 감쇄 지수 α 는 4로 고정하여 적용한다.

그림 3, 4, 5, 6은 본 논문에서 제안한 프레임 반전 및 중계 기법(Prop. Scheme)과 두 계층이 동일한 대역을 사용하여 동작하는 자원 재사용 기법(RR Scheme), 계층간 간섭을 해결하기 위해서 서로 대역을 나누어 동작하는 자원 직교 분할 기법

표 3. 시스템 시뮬레이션 파라미터
Table 3. System Simulation Parameter

Parameters	values
Number of macrocell	7
Number of femtocell per one macrocell	4
Macrocell radius	1500m
Femtocell radius	50m
Transmission power of macrocell base station	43dBm
Maximum transmission power	23dBm

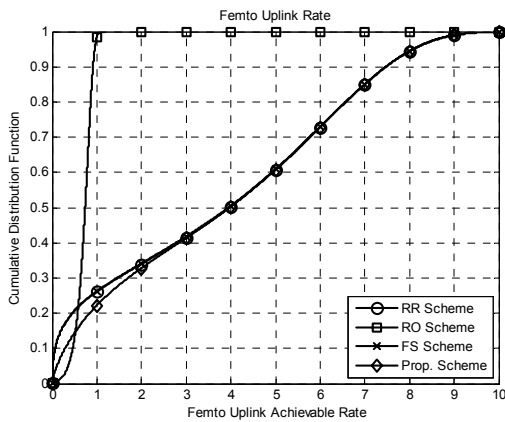


그림 3. 페토셀 상향링크의 전송률의 누적 분포
Fig. 3. Femtocell Uplink Throughput Distribution

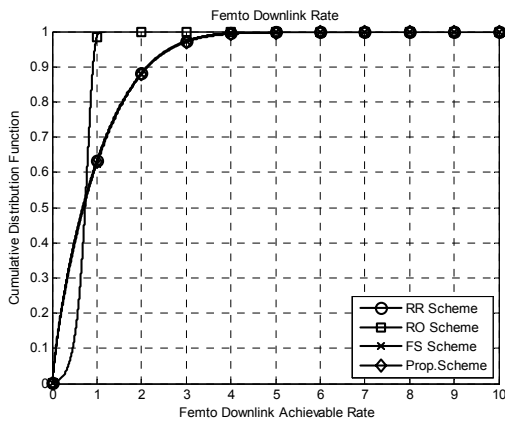


그림 4. 페토셀 하향링크의 전송률의 누적 분포
Fig. 4. Femtocell Downlink Throughput Distribution

(RO Scheme), 그리고 순환 순서 방식(Round Robin)으로 스케줄링된 매크로셀 사용자에게 따라 상향링크 간섭이 가장 작은 페토셀 사용자를 선택

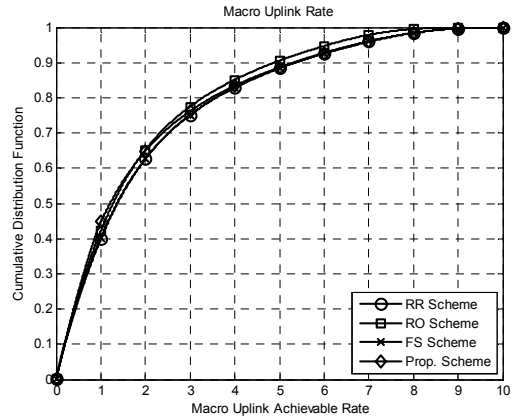


그림 5. 매크로셀 상향링크의 전송률의 누적 분포
Fig. 5. Macrocell Uplink Throughput Distribution

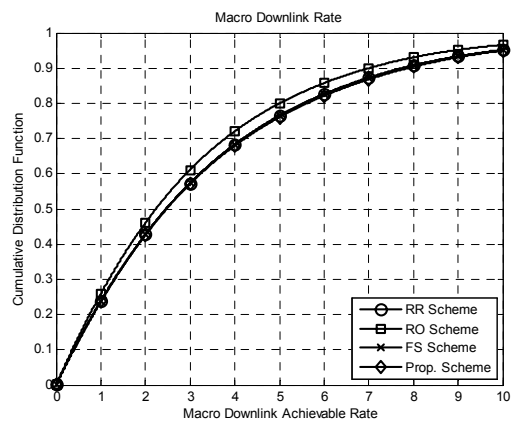


그림 6. 매크로셀 하향링크의 전송률의 누적 분포
Fig. 6. Macrocell Downlink Throughput Distribution

하여 동작하는 스케줄링 기법(FS Scheme)에 대하여 매크로셀 간섭 영향을 받는 페토셀 상향링크와 하향링크, 그리고 매크로셀 상향링크와 하향링크의 달성 가능한 전송률에 따른 누적 분포 함수(Cumulative Distribution Function)를 통하여 성능을 비교하였다. 자원 직교 분할 기법에서 자원 분할비는 매크로셀 성능을 다른 기법과 동일하게 만족하도록 자원을 할당하고 나머지 자원은 페토셀에 할당하도록 분할하였다.

위의 결과에서 자원 직교 분할 기법은 계층간 간섭을 제거할 수 있으므로 전송률 하위 10%의 사용자 영역을 기준으로 가장 좋은 성능을 보이나, 평균 전송률 측면에서는 자원의 분할 사용으로 인하여 가장 낮은 성능을 보인다. 스케줄링 기법은 페토셀 근처에 존재하는 매크로셀 사용자의 간섭을 제거하지 못하므로 전송률 하위 10% 사용자 측면과 평균

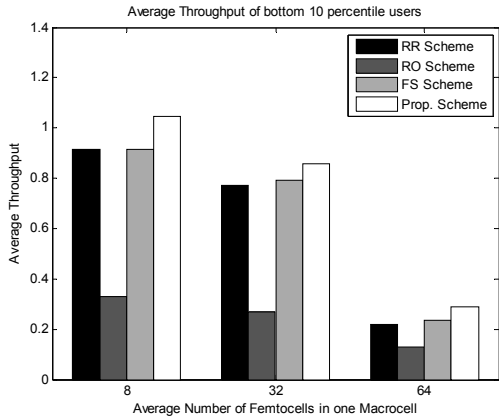


그림 7. 매크로셀 당 펠토셀 수의 증가에 따른 하위 10% 사용자의 평균 전송률
 Fig. 7. Average Throughput of bottom 10 percentile users according to increase the density of femtocell

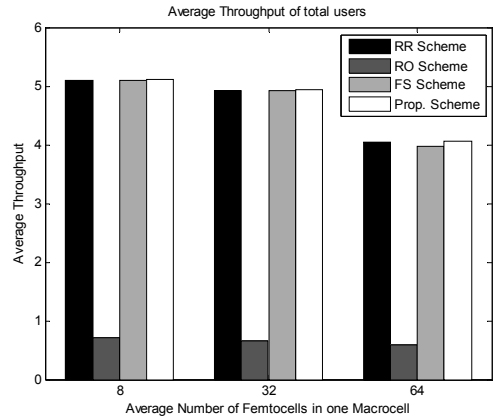


그림 8. 매크로셀 당 펠토셀 수의 증가에 따른 전체 사용자의 평균 전송률
 Fig. 8. Average Throughput of total users according to increase the density of femtocell

사용자 측면 모두 자원 재사용 기법과 유사한 성능을 보인다. 본 논문에서 제안한 프레임 반전 및 중계 기법은 극심한 매크로셀 사용자의 간섭을 회피하므로 전송률 하위 사용자영역에서는 자원 재사용 기법에 비하여 성능 향상이 있음을 확인할 수 있으며, 전체 사용자의 전송률 측면에서는 모든 자원을 사용하므로 자원 직교 분할 기법에 비하여 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 매크로셀 내의 랜덤하게 분포하는 펠토셀 지지국의 수를 8, 32, 64으로 증가시켰을 경우, 각 방식의 하위 10% 사용자의 평균 전송률을 그림 8은 전체 사용자의 평균 전송률을 비교하였다. 펠토셀의 밀도가 증가함에 따라서 본 논문에서 제안하는 방식이 다른 기법들에 비하여 하위 10% 사용자와 전체 사용자 모두 우수한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있으며, 특히 하위 10% 사용자 즉, 셀 내에서 아웃티지를 발생시키는 사용자의 성능을 특히 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

향후 인터넷전화(VoIP)와 같이 실시간 스트림이 필요한 어플리케이션과 같이 지연 제한이 중요 요소가 되는 시스템에서 낮은 수신 신호대 간섭 및 잡음비의 개선은 사용자의 아웃티지 확률을 효과적으로 줄일 수 있으며, 본 논문에서 제안한 기법은 이에 적합한 기법으로 활용 가능할 것이라 예상된다.

V. 결 론

본 논문에서는 단일 주파수 이기중 셀룰러 네

트워크 시스템에서 펠토셀 주변에 매크로셀이 존재할 경우 매크로셀 상향링크 간섭을 회피하여 성능을 향상시키는 기법을 제안하였다. 기존 매크로셀 상향링크 간섭 회피 기법은 자원의 비효율적 사용이나, 스케줄링에 따른 계산의 복잡도와 백홀의 오버헤드 같은 단점이 존재하지만, 본 논문에서 제안한 방식은 펠토셀의 상향링크와 하향링크의 변경을 통한 매크로셀 사용자의 데이터 중계기법을 이용하여 매크로셀 간섭을 회피한다. 이 경우 매크로셀과 펠토셀은 자원의 낭비 없이 모든 자원을 사용가능하며, 특별한 스케줄링 기법에 영향을 받지 않기 때문에 계산량의 복잡도도 줄일 수 있다. 본 논문에서 제안한 방식을 적용한 모의 실험을 통하여 기존의 기법에 비하여 펠토셀의 성능 이득이 존재함을 확인할 수 있다. 이에 앞으로 실제적 구현 가능한 기술을 이용한 펠토셀 선택 기법 및 동작 알고리즘의 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

References

- [1] J. H. Kwon, Y. J. Sang, and K. S. Kim, "A Study on the capacity enhancement scheme of femtocell uplink in the heterogeneous cellular network," in *Proc. Korea Commun. Conf.*, vol. 46, pp. 1-2. Seoul, Korea, Nov. 2011.
- [2] Cisco, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2009-2014," *White Paper*, Feb. 2010.
- [3] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, and A.

Gatherer, "Femtocell networks: A survey," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no. 9, pp. 59–67, Sep. 2008.

[4] P. Xia, V. Chandrasekhar, and J. G. Andrews, "Open vs. Closed Access Femtocells in the Uplink," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 11, pp. 3798–3809, Dec. 2010.

[5] P. Lin, J. Zhang, Y. Chen, and Q. Zhang, "Macro-femto heterogeneous network deployment and management: from business models to technical solutions," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 64-70, June 2011.

[6] V. Chandrasekhar and J. Andrews, "Spectrum allocation in tiered cellular networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 57, no. 10, pp. 3059-3068, Oct. 2009.

[7] D. Lopez-Perez, A. Valcarce, and G. de la Roche, "OFDMA femtocells: a roadmap on interference avoidance," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 9, pp. 41-48, Oct. 2009.

[8] S. Y. Pyun and D. H. Cho, "Resource allocation scheme for minimizing uplink interference in Hierarchical Cellular Networks," in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf.*, pp. 1-5, Taipei, Taiwan, May 2010.

[9] S. M. Cheng, S. Y. Lien, F. S. Chu, and K. C. Chen, "On exploiting cognitive radio to mitigate interference in macro/femto heterogeneous networks," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 40-47, June 2011.

[10] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Uplink capacity and interference avoidance for two-tier femtocell networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 7, pp. 3498-3509, July 2009.

권 중 형 (Jung Hyoung Kwon)



2004년 2월 연세대학교 전기
전자공학과 졸업
2006년 2월 연세대학교 전기
전자공학과 석사
2009년 7월 모토로라 코리아
전임연구원
2009년 9월~현재 연세대학교

전기전자공학과 박사과정
<관심분야> 이기종 셀룰러 네트워크, 하이브리드
빔포밍

상 영 진 (Young Jin Sang)



2005년 2월 연세대학교 전기
전자공학과 졸업
2007년 2월 연세대학교 전기
전자공학과 석사
2007년 3월~현재 연세대학교
전자공학과 박사과정

<관심분야> 이기종 네트워크,

무선 자원 관리

김 광 순 (Kwang Soon Kim)



1994년 2월 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 졸업
1996년 2월 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 석사
1999년 2월 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 박사
1999년 3월~2000년 3월Dept.

ECE, UC San Diego, 박사후연구원
2000년 4월~2004년 2월 한국 전자 통신 연구소
전임연구원
2004년 3월~2009년 2월 연세대학교 전기전자공
학부 조교수
2009년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학부 부교
수
<관심분야> 통신이론, 신호 검출 이론, 이기종 셀룰
러 네트워크, D2D/모바일 애드혹 네트워크, 자원
및 간섭 관리