

# 이종망 환경에서 오버헤드 감소와 수율 향상을 위한 자율적인 펌토셀 전송 전력 조절 기법

조영훈\*, 임재찬\*, 홍대형<sup>o</sup>

## An Autonomous Power Control Scheme of Femto Cells for Throughput Improvement and Overhead Reduction in Heterogeneous Networks

Younghoon Jo\*, Jaechan Lim\*, Daehyoung Hong<sup>o</sup>

### 요 약

저전력, 저가의 초소형 기지국인 펌토셀은 heterogeneous network 의 중요 구성 요소 중 하나이다. 그러나 펌토셀 설치에 따른 셀 구조의 변화는 셀 간 간섭과 signaling overhead 증가와 같은 기술적인 문제를 야기할 수 있다. 이와 같은 기술적인 문제의 해결 방법 중 하나는 펌토셀이 SON(Self-Organized Network)과 같은 기법을 이용하여 자율적으로 전송전력을 조절하는 것이다. 펌토셀은 전송전력 조절을 통해 시스템 throughput을 향상시키거나 overhead를 감소시킬 수 있다. 일반적으로 시스템 throughput을 최대화하기 위한 펌토셀 전송 전력과 시스템 overhead 감소를 위한 펌토셀 전송 전력은 일치하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 펌토셀이 시스템 overhead 를 감소시키는 동시에 시스템 throughput을 향상시키도록 전송 전력을 조절하는 방법을 제안한다. 모의실험을 통해 제안 기법이 throughput만을 최대화하는 기법에 비하여 시스템 overhead를 41% 감소시키는 것을 확인하였다. 또한 커버리지만을 최적화 하는 기법에 비하여 throughput이 63% 향상되는 것을 확인하였다.

**Key Words** : Heterogeneous Network, Power Control, Femto cell, 전송전력 조절, 펌토셀

### ABSTRACT

Femto-cells are low power/cost, micro-base stations and are main components in heterogeneous networks. However, some of technical issues arise when femto-cells are initially installed. One approach to resolve the problems is to control the transmission (TX) power autonomously via SON(Self-Organized Network) scheme. By controlling the femto-cell TX power, the system throughput performance can be improved or the system overhead is highly reduced. Generally, the TX power for maximizing the system throughput and that for reduced system overhead may not be identical. Therefore, we propose a TX power control scheme by which we can improve the system throughput and reduce the system overhead, simultaneously. When we apply the proposed method, the simulation results show that the system overhead can be reduced by up to 41% compared to the performance of the method which maximizes throughput performance only, and the throughput performance can be improved by up to 63% compared to that of the method which only optimizes the coverage area.

※ 본 연구는 “7차년도 두뇌한국21사업,” “지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 ‘IT명품인재양성사업 (C1515-1121-0003)’ 및 “2012년도 정부 (교육과학기술부) 의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 (2011-0009255)” 지원을 받아 수행된 것임.

◆ 주저자 : 서강 대학교 전자 공학과 통신 시스템 연구실, younghoon@sogang.ac.kr, 준회원

◦ 교신저자 : 서강 대학교 전자 공학과 통신 시스템 연구실, dhong@sogang.ac.kr, 종신회원

\* 포항 공과 대학교 창의 IT 융합공학과 / 미래 IT 융합연구원, jclim@postech.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2012-11-536, 접수일자 : 2012년 11월 15일, 최종논문접수일자 : 2012년 12월 26일

## I. 서론

다양한 크기의 셀로 구성된 heterogeneous network 는 데이터 트래픽의 증가에 대한 해결책 중 하나로 제시되었다.

펠토셀은 heterogeneous network 의 중요 구성 요소 중 하나로 저전력, 저가의 초소형 기지국이다. 펠토셀 설치 시, 단위 면적당 셀 수를 증가시킴으로써 고속의 데이터 서비스를 사용자에게 제공할 수 있다. 또한 사업자 뿐 아니라 사용자가 임의로 설치 및 제거가 가능하다. 하지만 펠토셀을 추가로 설치하면 기존 셀 구조가 변하며, 그에 따라 여러 가지 문제가 야기될 수 있다.

펠토셀을 설치할 때 발생하는 대표적인 문제는 간섭으로 인한 시스템 throughput 저하이다. 펠토셀이 새롭게 설치될 때, 추가된 펠토셀의 간섭으로 인해 매크로셀 사용자와 인접 펠토셀 사용자의 성능이 저하될 수 있다. 또 다른 문제는 핸드오버 요청으로 인한 시스템 overhead 증가이다. 실내에 설치된 펠토셀의 커버리지가 실내영역보다 큰 경우 다른 셀에 속한 사용자가 펠토셀로 핸드오버를 요청하는 문제가 발생할 수 있다. 반대의 경우, 펠토셀 사용자가 다른 셀로 연결을 요청할 수 있으며 이를 camp on 현상이라 한다.

펠토셀의 설치에 따른 기술적인 문제를 해결하기 위하여 펠토셀은 주위 셀과 연동하여 자율적으로 시스템 파라미터를 설정하는 Self-Organized Network(SON) 을 이용할 수 있다. SON을 적용한 기존 연구들은 시스템 throughput 향상 또는 펠토셀 커버리지 조절 등의 목적으로 펠토셀 전송전력을 조절하는 것을 목표로 한다.

시스템 throughput 향상을 목적으로 하는 연구에는 펠토셀 또는 매크로셀에 연결된 단말의 QoS 를 보장 하도록 펠토셀의 전송전력을 설정 (Femto-QoS , Macro-QoS) 하는 방법<sup>[1]</sup>과 모든 사용자의 throughput 합을 최대화 하도록 펠토셀의 전송 전력을 설정하는 방법<sup>[2]</sup>등이 있다.

펠토셀의 커버리지 조절을 위한 연구에는 일정 시간 동안 단말이 요청한 핸드오버 정보를 이용하여 커버리지를 조절하는 방법과<sup>[3]</sup> 펠토셀의 커버리지를 실내 영역과 일치하도록 펠토셀 전송전력을 조절하는 방법<sup>[4]</sup>등이 있다.

그러나, 일반적으로 시스템 throughput 향상을 위한 펠토셀 전송 전력과 시스템 overhead 감소를 위한 펠토셀 전송 전력은 일치하지 않는다. 시스템 throughput

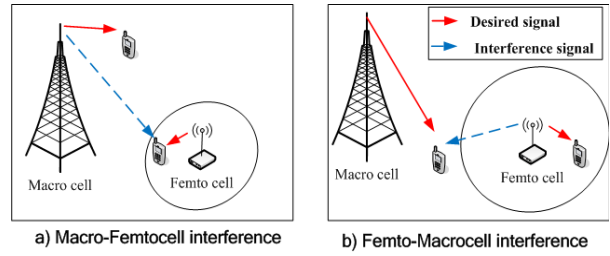


그림 1. 매크로셀과 펠토셀 사이의 간섭 시나리오  
Fig. 1. Interference Scenario between macrocell and femtocell

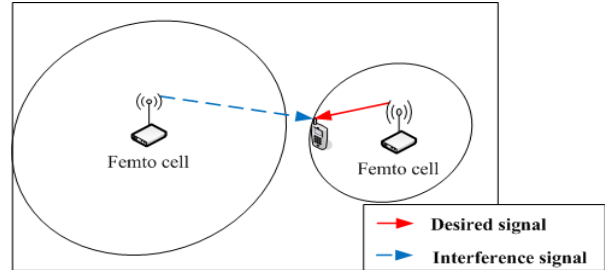


그림 2. 인접 펠토셀간 간섭 시나리오  
Fig. 2. Interference Scenario between femtocell and femtocell

향상만을 고려할 경우, 시스템 overhead가 증가할 수 있으며 시스템 overhead 를 감소시키는 데만 목적을 둘 경우 펠토셀의 throughput이 낮아질 우려가 있다. 따라서 본 논문에서는 시스템 overhead를 감소시키는 동시에 throughput을 향상시킬 수 있는 결합기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 펠토셀 설치 시 발생하는 기술적 문제에 대해 기술하고, 3장에서는 제안기법의 동작에 대해 자세히 설명한다. 4장에서 모의실험 환경 및 성능 분석 지표에 대해 정의하며 5장에서 제안 기법의 성능을 도출하고 분석한 뒤, 6장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 펠토셀 설치에 따른 기술적 고려사항

### 2.1. 간섭에 의한 시스템 throughput 의 변화

Heterogenous network 를 구성하는 사업자는 매크로셀과 펠토셀이 같은 주파수 대역을 공유하는 co-channel 방식을 이용함으로써 사용자에게 고속의 전송률을 보장한다.

Co-channel 방식을 사용하는 heterogeneous network 에서는 인접 셀 간 간섭이 발생할 수 있다. 매크로셀과 펠토셀의 간섭은 크게 두 가지 시나리오가 있다. 그림1 의 a) 는 매크로셀 신호가 펠토셀 사용자에게 간섭으로 작용하는 경우이다. 이 때 펠토셀

사용자는 매크로셀 기지국의 간섭에 의해 수신 SINR이 감소하여 throughput이 저하된다. 그림1의 b)는 반대로 펠토셀이 매크로셀 사용자에게 간섭을 주는 경우이며, 매크로셀 사용자의 throughput이 나빠진다.

다수의 펠토셀이 설치될 때 인접한 펠토셀 간 간섭이 추가로 발생할 수 있으며, 이 경우를 그림 2에 나타내었다. 한 펠토셀이 사용자에게 전송하는 신호가 인접 펠토셀 사용자에게 간섭신호로 작용하며, 이는 인접한 펠토셀의 throughput저하로 이어진다.

### 2.2. 커버리지 크기에 따른 시스템 overhead의 변화

펠토셀은 결합등록된 사용자에게만 서비스를 제공하는 Closed Group Subscriber (CGS)와 결합등록 여부에 상관없이 모든 단말을 서비스 할 수 있는 Open Group Subscriber (OGS), 두 개념이 결합된 Hybrid cell로 구분된다<sup>[5]</sup>. 본 논문에서는 모든 사용자가 펠토셀로 핸드오버를 요청할 수 있으며, 핸드오버 절차에서 단말의 결합등록 (membership) 여부를 확인하는 하향링크 hybrid access mode 환경을 기본으로 한다. 그림 3의 a)는 펠토셀의 커버리지가 실내영역보다 클 경우, 실외의 매크로셀 사용자가 펠토셀로 핸드오버를 요청하게 되는 불필요한 핸드오버 시나리오이다. 이 경우 실외 사용자가 펠토셀로 핸드오버를 수행한 후에 매크로셀로 다시 핸드오버를 수행하는 signaling overhead가 발생한다. 그림3의 b)는 펠토셀의 커버리지가 실내영역보다 작을 경우, 실내 펠토셀 사용자가 매크로셀로 접속을 요청하게 되는 camp on 시나리오이다. 이 때 실내에서의 이동에도 핸드오버 요청이 발생할 수 있어 signaling overhead가 발생한다.

### III. 결합형 전송전력 조절 기법

본 절에서는 throughput을 향상시키는 동시에 불필요한 핸드오버 및 camp on 문제 발생을 감소시키기

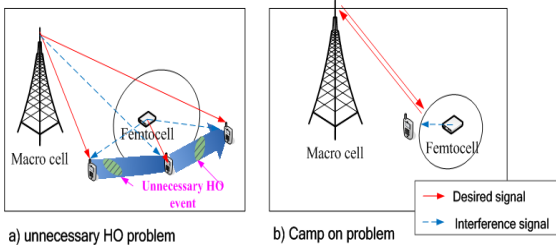


그림 3. 펠토셀 커버리지에 따른 overhead 발생 시나리오  
Fig. 3. Overhead occurrence Scenario due to femtocell coverage

위한 펠토셀 전송전력 조절 기법을 제안한다. 전송전력 조절 기법의 절차는 초기 전송전력 값 설정, 핸드오버 및 camp on 요청에 따른 전송전력 값 조절의 절차를 따른다. 전송전력 조절 기법 적용 시 centralized SON을 사용하는 네트워크 환경을 가정한다. SON server는 펠토셀 및 매크로셀의 RSRP 정보를 이용하여 펠토셀의 전송전력 값을 결정 한 뒤, 펠토셀에 전달한다.

#### 3.1. Throughput을 최대화하는 전송전력 값 도출

본 논문에서는 throughput을 최대화하는 펠토셀 전송전력 값 도출을 위해 Throughput Maximized기법<sup>[2]</sup>을 응용하였다. 펠토셀 내 사용자의 측정 보고의 주기에 따라 throughput의 합이 최대가 되는 펠토셀 전송전력을 구한다. 먼저, i번째 사용자가 서비스 받는 셀  $i_{serv}$ 로부터 수신 받는 SINR  $\gamma_{i,i_{serv}}$ 는 식(1)과 같이 표현된다.  $p_{i_{serv}}$ 는  $i_{serv}$  셀의 전송전력을 의미하며,  $g_{i,j}$ 는 i번째 사용자와 j셀 간의 link gain을 의미한다.  $n_i$ 는 i번째 사용자의 잡음전력을 의미한다.

$$\gamma_{i,i_{serv}} = \frac{p_{i_{serv}} g_{i,i_{serv}}}{n_i + \sum_{j_{serv} \neq i_{serv}} p_{j_{serv}} g_{i,j_{serv}}} \quad (1)$$

SINR을 throughput으로 변환하기 위하여 Shannon capacity를 이용한 유틸리티 함수를 식(2)와 같이 정의한다. 이 식은 spectral efficiency (bps/Hz)를 나타낸다.

$$U(\gamma_i) \equiv \log_2(1 + \gamma_i) \quad (2)$$

펠토셀의 전송전력 범위를 제한하며, 모든 사용자가 기지국으로부터 최소 요구값 이상의 SINR을 제공받도록 제한한 최적화 식을 구성한다. 최적화 식(3)의  $\mathbf{K}$ 는 전체 셀 index의 집합이며,  $\mathbf{N}$ 은 전체 사용자 index의 집합이다.

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{p}} \sum_{i \in \mathbf{N}} U_i(\gamma_{i,i_{serv}}) \\ \text{subject to } & P^{\min} \leq p_{i_{serv}} \leq P^{\max}, \forall i_{serv} \in \mathbf{K} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\gamma^{\min} \leq \gamma_{i,i_{serv}}, \forall i \in \mathbf{N}$$

위 식을 convex optimization 형태로 구성하기 위해, 유틸리티 함수를 근사화하고 식을 지수함수로 치환한다. 또한,  $i$ 번째 사용자가 받는 간섭과 잡음 전력 합의 upper bound를  $q_i$  로 정의하고, 이를 지수함수로 치환한다. 또 모든 사용자의 잡음전력이 동일한 환경을 가정한다.

$$\log_2(1 + \gamma_i) \approx \log_2(\gamma_i) \quad (4)$$

$$p_{i\_serv} = e^{x_{i\_serv}} \quad (5)$$

$$q_i = e^{y_i} \quad (6)$$

치환된 식을 이용하여 최적화 식을 다시 정리한다. 식(7)의  $K_F$ 는 전체 펌토셀 index의 집합이다.

$$\begin{aligned} & \max_x \sum_{i \in N} U(e^{x_{i\_serv}} g_{i,i\_serv}) \\ \text{subject to } & P^{\min} e^{-x_j} \leq 1, \quad \forall j \in K_F \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & (P^{\max})^{-1} e^{x_j} \leq 1 \\ & \gamma^{\min} g_{i,i\_serv}^{-1} e^{y_i - x_{i\_serv}} \leq 1, \quad \forall i \in N \\ & n_i \cdot e^{-y_i} + \sum_{j \neq i\_serv} e^{x_j - y_i} g_{i,j} \leq 1, \quad \forall i \in N \end{aligned}$$

$\omega = \{x, y, \lambda, \mu\}$ 로 정의할 때, 식(7)에 sub-gradient 알고리즘을 적용하면 식 (8)-(11)과 같이 나타난다. 식(8)-(11)의 iteration 을 반복적으로 수행하여 KKT condition 을 만족하는 최적값을 찾을 수 있다.  $e^{x^{\max}}, e^{x^{\min}}$  은 펌토셀의 최대, 최소 전송전력값이며  $[\cdot]^+$  는  $\max\{\cdot, 0\}$  을 의미한다.

$$x_j(t+1) = \left[ x_j(t) - \beta \frac{\partial L(\omega)}{\partial x_j} \Big|_{\omega(t)} \right]_{x^{\min}}^{x^{\max}} \quad (8)$$

$$y_i(t+1) = y_i(t) - \beta \frac{\partial L(\omega)}{\partial y_i} \Big|_{\omega(t)} \quad (9)$$

$$\mu_i(t+1) = \left[ \mu_i(t) + \beta \left( \gamma^{\min} g_{i,\theta(i)}^{-1} e^{y_i - x_{i\_serv}} - 1 \right) \right]^+ \quad (10)$$

$$\lambda_i(t+1) = \left[ \lambda_i(t) + \beta \left( \frac{\sigma^2 \cdot NF \cdot + \sum_{j\_serv \neq i\_serv} e^{x_j} g_{i\_serv, j\_serv}}{e^{y_i(t)}} - 1 \right) \right]^+ \quad (11)$$

$\mu_i$  와  $\lambda_i$  는 식(7)에서 정의된 Lagrangian multiplier 이며,  $L(w)$  는 Lagrangian function 을 의미한다. 위의 KKT condition 을 만족하는 지점의  $e^{x_j(t)}$  가 throughput 을 최대화하는 펌토셀 전송전력,  $e^{y_i}$  가  $i$  번째 사용자가 받는 간섭신호와 잡음 전력의 합이 된다.

### 3.2. 시스템 overhead 를 최소화하는 기법

시스템 overhead 는 불필요한 핸드오버나 camp on 으로 인한 핸드오버 요청에 의해 발생한다. 핸드오버 요청은 사용자가 주기적으로 기지국에게 측정 보고하는 Reference Signal Received Quality (RSRQ) 값을 기준으로 결정된다.

펌토셀의 전송전력 조절은 Coverage Optimization 기법<sup>[4]</sup>을 응용하였다. 핸드오버를 요청한 사용자에 대해 등록검증절차를 수행한다. 핸드오버를 요청한 사용자가 결합등록되지 않은 사용자일 경우, 펌토셀 전송전력을  $\Delta$ 만큼 감소시킨다. 반대의 경우, 결합등록된 사용자가 외부의 셀로 핸드오버를 요청할 때 펌토셀의 전송전력을  $\Delta$ 만큼 증가시킨다. 주기적인 측정 보고 중 핸드오버 요청이 없을 경우에는 전송전력 값을 그대로 유지시킨다. 펌토셀 전송전력은 초기 값과 관계없이 커버리지가 실내영역과 일치하도록 수렴한

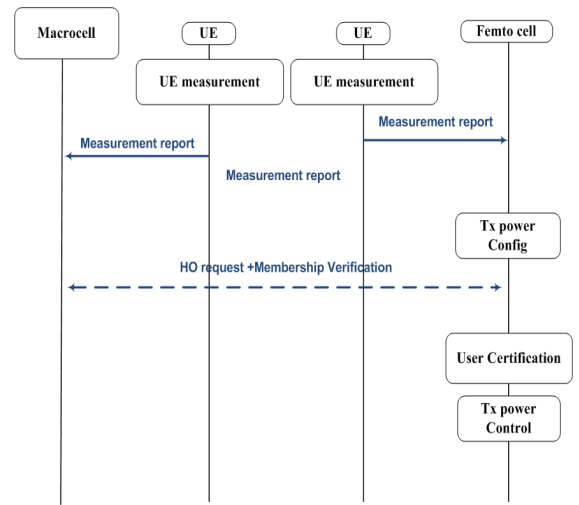


그림 4. 결합형 전송전력 조절 기법 동작 절차  
Fig. 4. Operation procedure of Combined algorithm

다.

3.3. 결합형 전송전력 조절 기법

결합형 전송전력 조절 기법은 3.1 절의 식(8)~(11)의 결과를 목표 전송전력 값으로 둔 뒤, 3.2 절의 overhead 최소화 기법을 응용함으로써 수행된다. 그 과정을 그림4 에 나타내었다. 펌토셀 사용자와 인접 셀 사용자는 주위 환경 정보를 수집하여 해당 셀에 보고한다. 보고된 정보를 기준으로 하여 throughput 을 최대화 하는 펌토셀의 목표 전송전력 값이 설정된다. 전송전력 값이 설정된 후, 사용자는 주위 셀에서 수신된 RSRQ 값에 따라 핸드오버 요청 여부를 결정한다. 펌토셀 및 주위 매크로셀은 핸드오버를 요청한 사용자가 결합등록된 사용자인지의 여부를 판단한다. 실외 사용자의 펌토셀로의 핸드오버 요청 및 실내 사용자의 매크로셀 또는 주위 펌토셀로의 요청에 따른 펌토셀 전송전력 조절은 3.2절의 조절 방법을 따른다. 단, 주기적인 측정 보고 중 새로운 핸드오버 요청이 없을 경우의 전송전력 값은 시스템 throughput 향상을 위해 목표 전송전력 값이 될 때까지 반복적으로  $\Delta$ 만큼 증가시킨다.

IV. 모의실험 환경 및 성능분석 지표

4.1. 모의실험 환경

본 논문에서는 단일 펌토셀이 설치되는 경우와 다수의 펌토셀이 설치되는 경우의 펌토셀 전송전력에 따른 성능을 분석하였다. 네트워크 환경은 매크로셀과 펌토셀이 혼재된 네트워크를 가정한다. 매크로셀은 셀 반경이 1km 인 7개의 육각 매크로셀이 1-tier로 배치된 환경을 사용하였으며 펌셀의 경우 그림5와 같이 배치하였다.

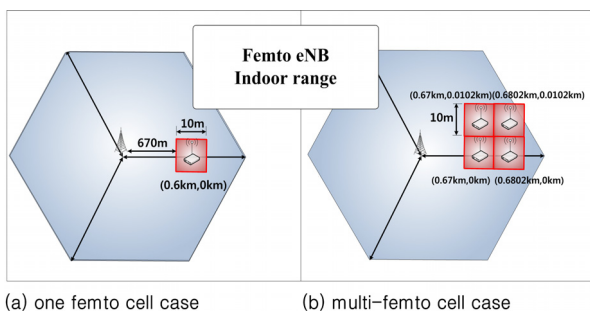


그림 5. 성능분석을 위한 셀 구조  
Fig. 5. Cell layout for system modeling

표 1. 시스템 파라미터  
Table 1. System parameters

Parameters	Values
Center frequency	2.0GHz
System Bandwidth	10MHz
Macrocell power	46dBm
Femtocell power	[-20dBm, 20dBm]
Macro cell radius	1km
Antenna gain	14/5dBi
Antenna pattern	Omni directional
Thermal noise density	-174 dBm/Hz
Mobility model	outdoor : average 3km/h , derivation 15km/h indoor : average 0km/h, derivation 3km/h
indoor area	10m x 10m
distance between indoor boundary and outdoor boundary	2m
wall thickness	0.2m
Minimum distance between indoor user and femto BS	0.2m
Wall loss	10dB
SINR threshold	-6dB

사용자 분포와 이동성 모델은 실제 네트워크와 유사한 환경을 구현하도록 실내에는 하나의 펌토셀 기지국 당 5명의 사용자가 존재하며 실외에는 20명의 사용자가 uniform random 하게 발생하도록 구성하였다. 사용자이동 방향은 초기에 uniform하게 결정된 후 고정된다. 하지만 사용자가 발생 범위 외곽에 도달할 경우와 실내의 사용자가 실내 벽에 도달할 경우, 임의의 방향으로 반사되어 나온다. 사용자는 각 셀에서 수신되는 SINR 을 비교하여 수신값이 가장 높은 셀에 연결되며, 200ms 간격으로 측정 보고를 수행하여 현재 연결된 셀에게 결과를 보고하도록 하였다. 본 논문에서는 전자파 전파 모델 및 pathloss model , 사용자 설정 파라미터, 채널 모델의 경우 3GPP 표준<sup>6,7</sup>을 참조하였으며 표 1 에 정리하였다. 펌토셀 전송전력 조절 단위  $\Delta$ 는 3GPP 의 표준<sup>6</sup>에 정의된 최소 조절 단위인 0.4dB 로 설정하였다.

4.2. 성능 지표

제안기법의 성능분석을 위한 지표는 spectral efficiency 와 핸드오버 횟수, camp on 횟수를 사용하였다. Spectral efficiency 는 시스템 throughput 비교를 위한 성능지표이며 불필요한 핸드오버와 camp on 횟수는 시스템 overhead 성능 비교를 위한 성능지표이다.



4.2.1. 셀 spectral efficiency

유틸리티 함수로 표현한 시스템의 spectral efficiency 를 아래 식(12) 와 같이 표현할 수 있다.

$$S_{cell} = \frac{1}{N_M} \sum_{i \in N_M} U_i(\gamma_{i,i\_serv}) + \frac{1}{N_F} \sum_{i \in N_F} U_i(\gamma_{i,i\_serv}) \quad (12)$$

$N_F$  와  $N_M$  은 각각 펌토셀과 매크로셀 사용자의 집합을 의미하며,  $i\_serv$  는  $i$ 번째 사용자가 서비스 받는 셀을 의미한다.

4.2.2. 시스템 overhead

시스템 overhead 는 불필요한 핸드오버와 부적절한 camp on 의 횟수로 표현한다. 불필요한 핸드오버는 실제 사용자의 측정 보고에서 매크로셀로부터의 RSRQ 보다 펌토셀로부터의 RSRQ 가 높은 경우이다. Camp on 의 경우는 실내 사용자의 측정 보고에서 펌토셀로부터의 RSRQ 보다 매크로셀 로부터의 RSRQ 가 높은 경우이다.

V. 모의실험 결과

모의실험을 통해 제안한 전송 전력 조절기법 성능 분석을 수행하였다. 결합형 기법의 성능을 Throughput Maximized 기법<sup>[2]</sup>과 Coverage Optimization 기법<sup>[4]</sup>, Femto-QoS 기법 및 Macro-QoS<sup>[1]</sup> 기법과 비교하여 분석하였다.

5.1. 단일 펌토셀 설치 시

단일 펌토셀이 설치되었을 경우, 본 논문에서 제안한 기법과 기존의 네 가지 기법의 성능을 비교분석하였다.

그림6은 매크로 셀 사용자와 펌토 사용자의 사용자별 spectral efficiency 의 CDF 를 나타낸 결과이다. 표2에서는 각 기법의 평균 spectral efficiency 를 비교하였으며, 표3에서는 시스템 overhead 를 측정하였다. 그림6과 표2의 결과에서 Throughput Maximized 기법은 비교분석한 알고리즘 중 가장 좋은 throughput 을 나타내었다. 커버리지 최적화 기법의 경우, 3.2 절의 방법을 사용하므로 다른 기법에 비해 펌토셀 전송전력 값이 작으며, 가장 낮은 throughput 을 나타낸다. Femto-QoS 방식의 경우 펌토셀에 속한 비슷한 throughput 을 가진다. Macro-QoS 방식의 경우 매크로셀에 사용자의 최소 SINR 값이 제한되어 제안한 기

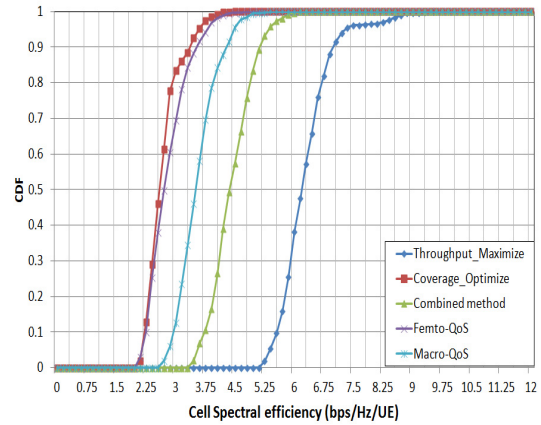


그림 6. 단일 펌토셀 설치시의 spectral efficiency (CDF)  
Fig. 6. Spectral efficiency CDF with one femtocell environment

표 2. 단일 펌토셀 설치시의 평균 spectral efficiency  
Table 2. Average Spectral efficiency with one femtocell environment

Algorithm	Average Cell Spectral efficiency (bps/Hz/UE)
Throughput Maximized	6.6418
Coverage Optimization	2.9083
Proposed Algorithm	4.7536
Femto-QoS	3.0667
Macro-QoS	3.6845

표 3. 단일 펌토셀 설치시의 시간당 시스템 overhead  
Table 3. System overhead per hour with one femtocell environment

Algorithm	HO event	camp on	Total count
Throughput Maximized	1125	0	1125
Coverage Optimization	14	29	43
Proposed Algorithm	1030	0	1030
Femto-QoS	112	2	114
Macro-QoS	562	0	562

법에 비해 감소된 throughput 을 보인다. 제안한 기법은 Throughput Maximized 기법에 비해서는 28% 감소된 throughput 을 보이나 Coverage Optimization 기법에 비해서는 63%의 throughput 향상을 보인다.

표3의 결과에서 Throughput Maximized 기법의 경우 불필요한 핸드오버 요청이 가장 많으며 시스템 overhead 역시 가장 크다. 제안한 기법의 경우 Throughput Maximized 기법과 비교할 때 약 9%의

시스템 overhead 감소를 보인다. Throughput Maximized 기법을 제외한 기존 기법들과 제안 기법을 비교할 때, 핸드오버 요청 횟수가 많은 것을 볼 수 있다. 그러나 Femto-QoS 기법과 Macro-QoS 기법의 경우 핸드오버 요청에 따라 실제로 핸드오버를 수행하게 되며 그에 따른 overhead 가 추가된다. 반면에 제안 기법은 불필요한 핸드오버 요청에 대해 전송전력을 조절할 뿐 실제로 핸드오버를 수행하지 않는다. 그로 인해 Femto-QoS 기법과 Macro-QoS 기법에 비하여 실제 핸드오버 수행에 따른 overhead는 감소하게 된다. 또한 제안 기법은 측정보고 주기 동안 어떤 요청도 받지 못할 때도 전송전력을 증가시킴으로써 핸드오버 요청에 따른 시스템 overhead 는 증가하나 throughput은 Femto-QoS 기법에 비하여 35%, Macro-QoS 기법에 비하여 22% 향상된다.

### 5.2. 다수 펌토셀 설치 시

다수의 펌토셀이 설치되었을 때 역시 단일 펌토셀이 설치되었을 때와 유사한 결과를 그림7과 표4, 표5에서 볼 수 있다. 펌토셀 개수의 증가에 따라 평균 셀 spectral efficiency 가 증가하며 각 기법들에 의한 증가량은 거의 동일하게 나타난다. 단일 펌토셀의 경우와 마찬가지로 제안기법은 Throughput Maximized 기법에 비해서는 throughput 이 28% 감소하나 다른 기법과 비교하였을 때 최대 63%의 throughput 향상을 보인다.

표5에서, 각 기법에서의 시스템 overhead 증가량이 기법별로 다른 것을 볼 수 있다. Throughput Maximized 기법은 설치된 펌토셀 개수의 증가에 따라 overhead 가 약 5.28배 증가하였으나, 제안한 기법의 overhead는 약 3.42배 증가한다. 이는 다수 펌토셀 설치 시 매크로셀과 펌토셀 간 핸드오버 뿐 아니라 펌토셀과 펌토셀 간 핸드오버도 발생하기 때문이다. 제안한 기법은 핸드오버 요청에 따라 전송전력을 사용자의 SINR 최대치가 제한되어 커버리지 최적화 기법과 조절함으로써 펌토셀과 펌토셀 간 핸드오버에 의한 overhead 를 줄일 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 downlink OGS 환경에서 불필요한 overhead 발생을 감소시키는 동시에 시스템 throughput을 최대화 하는 펌토셀 전송전력 조절기법을 제안하였다. 제안 기법은 사용자의 측정 보고

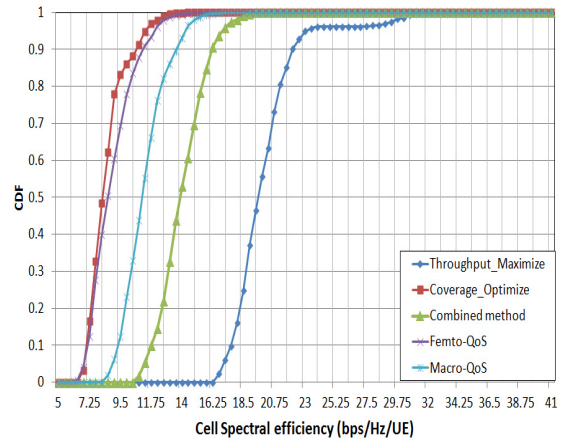


그림 7. 다수 펌토셀 설치시의 spectral efficiency (CDF)  
Fig. 7. Spectral efficiency CDF with multi-femtocell environment

표 4. 다수 펌토셀 설치시의 평균 spectral efficiency  
Table 4. Average Spectral efficiency with multi-femtocell environment

Algorithm	Average Cell Spectral efficiency (bps/Hz/UE)
Throughput Maximized	21.0014
Coverage Optimization	9.1961
Proposed Algorithm	15.0311
Femto-QoS	9.6970
Macro-QoS	11.6504

표 5. 다수 펌토셀 설치시의 시간당 시스템 overhead  
Table 5. System overhead per hour with multi-femtocell environment

Algorithm	HO event	camp on	Total count
Throughput Maximized	5942	0	5942
Coverage Optimization	21	56	77
Proposed Algorithm	3523	0	3523
Femto-QoS	465	7	472
Macro-QoS	1387	0	1387

에 따라 throughput 을 최대화하는 전송 전력 값을 설정한 후, 핸드오버 보고에 따라 펌토셀의 전송전력을 연속적으로 조절한다.

Spectral efficiency 의 CDF 와 평균 spectral efficiency 결과를 도출하여 비교했을 때, 제안 기법은 기존의 커버리지 최적화 기법에 비해 63% 향상된 throughput을 보였다. HO event 와 camp on event 를 합한 total count 결과를 도출하여 시스템 overhead 를 비교했을 때, 제안 기법은 기존의 Throughput Maximized 기법에 비하여 단일 펌토셀 설치 시 약 9%, 다수의 펌토셀 설치 시 약 41%

의 시스템 overhead 감소를 보인다. 즉, 제안한 기법은 시스템의 overhead 를 고려하지 않는 Throughput Maximized 기법에 비해 overhead 를 줄일 수 있다. 또한, 커버리지를 살내와 일치시킴으로써 overhead 를 제거하는 대신 시스템 throughput 을 고려하지 않는 Coverage Optimization 기법에 비해 월등한 throughput을 나타낸다.

제안 기법을 응용할 때 시스템이 얻을 수 있는 또 다른 이득은 설치된 펌토셀이 증가할 때의 시스템 overhead 증가량이 다른 기법에 비해 감소한다는 점이다. 설치된 펌토셀의 증가에 따른 시스템 overhead 증가량은 Throughput Maximized 기법에서 5.28배로 나타나는 데 비하여 제안 기법은 3.42배로 나타난다. 즉, 제안한 기법은 실제 네트워크 환경에서 시스템의 throughput 증가를 위해 다수의 펌토셀을 설치하는 경우 유용하게 응용될 수 있다.

### References

[1] S. Yeh, S. Talwar, N. Himayat, and K. Johnsson, "Power control based interference mitigation in multi-tier networks," in *Proc. IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM)*, pp. 701-705, Dec. 2010.

[2] H. Choi, S. Jang, J. Lim, and D. Hong, "An power setting scheme for throughput improvement in LTE based femtocell networks," in *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 367-368, Feb. 2011.

[3] H. Claussen, L. T. W. Ho, and L.G. Samuel, "Self-optimization of coverage for femto cell deployments," in *Proc. Wirel. Telecommun. Symp.*, pp. 278-285, Apr. 2008.

[4] S. Jang, Y. Lee, J. Lim, and D. Hong, "Self-optimization of single femto-cell coverage using handover events in LTE systems", in *Proc. IEEE Asia-Pacific Conf. on Commun. (APCC)*, pp. 28-32, Oct. 2011.

[5] 3GPP TR 36.331 v10.0.0 "Technical Specification Group Radio Access Network", Jun. 2010.

[6] 3GPP TR 25.814 v7.1.0 "Physical Layer Aspects for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA)", Sep. 2006.

[7] 3GPP TR 36.814 v9.0.0, "Further Advancements for E-UTRA Physical layer Aspects", Mar. 2010.

### 조영훈 (Younghoon Jo)



2011년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업  
 2011년 3월~현재 서강대학교 전자공학과 석사과정  
 <관심분야> LTE, Femtocell, 이동통신공학

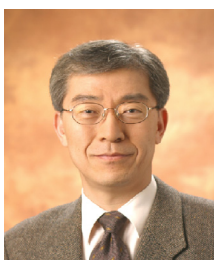
### 임재찬 (Jaechan Lim)



1996년 고려대학교 물리학과 졸업  
 1999년 Stony Brook University, Electrical Engineering 석사  
 2007년 Stony Brook University, Electrical Engineering 박사  
 2007년~2008년 전자공학과, University of Bridgeport, CT US 겸임교수

2008년~2012년 5월 서강대학교 전자공학과 연구교수  
 2012년 6월~9월 구미 전자 정보 기술원 선임 연구원  
 2012년 10월~현재 포항 공과 대학교 창의 IT 융합 공학과 / 미래 IT 융합 연구원  
 <관심분야> Methodology in signal processing, Detection & estimation of signal, Statistical filtering methodology, 무선통신 시스템.

### 홍대형 (Daehyoung Hong)



1977년 서울대학교 전자공학과 졸업  
 1982년 State University of New York at Stony Brook, Electrical Engineering 석사  
 1986년 State University of New York at Stony Brook, Electrical Engineering 박사

1977년~1981년 공군 사관학교 교수부  
 1986년~1992년 (미)Motorola 연구소, Senior Staff Research Engineer  
 2011년 한국통신학회 회장  
 1992년~현재 서강대학교 전자공학과 정교수  
 <관심분야> 무선통신 시스템, 무선망 설계 및 성능 분석, 무선망 운용 및 제어기술