DBpia

논문 13-38B-01-03

한국통신학회논문지 '13-01 Vol.38B No.01
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2013.38B.1.18

차세대 이종망에서 커버리지 최적화를 위한 자율적 펨토셀 전송 전력 조절 기법 연구

조 상 익◆, 임 재 찬*, 홍 대 형°

An Autonomous Downlink Power Adjustment Method of Femtocell for Coverage Optimization in Next Generation Heterogeneous Networks

Sangik Jo◆, Jaechan Lim*, Daehyoung Hong°

요 약

본 논문에서는 차세대 이종망 환경에서 펨토셀이 자율적으로 커버리지를 조절하는 방안을 제안한다. 펨토셀의 커버리지가 펨토셀이 설치된 실내 영역보다 큰 경우 펨토셀 커버리지를 통과하는 실외 단말에 의해 핸드오버 요청이 발생하여 불필요한 signaling을 증가시키고 이에 따라 overhead가 커지게 된다. 펨토셀의 커버리지가 펨토셀이 설치된 실내 영역보다 작은 경우 실내에 위치한 단말이 펨토셀에 연결되지 못하는 문제가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 펨토셀 커버리지가 실내영역과 일치하도록 자율적으로 전송 전력을 조절하는 방법을 제안한다. 제안 기법은 펨토셀이 스스로 얻을 수 있는 정보인 핸드오버 요청 및 단말의 펨토셀에 대한 결합등록(membership) 여부를 이용함으로써 자율적인 커버리지 조절을 가능 하게 한다. 제안 기법의 성능 분석을 위해 먼저 커버리지를 실내영역과 일치시키는 펨토셀 전송 전력의 이론값을 도출한다. 이후 제안 기법을 모의실험에 적용하여 분석한 결과에서 펨토셀의 전송 전력이 자율적으로 조절되어 이론값으로 수렴함을 보인다.

Key Words : HetNets (Heterogeneous Networks), Femtocell, Coverage, Self-Organizing Networks (SON), Power Adjustment

ABSTRACT

In this paper, we propose a self-optimization scheme for indoor femtocell coverage in heterogeneous networks. If the femtocell coverage is larger than indoor area, neighbor cell users passing by the outer area of the femtocell coverage may request an unnecessary handover which incurs wasteful signaling overhead. On the other hand, if the coverage is smaller than the indoor area, some of indoor users might not be connected to the indoor femtocell. Therefore, we propose the method by which the femtocell coverage attains the exact indoor area employing self-organized scheme. Autonomous self TX power adjustment of the femtocell is possible because the proposed method utilizes handover request events and membership information of users that can be obtained by the femtocell itself. We show that the TX power obtained by the proposed algorithm converges to the optimal TX power that can be obtained analytically to attain the indoor coverage area.

※ 본 연구의 일부는 제 21회 통신정보합동학술대회 (JCCI 2011) 에 발표되었음[2].
※ 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 : 서강대학교 전자공학과 통신 시스템 연구실, sangik@sogang.ac.kr, 준회원
° 교신저자 : 서강대학교 전자공학과 통신 시스템 연구실, dhong@sogang.ac.kr, 종신회원
* 포항공과대학교 창의 IT 융합공학과 / 미래IT융합연구원, jclim@postech.ac.kr, 정회원
논문번호 : KICS2012-11-531, 접수일자 : 2012년 11월 13일, 최종논문접수일자 : 2012년 1월 7일

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

펨토셀은 실내 음영 지역을 해소하고 주파수 자원의 효율을 증대시켜 고속 데이터 서비스를 가능하게 하는 초소형 기지국으로, 차세대 이종망(heterogeneous networks)의 주요 구성 요소 중 하나이다. 펨토셀은 사용자에 의해 직접 설치되기 때문에 전체 네트워크를 고려한 파라미터 설정이 용이하지 않다. 이와 같은 어려움을 해결하기 위해 기지국이 스스로 주변 환경을 감지하고 파라미터를 설정 할 수 있도록 하는 SON(Self Organizing Network)에 대한 관심이 높아지고 있다[1]. SON의 중요 기술로는 커버리지와 캐패시티 최적화, 핸드오버 파라미터 최적화 등이 있다. 본 논문은 SON 기술 중 펨토셀의 전송 전력 조절을 통한 커버리지 최적화 방안에 대해서 중점적으로 다룬다.

일반적으로 펨토셀은 실내영역에 있는 단말의 사용을 위해 설치하기 때문에, 펨토셀의 커버리지는 펨토셀이 설치된 실내영역과 일치하는 것이 이상적이다. 만약 펨토셀 커버리지가 실내 영역과 일치하지 않는 경우 이에 따른 문제가 발생할 수 있다. 펨토셀의 커버리지가 실내영역 보다 큰 경우 펨토셀의 커버리지를 통과하여 지나가는 실외 단말에 의해 핸드오버 요청이 발생할 수 있다. 이 때 실외 단말은 일시적으로 펨토셀의 커버리지에 머무른 후 다시 본래 속했던 셀로 돌아가므로 이러한 핸드오버 요청은 불필요 하다. 반대로 펨토셀의 커버리지가 실내영역 보다 작은 경우, 실내 단말이 펨토셀이 아닌 다른 셀에 연결 되는 경우가 발생한다. 이 때 다른 셀에 연결되는 실내 단말은 펨토셀이 충분한 커버리지를 가져서 펨토셀에 연결되는 경우보다 낮은 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)로 신호를 수신하게 된다. 따라서 이러한 문제를 피하기 위해 펨토셀의 커버리지를 실내영역과 일치하도록 조절 하는 기법에 대한 연구가 필요하다.

기존연구 [3]에서는 단말로부터 수집한 SINR에 기반하여 펨토셀의 커버리지를 실내영역과 일치하도록 조절하는 기법을 제안하였다. 이 기법에서는 펨토셀에 속한 단말들의 SINR의 평균이 특정 기준값이 되도록 펨토셀의 전송 전력을 조절 한다. 하지만 실제 환경에서 SINR은 주변의 간섭 변화에 따라 바뀌기 때문에 커버리지를 실내영역과 일치시키기 위한 SINR 기준 값을 정확히 얻기는 어렵다. 기존연구 [4]에서는 핸드오버 요청 정보를 이용하여 커버리지를 조절하는 기법을 제안하였다. 이 기법에서는 일정 시간동안 수집한 외부 단말의 핸드오버 요청 횟수 정보를 이용하여 전송 전력을 조절한다. 하지만 간섭의 변화로 인한 커버리지의 변동에 보다 신속하게 대응하는 방안이 필요하다.

본 논문에서는 핸드오버 요청 정보 및 단말의 결합등록 정보를 이용하여 펨토셀의 커버리지가 실내영역과 일치하도록 펨토셀의 전송전력을 조절하는 기법을 제안 한다. 제안 기법은 펨토셀이 스스로 획득할 수 있는 정보만을 이용함으로써 자율적인 커버리지 조절이 가능하게 하였다. 또한 핸드오버 요청이 발생하는 즉시 펨토셀의 전송전력 조절여부를 결정함으로써 빠른 커버리지 조절이 가능하게 하였다. 모의 실험 결과에서는 기존 연구 [4]에 사용된 기법과 제안 기법간의 성능을 비교하였다. 제안 기법 적용시 펨토셀의 전송 전력 수렴값은 단일 펨토셀이 설치된 경우와 다수 펨토셀이 설치된 경우 모두에서 기존 기법보다 낮은 오차율로 이론값에 수렴하였다.

Ⅱ. 펨토셀의 커버리지 조절 문제

본 장에서는 펨토셀의 커버리지가 실내영역과 일치하지 않는 경우 발생하는 문제들을 정의한다. 펨토셀의 사용자 접근 방식은 hybrid access 방식을 고려하였고 펨토셀과 결합등록 된 단말을 구분하는 기능이 있는 경우를 가정하였다.

펨토셀의 커버리지가 실내영역보다 작은 경우, 펨토셀이 설치된 실내에 위치한 단말이 펨토셀로 연결되지 못하는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 이와 같은 문제를 camp on 문제라고 정의한다. 그림 1의 a)는 매크로셀과 펨토셀 사이에서 발생하는 camp on 문제를 나타내고 있다. 그림에서 펨토셀의 커버리지는 실내영역보다 작으며, 이에 따라 실내 단말이 펨토셀의 커버리지에 포함되지 못하고 매크로 셀로 연결된다. 이 경우 단말은 펨토셀이 충분한 커버리지를 가져서 펨토셀에 연결된 경우에 비해 낮은 SINR로 신호를 수신하게 된다. 그림 1의 b)는 펨토셀과 펨토셀 사이에서 발생하는 camp on 문제를 나타내고 있다. 이 경우 단말은 인접한 다른 펨토셀에 연결되면서 상대적으로 낮은 SINR로 신호를 수신하게 된다.

펨토셀의 커버리지가 실내영역보다 큰 경우, 실외 단말은 펨토셀의 커버리지를 통과해 지나가며 핸드오버 요청을 발생시킨다. 이러한 핸드오버 요청은 펨토셀로부터 서비스를 받기위한 것이 아닌, 이

www.dbpia.co.kr

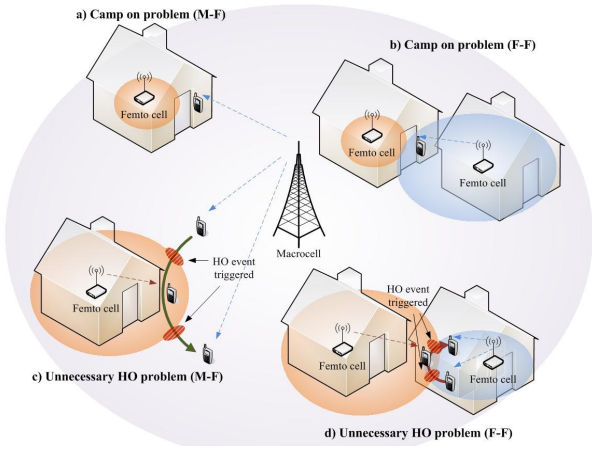


그림 1. 펨토셀의 커버리지 크기 조절 문제
Fig. 1. Technical issues of femtocell coverage size

동 중에 불가피하게 발생한 것이다. 본 논문에서는 이와 같은 경우를 불필요한 핸드오버 문제라고 정의한다. 매크로셀 내에 설치된 많은 수의 펨토셀에 의해 이러한 불필요한 핸드오버 요청이 발생할 경우 불필요한 signaling을 증가시켜 overhead가 커지게 된다[5]. 그림 1의 c)는 매크로셀과 펨토셀 사이에서 발생하는 불필요한 핸드오버 문제를 나타내고 있다. 그림에서 실외 단말은 펨토셀의 커버리지를 통과하면서 짧은 시간 동안 두 번의 핸드오버 요청을 발생시킨 후 본래 속했던 셀로 돌아간다. 그림 1의 d)는 펨토셀과 펨토셀 사이에서 발생하는 불필요한 핸드오버 문제를 나타내고 있다. 이 경우 다른 펨토셀에 속한 단말이 펨토셀의 커버리지를 통과하며 핸드오버 요청을 발생시킨다.

Ⅲ. 목표 전송 전력 계산

본 장에서는 [2]에서 사용된 펨토셀 목표 전송 전력 계산 방법을 상세히 설명한다. 목표 전송 전력은 펨토셀의 커버리지를 실내영역과 일치시키는 펨토셀의 전송 전력의 이론값으로, 이를 계산하기 위해 먼저 해당 영역에 단말이 위치할 때 camp on 문제가 발생하는 영역인 camp on 영역과, 해당 영역을 단말이 통과할 때 불필요한 핸드오버 문제가 발생하는 영역인 불필요한 핸드오버 영역을 정의한다. 이후 camp on 영역과 불필요한 핸드오버 영역의 합을 최소로 하는 펨토셀 전송 전력을 Newton's method를 이용하여 계산한다.

3.1. 단일 펨토셀 설치 시

Camp on 영역 및 불필요한 핸드오버 영역은 단말에서 측정한 SINR을 기준으로 정의 된다. 단일 펨토셀 설치시 불필요한 핸드오버 영역 C_{HO}는 임의의 단말 i가 다음 조건을 만족하는 영역으로 정의 된다.

$$\gamma_m^{(i)} < \gamma_f^{(i)},\ i \in \boldsymbol{K_O},\ m \in \boldsymbol{K_M},\ f \in \boldsymbol{K_F} \quad (1)$$

위 식에서 i는 단말의 index, $\gamma_m^{(i)}$는 단말 i 에서 측정한 매크로셀 m의 SINR, $\gamma_f^{(i)}$는 단말 i 에서 측정한 펨토셀 f의 SINR 이며, K_O는 실외에 위치한 단말의 집합, K_M은 매크로셀의 집합, K_F는 펨토셀의 집합을 의미한다.

위와 유사하게 단일 펨토셀 설치시 camp on 영역 C_{CO}는 임의의 단말 i가 다음 조건을 만족하는 영역으로 정의 된다.

$$\gamma_f^{(i)} < \gamma_m^{(i)},\ i \in \boldsymbol{K_I},\ m \in \boldsymbol{K_M},\ f \in \boldsymbol{K_F} \quad (2)$$

위 식에서 K_I는 실내에 위치한 단말의 집합을 의미한다. 식 (1), (2)에서 정의된 C_{HO}와 C_{CO}의 합을 최소화 하는 전송 전력을 구함으로써 목표 전송 전력을 계산할 수 있다. 이를 위해 최적화 기법중 하나인 Newton's method를 이용 한다. Newton's method에 사용되는 목적함수는 다음과 같다.

$$f(p) = \alpha_1 \cdot C_{HO}(p) + \alpha_2 \cdot C_{CO}(p) \quad (3)$$

위 식에서 p는 펨토셀의 전송 전력을 의미하며, α_1과 α_2는 각각 C_{HO}와 C_{CO}에 대한 weighting factor이다. 본 논문에서는 동일한 weight를 위해 α_1과 α_2는 1로 설정 하였다.

Newton's method를 이용하여 위 목적함수의 값을 최소화 하는 알고리즘이 표. 1에 제시되어 있다. 표. 1에서 N_0는 반복 연산 횟수, TOL은 반복 연산 종료를 위한 tolerance 값이다. $f(p)$의 미분 값인 $f'(p)$는 수식으로 정확히 구해질 수 없으므로, 연속되는 두 p값을 사용하여 근사적으로 구한다. 첫 번째 연산에서는 $p_0 = p_1 - 0.4dB$로 가정하였다.

3.2. 다수 펨토셀 설치 시

다수 펨토셀 설치 시 각 펨토셀의 camp on 영역 및 불필요한 핸드오버 영역은 매크로셀과 펨토셀 사이의 경우, 펨토셀과 펨토셀 사이의 경우 대해 각

www.dbpia.co.kr

표 1. Newton's method를 이용한 최적의 전송 전력 계산 알고리즘
Table 1. Iterative solution via the Newton's method

Step 1 set $j=1$. initialize p_0 and $f(p_1)$

Step 2 while $j > N_0$ Do the followings

a) $p_{j+1} = p_j - \dfrac{f(p_j)}{f'(p_j)}$

$where\ f'(p_j) = \dfrac{f(p_j) - f(p_{j-1})}{p_j - p_{j-1}}$

b) if $|p_{j+1} - p_j| < TOL$

output(p_j);

stop

c) $j = j+1$

Step 3 Output('method failed after N_0 iteration')

각 정의된다. 펨토셀 f_l에 대한 불필요한 핸드오버 영역 $C_{HO}^{f_l}$는 임의의 단말 i가 아래 조건 중 하나 이상을 만족하는 영역으로 정의된다.

$$\gamma_m^{(i)} < \gamma_{f_n}^{(i)},\ i \in \boldsymbol{K_O},\ m \in \boldsymbol{K_M},\ f_n \in \boldsymbol{K_F} \quad (4)$$

$$\gamma_{f_l}^{(i)} < \gamma_{f_n}^{(i)},\ i \in \boldsymbol{K_{I_l}},\ f_l,\ f_n \in \boldsymbol{K_F},\quad (l \neq n) \quad (5)$$

위 수식에서 l과 n은 각각 펨토셀의 index를 나타내며 K_{I_l}은 펨토셀 f_l에 대하여 결합등록된 단말의 집합을 나타낸다. 유사하게 펨토셀 f_l에 대한 Camp on 영역 $C_{CO}^{f_l}$는 단말 i가 아래 조건 중 하나 이상을 만족하는 영역으로 정의된다.

$$\gamma_m^{(i)} > \gamma_{f_n}^{(i)},\ i \in \boldsymbol{K_{I_n}},\ m \in \boldsymbol{K_M},\ f_n \in \boldsymbol{K_F} \quad (6)$$

$$\gamma_{f_l}^{(i)} > \gamma_{f_n}^{(i)},\ i \in \boldsymbol{K_{I_n}},\ f_l,\ f_n \in \boldsymbol{K_F} \quad (7)$$

다수 펨토셀 설치시에도 Newton's method를 이용하여 목표 전송 전력 값을 계산할 수 있다. 이때 사용되는 목적 함수는 다음과 같다.

$$\boldsymbol{R(p)} = [R_1(\boldsymbol{p})\, R_2(\boldsymbol{p}) \ldots\ R_{N_f}(\boldsymbol{p})]^T \quad (8)$$

위 식에서 N_f는 설치된 펨토셀의 개수를 의미하며, 펨토셀의 전송전력 벡터 $\boldsymbol{p}=[p_1 p_2 \ldots p_{N_f}]^T$의 함수 $\boldsymbol{R(p)}$는 각 펨토셀에서의 camp on 영역과 불필요한 핸드오버 영역의 합으로 구성된 벡터 이다. 다수 펨토셀에서의 계산을 위해 표 1에 제시된 알고리즘에서 step 2-a)의 식을 다음과 같이 변경한다.

$$\boldsymbol{P_{j+1}} = \boldsymbol{P_j} - \boldsymbol{J_R}(\boldsymbol{P_j})^{-1} R(\boldsymbol{p_j}) \quad (9)$$

여기서 Jacobian $\boldsymbol{J_R}$ 은 다음과 같다.

$$J_R(\boldsymbol{p}) = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial R_1(\boldsymbol{p})}{\partial p_1} & \cdots & \dfrac{\partial R_1(\boldsymbol{p})}{\partial p_{N_f}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \dfrac{\partial R_{N_f}(\boldsymbol{p})}{\partial p_1} & \cdots & \dfrac{\partial R_{N_f}(\boldsymbol{p})}{\partial p_{N_f}} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Jacobian 행렬 내부의 편미분 값들은 단일 펨토셀의 경우와 동일한 방법으로 계산할 수 있다. 계산 시 모든 펨토셀의 초기 값은 동일한 값으로 설정하며, 모든 셀에서 $p_0 = p_1 - 0.4dB$로 가정하여 초기 미분 값을 구한다.

Ⅳ. 제안 기법

본 장에서는 펨토셀이 자율적으로 전송전력을 조절하여 커버리지를 실내영역과 일치시키는 기법을 제안한다. 제안 기법에서는 핸드오버 요청과 단말의 결합등록 여부에 따라 전송 전력을 조절한다. 그림 2는 펨토셀 커버리지가 실내영역보다 큰 경우의 전송 전력 조절 절차를 나타낸다. 펨토셀의 커버리지가 실내영역 보다 큰 경우, 실외 단말 혹은 다른 펨토셀에 속한 단말이 펨토셀의 커버리지로 들어오는 경우가 발생한다. 펨토셀의 커버리지로 들어온 단말은 핸드오버를 위해 자신이 속한 셀로 measurement report를 전송하게 되며, measurement report를 수신한 셀은 펨토셀로 핸드오버 요청을 전송한다. 핸드오버 요청을 수신한 펨토셀은 핸드오버를 요청한 단말의 결합등록 여부를 확인한다. 이 때 단말이 결합등록된 단말이 아닌 경우 전송전력을 일정 값 △만큼 감소시켜 커버리지를 줄인다.

그림 3은 펨토셀 커버리지가 실내영역 보다 작은 경우의 전송 전력 조절 절차에 대해 나타낸다. 펨토셀의 커버리지가 실내영역보다 작은 경우, 펨토셀 커버리지 내에 있던 단말이 실내 영역을 이동하던 중 주변 펨토셀 혹은 매크로셀의 커버리지에 들어

www.dbpia.co.kr

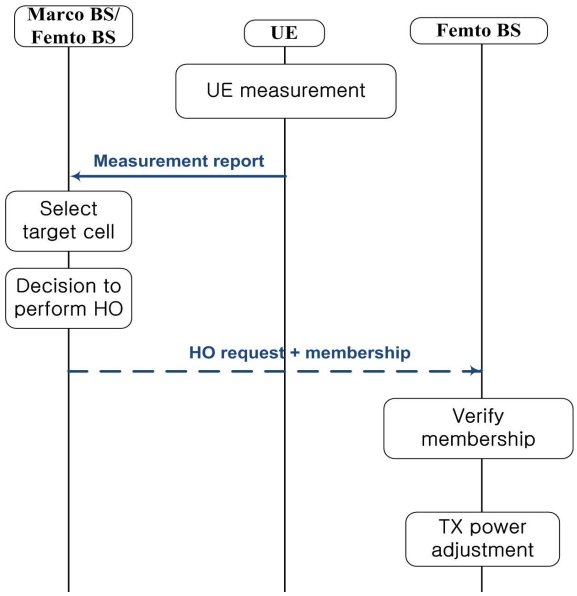


그림 2. 펨토셀 전송전력 조절 절차 (커버리지가 큰 경우)
Fig. 2. Femtocell coverage self-optimization procedure (in the case of too extended)

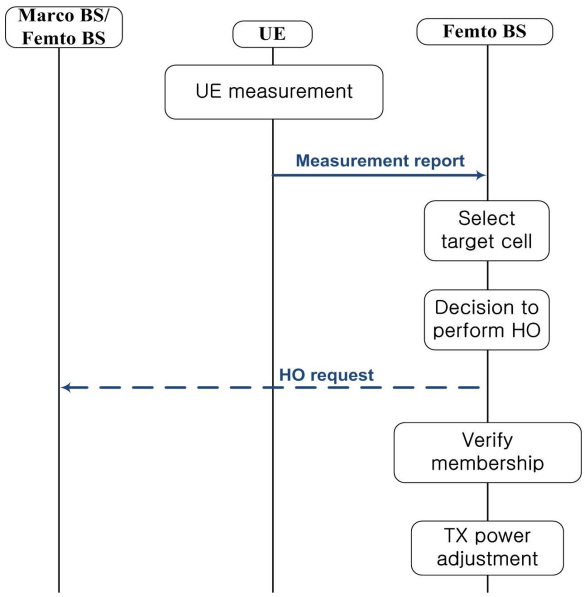


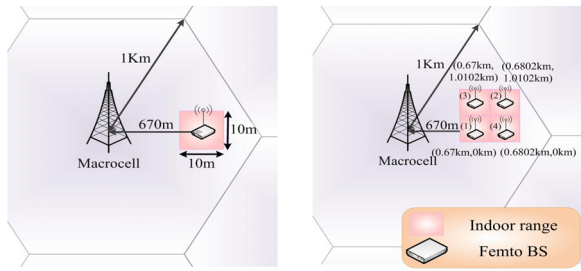
그림 3. 펨토셀 전송전력 조절 절차 (커버리지가 작은 경우)
Fig. 3. Femtocell coverage self-optimization procedure (in the case of too reduced)

가게 된다. 다른 셀의 커버리지에 들어간 단말은 핸드오버를 위해 펨토셀로 measurement report를 전송하며 이를 수신한 펨토셀은 목표 셀로 핸드오버 요청을 보내면서 단말의 결합등록 여부를 확인한다. 이 때 단말이 결합등록 단말인 경우 전송 전력을 일정 값 △ 만큼 증가시켜 커버리지를 늘린다.

제안 기법을 적용한 경우 펨토셀의 커버리지는

표 2. 모의실험 시스템 파라미터
Table 2. System parameters for simulation

Parameter		Value
Center Frequency		2.0 GHz
System Bandwidth		10MHz
Macro TX Power		46dBm
Femto TX Power		Maximum 20dBm
Macrocell Radius		1Km
Mesurement period		200ms
Macro Antenna Gain		14dBi
Femto Antenna Gain		5dBi
Antenna Pattern		Omnidirectional
Noise Density		-174dbm/Hz
Penetration Loss(L_P)		10dB
Path -loss model (L[dB])	MBSvsMUE	$128.1+37.6\log_{10}(d(Km))$
	MBSvsFUE	$128.1+37.6\log_{10}(d(Km))+L_p$
	FBSvsFUE	$127.0+30.0\log_{10}(d(Km))$
	FBSvsMUE	$128.1+37.6\log_{10}(d(Km))+L_p$



a) Cell Layout when a single femto cell is deployed

b) Cell Layout when multiple femto cell is deployed

그림 4. 셀의 배치
Fig. 4. Cell layout

실내영역과 일치하도록 수렴한다. 펨토셀의 커버리지가 실내 영역보다 큰 경우는 그림 2의 절차에 의해, 펨토셀의 커버리지가 실내영역보다 작은 경우는 그림 3의 절차에 의해 커버리지가 조절된다. 커버리지가 실내영역의 크기에 점차 가까워짐에 따라 전송 전력 조절 절차를 발생시키는 핸드오버 요청은 점차 감소하며, 커버리지가 실내영역과 일치하도록 수렴하게 되면 핸드오버 요청은 최소화 된다. 이러한 과정을 통해 펨토셀의 전송 전력은 펨토셀의 커버리지가 실내영역과 일치하도록 하는 목표 전송 전력 값으로 수렴하게 된다.

V. 성능 평가

5.1. 모의 실험 모델

모의실험은 LTE 시스템 환경에서 이루어 졌다. LTE 시스템에서 불필요한 핸드오버 영역 및 camp

www.dbpia.co.kr

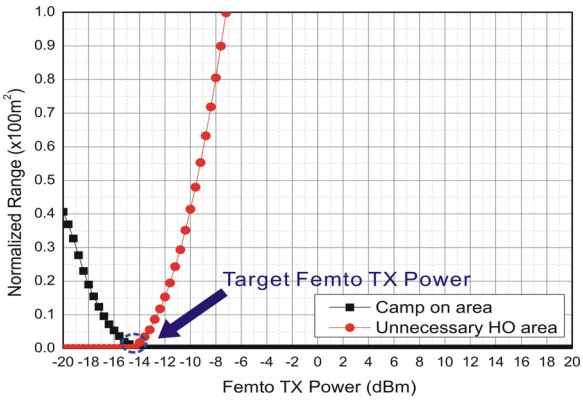


그림 5. 펨토셀 전송 전력에 따른 camp on 영역과 불필요한 핸드오버 영역
Fig. 5. Camp on areas and unnecessary handover areas depending on femto TX power

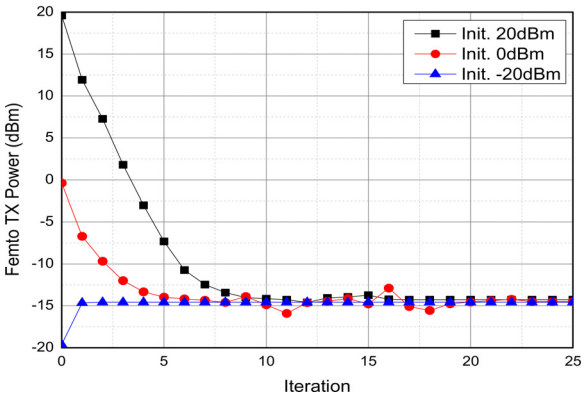


그림 6. 펨토셀 목표 전송 전력의 수렴 과정
Fig. 6. Convergence of femto-TX power to the target power

on 영역의 정의에서 사용된 SINR은 LTE의 UE measurement 값 중 하나인 RSRQ(Refernce Signal Received Quality)를 이용하여 계산 가능하다. LTE 시스템 모의실험을 위한 파라미터는 3GPP TR 36.814를 참조하였다[6]. 자세한 시스템 파라미터는 표 2에 정리하였다. 매크로셀은 육각셀의 형태로 배치하였으며, 펨토셀은 단일 펨토셀의 경우와 다수 펨토셀의 경우에 대해 각각 그림 4의 a), b)와 같이 배치하였다. 펨토셀이 설치된 실내 영역은 10m x 10m의 정사각형 방이며, 펨토셀은 각 실내영역의 중심에 설치된 것으로 가정하였다. 정사각형 방의 벽 두께는 20cm로 가정하였다.

성능평가는 총 두 단계로 이루어진다. 첫 번째로 불필요한 핸드오버 영역과 camp on 영역의 합을 최소화 하기 위한 목표 전송 전력을 계산한다. 이를 위해 많은 수의 단말을 균일한 간격으로 배치하였다. 두 번째로 제안 기법을 적용할 때 펨토셀의 전송 전력이 목표 전송 전력으로 수렴하는지를 관찰

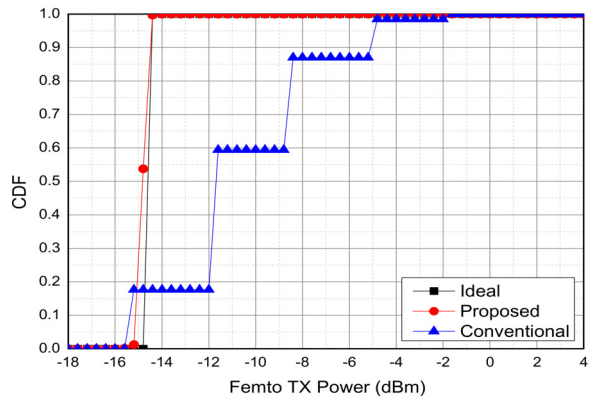


그림 7. 기존 기법과 제안 기법의 펨토셀 수렴 전송 전력 CDF (단일 펨토셀의 경우)
Fig. 7. Comparison of CDF of converged TX power of conventional method and proposed method (single femtocell case)

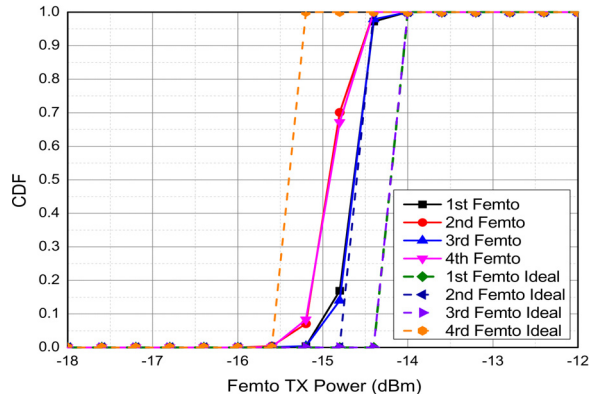


그림 8. 다수 펨토셀 설치시 펨토셀 수렴 전송 전력의 CDF
Fig. 8. CDF of converged TX power (multi femtocell case)

한다. 이 때 실외 단말은 20개로 가정하였고, 각 펨토셀이 설치된 실내 영역마다 5개의 실내 단말이 있는 것으로 가정하였다. 외부 단말의 경우 단말의 이동방향은 0~2π사이에서 uniform random하게 선택되도록 하였고, 이동 속도는 0~30km/h 구간 내에서 평균이 3km/h, 표준편차가 15km/h인 truncated Gaussian 분포를 따르도록 하였다. 실내 단말의 경우 이동 방향은 외부 단말과 동일하게 설정하였고, 이동 속도는 0~4km/h 구간에서 평균 0km/h, 표준편차가 3km/h인 truncated Gaussian 분포를 따랐다.

제안기법과의 성능 비교를 위하여 [4]에서 제안된 기존 기법과 본 논문의 기법을 적용하여 모의실험을 수행하였다. 동일한 모의실험 환경을 적용하였으며, 전송 전력 조절 단위는 기존 기법에서 $\Delta_1 = 3\,\mathrm{dB}$, $\Delta_2 = 0.4\,\mathrm{dB}$, 제안 기법에서 $\Delta = 0.4\mathrm{dB}$ 를 사용하였다. 기존 기법의 경우 $t_1 = t_2 = 200\mathrm{ms}$, $n_1 = n_2 = 0$ 를 적용하였다.

www.dbpia.co.kr

표 3. 펨토셀의 목표 전송 전력 및 camp on 영역과 불필요한 핸드오버 영역
Table 3. Target femto TX power and resultant areas

		Area (m^2)	Converged TX power (dBm)
1st femto	C_{CO}	0.56	-14.01
	C_{HO}	0	
2nd femto	C_{CO}	0.08	-14.45
	C_{HO}	0.08	
3rd femto	C_{CO}	0.12	-14.06
	C_{HO}	0.08	
4th femto	C_{CO}	0.32	-15.13
	C_{HO}	0.2	
Total		1.48	

5.2. 모의 실험 결과

5.2.1. 단일 펨토셀의 경우

그림 5에서는 단일 펨토셀의 경우에 펨토셀의 전송 전력에 따른 불필요한 핸드오버 영역의 면적과 camp on 영역의 면적을 나타내었다. 그림에서 펨토셀의 전송 전력이 증가함에 따라 불필요한 핸드오버 영역은 증가하였으며 camp on 영역은 감소하였다. 따라서 두 영역은 펨토셀의 전송 전력에 따라 trade off 관계임을 확인 할 수 있다. 불필요한 핸드오버 영역과 camp on 영역의 합을 최소화 하는 전송 전력 값은 -14.4dBm 이었다.

그림 6에서는 표 1에 제시된 Newton's method를 이용한 알고리즘을 사용할 때 펨토셀 목표 전송 전력의 수렴 양상을 보여주고 있다. 목표 전송 전력은 초기 값에 상관없이 최종 수렴 값 -14.5dBm으로 수렴하였다. 이 값은 그림 5 에서 나타난 값인 -14.4dBm과 0.69%의 차이만을 나타내었다.

제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 5000번의 모의실험을 통해 얻어진 펨토셀의 수렴 전송 전력의 CDF를 비교하였다. 모의실험을 통해 얻어진 펨토셀의 수렴 전송 전력의 CDF를 그림 7에 나타내었다. 제안된 기법과의 비교를 위해 기존 방법[4]을 적용한 경우의 CDF를 함께 비교 하였다. 그림에서 펨토셀의 전송 전력은 대부분의 경우 그림 5에서 찾은 목표 전송 전력 값인 -14.4dBm으로 수렴하였음을 확인할 수 있다. 또한 제안 기법을 적용시 기존 기법보다 목표 전송 전력에 더욱 정확하게 수렴한 것을 확인할 수 있다. 기존 방법을 적용한 경우 펨토셀의 수렴 전송 전력은 목표 전송 전력에 대해 오차율 83.3%로 수렴 하였으나, 제안 기법을 사용한 경우 오차율 2.8%로 수렴하였다.

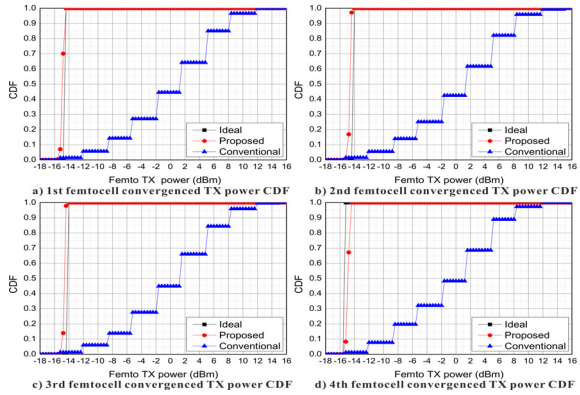


그림 9. 기존 기법과 제안 기법의 펨토셀 수렴 전송 전력 CDF (다수 펨토셀의 경우)
Fig. 9. Comparison of CDF of converged TX power of conventional method and proposed method (multi femtocell case)

5.2.2. 다수 펨토셀의 경우

다수 펨토셀 설치 시 펨토셀의 목표 전송 전력을 표 1의 알고리즘을 이용하여 계산 하였다. 계산된 각 펨토셀의 목표 전송 전력 및 목표 전송 전력에 상응하는 camp on 영역과 불필요한 핸드오버 영역의 면적을 표 3 에 표시하였다. 그림 8 에서는 제안 기법이 적용 되었을 때 각 펨토셀의 수렴 전송 전력의 CDF를 나타낸 것이다. 그림에서 각 펨토셀의 전송 전력이 목표 전송 전력에 근접한 값으로 수렴하였다. 제안 기법이 적용 되었을 때 수렴 전송 전력의 오차율은 2.8%였으며, 이는 기존 기법의 오차율인 183.3%보다 크게 향상된 값이다.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 펨토셀이 자체적으로 획득한 핸드오버 요청 정보 및 단말의 결합등록 여부를 이용하여 자율적으로 커버리지를 최적화 하여 camp on 문제 및 불필요한 핸드오버 문제를 최소화 하는 기법을 제안하였다. 제안 기법은 펨토셀이 스스로 획득할 수 있는 정보만을 이용함으로써 자율적인 커버리지 조절이 가능하게 하였다. 또한 핸드오버 요청이 발생하는 즉시 펨토셀의 전송전력 조절여부를 결정함으로써 기존 기법에 비해 신속한 커버리지 조절이 가능하게 하였다. 제안 기법의 성능평가를 위해 camp on 문제 및 불필요한 핸드오버 문제를 최소화하는 목표 전송 전력을 계산하였으며, 이후 제안 기법을 모의실험에 적용하여 분석한 결과 펨

www.dbpia.co.kr

토셀의 전송 전력이 자율적으로 조절되어 목표 전송 전력으로 수렴함을 보였다. 제안 기법 적용 시 단일 펨토셀 환경에서 펨토셀의 전송전력은 목표 전송전력에 대해 오차율 2.8%로 수렴하였으며, 이는 기존 기법의 오차율인 83.3% 보다 크게 향상된 값이다. 또한 다수 펨토셀 설치 시에도 펨토셀의 전송전력은 목표 전송 전력에 대해 오차율 2.8%로 수렴하여 기존 기법의 오차율인 183.3% 보다 크게 향상된 성능을 나타내었다.

본 논문에서는 제안 기법의 성능 평가 시 실내와 실외간의 단말 이동은 자주 발생하지는 않는 것으로 간주하여 고려하지 않았다. 실내외간 단말의 이동이 발생하는 경우는 전송전력 수렴 이후에도 커버리지가 수정되는 등 의도하지 않은 부분이 성능에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 추후 연구에서는 이를 반영하여 실내와 실외간의 단말 이동까지 고려한 커버리지 조절 기법을 제안 할 예정이다.

References

[1] J. S. Kim, H. S. Kim, K. T. Cho, and N. H. Park, “SON and femtocell technology for LTE-advanced system,” in *Proc. Int. Conf. on Wirel. and Mobile Commun. (ICWMC),* pp. 286-290, Valencia, Spain, Sep. 2010.

[2] Y. Lee, S. Jang, and D. Hong, “Automated adjustment method of femto cell coverage using HO events in LTE systems,” in *Proc. Joint Conf. on Commun. and Inform. (JCCI)*, pp. 28-32, Pusan, Korea, May 2011.

[3] H. Jo, C. Mun, J. Moon, and J. Yook, “Self-optimized coverage coordination in femto cell networks,” *IEEE Trans. on Wirel. Commun.*, vol. 9, no. 10, pp. 2977 - 2982, Oct. 2010.

[4] H. Claussen, L. T. W. Ho, and L. G. Samuel, “Self-optimization of coverage for femtocell deployments,” in *Proc. Wirel. Telecommun. Symp.* (WTS 2008), pp. 278 - 285, Pomona, USA, Apr. 2008.

[5] K. Cho, D. Kim, ″Cell management and handover method in IEEE 802.16e-based femto-cell systems,” *J. KICS*, vol. 36, no. 3, pp. 240-249, Mar. 2011.

[6] 3GPP TR 36.814 v9.0.0, Further advancements for E-UTRA physical layer aspects, 3GPP, Mar. 2010.

조 상 익 (Sangik Jo)

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

임 재 찬 (Jaechan Lim)

1996년 고려대학교 물리학과
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 서강대학교 전자공학과 연구교수
2012년 6월~8월 구미 전자정보기술원 선임 연구원
2012년 9월~현재 포항 공과 대학교 창의 IT 융합 공학과 / 미래 IT 융합 연구원 책임연구원
<관심분야> Detection & estimation, Statistical filtering methodology, 무선통신 시스템.

홍 대 형 (Daehyoung Hong)

1977년 서울대학교 전자공학과
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

www.dbpia.co.kr