

LTE 기반 펌토셀 네트워크에서 간섭 완화를 위한 적응적 전력 제어 기법

이 상 준*, 김 승 연*, 이 형 우*, 류 승 완**, 조 충 호^o

Adaptive Power Control Schemes for Interference Mitigation in LTE Femtocell Networks

Sang-Joon Lee*, Seung-Yeon Kim*, Hyong-Woo Lee*, Seung-Wan Ryu**, Choong-Ho Cho^o

요 약

가중되는 기지국의 트래픽 부하를 줄이면서 실내 음영 지역 문제를 해결하기 위해 저비용, 고성능의 펌토셀(femtocell)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 사무실 빌딩 환경 등 다수의 펌토셀이 설치되는 밀집된 펌토셀 환경에서는 동일 주파수간 간섭 현상으로 인해 전송률이 저하되고 전송품질이 저하되는 등 많은 문제가 발생하게 된다. 본 논문에서는 3GPP LTE 기반 밀집된 펌토셀 환경에서 간섭 완화를 위한 전력 제어 기법을 제안한다. 특히, 기존 매크로셀(eNB)로부터 서비스 받는 mUE(macro User Equipment)가 펌토셀 주변에 매우 가까이 존재할 경우, 밀집된 펌토셀로부터 mUE에게 영향을 주는 펌토셀의 간섭을 최소화하고 전송 성능을 향상시킬 수 있는 최적의 전력제어 기법을 제안한다. 제안하는 전력 제어 기법은 펌토셀의 밀도와 펌토셀의 전송 성능을 보장하면서 mUE의 성능을 향상시킬 수 있도록 설계하였다. 단말의 Outage Probability와 매크로셀과 펌토셀의 신호대 잡음비(SINR)를 주요 성능 지표로 분석한 결과 본 논문에서 제안하는 전력제어 기법은 간섭 제어를 통해 펌토셀의 성능을 유지하면서 mUE의 성능을 30% 이상 개선할 수 있는 것으로 나타났다.

Key Words : LTE, Dense Femtocell, Interference, Power Control, macro UE.

ABSTRACT

The low-power, low-cost femtocell network has been proposed not only to alleviate traffic load to the macro base station (eNB) but also to cover the indoor coverage hole problem. However, in the dense femtocell environment where many femtocells are deployed to cover the whole large office building, performance of such femtocell environment can be deteriorated due to severe co-channel interference problem between the eNB and femtocells and among neighboring femtocells. In particular, a macro UE(mUE) located within femtocell coverage may experience severe co-channel interference from surrounding femtocells. Therefore, In this paper, we propose a novel power control schemes to mitigate interference to a mUE under such dense LTE femtocell environment. With proposed femtocell power control schemes, performance of the mUE can be greatly improved in terms of the outage probability and the SINR while maintaining satisfying femtocell performance. Simulation based performance study shows that the proposed power control scheme is able to enhance mUE performance more than 30% than the conventional dense femtocell in terms of the two performance metrics.

※ 이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-521-D00273)

♦ 주저자 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 데이터통신및네트워크 연구실, leesj1124@korea.ac.kr, 정희원

◦ 교신저자 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 데이터통신및네트워크 연구실, chcho@korea.ac.kr, 종신회원

* 고려대학교 전자및정보공학과 B-ISDN 연구실, kimsy8011@korea.ac.kr, 정희원, hwlee@korea.ac.kr, 정희원

** 중앙대학교 정보시스템학과, ryu@cau.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-05-263, 접수일자 : 2012년 5월 26일, 최종논문접수일자 : 2012년 7월 20일

I. 서론

최근 이동통신 기술의 발달 및 스마트폰 등 스마트 디바이스의 보급 확대로 많은 사용자들은 실외뿐만 아니라 실내에서도 쉽고 빠르게 모바일 인터넷 서비스를 이용할 수 있게 되었다. 특히, 실내 환경에서의 이동통신 단말기 사용 비율은 점점 더 증가하고 있다. 관련 연구에 따르면 이동통신 통화의 50% 이상 그리고 무선 데이터의 70% 이상이 실내에서 이루어진다고 한다^[1,2]. 그러나, 현재 주로 사용되고 있는 매크로셀(macrocell, eNB) 통신 시스템은 기지국으로부터 먼 거리에 있거나 밀폐된 건물 안에 있는 단말 사용자들에게는 상대적으로 취약한 품질의 신호를 제공하게 된다. 이러한 품질 열화 문제는 더 많은 기지국이나 중계기를 설치하여 해결할 수 있지만, 이러한 해결 방법은 상대적으로 많은 추가 비용을 필요로 하게 되어 통신 사업자의 수익성 악화의 주요 요인이 되고 있다. 또한 급증하는 이동통신 단말기 기반의 인터넷 접속 등 데이터 서비스 트래픽이 폭발적으로 증가함에 따라 매크로 기지국에 가해지는 트래픽 부하도 급증하고 있는 실정이다^[3]. 따라서, 가중되는 기지국의 트래픽 부하를 줄이면서 실내 음영 지역 문제를 해결하기 위해 저비용, 고성능의 펠토셀(femtocell)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[4-9]

펠토셀은 저전력 저비용의 소형 기지국으로서 반경 10~20m 정도의 작은 지역을 커버하면서 이 영역 내의 무선 트래픽을 수용하여 유선망으로 우회하여 처리하게 된다. 이러한 펠토셀 설치를 통해 이동통신 서비스 영역의 확장, 망 성능 향상, 설치 및 유지비용 절감 등 여러 가지 장점들을 제공할 수 있다. 그러나, 펠토셀은 사용자의 필요에 의해 임의적으로 설치되기 때문에 사용자에게 의해 펠토셀 전원의 개폐 및 설치 위치가 임의적으로 변경될 수 있고 매크로셀 영역 내에 매우 많은 수가 설치되기 때문에 펠토셀과 매크로셀이 동일한 주파수 대역을 사용할 경우 상호 간섭 문제를 야기할 수 있다. 이와 같은 펠토셀 설치 시 발생하는 동일채널 간섭 및 이에 의한 성능저하 문제를 해결하기 위해 펠토셀의 초기 설치 및 배치, 간섭 완화 기술들에 대한 연구가 중요하다. 특히, 다수의 이동통신 사용자가 존재하는 대형 빌딩 등을 대상으로 다수의 펠토셀이 설치되는 밀집형 펠토셀(dense Femtocells) 네트워크의 설치 요구가 점차 증가하고 있다. 그러나, 매크로 기지국 및 인접 펠토셀과 동일채널을 사용

하고 밀집되어 설치되는 펠토셀 환경의 특징으로 인해 심각한 간섭 문제가 발생하고 이로 인해 심각한 성능 저하의 가능성이 존재하므로 펠토셀의 최적 배치 및 간섭 제어 및 완화 문제가 중요 연구 이슈로 다루어지고 있다. 특히, 이러한 밀집형 펠토셀 환경에서 펠토 커버리지에 매우 가까이 존재하는 매크로 단말(mUE)의 경우 심각한 펠토셀로부터의 간섭으로 인해 성능 열화 및 이에 따른 통신품질 저하 문제가 주요 문제점으로 제시되고 있다.

본 논문에서는 LTE 기반의 밀집형 펠토셀 네트워크 환경에서의 간섭 완화 기법을 제안한다. 특히, 이러한 밀집형 펠토셀이 구성되어있을 경우 펠토셀의 배치 밀도를 고려하고 펠토셀이 요구하는 성능 기준을 만족하면서 mUE의 성능을 개선할 수 있는 최적의 전력제어 기법을 제안한다. 본 논문에서는 eNB 및 펠토 기지국들이 동일채널을 사용하는 co-channel 환경을 가정하였으며, 이러한 환경에서 펠토셀과 매크로 기지국간 그리고 펠토셀간 간섭을 완화하여 전체적인 시스템 성능을 향상시키는 최적의 전력 제어 기법을 제안한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 기존의 펠토셀에서의 간섭 제어 관련 연구 동향을 제시한다. 제 3장에서는 밀집형 펠토셀 환경에서 전력제어를 통한 펠토셀 간섭 완화 기법을 제안한다. 제 4장에서는 제안하는 기법의 성능 분석연구 및 개선된 연구 결과를 제시하며, 5장에서는 본 연구의 결론을 제시한다.

II. 관련 연구

펠토셀의 성능 향상을 위한 주요 기법으로 다양한 전력 제어 기법들이 연구되어왔다. 특히, 매크로셀과 펠토셀의 주파수간 간섭을 줄이기 위해서 매크로셀과 펠토셀의 정보 교환 및 추가적인 정보처리가 없는 환경에서 펠토셀의 초기 전송 파워를 결정하는 Always performed power control, 펠토셀 운영자의 상황 인지를 통해 직접 전송 파워를 결정하는 Distance based power control, 매크로셀의 신호 세기를 측정하여 펠토셀의 전송 파워를 결정하는 Measurement based power control, 마지막으로 매크로셀과 펠토셀의 추가적인 정보 교환을 통해 펠토셀의 전송 파워를 결정하는 Information exchange power control이 연구되어왔다^[10-13].

2.1. Always performed power control

Always Performed power control 기법은 매크로셀과 펠토셀의 주파수간 간섭을 줄이기 위해 매크로셀과 펠토셀간의 정보 교환 및 추가적인 정보처리가 없는 환경하에서 펠토셀의 초기 전송 파워(P_{TX})를 결정하는 기법으로서 펠토셀의 전송 전력을 항상 낮은 전력으로 전송하는 기법이다.

$$P_{TX} = P_{f_{min}} \quad (1)$$

그러나, 이 기법에서는 매크로셀과 펠토셀의 위치나 신호세기 및 펠토셀로부터의 간섭을 받는 victim mUE의 저하된 성능 등 간섭 환경 정보의 사용을 배제하고 펠토셀이 사용할 수 있는 가장 낮은 전력으로 전송하기 때문에 펠토셀의 성능 저하 문제가 발생하게 된다^[10].

2.2. Distance based power control

이 기법은 매크로셀과 펠토셀 사이의 최소 설치 거리(d_{fBS})를 고려하여 전송 전력을 결정하는 기법으로서, 매크로셀과 펠토셀의 거리에 따른 펠토셀의 전송 전력은 다음과 같이 결정된다.

$$P_{Tx} = P_{fBS}(d_{fBS}) = \begin{cases} 20dBm, & 46m \leq d_{fBS} \leq 85m, \\ 10dBm, & 85m \leq d_{fBS} \leq 156m, \\ 0dBm, & 156m \leq d_{fBS} \leq 289m \end{cases} \quad (2)$$

이 기법에서 매크로셀과 펠토셀 사이의 최소 설치 거리는 46m로 가정한다. 매크로셀의 영역은 매크로셀의 중심으로부터 펠토셀 중심까지 도달하는 신호 세기가 실외환경에서 10dB일 때를 기준으로 세 부분으로 나누며, 각 부분에 속한 펠토셀은 동일한 전송 파워를 사용하게 된다. 그러나 이 기법에서는 펠토셀과 매크로셀 간 거리를 알고 있다는 가정이 존재하지만 일반적으로 펠토셀은 실내 환경에 설치되고 매크로 네트워크와의 명시적 인터페이스가 존재하지 않으므로 임의의 펠토셀의 정확한 위치를 알지 못하고 실내 전파 환경이 고려되지 못하므로 펠토셀 전송 전력의 최적 설정이 힘들다는 문제점이 있다^[10].

2.3. Measurement based power control

이 기법은 펠토셀이 매크로셀에서 오는 전력 측정용 제어 신호인 RSRP (Reference Signal Received Power)를 측정하여 그 값을 기반으로 펠토셀의 전송 파워를 결정하는 기법이다.

$$P_{TX} = \max\{\min\{\alpha P_M + \beta, P_{min}\}, P_{max}\} \quad (3)$$

이 경우, P_{min} 과 P_{max} 는 펠토셀의 최소, 최대 전송 전력이고, P_M 는 매크로셀로부터 펠토셀이 받는 수신 전력을 나타낸다. 따라서 펠토셀의 전송전력은 매크로셀과의 거리에 의존하여 결정된다. 일반적으로 $P_{max}=20dB$, $P_{min}=-10dB$, $\alpha=1$, $\beta=90dBm$ 으로 설정된다. 또한,
 $P_{TX} = \text{Median}\{P_M + P_{Offset}, P_{max}, P_{min}\}$,
 $P_{Offset} = \text{Median}\{P_{Offset}(o) + k \times \leq, P_{Offset}(\max), P_{Offset}(\min)\}$,
(4)

가 된다. 식 (4)에서 $P_{Offset}(o)$ 는 태내 경로 손실 값, k 는 factor, LE 는 예측된 penetration loss 값을 의미한다. 또한, $P_{Offset}(\max)$ 와 $P_{Offset}(\min)$ 은 각각 P_{Offset} 의 최대 값 및 최소값이다. 이 기법에서는 펠토셀에서 수신된 매크로 기지국의 전송 전력과 penetration loss를 예측하여 펠토셀의 전송 전력을 결정하게 된다. 일반적으로는 $P_{Offset}(\min)=45dB$, $P_{Offset}(\max)=175dB$, $k=0.5$, $LE=20dB$, $P_{max}=20dBm$ 을 사용한다^[10].

2.4. Information exchange power control

이 기법은 매크로셀과 펠토셀 간의 정보교환을 위한 인터페이스가 있다는 가정을 사용한다. 이 기법에서는 이러한 인터페이스를 통해 매크로셀 간 간섭에 의한 mUE의 SINR 값과 매크로셀과 펠토셀 간 간섭에 의한 mUE의 SINR 값을 교환한다. 그리고 Broadcast control channel 혹은 백홀(DSL)을 통해 펠토셀의 전송 전력을 결정하는 기법이다.

$$P_{TX} = \max\{\min\{\alpha \cdot P_{SINR} + \beta, P_{Max}\}, P_{Min}\} \quad (5)$$

이 기법에서 모든 mUE의 SINR 값을 기반으로 펠토셀의 전송 전력을 결정하기 때문에 최적의 전송 전력과 높은 시스템 성능을 보인다. 그러나 펠토셀과 mUE 수가 증가함에 따라 SINR 정보가 많아지기 때문에 매크로와 펠토셀간의 정보교환 인터페이스량이 증가하고 이에 따른 시스템의 부하가 증가하며, mUE의 SINR 값을 전송하기 위한 기능을 매크로셀에 추가해야하는 단점이 있다^[10].

III. 제안하는 펠토셀 전력 제어 기법

일반적으로 펌토셀은 사용자 필요성에 의해 매크로 기지국 내에 임의적인 방식으로 도입되므로 펌토셀의 위치, 사용 전송 전력 및 사용 주파수 대역 등 다양한 펌토셀 적용 시나리오가 존재하고 설치되는 펌토셀의 수도 매우 많으므로 기존 매크로 기지국 기반 셀룰러 네트워크의 추가적인 변경을 요구하지는 않아야 한다. 따라서, 본 논문에서는 기존 매크로 기지국 기반 셀룰러 시스템의 추가적인 변경 없이 밀집형 펌토셀 영역 가까이에 존재하는 victim mUE의 성능을 고려하여 최적의 펌토셀 전송 전력을 결정하는 기법을 제안한다.

그림 1은 제안하는 펌토셀 전송 전력 제어 기법의 기본 개념을 제시하고 있다. 제안하는 전력제어 기법에서 펌토셀은 매크로셀로부터 수신하는 RSRP (Reference Signal Received Power)의 세기를 측정한다. 또한, 펌토셀 주변에 위치한 매크로 기지국으로부터 서비스를 받는 mUE에 대해 펌토셀로부터의 간섭을 최소화하여 만족할만한 서비스 성능을 보장받을 수 있도록 한다. 이를 위해 매크로셀의 신호를 약하게 받는 victim mUE의 SINR 값을 예측하고 이 값이 성능 기준값(outage threshold value)에 만족하도록 펌토셀의 전송 전력을 조절한다. 2장에서 제시한 기존 전력 제어 기법에서는 매크로셀과 펌토셀 간의 정보 교환을 위한 인터페이스가 없는 경우 이러한 victim mUE의 성능을 고려하지 않는다. 그러나, 본 논문에서 제안하는 전력제어 기법은 기존 매크로셀 시스템의 추가적인 변경 없이 victim mUE의 성능을 고려하여 펌토셀의 전송 파워를 결정할 수 있으므로 펌토셀 설치에 따른 기존 매크로 사용자의 성능 저하를 줄이거나 방지할 수 있는 효과를 제공할 수 있다.

제안하는 전송 전력 제어 기법에서 전송전력결정 방법은 다음과 같다. 매크로셀과 펌토셀 간 거리에 비해 펌토셀의 커버리지는 반경 10m 내외이므로 상대적으로 매우 작다. 따라서, 펌토셀이 매크로셀로부터 받는 신호의 환경은 펌토셀 주변에 위치한 victim mUE가 받는 신호의 경로 손실 환경과 거의 유사하다. 따라서 펌토셀이 DL receiver를 통해 수신한 매크로셀의 RSRP 신호의 강도를 기반으로 victim mUE가 수신하는 신호의 경로 손실 값을 예측한다. 그러나, 펌토셀에서 수신된 RSRP 신호 기반의 예측된 경로 손실 값은 실내 환경을 위한 penetration loss를 포함하고 있기 때문에 그 값을 고려하여 victim mUE가 겪게 될 경로 손실 값을 예측하게 된다. 그리고 예측된 경로 손실 값을 고려하여 펌토셀의 전송 전력이 victim mUE의 성능 기준 값을 만족하도록 결정된다.

본 논문에서는 밀집형 펌토셀의 전송 전력 제어에서 victim mUE가 펌토셀 커버리지 안에 존재하는 경우는 고려하지 않았다. 향후 4장에서 선형 실험 결과에서 제시되는 바와 같이 밀집형 펌토셀 커버리지 안에 mUE가 존재하는 경우 매크로 기지국으로부터 오는 신호는 penetration loss에 의해 매우 미약한 반면 펌토셀의 전송 전력은 상대적으로 매우 강하므로 펌토셀의 전송전력 제어로는 이러한 victim mUE의 성능 향상을 기대하기 힘들다. 또한 약해진 펌토셀 전송전력으로 인해 펌토 UE(fUE)의 성능이 저하된다.

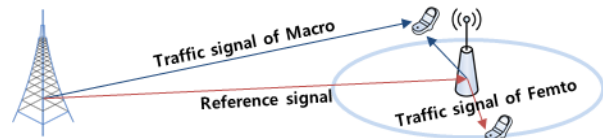


그림 1. 제안하는 전력 제어 기법의 기본 환경 및 개념
Fig. 1. Basic Environments and concept of proposed power control schemes

본 논문에서는 밀집형 펌토셀 환경에서 각 펌토셀의 DL Receiver에서 수신된 매크로셀의 RSRP 신호, 펌토셀의 밀도, victim mUE의 성능 보장 등을 고려할 수 있는 세 가지의 전력 제어 기법을 제안한다.

3.1. RSRP 기반 전력 제어 기법

펌토셀의 DL Receiver에서 수신된 매크로셀의 RSRP 신호 세기를 기반으로 하는 전력 제어 기법에서 펌토셀의 전송 전력은 다음의 전력계산식에 의해 결정된다.

$$P_f = \max\left\{\min\left\{\hat{P}_f, P_{f_{\max}}\right\}, P_{f_{\min}}\right\} \quad (6)$$

식 (6)에서 P_f , \hat{P}_f , $P_{f_{\max}}$, $P_{f_{\min}}$ 은 각각 펌토셀의 결정된 전송 전력, 예측된 전송 전력, 최대 전송 전력, 최소 전송 전력을 나타낸다. 예측된 전송 전력 \hat{P}_f 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{P}_f = \frac{P_{mT} \cdot \widehat{PL}_m}{10^{\gamma/10} \cdot 10^{-PL_f/10}}, \quad (7)$$

여기서 P_{mT} 는 매크로셀의 전송 전력이고, PL_f 은 victim mUE와 펌토셀 간 경로 손실 값이다. γ 는 성능 기준 값이고 \widehat{PL}_m 은 victim mUE와 매크로셀 간의 예측된 경로 손실 비율로서 매크로셀의 RSRP와 펌토

셀에 수신된 매크로셀의 RSRP의 비율 값 PL_m 에서 penetration loss를 뺀 값으로 구할 수 있다.

RSRP 기반 전력 제어 기법에서 펠토셀의 전송 전력은 다음과 같이 예측된다. 예를 들어, 매크로셀의 RSRP가 10W, 펠토셀에 수신된 매크로셀의 RSRP가 0.00001W, 매크로셀의 전송 전력은 40W, penetration loss가 10dB, PL_f 가 20dB라고 하면, PL_m 은 $0.00001/10=0.000001$ 가 된다. 따라서 \widehat{PL}_m 은 $PL_m/10^{-W_{Lab}/10}$ 으로 0.00001가 된다. 따라서 victim mUE가 전송 전력 제어가 필요한 해당 펠토셀로부터만 간섭을 받는다고 가정하면, victim mUE의 SIR은 $(P_{mT} \cdot \widehat{PL}_m)/(\widehat{P}_f \cdot 10^{-PL_f/10})$ 이 되고, 이 값이 성능 기준 값인 $10^{\gamma/10}$ 에 맞추기 위해서 \widehat{P}_f 는 식 (7)에 의해 156mW가 된다.

3.2. 펠토셀 밀도 기반 전력 제어 기법

펠토셀 밀도 기반 전력 제어 기법에서는 다수의 펠토셀이 한정된 지역에 집중적으로 설치되어 다양한 간섭 효과를 제공하는 펠토셀의 밀도를 고려하여 이러한 간섭 원인의 가중치 계수인 α 를 사용하여 펠토셀의 전송 전력을 적응적으로 제어한다. 펠토셀의 전송 전력 결정 식은 (7)과 같지만, 펠토셀의 밀도를 고려한 가중치 계수 α 를 고려한 예측된 해당 펠토셀의 전송 전력은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\widehat{P}_f = \frac{\alpha \cdot P_{mT} \cdot \widehat{PL}_m}{10^{\gamma/10} \cdot 10^{-PL_f/10}}, \quad (8)$$

이 식에서 α 는 victim mUE가 주변 펠토셀로부터 받게되는 평균 간섭량인 \widehat{I}_f 와 해당 펠토셀이 영향을 주는 간섭량인 I_f 을 계산한 후 이러한 간섭량들의 비율 값을 기반으로 결정하게 된다. 여기에서 victim mUE가 받게 되는 평균 간섭량과 펠토셀 자신이 주게 되는 간섭량은 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\widehat{I}_f = N_f \int_0^R 10^{-PL_f(x)/10} \cdot \frac{2x}{R^2} dx, \quad (9)$$

$$I_f = 10^{-PL_f/10}, \quad (10)$$

여기서, N_f 는 매크로셀 커버리지 내에 존재하는 펠토셀의 수이고 PL_f 는 경로 손실이다. 적분 구간에서 R 은 매크로셀의 반경을 나타내는데 그림 2와 같이 mUE가 매크로 셀의 임의의 곳에 속해 있을 때 주변의 다른 간섭 소스에서 다양한 간섭을 받을 수 있기 때문에 어느 위치에 있건 균일한 간섭 원인에 의해 간섭을 받는 일반적 모형을 가정하기 위해 셀의 중심에 mUE가 위치하는 것으로 가정하여 평균 간섭량인 \widehat{I}_f 를 추정하게 된다. 따라서 $\alpha = I_f/(I_f + \widehat{I}_f)$ 와 같이 추정된다.

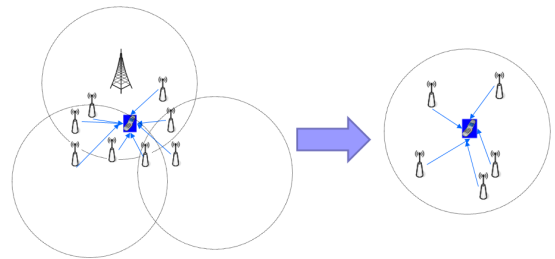


그림 2. victim mUE가 받는 평균 간섭량 추정을 위한 일반적인 모형화
Fig. 2. General model for the estimation of average amount of interference about the victim mUE

3.3. 펠토셀 성능 보장 기반 전력 제어 기법

펠토셀 성능 보장 기반 전력 제어 기법에서는 해당 펠토셀이 자신이 서비스하는 펠토 사용자들 (fUEs)의 성능을 보장하면서 주변의 victim mUE의 성능 저하를 방지하는 펠토셀 전송 전력 조절 기법이다. 만약 펠토셀이 주변에 있는 victim mUE의 성능을 보장하기 위해 자신의 전송 전력을 낮출 경우 victim mUE의 성능은 향상되는 반면 해당 펠토셀의 성능은 저하되는 결과를 야기할 수 있다. 따라서 펠토셀이 자신이 서비스하는 fUEs을 위한 최소 전송 전력 요구량을 만족시키는 최소 전송 전력을 우선적으로 도출한 후 victim mUE의 성능을 고려하는 전송 전력을 다음과 같이 구하게 된다.

$$P_f = \max\{\min\{\widehat{P}_f, P_{f_{\max}}\}, \max\{\widehat{P}_{f_{\min}}, P_{f_{\min}}\}\}, \quad (11)$$

여기서 \widehat{P}_f 는 식 (8)에서 제시한 값이고 $\widehat{P}_{f_{\min}}$ 은 펠토셀이 자신의 성능 요구사항을 만족할 수 있게 하는 최소 요구 전송 전력의 예측 값이다. 이러한 최소 요구 전송전력의 예측 값은

다음과 같이 구할 수 있다.

$$\widehat{P}_{f_{\min}} = \frac{P_{mT} PL_m 10^{\gamma/10}}{10^{-PL_p/10}} = P_{mT} PL_m 10^{(\gamma+PL_p)/10}. \quad (12)$$

식 (12)는 식 (8)과 유사하게 펠토셀의 커버리지 경계 인쪽에 fUE가 존재할 경우 이러한 fUE들의 SINR 값이 요구되는 성능 기준 값 이상이 되도록 하는 최소 전송 전력을 구하는 것이다. PL_{f_2} 는 표 1에서 제시하는 경로 손실 타입 3를 사용한다. 표 1에서 제시하는 path loss 모델 중 type 1 path loss 모델은 mUE가 맥외에 있을 경우이며, type 2는 mUE가 맥내에 있을 경우이고, type 3는 펠토셀과 fUE가 동일한 맥내에 있을 경우이며, type 4는 맥외에 있을 경우이고, type 5는 펠토셀과 다른 맥내에 있을 경우를 나타낸다^[8].

표 1. 교외 경로 손실 모델

Table 1. Path loss models for suburban deployment

Cases		Path Loss (dB)
UE to mBS	(1)	PL (dB) = 128.1 + 37.6log ₁₀ R, R in km = 15.3 + 37.6log ₁₀ R, R in m
	(2)	PL (dB) = 15.3 + 37.6log ₁₀ R + L _{ow} , R in m
UE to fBS	(3)	PL (dB) = 38.46 + 20log ₁₀ R + 0.7d _{2D,indoor} + 18.3n ^{(n+2)/(n+1)-0.46} R and d _{2D,indoor} are in m n is the number of penetrated floors In case of a single-floor house, the last term is not needed
	(4)	PL (dB) = max(15.3 + 37.6log ₁₀ R, 38.46 + 20log ₁₀ R) + 0.7d _{2D,indoor} + 18.3n ^{(n+2)/(n+1)-0.46} + L _{ow} R and d _{2D,indoor} are in m
	(5)	PL (dB) = max(15.3 + 37.6log ₁₀ R, 38.46 + 20log ₁₀ R) + 0.7d _{2D,indoor} + 18.3n ^{(n+2)/(n+1)-0.46} + L _{ow,1} + L _{ow,2} R and d _{2D,indoor} are in m

3.4. 성능 평가 지표

상기와 같이 밀집형 펠토셀 네트워크의 성능 향상을 위해 제안된 세 가지 전력 제어 기법의 성능을 분석하기 위한 성능 지표는 단말이 간섭에 의해 최소 SINR 성능기준을 만족하지 못해 서비스를 받지 못하게 되는 outage probability와 매크로셀과 펠토셀 시스템의 성능 지표로서 SINR 값의 누적확률분포 값 (Cumulative distribution Function (CDF))을 사용하였다. Outage probability를 얻기 위한 최소 요구 SINR 값은 UE의 SINR이 -6dB 보다 작을 확률이다. 또한 매크로셀 및 펠토셀의 성능 분석을 위한 SINR의 CDF 값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$CDF(x_{dB}) = \Pr\{SINR_{dB} \leq x_{dB}\}. \quad (13)$$

IV. 실험 모형 및 성능 분석 연구

밀집형 펠토셀 네트워크의 성능 향상을 위해 제안된 세 가지 전력제어 기법의 성능 분석을 위해 우선 펠토셀의 밀도 즉 매크로 기지국 내의 펠토셀 수의 변화에 따른 성능 변화를 분석하였다. 또한 매크로셀과 펠토셀간 거리에 따라 간섭 영향이 크게 달라지므로 이러한 거리에 따른 성능 변화를 분석하였다. 이러한 사전 환경 분석 결과를 반영하여 본 연구에서 제안하는 세 가지 전력제어 기법의 성능 분석 연구를 수행하였다. 본 논문의 성능 분석 연구 절차를 요약하면 다음과 같다.

- 펠토셀 밀도에 따른 성능 분석
- 매크로-펠토셀 간 거리에 따른 성능 분석
- 매크로셀과 펠토셀 간 간섭 완화를 위한 세 가지 펠토셀 전력 제어 기법 성능 분석

4.1. 성능 분석 모형

성능 분석 연구를 위해 매크로셀은 반경이 1km이고 3섹터를 갖는 환경을 가정하였다. 또한 중앙에 하나의 매크로셀이 위치하고 주변에 6개의 셀이 위치하는 1차 계층(1st-tier) 기반 다중 셀 환경을 가정하였다. 매크로 기지국의 전송 전력은 46dBm으로 가정하였다. 매크로 기지국 환경에 대한 설정은 표 2와 같다.

표 2. 매크로 기지국 시스템 가정

Table 2. Macrocell system assumptions

Parameters	Assumption
Carrier Frequency	2GHz
Path loss	Type 1, 2
Shadowing standard deviation	8dB
Antenna pattern	3 sector
Penetration loss	20, 10, 5dB
Tx power	46dBm(40W)
Traffic model	Full buffer
UE distribution	Uniform density within macro coverage
Coverage	Radius 1km (Inter-site distance 1,732m)

한편, 펠토셀 시스템은 약 6m의 반경을 가정하였고 전방향 안테나(Omni-directional Antenna)를 사용하며, 전송 전력은 최소 10mW와 최대 200mW를 사용하는 것을 가정하였다. Path loss 모델은 표 1에서 제시하는 type 3, 4, 5를 사용하는 것을 가정하였다. 자세한 펠토셀 네트워크 환경 모형은 표 3에서 제시되었다.

표 3. 펌토셀 시스템 가정
Table 3. Femtocell system assumptions

Parameters	Assumption
Carrier Frequency	2GHz
Path loss	Type 3, 4, 5
Shadowing standard deviation	4dB
Antenna pattern	omnidirectional
Penetration loss	20, 10, 5dB
Tx power	Variable(10~200mW)
Traffic model	Full buffer
UE distribution	Uniform density within femtocell coverage
Coverage	Radius 5.64m
Minimum distance	fUE-fBS \geq 20cm

또한 펌토셀 시스템 성능 분석을 위해 다음과 같은 운용 환경을 가정하였다. 우선 매크로셀과 펌토셀은 동일 주파수 밴드를 사용하는 co-channel 환경을 가정하였으며, 매크로셀과 펌토셀의 주파수 재사용 계수는 각각 3과 1로 설정된다. 각 매크로셀에는 1개의 mUE와 일정 수의 펌토셀이 발생되며, 각 펌토셀에는 1개의 fUE가 존재하는 것으로 가정하였다. 그림 3은 성능분석 연구를 위한 시스템 토폴로지 및 실험 환경을 나타낸다.

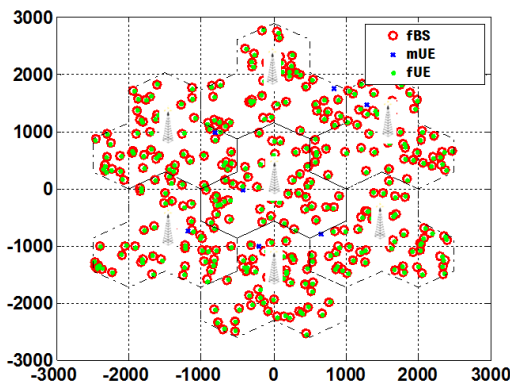


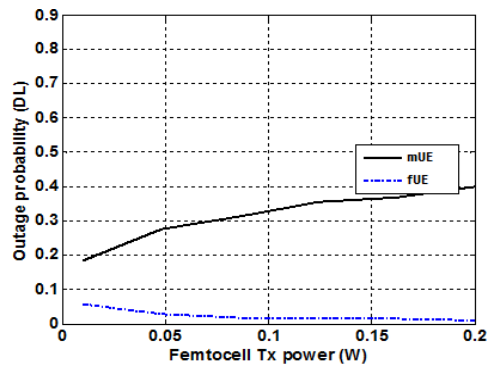
그림 3. 시스템 토폴로지 및 실험 환경
Fig. 3. System topology and experimental environments

4.2. 펌토셀 밀도에 따른 성능 분석

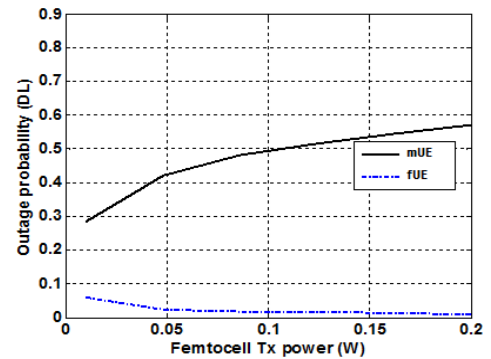
그림 4는 penetration loss가 10dB, 펌토셀 수가 각각 200개(그림 4(a))와 400개(그림 4(b)) 일 경우, 펌토셀의 전송 전력 변화에 따른 mUE와 fUE의 outage probability 성능을 나타낸다. 펌토셀의 전송 전력이 증가함에 따라 mUE의 outage probability는 증가하는 반면, fUE의 outage probability는 미세하게 감소하지만 거의 영향을 받지 않고 매우 낮게 유지됨을 알 수 있다. 또한 펌토셀 수가 증가함에 따라 mUE의 outage probability는 펌토셀의 수가 작을 때보다 증가되는 반

면 fUE의 outage probability는 변화가 없음을 알 수 있다. 따라서, 펌토셀의 수가 증가하고 펌토셀의 전송 전력이 증가함에 따라 펌토셀로부터의 많은 간섭으로 인해 mUE의 성능은 매우 저하되는 경향을 나타냄을 알 수 있다.

그림 5는 그림 4와 동일한 환경에서 penetration loss가 5dB일 때의 mUE와 fUE의 outage probability 성능을 나타낸다. Penetration loss가 10dB일 때의 결과와 유사한 경향을 나타낸다. 그러나 작은 penetration loss로 인해 펌토셀로부터 나오는 간섭의 영향이 증가하여 mUE의 outage probability가 그림 4에 비해 매우 증가됨을 알 수 있다.



(a) 펌토셀 수 : 200



(b) 펌토셀 수 : 400

그림 4. mUE와 fUE의 outage probability (penetration loss : 10dB)
Fig. 4. Outage probability for mUE and fUE (penetration loss : 10dB)

Penetration loss, 펌토셀의 수, 전송 전력의 변화에 대한 mUE 및 fUE의 성능 변화를 요약하면 다음과 같다. 우선 펌토셀 수와 전송 전력이 증가함에 따라 mUE의 outage probability는 증가한다. fUE의 경우, 전송 전력이 증가함에 따라 outage probability는 미세하게 감소하며 펌토셀의 수와는 관계없이 일정한 성능을 나타낸다. 따라서, 펌토의 수 증가와 전송 전력

의 증가는 펌토셀 간 간섭에의 영향은 작은 반면 매크로셀과 펌토셀 간의 간섭에 대해 매우 많은 영향을 주고 있음을 확인할 수 있다. 또한 penetration loss가 클수록 mUE의 outage probability가 감소하는 경향을 나타내며 이는 penetration loss에 의해 상대적으로 펌토셀로부터의 간섭 양 감소하는 것을 의미한다. 결론적으로 펌토셀의 수와 penetration loss의 증가 보다는 펌토셀 전송 전력의 변화에 따라 fUE는 거의 영향을 받지 않는 반면 mUE의 outage probability는 매우 큰 영향을 받게 된다. 따라서, 펌토셀의 전송 전력을 적절한 상태로 유지시키는 것이 mUE의 성능을 보장하여 전체 네트워크의 성능 향상에 매우 중요함을 알 수 있다.

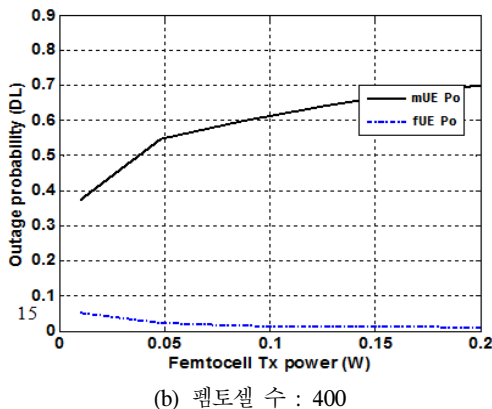
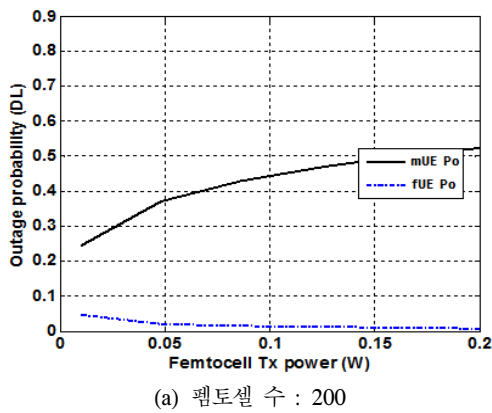


그림 5. mUE와 fUE의 outage probability (penetration loss : 5dB)
Fig. 5. Outage probability for mUE and fUE (penetration loss : 5dB)

4.3. 매크로셀-펌토셀 간 거리에 따른 성능 분석

매크로셀과 펌토셀 간의 거리에 의해서도 mUE의 성능(outage probability)이 매우 많은 영향을 받게 된다. 따라서, 매크로셀과 펌토셀 간 거리가 50m에서 500m로 서로 다를 경우에 대해 mUE와 fUE의 outage probability를 분석하였다. 그림 6은 매크로셀과 펌토셀 간의 거리에 따른 성능 분석 실험 환경을 나타낸다.

나타낸다.

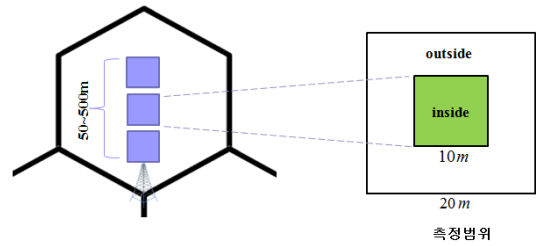
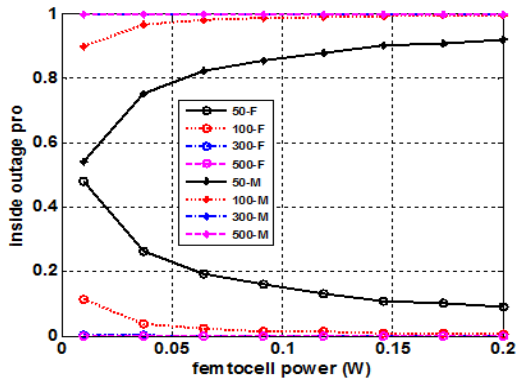


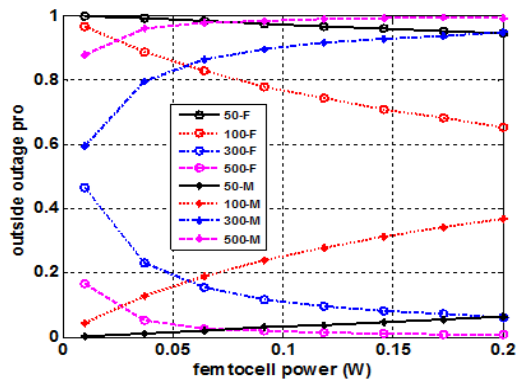
그림 6. 매크로셀과 펌토셀의 거리에 따른 성능분석 환경
Fig. 6. Performance analysis environments as the distance between macrocell and femtocell

그림 7은 penetration loss가 각각 10, 5dB일 때 펌토셀의 inside((a), (c))와 outside((b), (d))에 위치하는 mUE와 fUE의 outage probability를 각각 나타낸다. 이때 매크로셀과 펌토셀 간의 거리는 각각 50m, 100m, 300m 및 500m로 설정하였다. 그림 7에서 보여지는 바와 같이 Penetration loss가 감소함에 따라 거리 및 펌토셀 전송 전력에 의한 성능변화의 영향이 큰 것을 알 수 있다. 그림 7의 (a)와 (c)에서 보여지는 바와 같이 mUE가 펌토셀의 inside에 위치하는 경우 펌토셀의 전송 전력과 거의 관계없이 매우 큰 outage probability를 나타내므로 이러한 환경에서의 mUE에 대한 매크로 셀의 서비스는 거의 불가능한 것으로 나타난다. 따라서 이 경우에는 mUE를 펌토셀에서 서비스하는 개방형 접근 모드(Open Subscribing Group(OSG)) 혹은 fUE만을 서비스하는 폐쇄형(Closed Subscribing Group (CSG))와 mUE를 서비스할 수 있는 OSG mode가 결합된 Hybrid Access Mode를 적용하는 것이 바람직하다. 그러나 이러한 접근 모드에 대한 연구는 본 논문의 연구 범위에서 벗어나는 주제이므로 별도의 연구가 필요하여 본 논문에서는 더 이상의 연구를 수행하지 않았다.

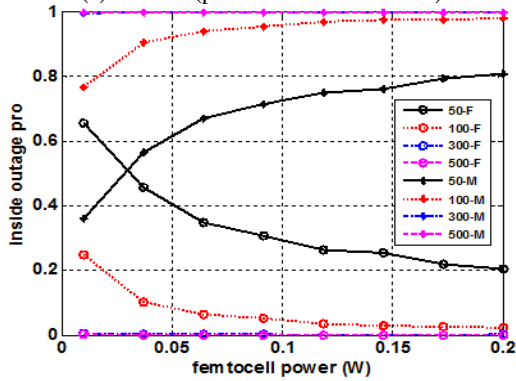
그림 7의 (b)와 (d)에서 보여지는 바와 같이 mUE가 펌토셀의 outside에 위치하는 경우 펌토셀과 매크로 기지국간 거리에 따른 성능의 변화가 매우 심하며, fUE역시 거리에 따른 성능 변화가 심하게 나타남을 알 수 있다.



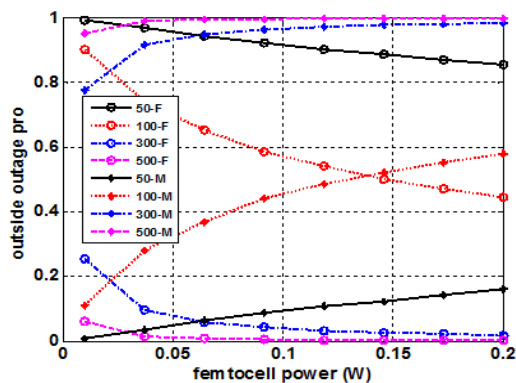
(a) inside (penetration loss : 10dB)



(b) outside (penetration loss : 10dB)



(c) inside (penetration loss : 5dB)



(d) outside (penetration loss : 5dB)

그림 7. 거리에 따른 mUE와 fUE의 성능 (penetration loss : 10dB, 5dB)

Fig. 7. Performance for mUE and fUE as distance (penetration loss : 10dB, 5dB)

결론적으로 다수의 펌토셀이 존재하는 환경에서 매크로 기지국과 펌토셀간의 거리 및 이에 따른 path loss와 수신된 매크로 신호 전력의 세기, 펌토셀의 밀도, penetration loss 값의 변화 등에 의해 변화되는 간섭량의 변화를 고려하는 적응적인 펌토셀 전력 제어 기법이 요구된다. 따라서, 본 논문에서는 세 가지의 적응적 전력 제어 기법을 제안하였으며, 이에 대한 성능 분석 연구는 다음 부섹션에 제시되었다.

4.4. 적응적 펌토셀 전력 제어 기법 성능 분석

상기의 연구 결과에서 나타난 바와 같이 mUE가 펌토셀의 inside에 위치하는 경우는 전력제어 기법으로는 해결할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 mUE가 펌토셀의 outside에 위치하는 경우에 대해서 간섭 제어를 통한 성능 향상을 위해 제안된 세 가지 전력제어 기법의 성능을 분석한다.

4.4.1. RSRP 기반 전력 제어 기법

성능 분석을 위한 모의 실험 환경은 앞의 실험과 동일하다. 매크로셀과 펌토셀에는 각각 1개의 mUE와 fUE가 생성된다. 주요 실험 모수는 $P_{f,max}=100mW$, $P_{f,min}=10mW$, $\gamma=-6dB$, 펌토셀의 반경은 5.64m, penetration loss는 20dB으로 가정하였다.

그림 8은 매크로셀의 섹터당 펌토셀의 수가 증가할 때, 제안하는 전력 제어 기법의 적용 여부에 따른 mUE와 fUE의 outage probability 변화를 나타낸다. 펌토셀의 수의 증가에 따른 fUE의 outage probability 성능은 거의 변화하지 않음을 알 수 있다. 또한 제안하는 전력 제어 기법을 적용할 경우와 적용하지 않은 경우의 outage probability는 각각 0.06과 0.02로서 무시할만한 매우 낮은 수준의 성능 저하가 확인되었다. 그러나, mUE의 경우 제안하는 전력제어 기법을 적용할 경우 펌토셀의 수가 증가함에 따라 주목할만한 성능개선 효과를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 제안하는 RSRP 수신 전력 기반의 펌토셀 전송전력 제어기법을 적용하여 펌토셀 증가에 따른 간섭량 증가에 대해 적응적으로 시스템 전체의 성능을 향상시킬 수 있다.

그림 9와 10은 각각 펌토셀의 개수(10개, 100개, 300개, 500개) 변화에 따른 mUE와 fUE의 SINR 값의 CDF를 나타낸다. 실선은 전력 제어

기법이 없을 때의 성능을 나타내고, 점선은 전력 제어 기법이 적용 되었을 때의 성능을 나타낸다. 그림 9에서 제시되는 바와 같이 제안하는 전력 제어 기법이 적용 되었을 경우가 전력 제어 기법을 적용하지 않았을 경우에 비해 mUE의 SINR이 매우 개선됨을 확인할 수 있다. 또한 펠토셀 수의 변화에 따른 SINR CDF의 변화폭은 제안 기법을 적용할 경우가 적용하지 않을 경우보다 작아서 펠토셀 수의 변화에 따른 성능 변화가 민감하지 않게 나타남을 알 수 있다.

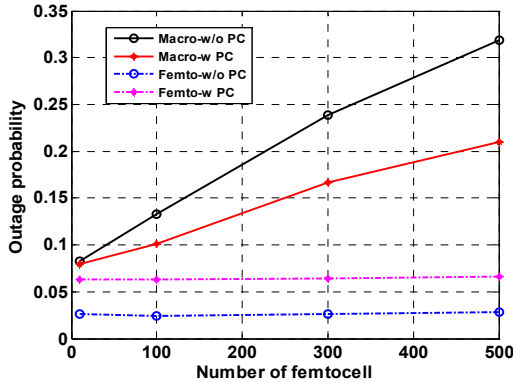


그림 8. mUE와 fUE의 outage probability (RSRP 기반 전력 제어)
Fig. 8. Outage probability for mUE and fUE (RSRP based power control)

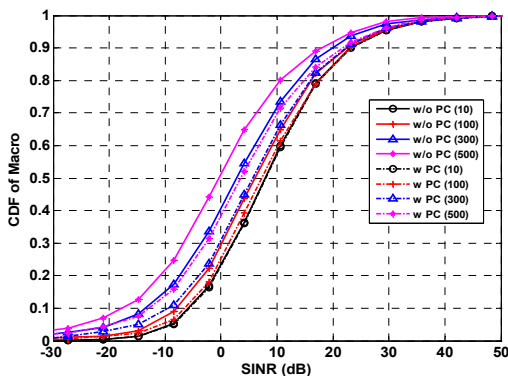


그림 9. mUE의 SINR CDF (RSRP 기반 전력 제어)
Fig. 9. SINR CDF for mUE (RSRP based power control)

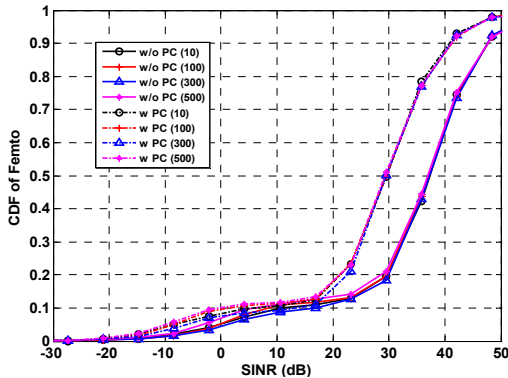


그림 10. fUE의 SINR CDF (RSRP 기반 전력 제어)
Fig. 10. SINR CDF for fUE (RSRP based power control)

그림 10은 펠토셀 수의 변화에 따른 fUE의 SINR CDF의 변화를 나타낸다. 이 경우 펠토셀 수의 증가는 fUE의 SINR CDF의 변화에는 거의 영향을 주지 않는다. 그러나, 전력 제어 기법이 적용 되었을 경우가 전력 제어 기법을 적용하지 않았을 경우에 비해 fUE의 SINR CDF가 저하된 것으로 나타났지만 두 경우 모두 최소 성능 기준치인 -6dB 이상의 값이 95% 이상으로 나타나므로 제안하는 전력제어기법을 적용하더라도 fUE의 성능은 거의 저하되지 않는다는 것을 알 수 있다.

4.4.2. 펠토셀 밀도 기반 전력 제어 기법

RSRP 기반의 전력제어 기법을 적용할 경우 mUE의 성능은 향상되었지만 fUE의 성능은 어느 정도 저하됨을 알 수 있었다. 또한, 매크로셀에 펠토셀의 수가 증가함에 따라 펠토셀 밀도는 높아지고 victim mUE에는 하나 이상의 펠토셀에서 간섭 영향을 제공하므로 RSRP 기반의 전력제어 기법에 부가하여 펠토셀의 밀도에 따른 제어 기능을 추가할 경우 mUE의 성능을 추가적으로 향상시킬 수 있다.

그림 11, 12, 13은 펠토셀 밀도 기반의 전력제어 기능을 추가했을 경우의 outage probability와 mUE 및 fUE의 SINR CDF를 각각 나타낸다.

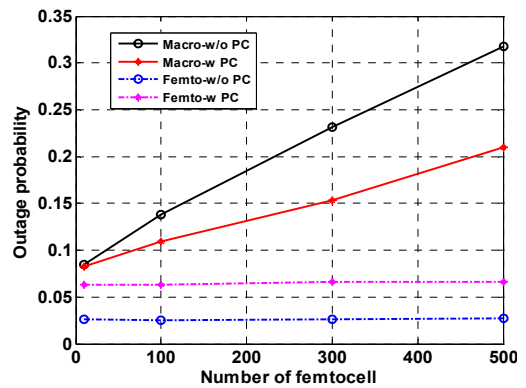


그림 11. mUE와 fUE의 outage probability (펠토셀 밀도 기반 전력 제어)
Fig. 11. Outage probability for mUE and fUE (Femtocell density based power control)

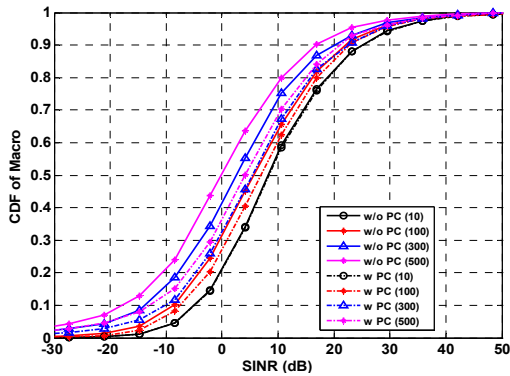


그림 12. mUE의 SINR CDF (펠토셀 밀도 기반 전력 제어)
 Fig. 12. SINR CDF for mUE (Femtocell density based power control)

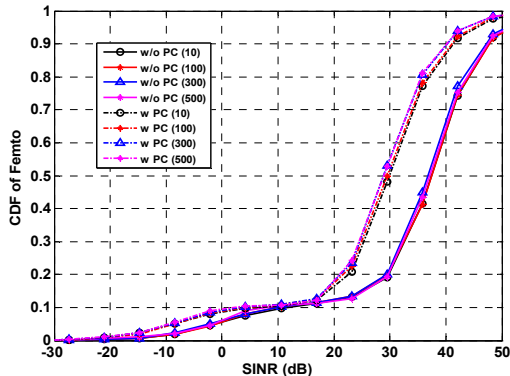


그림 13. fUE의 SINR CDF (펠토셀 밀도 기반 전력 제어)
 Fig. 13. SINR CDF for fUE (Femtocell density based power control)

그림 11은 매크로셀의 섹터당 펠토셀의 수가 증가할 때, 제안하는 펠토셀 밀도 기반 전력 제어 기법을 적용 여부에 따른 mUE와 fUE의 outage probability를 나타낸다. 이 경우는 RSRP 기반의 전력제어 적용 결과인 그림 8과 유사한 성능을 나타냄을 알 수 있다.

그림 12와 13은 펠토셀 수의 증가에 따른 mUE 및 fUE의 SINR CDF의 변화를 각각 나타낸다. 그림 12에서 제시하는 mUE의 경우 그림 9의 경우와 비교할 경우 CDF 값이 약간 개선되었음을 알수있고 특히 펠토셀의 수가 증가함에 따라 개선의 폭이 증가함을 알 수 있다. 그림 13은 펠토셀 수의 증가에 따른 fUE의 SINR CDF를 나타내며, 그림 10과 비교하여 fUE의 SINR CDF가 펠토셀의 수와 관계없이 일정하게 유지되며 특히 0dB 부근의 낮은 SINR 값 부근에서 성능의 개선 효과가 뚜렷하게 나타나고 있다.

4.4.3. 펠토셀 성능 보장 기반 전력 제어 기법

그림 14는 매크로셀의 섹터당 펠토셀의 수가 증가할 때, 펠토셀 성능 보장 기반 전력 제어 기법 전력 제어 기법의 적용 여부에 따른 mUE와 fUE의 outage

probability를 나타낸다. 이 경우는 RSRP 기반의 전력 제어 적용 결과인 그림 8과 펠토셀 밀도 기반 전력 제어 기법을 적용한 그림 11과 매우 유사한 성능을 나타냄을 알 수 있다.

그림 15와 16은 펠토셀 수의 증가에 따른 mUE와 fUE의 SINR CDF 값의 변화를 나타낸다. 그림 15에서 보여지는 바와 같이 그림 12와 비교할 경우 mUE의 성능 향상은 뚜렷히 나타나지는 않는다. 또한, 그림 16에서 나타나는 바와 같이 펠토셀 성능 보장 기반 전력 제어 기법을 적용하여도 fUE의 성능 개선 효과는 뚜렷히 나타나지 않는다. 이는 이미 앞서 제시한 두 개의 전력 제어 기법의 성능에서 나타난 바와 같이 fUE의 성능은 이미 만족할 만한 수준으로 개선되어 있어 펠토셀 성능 보장 조건이 추가 되더라도 성능의 변화 효과는 많지 않음을 나타내고 있다.

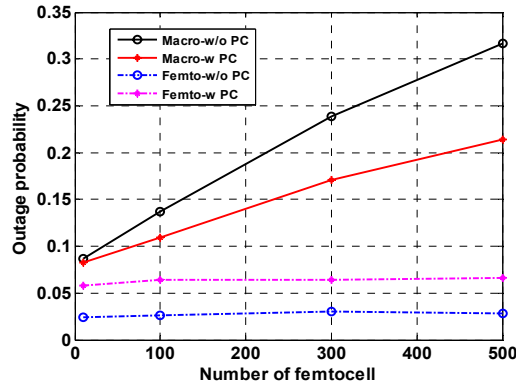


그림 14. mUE와 fUE의 outage probability (펠토셀 성능 보장 기반 전력 제어)
 Fig. 14. Outage probability for mUE and fUE (Femtocell performance guaranteed based power control)

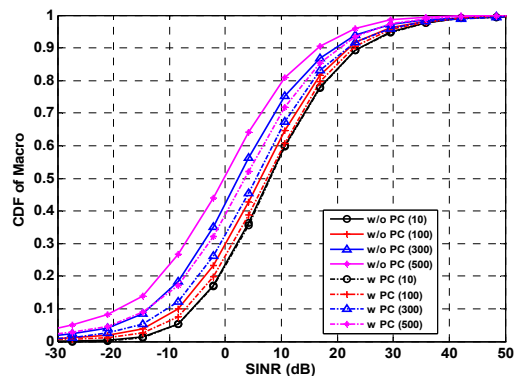


그림 15. mUE의 SINR CDF (펠토셀 성능 보장 기반 전력 제어)
 Fig. 15. SINR CDF for mUE (Femtocell performance guaranteed based power control)

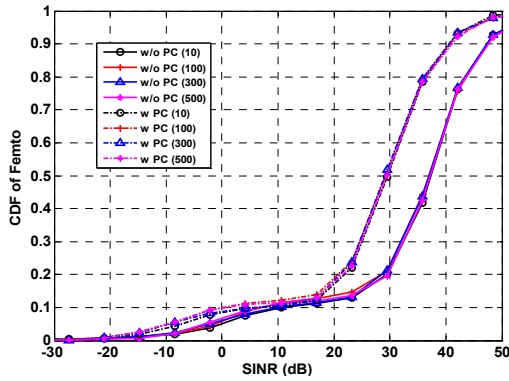


그림 16. fUE의 SINR CDF (펌토셀 성능 보장 기반 전력 제어)

Fig. 16. SINR CDF for fUE (Femtocell performance guaranteed based power control)

V. 결 론

본 논문에서는 다수의 펌토셀이 존재하는 집된 펌토셀 네트워크에서 매크로셀과 펌토셀 간의 간섭 완화를 위해 세 가지 전력제어 기법을 제안하였다. 특히 Victim mUE가 펌토셀 커버리지 경계에 인접하여 존재할 경우 펌토셀로부터의 간섭을 완화하여 성능을 향상시키기 위해 펌토셀의 전송 전력을 적응적으로 설정하는 전력제어 기법들을 제안하였다. 이를 위해 펌토셀들은 매크로셀의 reference signal인 RSRP 신호를 수신하여 mUE의 경로 손실을 예측하고, 이러한 victim mUE의 성능을 향상시키는 전력 제어 기법들을 제안하였다. 또한, 펌토셀의 밀도 및 펌토셀 성능 보장 기반 전력 제어 기법을 추가적으로 제안하였다. 성능분석 연구 결과 제안된 전력 제어 기법들을 outage probability와 SNIR CDF의 성능 지표 측면에서 제안된 기법을 적용하지 않았을 경우보다 mUE의 성능을 약 30% 정도 향상시키면서 fUE의 성능 저하는 거의 발생하지 않음을 알 수 있다. 따라서, 도심지 사무실 등의 펌토셀 밀집 환경에서 본 논문에서 제시한 전력제어 기법을 적용할 경우, mUE를 포함하는 매크로-펌토 2계층 네트워크의 성능 향상과 펌토셀 채용으로 인한 매크로 기지국의 부하 경감에 기여할 수 있을 것이다.

향후 다양한 펌토셀 환경에 제안 기법을 적용하여 성능 분석을 수행할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] David López-Pérez, et al. "FDMA

Femtocells: A Roadmap on Interference Avoidance", *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 9, pp. 41 - 48, June 2009.

[2] Y.J.Cha, "WiBro Femtocell Standard Technique Trends", *TTA Journal*, no.123, May 2009.

차용주, "WiBro Femtocell 표준 기술동향", *TTA Journal*, no.123, May 2009.

[3] Y.J.Park, A.S.Park, S.Y.Kang, S.W.Ryu, Y.K.Kim, "Technique Development Trends for Networks Capacity Growth in LTE-Advanced for Mobile Data", *ETRI Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 27, no. 1, pp. 127 - 135, Feb. 2012.

박영준, 박애순, 강숙양, 류승완, 김이강, "모바일데이터 수용을 위한 LTE-Advanced에서의 네트워크 용량증대 기술 개발 동향", *전자통신동향분석*, 27권 1호, pp127-135, 2012.02.

[4] WiMAX Forum, <http://www.wimaxforum.org>, WiMAX SPWG.

[5] Femto Forum, <http://www.femtoforum.org>.

[6] 3GPP TR 25.820, "3G Home NodeB Study Item Technical Report", v8.2.0, September 2008.

[7] S.M.Lim, T.H.Kwon, S.S.Park, "Interference Mitigation and Avoidance Schemes for Femtocells", *KICS Information and Communications Magazine*, vol. 25, no. 12, Nov. 2008.

임성목, 권태훈, 박성수, "펌토셀에서의 간섭 완화 및 회피 기법", *한국통신학회지 (정보와 통신)*, 제25권, 제12호, November 2008.

[8] 3GPP TSG RAN WG4, R4-092042, "Simulation assumptions and parameters for FDD HeNB RF requirements", May 2009.

[9] 3GPP TSG RAN WG1, R1-071969, "E-UTRA Performance Verification: DL Throughput", Samsung, April 2007.

[10] 3GPP TSG-RAN WG1, R1-104414, "HeNB Power Setting Specifications", Alcatel-Lucent, Alcatel-Lucent Shanghai Bell, August 2010.

[11] 3GPP TSG-RAN WG1, R1-105905, "Power setting and legacy support for macro-femto

scenario", Texas Instruments, November 2010.

[12] 3GPP TSG-RAN WG1, R1-106001, "Specification impact of power-setting procedure for Macro-Femto case", Alcatel-Lucent, November 2010.

[13] 3GPP TSG-RAN WG1, R1-106050, "Discussion on DL Power Setting for Heterogeneous Networks", Samsung, November 2010.

이 상 준 (Sang-Joon Lee)



2005년 2월 고려대학교 전산학과 학사

2008년 2월 고려대학교 전산학과 전산과학 전공 석사

2008년 3월~현재 고려대학교 전산학과 데이터통신및네트워크 전공 박사과정

<관심분야> 무선자원관리, 호수락제어, mesh네트워크, 이동통신시스템

김 승 연 (Seung-Yeon Kim)



2005년 2월 고려대학교 전자 및 정보공학부 졸업

2007년 2월 고려대학교 전자정보공학과 석사

2012년 8월 고려대학교 전자정보공학과 박사

2012년 8월~현재 고려대학교 전자정보공학과 연구교수

<관심분야> 통신망 설계 및 성능 분석, MAC 프로토콜

이 형 우 (Hyong-Woo 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

류 승 완 (Seung-Wan Ryu)



1988년 고려대학교 산업 공학과 학사

1991년 고려대학교 산업 공학과 석사

2003년 뉴욕주립대 (SUNY at Buffalo) 산업공학과 박사

1991~1993년 LG전자 영상미디어연구소 (주임연구원)

1993~2004년 한국전자통신연구원 이동통신연구단 (선임연구원)

2004년~현재 중앙대학교 정보시스템학과 교수

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

조 총 호 (Choong-Ho Cho)



1981년 2월 고려대학교 산업공학과 졸업

1983년 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