

펌토셀 네트워크에서 용량 증대를 위한 펌토셀 기지국의 수면/작동 상태 스케줄링

윤성국, 한중훈^o, 박세웅

서울대학교 전기컴퓨터공학부 뉴미디어통신공동연구소

Femto Base Station Active/Inactive Scheduling for Enhancing Network Capacity

Sung-Guk Yoon, Jonghun Han^o, and Saewoong Bahk

INMC, Department of EECS, Seoul National University

{sgyoon, jhhan, sbahk}@netlab.snu.ac.kr

요 약

펌토셀로 인해 발생하는 간섭을 제어하기 위한 방법으로는 송신 파워를 조절하거나 다른 기지국에 할당된 주파수를 피해가는 방법 등이 있다. 이와 다른 방법으로 동작하는 펌토셀의 숫자를 줄여줌으로써 간섭의 원인을 근본적으로 줄여 주는 기법도 있다. 사용자가 없는 펌토셀의 파일럿 송신을 제한한다면, 네트워크에 미치는 간섭을 최소화 할 수 있다. 이 경우, 펌토셀 기지국은 기존의 단말과 같이 수면/작동 상태를 가지게 되고, 펌토셀 기지국과 단말이 동시에 수면 및 유휴 상태에 있을 때 위치 갱신을 위한 방법이 필요하게 된다. 본 논문에서는 이러한 펌토셀 기지국/단말 교착상태에서 야기될 수 있는 문제를 정리하고, 그 해결책을 제시한다. 제안하는 기법은 시뮬레이션을 통해 검증하였고 사용자의 서비스 품질을 저해하지 않으면서 간섭을 줄여줌으로써 네트워크 용량이 증가함을 보였다.

1. 서론

셀룰러 무선 통신 시스템에서 셀 크기의 감소를 통하여 신호대 잡음비의 증가를 달성하는 최신 기술은 펌토셀 기술이다[1]. 펌토셀이란 사무실이나 가정에서 사용자가 직접 설치할 수 있는 수십 미터의 범위를 가지는 초소형 기지국을 의미하며, 이로 인해 생기는 소형의 셀 및 그 기술을 총칭하는 용어이다. 그러나 펌토셀은 사용자에게 의해 자율적으로 설치되므로 계획적인 설치가 어렵고, 사업자가 직접 컨트롤할 수 없으므로 분산적인 간섭 제어 방법이 필요하다.

기존의 간섭 제어 연구는 크게 펌토셀이 매크로셀과 다른 주파수 대역을 사용하게 하는 기법과 펌토셀 또는 사용자의 파워를 조절하는 기법으로 나눌 수 있다. 그러나 펌토셀로 야기된 간섭을 완화하는 보다 근본적인 방법은 펌토셀 기지국의 송신을 제한하는 것이다. 예를 들어, 회사에 설치된 펌토셀의 경우, 근무 외 시간에는 사용자가 전혀 없는 상황이 발생할 수 있다. 그럼에도 불구하고 펌

토셀 기지국이 계속 파일럿을 전송한다면, 다른 기지국 및 단말은 실제로 더 많은 자원을 사용할 수 있음에도, 제한된 자원만을 사용할 수 있게 된다. 이를 파일럿 공해문제라고 한다. 이 문제를 해결하기 위해 [2]에서는 펌토셀 파워를 조절하여 최적의 셀 크기를 만드는 기법을 제안하였다. 펌토셀에 적극적인 관심을 보이고 있는 LTE 나 Mobile WiMAX 표준화 단체에서도 파일럿 공해 문제를 해결하기 위하여, 표준에 펌토셀의 수면(sleep) 모드를 명시하고 있으나 구체적인 알고리즘에 대한 설명은 없다.

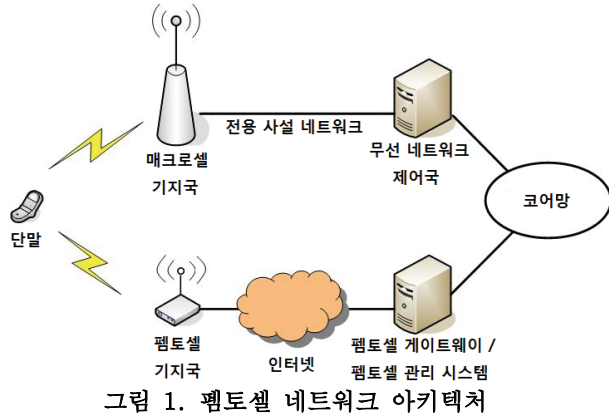
본 논문에서는 파일럿 공해 문제를 해결하기 위하여 펌토셀의 수면/작동(sleep/awake) 상태를 도입하고, 이 기법의 도입으로 인한 새로운 문제 - 유휴(idle) 상태의 단말이 수면 상태의 펌토셀 기지국으로 접근하는 경우, 펌토셀 기지국이 단말을 효과적으로 인지하지 못하는 상황 - 를 살펴볼 것이다. 본 논문에서는 이 문제를 교착상태로 정의하고 그 해결책을 제시한다.

본 논문은 펌토셀 네트워크에 대한 소개를 II 장에서 하고, III 장에서 교착상태에 대한 정의와 그 해결책을 제시한다. IV 장에서는 시뮬레이션을 통해 제안하는 기법의 성능을 검증하고 V 장에서 결론을 맺는다.

· 본 연구는 방송통신위원회의 차세대통신네트워크 원천기술개발사업의 연구결과로 수행되었음 (KCA-2011-08913-04003)

2. 펌토셀 네트워크

A. 펌토셀 네트워크



펌토 포럼에서 제안하는 펌토셀 아키텍처는 그림 1에서 볼 수 있다[3]. 그림 1과 같이, 펌토셀은 맥 내에 설치되어 있는 유선 인터넷 망을 통하여 코어 망에 연결되는 것이 가장 큰 특징이다. 펌토셀은 펌토셀 게이트웨이와 펌토셀 관리 시스템을 두는 것을 가정한다. 펌토셀 관리 시스템은 펌토셀 기지국 혹은 중앙에서 보내는 컨트롤 데이터의 관리를 담당하며, 보안을 위해 펌토셀 기지국과 펌토셀 게이트웨이 사이에는 IPSec 을 이용하는 것을 고려하고 있다. 이러한 펌토셀 게이트웨이 및 펌토셀 관리 시스템을 통한 펌토셀 기지국과의 통신은 상용 인터넷 망을 통하기 때문에 기존의 매크로 기지국과 같이 수 밀리 초 단위의 컨트롤은 어려우나, 수 초 단위의 컨트롤 데이터 전달이 가능할 것으로 예상된다[4].

B. 펌토셀 기지국과 단말의 동작모드

셀룰러 시스템에 있는 단말은 에너지를 절약하기 위하여 송수신기를 켜다 켜는 스케줄링을 수행한다. 반면 전원 공급을 받는 기지국의 경우, 일반적으로 에너지 소모를 고려하지 않으므로 송수신기를 끄지 않는다. 그러나 펌토셀 네트워크에서는 네트워크에 미치는 간섭을 줄이기 위하여 펌토셀 기지국의 경우도, 송수신기를 끄는 것과 유사한 상태를 정의한다.

본 논문에서는 단말의 송수신기가 켜져 있는 상태를 활성 모드로, 에너지 절약을 위해 단말의 송수신기가 주기적으로 켜져서 듣기만 하는 상태를 유휴 모드로 정의한다. 또한 펌토셀 기지국의 경우, 파일럿을 전송하는 기간을 유효 구간, 파일럿 전송을 쉬고 있는 기간을 불능 구간이라고 한다. 불능 구간에 있는 펌토셀 기지국은 파일럿만 쏘지 않는 것이므로, 지속적으로 수신은 가능하다.

3. 교착 상태와 해결책

A. 교착상태

펌토셀	단말	동작
유효 구간	활성	정상적인 핸드오버 발생
유효 구간	유휴	단말이 펌토셀의 파일럿 수신 후, 페이징 그룹 변경
불능 구간	활성	펌토셀이 단말의 신호를 인지, 유효 구간으로 전환
불능 구간	유휴	상호 존재 파악 불가

표 1. 단말이 펌토셀 기지국에 접근할 때 조합

단말이 펌토셀 기지국이 설치된 곳에 진입할 때, 고려할 수 있는 조합은 표 1과 같이 총 네 가지이다. 이 중 세 가지 조합은 기존 표준의 큰 수정 없이 단말이 자신의 펌토셀 기지국으로부터 서비스를 받을 수 있다. 그러나 네 번째의 경우, 사용자는 펌토셀 기지국을 설치했음에도 불구하고 펌토셀 기지국으로부터 관리를 받지 못하게 된다. 특히 음영지역에 설치된 펌토셀 기지국으로 유휴상태의 단말이 진입할 경우에 단말이 기지국과의 연결이 끊기므로, 모든 대역의 파일럿을 계속 스캔하게 된다. 또한 펌토셀 기지국 역시 영역 내에 진입한 단말을 인지하지 못하기 때문에 유휴 상태를 지속하는 상태에 빠질 수 있다. 이러한 상태를 펌토셀 기지국/단말 교착상태라고 정의한다.

B. 교착상태의 해결

교착상태를 해결하기 위해서는 둘 중 하나의 개체가 유효/활성 구간으로 돌아와 신호를 전송해야 한다. 본 장에서는 교착 상태를 해결하는 두 가지 방법을 살펴본다.

i. 펌토셀 기지국 기반 해결책

이 방식은 펌토셀 기지국이 불능 구간에 있더라도 간혹 파일럿을 전송하는 방식이다. 이 파일럿을 수신한 단말은 자신이 펌토셀 기지국의 영역 내에 진입했음을 인식하게 되고, 정상적인 페이징 그룹 변경 절차를 거침과 동시에 펌토셀 기지국으로부터 서비스를 받을 수 있다.

이 경우, 단말의 기능 변경 없이 교착상태를 해결할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 단말이 언제 펌토셀 기지국 내로 진입할 것인지에 대한 정보가 없어, 단말의 서비스 품질 보장을 위해서 송신하는 파일럿의 주기를 어느 정도 수준 이상 줄일 수 없다는 단점이 있다.

ii. 코어망 기반 해결책

이 방식은 코어망에서 해당 펌토셀에 등록된 단말이 펌토셀 기지국으로 다가오는 것을 감지, 그 정보를 펌토셀 기지국에 전달하는 방식이다. 이 정보를 바탕으로 펌토셀 기지국은 파일럿 송신 주기를 조절할 수 있게 된다.

제안하는 기법에서 펌토셀 기지국은 파일럿 송신 주기에 따라 두 종류의 수면 상태를 가진다. 완전 수면 상태는 근방에 단말이 없음을 가정하여 긴 파일럿 주기를 가지는 상태이고, 대기 수면 상태는 단말이 근처에 있다고 생각하여 짧은 주기를

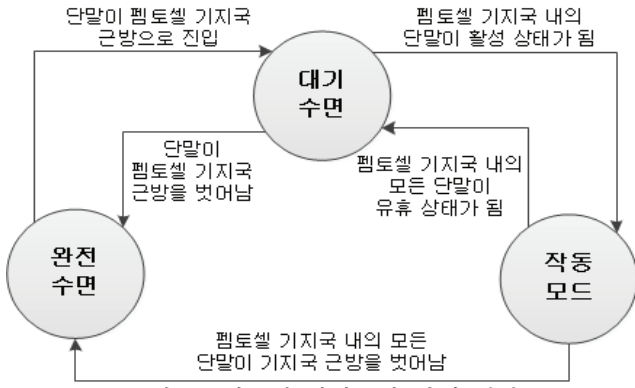


그림 2. 핼토셀 기지국의 상태 전환

파라미터	값
주파수 대역	10 MHz
매크로셀 기지국 전송 파워	3 dB (2 W)
핼토셀 기지국 전송 파워	-20 dB (10 mW)
잡음(Noise)	-174 dBm/Hz
매크로셀 서비스를 받는 사용자 수	720
핼토셀 서비스를 받는 사용자 수	1-4 (unif. dist.)
벽 감쇄	31.62dB
경로 감쇄(path loss)	4

표 2. 시뮬레이션에 사용된 파라미터 수치

사용한다. 이 두 상태를 통하여 상황에 적절한 최소한의 파일럿만을 허용함으로써 네트워크에 발생하는 간섭을 최소화 할 수 있다.

네트워크가 단말의 접근을 알려주는 알고리즘은 초기 설정 과정과 동작 과정으로 나눌 수 있다. 초기 설정 과정은 핼토셀 기지국이 설치되었을 때 수행되는 단계로써, 해당 핼토셀 기지국에 접속할 수 있는 단말을 등록하는 것과, 매크로셀 기지국의 파일럿 신호를 수신하여 해당 지역의 페이징 그룹 아이디를 알아내는 단계, 그리고 이 정보들을 핼토셀 게이트웨이 및 핼토셀 관리 시스템에 전송하는 단계를 포함한다. 이 정보를 수신한 핼토셀 게이트웨이와 핼토셀 관리 시스템은 해당 정보를 가장 근처에 있는 무선 네트워크 제어국에 보내고, 무선 네트워크 제어국에서는 핼토셀 기지국 아이디, 등록된 단말의 아이디 및 이웃 기지국의 페이징 그룹 ID 정보를 등록한다.

동작 상태에서 핼토셀 기지국의 상태는 무선 네트워크 제어국으로부터 오는 단말의 페이징 그룹 정보에 따라 그림 2와 같이 상태를 전환한다.

4. 시뮬레이션

이번 장에서는 핼토셀 기지국이 핼토셀 네트워크에 미치는 간섭의 정도를 확인하고, 그것을 해결하기 위해 도입된 핼토셀의 유효/불능 구간의 효과를 네트워크 용량의 관점에서 평가할 것이다. 또한 핼토셀 유효/불능 구간의 도입으로 야기된 교착상태에 대한 해결책의 성능을 네트워크 용량과 응답

핼토셀 기지국의 파일럿	사용자당 평균 수율	평균 통화 지연
스케줄링 하지 않음 (일정 파일럿 주기)	21.8 Mbits/s	송신지연 0 s 수신지연 2.9 s
제안 스케줄링 기법 (파일럿 주기 조절)	26.2 Mbits/s	송신지연 0.6 s 수신지연 2.9 s

표 3. 제안한 스케줄링을 통한 수율과 지연 성능 분석

지연시간의 관점으로 살펴볼 것이다. 본 논문에는 매크로셀과 핼토셀이 동일한 대역을 사용함을 가정하며, 하나의 매크로셀 기지국에 300개의 핼토셀 기지국이 설치된 환경이다. 각 핼토셀기지국은 매크로셀 기지국의 범위 내에 무작위로 분포되어 있다. 표 2는 시뮬레이션에 사용된 파라미터를 보여준다.

제안한 기법을 이용하여 핼토셀 기지국에 유효/불능 구간을 도입하였고, 이에 따라 발생하는 교착상태 해결을 위해 코어망 기반의 솔루션을 사용하였다. 따라서 핼토셀은 작동, 대기 수면, 완전 수면의 세 가지 상태를 가지게 되었고, 표 3을 통하여 제안한 기법이 수율 및 통화지연 측면에서 좋은 성능을 보임을 확인하였다.

5. 결론

차세대 무선통신 시스템의 핵심적인 기술 중 하나인 핼토셀은, 실내 사용자들에게 높은 서비스 품질을 제공하고 네트워크 전체 용량을 증가시키는 장점을 가진다. 반면, 사용자 기반으로 설치되는 특성으로부터 비롯되는 불규칙적인 간섭 형태는 네트워크에 심각한 성능 감소로 이어질 수 있다. 이를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 사용자가 없는 핼토셀 기지국의 파일럿을 제한하여 간섭을 줄이는 기법을 소개하고, 이 기법에 의해 야기되는 교착상태를 정의하였으며, 적절한 해결책을 제시하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 핼토셀의 파일럿을 제한하는 기법은 네트워크의 간섭을 줄이는데 필수적인 기법임을 확인하였고, 교착상태 역시 효과적으로 해결할 수 있음을 보였다.

6. 참고 문헌

[1] V. Chandrasekhar, J.G. Andrews, and A. Gatherer, "Femtocell Networks: A Survey," IEEE Communications Magazine, vol. 46, no. 9, pp. 59-67, Sep. 2008.

[2] Y.-Y. Li and E.S. Sousa, "Base Station Pilot Management for User-deployed Cellular Networks," in Proc. IEEE ICC, Dresden, Germany, Jun. 2009.

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

[4] J.-H. Yun and K.G. Shin, "CTRL: A Self-Organizing Femtocell Management Architecture for Co-Channel Deployment," in Proc. ACM MobiCom 2010, Chicago, USA, Sep. 2010