

이종망 환경에서 능동 안테나 시스템 기반의 셀간 간섭 제어 방법

김병준*, 박해성*, 김덕경^o

Inter-cell Interference Coordination Method Based on Active Antenna System in Heterogeneous Networks

Byoung-June Kim*, Haesung Park*, Duk Kyung Kim^o

요약

최근 급증하는 데이터 트래픽에 효율적으로 대응하기 위해 매크로 기지국 영역에 매크로 기지국과 같은 주파수를 사용하는 소형 기지국이 공존하는 이종망에 관한 연구가 활발하게 진행 중이다. 이때, 매크로셀로부터 소형셀로의 간섭을 줄이기 위해 시간 영역에서 ABS (Almost Blank Subframe)을 이용한 enhanced Inter-cell Interference Coordination (eICIC) 기법이 제안되어 있다. 그러나 간섭 문제 해결을 위해 데이터를 전송하지 않는 서브프레임들이 발생함으로써 매크로셀 입장에서는 자원 낭비 문제가 발생한다. 본 논문에서는 능동 안테나 시스템 (AAS)과 Genetic Algorithm (GA)을 이용하여 소형 셀 방향으로 안테나 이득을 줄인 매크로 기지국의 3D 섹터 빔을 형성하여 셀간의 간섭신호 세기가 감소 되도록 하고 데이터 전송에 모든 서브프레임을 이용하여 낭비되는 자원이 없도록 한다. LTE-Advanced 시스템 레벨 시뮬레이터를 통해 기존 eICIC 기법과의 성능을 비교 분석하며, 제안된 기법의 성능 향상을 확인한다.

Key Words : ICIC, heterogeneous network, small-cell, active antenna array, system level simulator

ABSTRACT

To cope with recently increasing demand for data traffics, heterogeneous networks have been actively studied, where small cells are deployed within a macro cell coverage with the same frequency band. To mitigate the interference from the macro cell to small cells, an enhanced Inter-cell Interference Coordination (eICIC) technique has been proposed, where ABS (Almost Blank Subframe) is used in time domain. However, there is a waste of resource since no data is transmitted in a macro-cell in ABS. In this paper, we propose a new interference management method by using a 3D sector beam based on Active Antenna System (AAS), where Genetic Algorithm (GA) is applied to reduce the antenna gain toward a small-cell. With the proposed scheme, the macro-cell and small cells can transmit data at the same time with the AAS antenna pattern generating reduced interference to small cells. The performance of the proposed scheme is evaluated by using an LTE-Advanced system level simulator.

* 본 연구는 한국연구재단 일반연구지원 (2013R1A1A2A10059215) 지원, 산업융합원천기술개발사업 (10044540)의 지원으로 수행됨.

♦ First Author : Department of Information Communication Engineering, Inha University, bluesea0926@gmail.com, 학생회원

^o Corresponding Author : Department of ICE, Inha University, kdk@inha.ac.kr, 종신회원

* SK Telecom, haesung.park@sk.com

논문번호 : KICS2014-05-194, Received May 26, 2014; Revised August 9, 2014; Accepted August 26, 2014

I. 서 론

최근 스마트 기기의 보급률 증가로 인하여 데이터 트래픽 수요의 폭발적인 증가가 발생하고 있다. Cisco 사의 조사에 따르면 2015년의 데이터 트래픽은 2010년의 수치와 비교할 경우 26배의 증가가 있을 것으로 예측되고 있다.^[1] 현재의 셀룰러 네트워크에서 수용 가능한 트래픽 용량으로는 미래의 트래픽 증가를 감당할 수 없을 것이며 사용자에게 허용될 만한 QoS를 제공하는 것에 한계가 있을 것이다. 또한 트래픽 분포의 관점으로 볼 때 트래픽은 특정 지역에서 데이터 트래픽 수요가 집중되는 비 균등 분포 특성을 지닌다. 이에 대한 대응으로 하나의 링크에 대한 스펙트럼 효율을 높이는 방법은 이미 이론적 한계에 도달하여 현실적인 대안이 될 수 없으며, 3GPP LTE-Advanced 표준 문서에서는 매크로 기지국 커버리지 안의 데이터의 수요가 몰리는 핫스팟(hotspot) 지역 내에 같은 주파수를 사용하는 저전력 노드를 중첩 배치하여 일정 영역 내에서 이용 가능한 자원을 증가시킴으로써 셀룰러 네트워크의 시스템 용량을 증가시키는 방안이 활발하게 논의되고 있다. 하지만 이종망 환경에서 매크로 기지국과 저전력 노드들 간의 줄어든 지리적 거리에 의하여 매크로 기지국으로만 구성된 homogeneous network와 비교할 경우 셀간 간섭 문제가 더욱 복잡하면서 심각하다.^[2,3] 현재 3GPP 표준 문서 Release 10에서는 이종망 환경을 위한 새로운 간섭관리 방법인 eICIC(enhanced Inter-cell Interference Coordination) 기법을 제안하고 있다. 이의 대표적인 방법으로 시간 영역에서 Almost Blank Sub-frames(ABS)를 이용한 스케줄링 기법이 있다. ABS를 이용한 시분할 간섭 제어 기법을 통하여 심각한 간섭 상황에 놓여 낮은 QoS를 제공 받는 사용자들에게 보다 향상된 QoS를 제공할 수 있는 장점을 갖지만 ABS를 전송하는 기지국 입장에서는 데이터 전송을 하지 않는 서브프레임이 발생함에 따라 자원 이용률이 감소하여 셀 전체 용량 관점에서의 향상은 크게 기대할 수 없는 단점을 포함하고 있다.^[4]

본 논문에서는 안테나 소자들의 가중치(weighting factor)를 조정하여 원하는 안테나 패턴을 형성할 수 있는 능동 안테나 시스템(AAS)을 매크로 기지국에서 운영하고 특정 피코 셀 영역으로는 안테나 이득을 줄이는 매크로 기지국의 3D 섹터 빔을 능동 안테나 시스템(AAS)에서 사용한다. 제안된 매크로 기지국의 3D 섹터 빔을 사용함에 따라 피코 셀 가장자리의 피코 사용자에게 간섭원이 되는 매크로 기지국으로부터

의 간섭 신호 세기가 감소하여 매크로 기지국과 피코 사용자간의 간섭 문제를 완화하도록 한다. 또한 매크로 셀 영역에 둘 이상의 피코 셀이 배치되는 상황으로 확장을 고려하여 매크로 기지국의 능동 안테나 시스템(AAS)에서는 각 피코 셀 영역으로의 안테나 이득을 줄이는 3D 섹터 빔들이 서브프레임 별로 적용될 수 있다. 능동 안테나 시스템에서 사용될 3D 섹터 빔은 Genetic Algorithm(GA)을 통하여 얻도록 하였다. 추가적으로 제안하는 기법을 사용할 경우 매크로 기지국에서는 기존의 eICIC 기법과는 달리 셀간 간섭을 제어하기 위하여 데이터를 전송하지 않는 서브프레임이 필요하지 않기 때문에 데이터 전송에 모든 서브프레임을 이용하도록 한다. 성능 분석을 위해 LTE-Advanced 기반 시스템 레벨 시뮬레이터를 구축하여 셀간 간섭 제어기법을 적용하지 않은 이종망, eICIC 기법을 적용한 이종망과의 비교를 통하여 제안하는 기법의 간섭 제어 효과와 셀 수율 증가를 비교 분석하도록 한다.

이 후 2장에서는 이종망 환경과 3GPP 표준 문서 Release 10에서 정의하는 기존의 eICIC 기법을 설명하고, 3장에서는 제안하는 셀간 간섭 제어 기법에 대하여 설명한다. 4장에서는 시스템 레벨 시뮬레이터에서의 모의실험 환경을 정의하고 모의실험 결과를 분석하며 5장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 셀간 간섭 제어 기법

2.1 이종망과 간섭 시나리오

이종망은 기존에 배치된 매크로 기지국의 영역에 같은 주파수를 사용하는 피코 기지국, 펌토 기지국, 릴레이 노드 등의 다양한 소형 셀들이 중첩하여 배치된 네트워크를 의미한다. 이종망 환경을 통하여 기존의 homogeneous network에서 매크로 기지국에 접속된 사용자들이 소형 셀로 off-loading함으로써 다수의 사용자가 매크로 기지국의 자원만을 공유하는 상황에서 벗어나 소형 셀 자원들을 사용함에 따라 사용자가 이용할 수 있는 평균적인 자원의 양이 증가된다. 하지만 이종망에서는 매크로 셀 영역에 소형 셀이 중첩 배치되는 특징에 따라 심각한 간섭 상황에 놓이는 사용자가 증가함에 따라 매크로 셀과 소형 셀 간에 간섭 문제를 해결해야하는 문제를 가지고 있다.

3GPP LTE Release 10에서는 이종망에서 매크로 셀과 소형 셀간의 2가지의 간섭 시나리오를 연구 주제로 채택하였다.^[8] 첫 번째로는 매크로 셀과 피코 셀간의 간섭 시나리오이며, 두 번째로는 매크로 셀과 펌

토 셀간의 간섭 시나리오이다. 본 논문에서는 매크로 셀과 피코 셀 간의 간섭 문제 해결에 집중하고 있다.

매크로 셀과 피코 셀의 전송 전력의 차이로 인하여 각 영역의 넓이에 큰 차이가 있으며 이는 피코 셀보다 매크로 셀의 영역에 다수의 사용자가 존재할 것이라는 것을 나타낸다. 따라서 피코 셀에서는 추가적으로 보다 많은 매크로 사용자를 off-loading하기 위하여 셀 영역 확장 기법을 이용하고 있다. 셀 영역 확장 기법은 셀 선택 시 피코 셀에 추가적인 오프셋을 부여함에 따라 강제적으로 피코 셀 영역을 확장하는 것을 의미한다. 그림 1은 매크로 기지국과 피코 기지국으로 구성된 이종망을 나타낸다. 피코 기지국에 셀 영역 확장 기법이 적용될 경우 확장되는 영역이 발생하며 UE #2와 같이 추가적으로 피코 셀로 off-loading되는 사용자가 발생하게 된다. 이때 UE #2는 접속하고 있는 피코 셀로부터의 참조신호 수신 전력(Reference Signal Received Power)보다 간섭원이 되는 매크로 셀로부터의 참조신호 수신 전력이 더 큰 상황에 놓이게 된다. 따라서 UE #2와 같이 피코 셀의 확장된 영역에 위치한 사용자의 간섭 문제 해결에 대한 셀간 간섭 제어 기법들이 연구되고 있다.

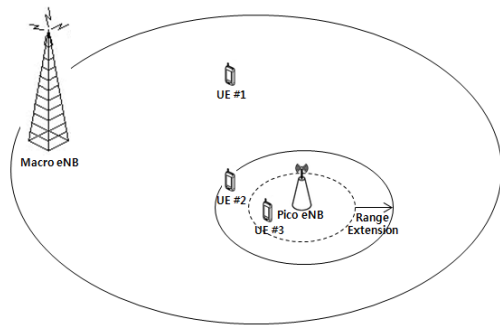


그림 1. 매크로 기지국과 피코 기지국으로 구성된 이종망 구조
 Fig. 1. The heterogeneous network composed of M-eNB and P-eNB

2.2 enhanced Inter-Cell Interference Coordination (eICIC)

셀간 간섭 문제의 해결을 위해서 LTE-Advanced 이전, 즉 3GPP Release 8과 9에서는 주로 매크로 기지국으로 구성된 homogeneous network에서 유용한 여러 Inter-Cell Interference Coordination(ICIC) 기법들이 제안되었다. 예를 들어 각 셀이 사용 가능한 전체 주파수 대역을 분할하여 사용함으로써 간섭을 제어하는 주파수 재활용(Frequency Reuse) 기법들과

X2 인터페이스를 통한 시그널링을 이용하여 사용자 간에 주파수 자원을 직교하게 할당하는 방법 등이 있다. 그러나 이러한 주파수 영역에서 기존의 단순한 셀간 간섭 제어 기법의 적용은 보다 복잡한 간섭 상황을 가지는 이종망 환경에서는 효율적이지 않다. 따라서 3GPP LTE-Advanced에서는 이종망에서 효율적으로 셀간 간섭 제어를 하기 위해서 enhanced Inter-Cell Interference Coordination (eICIC) 기법들을 제안하고 있으며 대표적으로 Almost Blank Sub-frames(ABS)를 이용한 시간 영역에서의 셀간 간섭 제어 기술이 있다.^[2]

ABS는 제어 및 데이터 신호는 전송하지 않고 서비스를 받고 있는 사용자의 지속적인 연결을 위해 참조 신호, 동기 신호, Broadcast 신호만을 전송함으로써 다른 셀로부터 ABS를 수신하는 사용자는 제어 및 데이터 신호에 간섭 영향을 받지 않는다. 이러한 특징을 이용하여 앞서 설명한 간섭원으로부터 접속된 기지국보다 강한 참조신호 수신 전력을 수신하는 사용자에게 제어 및 데이터 신호에 간섭 영향이 없도록 하기 위해 간섭원에서 ABS를 사용하도록 한다. 매크로 셀과 피코 셀로 구성된 이종망에 ABS 운용을 도입하면 확장된 피코 셀 영역에 위치한 사용자를 위해 매크로 기지국에서 ABS를 운용한다.

기존의 eICIC기법은 ABS와 일반 서브프레임의 패턴을 통한 피코 사용자의 시분할 스케줄링을 통하여 간섭제어 이득을 얻고 있다. 그림 2는 매크로 셀과 피코 셀 사이의 간섭을 제어하기 위하여 매크로 셀의 ABS 운용으로 인한 간섭관리 기법을 나타내고 있다. 우선 매크로 기지국과 피코 기지국 사이의 백홀 망을 통한 메시지 교환을 통하여 전체 서브프레임 중 사용될 ABS의 비율과 ABS와 일반 서브프레임의 패턴이 결정되고 기지국간에 공유된다.^[6] 매크로 셀의 Non-ABS 전송 시점에 피코 셀에서는 그림 1의 UE #3과 같은 셀 중심 영역에 있는 사용자들을 스케줄링하고 매크로 셀의 ABS 전송 시점에 피코 셀에서는 그림 1의 UE #2와 같은 셀 확장 영역에 속해 있는 사용자들을 스케줄링 함으로써 이득을 얻는다. 하지만

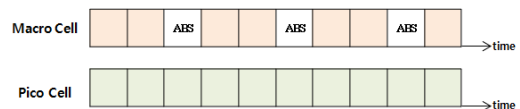


그림 2. 매크로 기지국과 피코 기지국 간의 ABS 간섭관리 기법
 Fig. 2. ABS Interference management scheme between macro eNB and pico eNB

매크로 셀에서 ABS를 전송할 경우에는 데이터를 전송하지 않음에 따라 전송 가능한 자원을 최대한 활용하지 못한다는 단점을 갖는다.

또한 피코 사용자의 채널 상태 정보(CSI) 피드백의 경우 일반서브프레임과 ABS에서 사용자로부터 피드백 되는 정보가 상이한 문제점을 포함하고 있다. 따라서 피코 사용자는 일반서브프레임과 ABS에 대응하는 각각의 채널 상태 정보를 기지국으로 피드백 하도록 하며, 피코 기지국에서는 서브프레임 타입에 따라 적절한 link adaptation 기능을 수행하도록 한다.^[2]

III. 제안하는 기법

3.1 능동 안테나 시스템 기반의 셀간 간섭 제어 방법

능동 안테나 배열은 다수의 안테나 소자로 구성되어 있으며 각 안테나 소자에 가중치를 조정함으로써 특정한 빔 패턴을 생성하도록 한다. 이를 이용하여 원하는 방향으로 안테나 이득을 갖도록 하면서 원하지 않는 방향으로 이득을 억제하여 수신 측에서의 SINR이 최대가 되도록 하는 방식이다. 본 논문에서는 능동 안테나 배열의 특성을 이용하여 이중망에서 매크로 셀과 피코 셀간의 간섭을 완화할 수 있는 3D 섹터 빔을 제안한다. 그림 3은 일반적인 3D 섹터 빔과 제안하는 3D 섹터 빔을 나타낸다. 제안하는 3D 섹터 빔은 매크로 기지국에서 운용되며 기존의 섹터 빔과 동일하게 매크로 셀 영역으로의 안테나 이득을 갖도록 하지만 피코 기지국 방향으로 안테나 이득을 억제하는 특징을 갖는다. 또한 피코 셀 방향으로 안테나

이득을 억제하는 영역의 확대를 통하여 피코 셀에 핸드오버 오프셋을 부여하는 기존의 CRE 기법을 이용하지 않더라도 피코 셀 영역을 확장할 수 있다.

매크로 영역에 하나의 피코 기지국이 위치하는 가장 간단한 경우를 고려하면 매크로 기지국은 모든 서브프레임에서 해당 피코 셀 영역으로 안테나 이득을 억제하는 3D 섹터 빔을 이용하도록 한다. 이에 따라 피코 셀의 사용자는 간섭원이 되는 매크로 셀로부터의 수신 신호 전력이 감소하여 피코 셀 사용자의 수신 SINR이 증가되는 간섭 완화 효과를 얻는다. 또한 기존의 eCIC처럼 매크로 기지국에서 데이터를 전송하지 않는 ABS를 사용한 간섭 제어가 아니므로 제안하는 기법에서는 데이터 전송을 위해 모든 서브프레임의 자원을 사용할 수 있다.

더 나아가 매크로 영역에 둘 이상의 피코 기지국이 위치하는 상황으로 확장되는 경우를 고려할 수 있다. 그림 4는 매크로 영역에 두 개의 피코 기지국이 위치하는 경우를 예로 들어 제안하는 셀간 간섭 제어 기법을 설명한다. 매크로 기지국은 피코 셀 1과 피코 셀 2 각각의 영역으로 안테나 이득을 억제하는 3D 섹터 빔 SB 1, SB 2를 생성하고 데이터를 전송하는 서브프레임 별로 어떠한 3D 섹터 빔을 사용할지 결정한다. 결정된 서브프레임 별 3D 섹터 빔 사용 패턴은 백홀 망 등을 통하여 각 피코 셀과 교환으로 알 수 있음을 가정한다. 또한 그림 4처럼 각 서브프레임 별로 교대로 SB 1, SB 2를 사용하는 방안이 사용될 수 있다. 이때 피코 셀 1에서는 매크로 기지국에서 SB 1이 사용될 때와 SB 2가 사용될 때에 따라 매크로 기지국으로부터의 수신 신호 전력이 변화게 된다. 즉 SB 1이 사용될 때는 확장된 영역의 피코 사용자에게 서비스를 할 수 있지만 SB 2가 사용될 때는 서비스가 불가능할 경우가 발생한다. 따라서 피코 셀 1에서는 SB 1이 사용되는 서브프레임 내에서만 확장된 영역의 피코 사용자를 스케줄링 하도록 한다. 피코 사용자의 채널 상태 정보(CSI) 피드백의 경우 역시 SB 1과 SB 2가 사용된 서브프레임에서 사용자로부터 피드백 되는 정보가 상이한 문제점을 포함하고 있으므로 사용자는 SB 1과

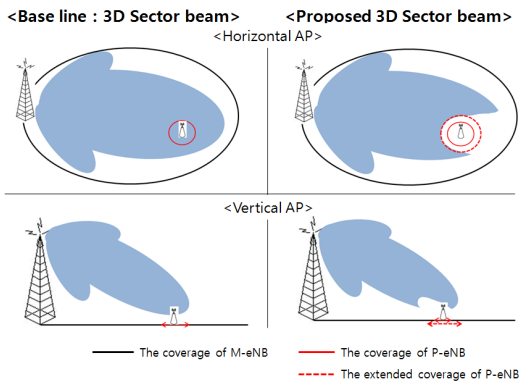


그림 3. 일반적인 3D 섹터 빔(좌)과 제안하는 3D 섹터 빔(우) 모델링
Fig. 3. The modeling for the general 3D sector beam (left) and proposed 3D sector beam(right)

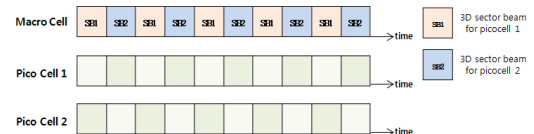


그림 4. 제안하는 셀간 간섭 제어 기법 예시
Fig. 4. An example of proposed inter-cell interference coordination

SB 2에 대응하는 각각의 채널 상태 정보를 기지국으로 피드백 하도록 하며, 피코 기지국에서는 사용되는 3D 섹터 빔 타입에 따라 적절한 link adaptation 기능을 수행하도록 한다.

3.2 GA를 이용한 제안하는 3D 섹터 빔 구현

본 논문에서는 Genetic Algorithm (GA)를 이용하여 제안하는 3D 섹터 빔을 구현하였으며 전체적인 구현 과정은 크게 3D 섹터 빔 마스크를 생성하는 부분과 3D 섹터 빔 마스크와 유사한 3D 섹터 빔을 구현 부분으로 구분된다.

첫 번째 단계인 3D 섹터 빔 마스크를 생성하는 부분에서는 먼저 3D 섹터 빔 마스크를 생성하기 위한 정보를 설정하도록 한다. 해당 정보는 피코 기지국의 위치정보를 통하여 안테나 이득을 억제할 영역과 억제하는 안테나 이득의 크기이다. 매크로 영역 내에 위치한 피코 기지국의 위치정보는 매크로 기지국이 알고 있음을 가정한다. 결정된 정보를 기반으로 하여 비교 대상이 되는 3GPP TR 36.814의 3D 섹터 빔에 피코 셀 영역으로 안테나 이득이 억제된 형태의 3D 섹터 빔 마스크를 생성하도록 한다. 이때 약간의 오프셋 값을 두고 상/하부의 빔 패턴 마스크를 설정하는데 그 이유는 매크로 섹터 영역 안에 안테나 이득이 Nulling 되는 부분 없이 최대한 빔 패턴 마스크와 유사하게 제안하는 3D 섹터 빔을 구현하기 위함이다.

두 번째 단계인 3D 섹터 빔 마스크와 유사한 3D 섹터 빔을 구현 부분에서는 먼저 능동 안테나 배열에 관한 정보를 설정하는데 안테나 소자의 패턴, 안테나 소자 수, 안테나 배열 구조를 포함한다. 안테나 소자 패턴은 3GPP TR 37.840의 수평/수직 안테나 소자 패

턴을 사용하였으며 안테나 배열 구조는 Uniform Linear Array (ULA) 구조를 이용하였다. 식(1)은 ULA의 안테나 패턴(AP)을 나타낸다.

$$AP_i = EP_i * \sum_{n=1}^N W_n e^{jk(n-1)d\cos(i)} \quad (1)$$

여기서 EP는 소자패턴, Wn은 각 소자의 가중치, N은 안테나 소자의 개수, d는 소자 간 간격, $k=2\pi/\lambda$ (λ 는 파장의 길이), 그리고 i는 안테나와 메인 빔이 이루는 각도를 의미한다. 안테나 소자 수의 경우 최소한의 소자 수로 제안하는 3D 섹터 빔 구현을 목적으로 다양한 소자 수에 따른 결과를 그림 5에 포함하였다. 결정된 능동 안테나 배열 정보를 기반으로 상/하부 빔 패턴 마스크의 경계를 넘지 않도록 하는 빔 패턴을 생성하기 위한 최적의 안테나 소자별 가중치 값을 GA를 통하여 얻도록 한다. 이 과정에서의 핵심은 설정된 빔 패턴 마스크와 GA로 배양된 안테나 소자 가중치 값으로 표현된 빔 패턴의 차이가 최소가 되어 식(2)로 정의한 적합도(fitness)값이 최대화되도록 반복 수행하는 것이다.^[5]

$$fitness = \left[\sum_k \left(a_{section k} \sum_i |MASK_i - AP_{GA,i}|_{section k} \right) \right]^{-1} \quad (2)$$

MASK는 구현하기 원하는 안테나 패턴, APGA는 GA를 통해 배양된 안테나 소자 가중치 값으로 표현된 안테나 패턴, k는 구분한 빔 패턴 구역에 대한 번호, a는 각 빔 패턴 구역에 대한 비례상수를 의미한

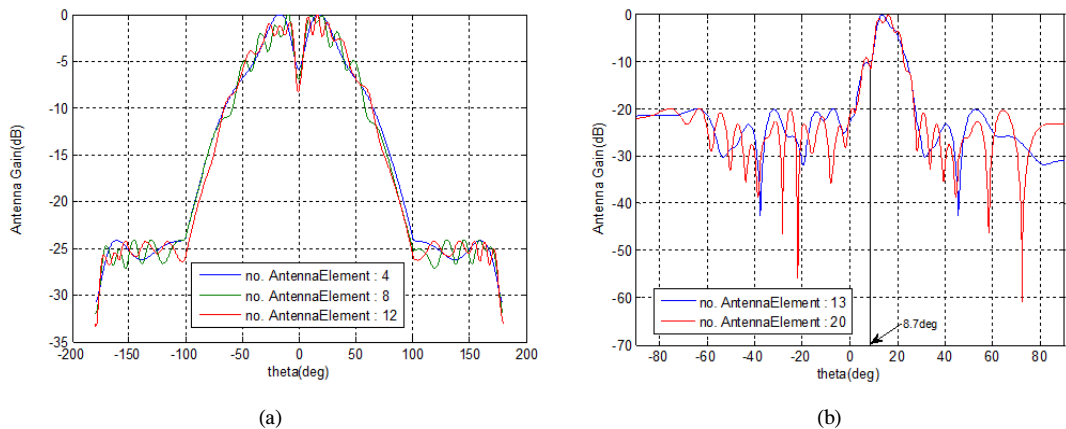


그림 5. 사용된 안테나 소자 수 별 제안하는 매크로 기지국의 수평(a) / 수직(b) 섹터 빔
 Fig. 5. Proposed horizontal(a) / vertical(b) sector beam depending on the number of antenna elements

다. 마스크 패턴에 구역을 나누는 이유는 마스크 패턴과 유사한 안테나 패턴을 만들어야 할 구역에 대한 중요도를 비례 상수를 이용하여 차별하기 위함이다.^[5] 예를 들면 피코 셀로의 안테나 이득을 줄일 구역의 해당 비례상수가 다른 구역의 비례상수보다 크게 설정하여 같은 적합도(fitness) 값이더라도 중요 구역의 오차를 보다 집중적으로 보상할 수 있도록 한다.

그림 5는 수평/수직 빔 패턴 마스크에 Genetic Algorithm(GA)를 적용하여 얻은 수평/수직 빔 패턴이며 안테나 소자 수를 다르게 하여 각 결과를 비교하였다. 제안하는 수평/수직 빔 패턴 생성을 위해 매크로 기지국의 높이는 32m이며 하나의 피코 기지국이 매크로 기지국을 기준으로 섹터 중심 방향으로 200m의 고정된 위치에 있음을 가정하였다. 피코 기지국 방향으로 간섭 세기를 줄이기 위하여 수평/수직으로 각각 0도, 8.7도 부분의 안테나 이득을 억제하여 빔 패턴 마스크를 생성하였고, 제안하는 수평/수직 빔 패턴을 생성하기 위해 수평 안테나 소자는 4, 8, 12개, 수직 안테나 소자는 13, 20개로 구성된 Uniform Linear Array(ULA)를 사용하였다. 수평/수직 섹터 빔 소자 수가 각각 3개, 12개 이하일 경우에는 제안하는 섹터 빔을 형성하기 어려웠으며 소자 수를 늘려갈수록 보다 정교하게 피코 셀 방향으로 안테나 이득을 억제할 수 있음을 관찰하였다. 하지만 안테나 설계비용을 고려하여 피코 셀 방향으로 안테나 이득 억제가 가능한 수평/수직 섹터 빔을 위하여 각각 4개와 13개의 최소한의 소자 수를 이용하도록 하였다. 또한 수평/수직 섹터 빔의 안테나 이득을 억제할 방향을 각각 10도, 5도 간격으로 바꾸어가며 실험해본 결과 피코 기지국이 매크로 영역 어느 곳에 위치하더라도 해당 피코 기지국 방향으로 안테나 이득을 억제하는 마스크 패턴의 변경을 통해 원하는 섹터 빔을 위한 각 소자 별 가중치 값을 얻어낼 수 있다는 것을 관찰하였다.

IV. 성능 분석

4.1. 모의실험 환경

4.1.1 네트워크 구성

그림 6은 본 논문의 모의실험을 위한 이중망 기반의 LTE-Advanced 시스템 레벨 시뮬레이터에 구성된 네트워크를 나타내고 있다. 네트워크 환경은 32m 높이에 위치한 3-섹터를 갖는 7개의 매크로 기지국과 각 매크로 기지국의 섹터 영역의 중심 방향으로 115m에 피코 기지국이 위치하는 것을 가정하였으며 중심 매

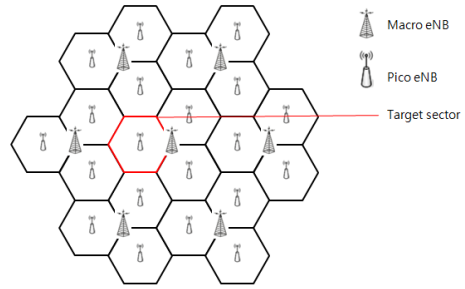


그림 6. 네트워크 구성
Fig. 6. Network layout

크로 기지국의 하나의 섹터 내에 위치한 사용자들에 대하여 결과 분석을 하였다.

4.1.2 안테나 패턴 모델

모의실험의 비교를 위하여 사용된 안테나 모델은 3GPP의 TR 36.814 3D 안테나 모델을 이용하였고 수평 안테나 패턴의 경우 제안하는 매크로 기지국의 수평 섹터 빔의 안테나 뒷 방향으로의 감쇠율(front-to-back attenuation)과 맞추기 위하여 값을 30dB로 수정하였다. 식 (3)와 식 (4)는 각각 수평, 수직 안테나 패턴, 식 (5)은 수평/수직 안테나 패턴을 이용한 3D 안테나 패턴을 의미한다.^[8]

$$A_H(\phi) = -\min \left[12 \left(\frac{\phi}{\phi_{3dB}} \right)^2, A_m \right], \quad (3)$$

$\phi_{3dB} = 65^\circ, A_m = 30dB$

$$A_V(\theta) = -\min \left[12 \left(\frac{\theta - \theta_{e tilt}}{\theta_{3dB}} \right)^2, SLA_V \right], \quad (4)$$

$\theta_{3dB} = 9.4^\circ \text{ or } 5.7^\circ, \theta_{e tilt} = 15^\circ, SLA_V = 20dB$

$$A(\phi, \theta) = -\min \{ -[A_H(\phi) + A_V(\theta)], A_m \} \quad (5)$$

4.1.3 사용자 단말의 배치

사용자 단말의 배치는 3GPP TR 36.814의 이중망 시뮬레이션 시나리오 4a에 따라 하나의 섹터에 전체 30개의 사용자 단말이 위치하며 피코 셀은 섹터 당 1개, 전체 단말 중 단말이 피코 셀에 위치할 비율은 1/15로 하였다.^[8] 따라서 매크로 셀과 피코 셀에 각각 28개, 2개의 사용자 단말이 접속된 기지국의 영역 안에 임의의(Randomly) 확률로 배치된다. 모의실험의 정확성을 높이기 위하여 100번의 반복 수행을 통하여 평균 성능 결과를 도출하였다. 그 외 모의실험에 적용한 파라미터는 3GPP 표준 문서의 정의에 따라 표 1에 정리하였다.^[8]

표 1. 하향링크 시스템 시뮬레이션 파라미터
Table 1. System simulation parameter for downlink

Simulation parameter	Value
Deployment scenario	Macro : 7 cells, 21 sectors wrap-around Pico : 1 pico cell in fixed location onto macro-cell sector (115m, center direction)
Carrier frequency / Bandwidth	2 GHz / 10 MHz
Serving cell attachment	RSRP-based
Macro cell ISD	500 m
Transmission mode	2x2 CLSM
Macro Tx power	46 dBm
Pico Tx power	30 dBm
Electrical tilting	15 degree
Macro antenna pattern	baseline : 3D antenna pattern (3GPP TR 36.814)
Pico antenna pattern	Omni-directional
Scheduler	Proportional fairness
Pathloss model	Macro to UE : $L=128.1+37.6\log_{10}(R)$ for 2GHz, R in km Pico to UE : $L=140.7+36.7\log_{10}(R)$ for 2GHz, R in km
Minimum distance between pico cell and macro cell	75 m
Minimum distance between pico cells	40 m
Minimum distance between macro cell and UE	35 m
Minimum distance between pico cell and UE	10 m

4.2 모의실험 성능 분석

본 논문의 모의실험 결과는 제안하는 기법과의 비교를 위하여 간섭제어 기법이 포함되지 않은 가장 기본적인 이종망과 eICIC 기법이 적용된 이종망을 고려하였다. CRE 기법을 위해 적용한 핸드오버 오프셋 값은 6dB이며 eICIC 기법을 위해 적용한 전체 서브프레임 중 ABS의 비율을 0/8, 2/8, 그리고 4/8로 다르게 하여 비교 분석하였다. 또한 비교 실험에서는 3GPP TR 36.814의 3D 안테나 모델을 사용하였다.

eICIC 기법과 제안하는 기법에는 각각 CRE 기법과 안테나 이득 억제 영역에 의하여 피코 셀로 off-loading되는 매크로 사용자가 존재한다. 모의실험에서 관찰된 매크로 셀과 피코 셀에 접속한 평균 사용

자 수를 표 2에 정리하였다. 아무런 간섭제어 기법을 적용하지 않은 이종망과 비교할 경우 매크로 셀과 피코 셀에 접속하는 사용자의 수가 다르며 평균적으로 약 5명의 매크로 사용자가 피코 셀로 off-loading된 것을 관찰하였다.

모의실험 시나리오마다 접속된 사용자 수의 차이에 의하여 각 셀에서 한명의 사용자마다 사용할 수 있는 평균 자원의 양이 다르다는 문제가 발생하므로 정규화한 성능 분석이 필요하다. 또한 eICIC 기법과 제안하는 기법은 피코 셀 영역에 위치한 사용자의 간섭 문제를 완화하는 것을 주목적으로 한다. 따라서 사용자의 데이터 전송 단위인 Resource Block(RB)마다의 전송률로 정의한 주파수 효율성(Spectral Efficiency) 관점에서 피코 셀의 확장된 영역에 위치한 사용자와 피코 셀 중심 영역에 위치한 사용자에 대한 분석을 표 3에 정리하였다.

피코 사용자의 주파수 효율성 분석은 시뮬레이터 상에서 각 사용자가 할당 받은 Resource Blocks(RBs)에서 전송 가능한 전체 Transport Block Size를 RB로 나누어줌에 따라 RB당 전송 가능한 Transport Block Size로 표현하였다. HetNet 시나리오에서는 CRE 기법이 사용되지 않으므로 확장된 영역이 존재하지 않는다. 중심 영역의 피코 사용자 관점에서 볼 경우 제

표 2. 매크로 셀과 피코 셀에 접속한 평균 사용자 수
Table 2. The average number of users served by macro cell and pico cell

Scenario	The number of MUEs	The number of PUEs
HetNet	28	2
HetNet + RE offset 6dB + ABS	23.08	6.92
HetNet + proposed AF	23.03	6.97

표 3. 중심 영역 피코 사용자와 확장된 영역 피코 사용자의 주파수 효율성

Table 3. The spectral efficiency of center PUE and range extension PUE

Scenario	Center PUE	Range extension PUE
HetNet	11.07 Kbps/RB	-
HetNet + RE offset 6dB + no ABS	12.43 Kbps/RB	3.74 Kbps/RB
HetNet + RE offset 6dB + ABS 2/8	10.80 Kbps/RB	9.72 Kbps/RB
HetNet + RE offset 6dB + ABS 4/8	10.84 Kbps/RB	9.68 Kbps/RB
HetNet + proposed AF	20.75 Kbps/RB	7.00 Kbps/RB

안하는 기법을 적용한 시나리오에서는 피코 영역으로의 억제된 안테나 이득으로 20.75 Kbps/RB의 주파수 효율을 보이며 그 외 시나리오에서는 10.8~12.43 Kbps/RB의 비슷한 주파수 효율을 관찰할 수 있다. 확장된 영역의 피코 사용자 관점에서는 단순히 CRE 기법만 적용한 경우 피코 기지국으로부터의 RSRP보다 매크로 기지국으로부터의 RSRP가 더 강한 심각한 간섭 상황에 의하여 3.74 Kbps/RB의 낮은 효율을 보이며 이러한 문제 해결을 위하여 eICIC 기법의 ABS를 적용하면 약 9.7 Kbps/RB, 제안하는 기법을 적용하면 7 Kbps/RB로 향상되는 것을 확인할 수 있다. 제안하는 기법은 확장된 영역에 위치하는 피코 사용자에게 ABS를 사용하는 eICIC 기법보다는 상대적으로 적은 주파수 효율성 향상을 제공하지만 중심 영역에 위치하는 피코 사용자에게는 상당한 주파수 효율 향상을 제공하고 있다.

그림 7은 피코 셀의 확장된 영역과 피코 셀 중심 영역에 위치한 사용자들에 대한 수율 합 결과를 나타낸다. CRE 기법만 적용한 경우 기존에 피코 셀에 위치하였던 피코 사용자와 추가로 off-loading된 사용자가 함께 각 서브프레임에서 스케줄링 되도록 하며 off-loading된 피코 사용자의 간섭 문제로 인하여 HetNet 시나리오와 비교할 때 피코 셀 수율 합이 감소된다. off-loading된 사용자의 간섭 문제 해결을 위해 eICIC 기법을 적용할 경우 사용되는 ABS의 비율이 커질수록 ABS 전송 시점에서만 스케줄링 되는 확장 영역 피코 사용자들이 할당받는 자원이 늘어나게 되며 반대로 중심 영역에 위치하는 피코 사용자들이 할당받는 자원은 줄어들게 된다. 따라서 ABS의 비율이 커질수록 중심 영역에 위치하는 피코 사용자 수율 합은 감소하고 확장된 영역에 위치하는 피코 사용자

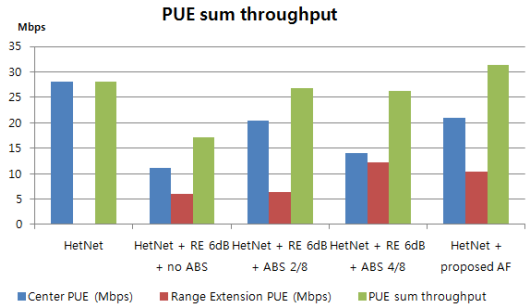


그림 7. 중심 영역 피코 사용자와 확장된 영역 피코 사용자의 수율 합

Fig. 7. The sum throughput of center PUE and range extension PUE

의 수율 합은 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 제안하는 기법을 적용할 경우 전체 피코 사용자가 함께 각 서브프레임에서 스케줄링 되도록 하며 CRE 기법만 적용한 시나리오와 비교 시 중심 영역과 확장된 영역 모두에서의 수율 합이 각각 향상되는 것을 관찰할 수 있다.

그림 8은 셀 수율 합 관점에서의 효과를 확인하기 위한 매크로 셀과 피코 셀의 수율 합 결과를 보여준다. CRE 기법만 적용한 HetNet 시나리오에서는 HetNet 시나리오와 비교 시 매크로 셀의 수율 합은 21.66 Mbps에서 22.64 Mbps로 약간 증가하지만 피코 셀의 수율 합은 28.03 Mbps에서 17.13 Mbps로 38.9%의 상당한 수율 합 감소가 발생한다. eICIC 기법 적용 시 ABS를 매크로 기지국에서 전체 서브프레임 중 2/8, 4/8의 비율로 사용하였을 경우 피코 셀의 수율 합은 CRE 기법만 적용한 HetNet 시나리오와 비교하여 56%정도씩 각각 26.77 Mbps, 26.25 Mbps로 수율 합 증가를 확인하였다. 하지만 매크로 셀의 수율 합은 16.66 Mbps, 11.23 Mbps로 각각 26.3%, 50.3%씩 전체 서브프레임 중 ABS 비율만큼 감소하는 것을 확인할 수 있다. 마지막으로 제안하는 기법을 적용한

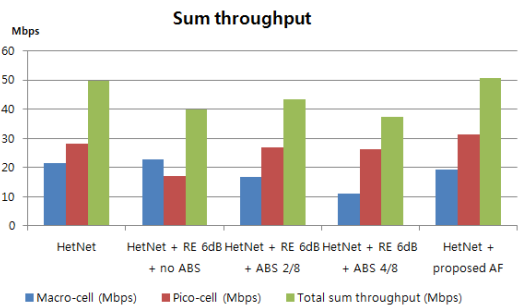


그림 8. 매크로 셀과 피코 셀의 수율 합

Fig. 8. Sum throughput of macro cell and pico cell

HetNet 시나리오에서는 CRE 기법만 적용한 HetNet 시나리오와 비교할 경우 매크로 셀의 수율 합은 22.64 Mbps에서 19.17 Mbps로 18% 정도 감소하지만 피코 셀의 수율 합은 17.13 Mbps에서 31.44 Mbps로 약 83.5% 증가한다. 추가로 ABS를 적용한 eICIC 기법과 비교 시 매크로 셀의 수율 합 감소는 적으면서도 피코 셀의 수율 합 증가는 큰 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 이중망 환경에서 소형 셀로의 안테나 이득을 억제하는 능동 안테나 시스템 기반의 매크로 기지국 3D 섹터 빔을 이용한 효율적인 간섭 제어 방안을 제안하였다. ABS를 이용한 기존 eICIC 기법은 피코 셀의 확장된 영역에 위치한 사용자의 간섭을 억제하여 해당 사용자의 수율을 향상시키지만, 전체 서브프레임 중 ABS 전송 비율만큼 매크로 셀의 수율 합이 감소되었다. 제안된 능동 안테나 시스템 기반의 간섭 제어 방안을 적용하면, 매크로 셀로부터 피코 셀에 미치는 간섭 신호 세기가 감소함에 따라 피코 셀의 용량이 증가되었다. 더불어, 기존 eICIC 기법과 달리, 매크로 기지국에서는 데이터 전송에 모든 서브프레임을 이용하기 때문에 매크로 셀의 용량 감소를 최소화할 수 있었다. LTE-A 기반 시스템 레벨 시뮬레이터를 이용한 모의실험 결과, ABS 비율이 2/8, 4/4인 기존 eICIC 기법과 비교하여, 제안된 기법에 의해 시스템 용량이 약 16.5 %, 35 % 증가됨을 관측하였다.

References

[1] Cisco White paper, *Cisco visual networking index : Global mobile data traffic forecast update, 2010 -2015*, Feb. 2011, available : www.cisco.com, Dec. 2013.

[2] K. I. Pedersen, et al., "Enhanced inter-cell interference coordination in co-channel multi-layer lte-advanced networks," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 10, no. 3, pp. 120-127, Jun. 2013.

[3] A. Damnjanovic, et al., "A survey on 3GPP heterogeneous networks," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 10-21, Jun. 2011.

[4] S.-E. Kim, K.-S. Kim, and E.-K. Hong, "Analysis on Interference Control in Heterogeneous Networks," *J. KICS*, vol. 38A,

no. 3, pp. 268-276, Mar. 2013.

[5] J. H. Han, "Array antenna trm failure compensation algorithm and design of digital beam forming system," M.S. Thesis, Electrical Engineering, KAIST, 2011.

[6] 3GPP TS 36.423 v10.0.0., *E-UTRAN : X2 application protocol*, Dec. 2010.

[7] 3GPP TR 37.840 v1.0.0., *Study of AAS Base Station*, December 2012.

[8] 3GPP TR 36.814 v9.0.0., *E-UTRA : Further Advancements for E-UTRA Physical layer aspects*, March 2010.

김 병 준 (Byoung-June Kim)



2012년 8월 : 인하대학교 정보통신공학과 학사졸업
 2014년 8월 : 인하대학교 정보통신공학과 석사졸업
 2014년 8월~현재 : LG전자 연구원
 <관심분야> 이동통신, eICIC

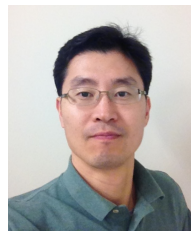
박 해 성 (Haesung Park)



2005년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 박사졸업
 2003년 4월~2004년 3월 : University of Illinois at Urbana-Champaign 방문연구원
 2005년 2월~2011년 9월 : 삼성탈레스 책임연구원

2011년 10월~현재 : SK Telecom, 매니저
 <관심분야> 수치해석, 안테나시스템, 전파전파, 5G

김 덕 경 (Duk Kyung Kim)



1999년 2월 : KAIST 전기및전자공학과 박사졸업
 1999년 3월~2000년 2월 : 일본 NTT DoCoMo, Postdoc 연구원
 2000년 3월~2002년 2월 : SK Telecom, 선임연구원

2002년 3월~현재 : 인하대학교 정보통신공학과 교수
 <관심분야> LTE/LTE-A, 5G, RRM, HetNet, AAS