DBpia

원격송신국을 활용하는 이종 네트워크 시스템의 성능 개선 방안

준회원 유 형 길*, 정회원 성 원 진*

A Performance Enhancement Scheme for Heterogeneous Network Systems Utilizing Remote Radio Heads

Hyung-gil Yoo* *Associate Member*, Wonjin Sung* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 원격송신국을 활용하는 이종 네트워크 시스템 (HetNet, heterogeneous network)에서 다수의 전송 노드가 협력적으로 신호를 전송하여 셀 경계에 위치한 사용자의 성능 개선을 위한 방법을 제안한다. 이를 위해 셀 경계지역의 특정 위치에 원격송신국을 배치하며, 기지국과 셀 경계 원격송신국 간의 동작 빈도를 조정함으로써 효율적인 동작 방식을 제안한다. 특히 제안방식에서는 LTE-Advanced (Long Term Evolution - Advanced) 표준 회의에서 논의되고 있는 CoMP (coordinated multi-point transmission and reception) 시나리오에서의 시스템 모델 파라미터를 사용한 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하여 실험 결과의 신뢰성을 높였다. 또한 기존의 방식과의 비교를 통해 셀 경계지역에 원격송신국을 위치시킴으로 특히 평균 전송률 측면의 하위 사용자 성능을 향상시키는 효과가 있음을 보임으로써 사용자 간의 공평성 문제를 개선할 수 있는 방식임을 입증한다.

Key Words : Heterogeneous Network, CoMP, LTE-Advanced, RRH

ABSTRACT

In this paper, we propose a method to improve cell edge users' performance in HetNet (heterogeneous network) systems by cooperatively transmitting signals using remote radio heads (RRHs) located near coverage boundaries, referred to as edge RRHs. The proposed method locates the edge RRHs in specific locations of the cell boundary and provides an efficient operational strategy by adjusting the duty cycle of the edge RRHs and base stations. The effectiveness of the method is demonstrated by experimental performance based on the system model parameters of the CoMP (coordinated multi-point transmission and reception) scenario, which is discussed in LTE-Advanced (Long Term Evolution - Advanced) standard contributions. When compared with conventional methods, utilization of edge RRHs is especially advantageous for the performance improvement of lower percentile users in terms of average throughput and effectively improves the fairness among users.

※ 본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호 2011-0016146).
* 서강대학교 전자공학과 디지털전송연구실 (wsung@sogang.ac.kr)
논문번호 : #KICS2011-09-399, 접수일자 : 2011년 9월 16일, 최종논문접수일자 : 2012년 1월 10일

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

최근 이동통신 시스템은 폭증하는 데이터 트래픽을 감당하기 위한 방안으로 핫스팟 지역에 다양한 전송 노드들을 활용하여 네트워크의 용량 증대 및 주파수 효율성을 증대시키고자 노력하고 있다. 이러한 다양한 전송 노드에는 전통적인 기지국을 비롯하여 저전력의 Pico, Femto, Relay 등이 있으며, 또한 원격송신국 (RRH, remote radio head)과 같이 통신제어 부분과 라디오 유닛이 분리된 형태의 소형 기지국이 있다. 이러한 다양한 특징을 갖는 원격송신국들이 혼재하는 시스템을 이종 네트워크 시스템 (HetNet, heterogeneous network)이라고 한다[1]. 그러나 실제적으로는 HetNet을 사용함으로써 얻을 수 있는 셀 분할 효과는 다수의 전송 노드로부터의 간섭에 의해 그 이득이 제한되고 있다[2]. 따라서 간섭으로 인한 문제점을 효과적으로 해결하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 이와 관련하여 현재 3GPP 표준화 그룹에서는 4세대 이동통신 기술 후보 중 하나인 LTE-Advanced (Long Term Evolution - Advanced)에서 새롭게 적용될 핵심 후보 기술 중 CoMP (Coordinated Multi-Point transmission and reception)에 관한 연구가 활발히 진행 중에 있다[3].이러한 다중 셀 내 기지국 간 협력적 신호 전송 기술은 이동통신 셀룰러 이동통신 성능에 가장 큰 열화요인으로 작용하는 셀 간 간섭을 가장 효과적이고 적극적으로 완화할 수 있는 방법 중 하나이다. 동일한 주파수 또는 시간 자원을 활용하여 협력적으로 신호를 전송 하는 다중 셀 내 기지국 커버리지의 집합을 협력 전송 영역으로 정의할 때, 동일 협력 전송 영역 내 협력적으로 신호를 전송 받는 단말의 개수에 따라 단일 사용자를 위한 협력적 전송과 다중 사용자를 위한 협력적 전송으로 분류가 가능하다. 단일 사용자를 위한 협력적 전송은 해당 사용자의 신호 품질을 최대화할 수 있는 장점이 있지만, 다수 개의 기지국 안테나를 활용한 공간 다중화 이득이 줄어드는 단점이 있다. 이에 반하여 다중 사용자를 위한 협력적 전송은 사용자 간 간섭 (IUI, inter-user interference)이 발생할 수 있다는 단점이 있으나, 이를 효과적으로 잘 완화시킬 경우 높은 주파수 효율을 얻을 수 있다는 장점이 있다.

동일 협력 전송 영역 내에서 다중 사용자를 위한 협력적 전송 시 사용자 간 간섭을 줄이기 위한 방안으로는 협력 전송 영역 내 다중 안테나를 활용하여

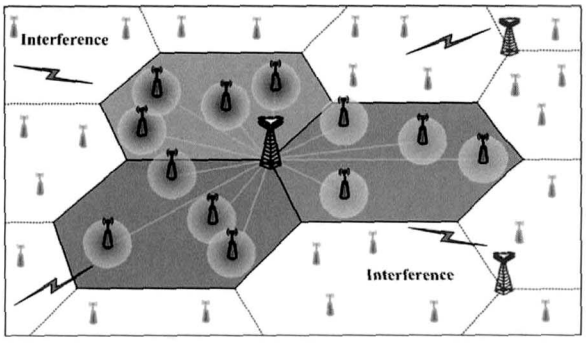


그림 1. 셀룰러 시스템 모델

최소평균 자승오차 (MMSE, minimum mean squared error) 또는 영점 강제 다중 (ZF, zero-forcing) 빔포밍을 수행하는 방법이 있다. 이러한 빔포밍 방식과 함께 협력 전송 영역 내 사용자들의 채널상태 정보 (CSI, channel state information) 정보에 기반하여 사용자들이 서로에게 미치는 간섭의 영향을 고려하여 각 사용자에게 할당되는 전력을 다르게 분배하는 전력제어 방식을 사용할 수 있다. 또한 빔포밍 방식과 전력제어 방식을 결합하여 사용자 간 간섭을 줄이면서도 주파수 효율을 높이기 위한 송신 신호 전처리 과정을 수행하는 방식을 프리코딩 기법이라 명명하며, 이에 관련한 활발한 연구가 진행 중이다[4][5].

본 논문에서는 원격송신국을 활용하는 협력 전송 시스템에서 셀 경계에 위치한 사용자의 성능 개선을 위한 추가적인 셀 경계 원격송신국을 배치 및 활용하는 방식을 제안한다. 이를 위해 LTE-A의 시뮬레이션 파라미터를 사용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 원격송신국의 사용 유무에 따른 성능 이득 및 동작 빈도 별 평균 전송률의 누적 분포 함수 (CDF, cumulative distribution function)를 비교하여 분석한다.

이하의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서 시스템 모델과 신호 모델을 정의하며, Ⅲ장에서는 셀 경계 원격송신국을 도입해야 하는 이유 및 동작 방식을 제안하며, Ⅳ장에서 셀 경계 원격송신국 활용에 따른 성능 평가를 통해 제안된 방식의 성능 이득을 비교 및 분석하며, 마지막으로 Ⅴ장에서는 결론을 맺는다.

Ⅱ. 신호 및 시스템 모델

고려하는 원격송신국을 사용하는 HetNet 시스템은 다수 개의 셀들로 구성되어 있으며, 각 셀 중심에는 신호 전송을 담당하는 기지국이 위치하며, 각

www.dbpia.co.kr

각의 기지국은 세 개의 섹터를 관장하는 형태를 갖는다. 섹터 내의 핫스팟 지역 내 다수의 사용자들을 서비스하기 위하여 지연시간이 짧으며 무한의 대역폭을 가진 이상적인 광섬유로 연결된 원격송신국을 배치한다. 그림 1에서는 하나의 기지국이 서비스하는 3개의 섹터가 존재하는 시스템을 예시하고 있다. 각 섹터 내 임의의 위치에 N-1개의 핫스팟이 존재하며, 그 핫스팟을 관장하기위한 최적의 위치에 원격송신국이 위치하게 된다. 또한, 기지국의 경우 셀 전체를 커버하기 위하여 원격송신국에 비해 상대적으로 큰 송신전력을 갖는 방향성 안테나를 사용하는 반면, 원격송신국의 경우 제한된 핫스팟 내 사용자들을 위한 저전력의 수평 빔패턴을 갖는 전방향성 안테나를 갖는 점이 특징이다.

각각의 섹터 영역 내에는 K명의 사용자가 무작위로 분포하고 있으며, 이들은 $K_p^{\mathrm{hot-spot}}$의 확률로 N-1개의 원격송신국이 관장하는 핫스팟 지역에 분포하며, 섹터 내 기지국과 N-1개의 원격송신국이 관장하는 영역을 협력 전송 영역이라 한다. 즉, 협력 전송 영역 내의 N개의 전송 노드들이 기간망을 통해 실시간으로 궤환 신호를 주고받으며 협력적으로 섹터 내 사용자들에 대한 스케쥴링 및 전송을 수행하게 된다. 이러한 협력 전송 노드들을 집합 C라 하며, i번째 노드의 안테나 수를 M_i, 전송전력을 P_i라 한다면, 하나의 안테나를 가진 k번째 사용자의 수신 전력을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_k = \sum_{i\in C}\sqrt{P_i s_{k,i}}\,\mathbf{h}_{k,i}^H \mathbf{x}_i + \sum_{j\notin C}\mathbf{h}_{k,j}^H \mathbf{x}_j + z_k \qquad (1)$$

여기서 $s_{k,i}$는 경로감쇄, 쉐도잉, 안테나 빔패턴을 포함하는 평균 CSI를 나타내며, $\mathbf{h}_{k,i}$는 레일라이 페이딩에 따른 $M_i\times 1$ 복소 채널 벡터를, $\mathbf{x}_i$는 i번째 노드로부터의 송신 신호를 의미하며, k번째 사용자가 받는 외부 셀의 협력 전송 영역으로부터 오는 간섭 신호와 열잡음 신호를 z_k로 정의한다.

협력 전송노드 집합 C는 동시에 신호를 전송할 다수의 사용자 집합 S_C를 결합적으로 선택하여 프리코딩 행렬을 생성하며, 프리코딩 및 전력제어, 전송 심볼을 수식 (2)와 같은 전송 신호 벡터로 표현할 수 있다.

$$\mathbf{x}_C = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{C(1)} \\ \mathbf{x}_{C(2)} \\ \vdots \\ \mathbf{x}_{C(|C|)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{k\in S_C}\mathbf{w}_{k,C(1)}\sqrt{p_k}\,d_k \\ \sum_{k\in S_C}\mathbf{w}_{k,C(2)}\sqrt{p_k}\,d_k \\ \vdots \\ \sum_{k\in S_C}\mathbf{w}_{k,C(|C|)}\sqrt{p_k}\,d_k \end{bmatrix} \qquad (2)$$

수식 (2)에서 $\mathbf{W}_{S_C,C} = [\mathbf{w}_{i,j}]_{i\in S_C, j\in C}$는 빔포밍 행렬을, $\mathbf{Q}_{S_C} = \mathrm{diag}\left(\sqrt{p_i}\right)_{i\in S_C}$는 전력 제어를 위한 대각행렬, 그리고 벡터 $\mathbf{d}_{S_C} = [d_i]_{i\in S_C}$는 전송 심볼을 나타내며, 협력 전송 노드 집합 C로부터 전송받는 k번째 사용자의 신호 대 간섭 및 잡음비는 다음과 같은 형태로 표현할 수 있으며,

$$\gamma_k = \frac{p_k\left|\sum_{i\in C}\sqrt{P_i s_{k,i}}\,\mathbf{h}_{k,i}^H \mathbf{w}_{k,i}\right|^2}{I_{k,\mathrm{in}} + I_{k,\mathrm{out}} + \sigma_k^2} \qquad (3)$$

사용자 간 간섭 $I_{k,\mathrm{in}}$은

$$I_{k,\mathrm{in}} = \sum_{m\in S_C} p_m\left|\sqrt{P_i s_{k,i}}\,\mathbf{h}_{k,i}^H \mathbf{w}_{m,i}\right|^2 \qquad (4)$$

으로 나타낼 수 있다. 수식 (3)의 동일 셀 내 다른 섹터의 협력 전송 노드로부터 오는 간섭 $I_{k,\mathrm{out}}$은 수식 (5)과 같이 나타낼 수 있으며, $\sigma^2{}_k$는 z_k의 평균 전력을 의미한다.

$$I_{k,\mathrm{out}} = E\left|\sum_{j\notin C}\sqrt{P_i s_{k,j}}\,\mathbf{h}_{k,j}^H \mathbf{x}_j\right|^2 \qquad (5)$$

협력 전송 노드 집합 C와 선택된 사용자 집합 Sc간의 채널 행렬 $\mathbf{H}_{S_C,C} = \left[\sqrt{P_i s_{i,j}}\,\mathbf{h}_{i,j}^H\right]_{i\in S_C,\, j\in C}$의 의사역행렬 형태의 영점 강제 다중 빔포밍을 사용함으로써 사용자 간 간섭 $I_{k,\mathrm{in}}$은 제거할 수 있으며, 이때의 빔포밍 행렬은 다음과 같다.

$$\mathbf{W}_{S_C,C} = \mathbf{H}_{S_C,C}^H\left(\mathbf{H}_{S_C,C}\,\mathbf{H}_{S_C,C}^H\right)^{-1} \qquad (6)$$

노드 별 전력 제한 조건을 사용하는 i번째 노드의 송신 전력 Pi는 다음과 같이 가중합 전송률을 최대화 하는 조건을 만족하는 형태로 구할 수 있으며, 수식 (7)에 의하면 프리코딩 행렬 내 모든 열벡터는 모든 $i\in S_C$에 대해 $\|g_i\|^2 = q^{-1}$와 같이 동일한 norm값을 갖는 것이 특징이다[6].

www.dbpia.co.kr

$$p_k = \frac{1}{q\sum_{i\in C}\| \mathrm{w}_{k,i} \|^2} \tag{7}$$

여기서 q는 다음 수식으로 나타낸다.

$$q = \max_{i\in C}\left(\sum_{k\in S_C}\frac{\| \mathrm{w}_{k,i} \|^2}{\sum_{j\in C}\| \mathrm{w}_{k,j} \|^2}\right) \tag{8}$$

협력 전송 영역 내에 존재하는 사용자들을 대상으로 비례적 공정 (PF, proportional fair) 기반의 가중합 전송률 최대화 순차적 사용자 선택방식을 적용한다. 이는 k번째 단말의 가중치는 업데이트 된 사용자 별 평균 전송률의 역수를 가중치로 활용하며, 순간 전송률에 사용자 별 가중치를 포함하여 동시에 서비스를 제공받을 사용자의 가중합 전송률을 최대로 할 수 있는 사용자를 순차적으로 선택해가는 방식이다[7].

스케줄링의 경우 동시에 서비스를 받을 다중 사용자 인덱스 집합을 S_1라 정의하면, 첫 번째 사용자 선택의 경우 앞서 선택된 단말이 없으므로 $S_1=\{\emptyset\}$, 선택되지 않은 사용자 집합 $S_2=\{1,\cdots,K\}$로, 그리고 i=1 으로 초기화하며, 첫 번째 사용자의 스케줄링의 경우 셀 내 사용자 간 간섭에 의한 영향을 고려하지 않기 때문에 단일 사용자를 위한 가중 전송률만을 고려하여 아래 수식 (9)과 같이 선택하고, 수식 (10)과 같이 업데이트한다.

$$S_1(i) = \underset{k\in S_2}{\operatorname{argmax}}\, w_k \log_2(1+\gamma_k)|_{S_C=\{k\}} \tag{9}$$

$$\begin{aligned} S_2 &\leftarrow \{S_2 \setminus S_1\} \\ i &\leftarrow i+1 \\ t_i &= w_k \log_2(1+\gamma_k)|_{S_C=S1} \end{aligned} \tag{10}$$

$i \geq 2$번째부터 기 선택되어 스케줄링 집합 S_1내에 포함된 사용자 단말로부터 주고받는 사용자 간 간섭의 영향을 고려하여 스케줄링을 수행하게 되며, 이미 선택된 사용자들과 i번째 사용자 후보와의 가중합 전송률을 고려한 선택은 다음과 같다.

$$S_1(i) = \underset{k\in S_2}{\operatorname{argmax}} \sum_{j\in S_C} w_j \log_2(1+\gamma_j)|_{S_C=\{S_1,k\}} \tag{11}$$

마찬가지로 수식 (10)에서와 같이 스케줄링 집합 업데이트를 실시하며, 두 부등식 $t_i \geq t_{i-1}$와 $i \leq K$를 만족할 때까지 수식 (11)과 수식 (10)을 반복하여 실시한다.

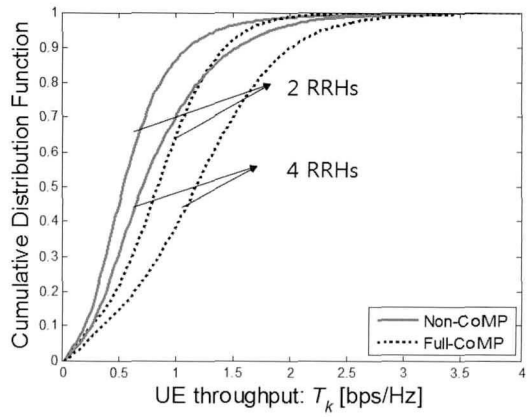


그림 2. 원격송신국 개수에 따른 사용자 별 전송률 누적 분포함수

Ⅲ. 셀 경계 원격송신국 도입 및 동작 방식 제안

원격송신국을 사용한 시스템에서 섹터 내 모든 전송노드들이 협력 전송을 실시하는 Full-CoMP 방식에서 영점 강제 다중 빔포밍을 사용한 경우 k번째 사용자의 신호 대 간섭 및 잡음비는 와 같이

$$\gamma_k = \frac{p_k\left|\sum_{i\in C}\sqrt{P_i}s_{k,i}\mathrm{h}_{k,i}^H \mathrm{w}_{k,i}\right|^2}{\sigma_k^2} \tag{12}$$

전송노드 집합 C를 제외한 외부 노드로부터의 간섭 및 열잡음이 더해진 σ_k^2 부분을 제외한 나머지 간섭 부분이 0이 되어 수식 (12)와 같이 간략하게 사용할 수 있다. 우선, 이러한 원격송신국을 이용한 시스템을 시뮬레이션을 통해 협력 전송을 사용하지 않는 Non-CoMP 방식과의 비교를 통해 HetNet에서의 협력 전송 방식이 갖는 이득을 살펴보며, 원격전송단의 개수에 따른 사용자 별 평균 전송률의 누적 분포함수는 그림 2에 나타내었으며, 살펴본 결과 중위 성능을 갖는 사용자의 경우 섹터 내 모든 전송노드가 협력 전송을 사용하였을 때, 원격송신국의 개수가 2개에서 4개로 늘어남에 따라 평균 사용자 전송률의 경우 Non-CoMP 전송 시, 0.63bps/Hz에서 0.81bps/Hz로 약 28.6%의 성능 이득이 발생하였으며, 하위 5% 미만의 평균 전송률을 갖는 사용자의 경우 0.12bps/Hz에서 0.15bps/Hz로 약 25.0%의 성능 이득이 발생하였다. 이는 평균 사용자 전송률 측면에서는 성능 이득이 존재하지만, 성능이 낮은 하위 5% 미만의 평균 전송률을 갖는 사용자는 2배로 늘어난 원격송신국의 개수를 감안할 때 그 이득이 제한적이라 할 수 있다. 이는 핫스팟 지역에

www.dbpia.co.kr

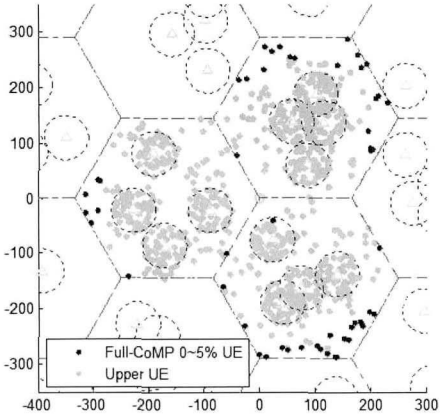
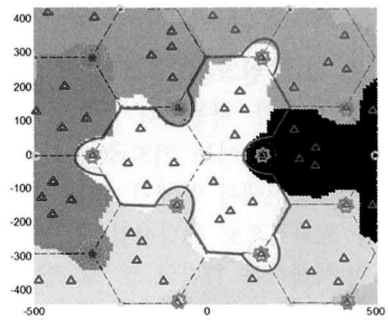


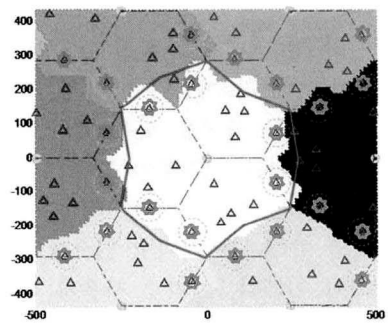
그림 3. 원격송신국 사용에 따른 하위 5% 미만의 평균 전송률 (0.19bps/Hz 미만)을 갖는 사용자 분포

원격송신국을 다수 배치하는 것으로 협력 전송 영역 내의 사용자 전송률의 평균 성능은 높일 수 있지만, 경계 지역에 위치하는 사용자의 경우 전송 노드로부터 충분한 크기의 신호 전력을 받지 못하며, 간섭으로 작용하는 인접 셀 기지국 및 원격송신국으로 부터의 강한 간섭 신호가 추가되기 때문에 성능 개선에는 한계가 있음을 알 수 있으며, 이러한 성능이 낮은 하위 5% 미만의 평균 전송률을 갖는 사용자들이 셀 내 어느 위치에 나타날 것인지를 그림 3과 같이 표시해 봄으로써 셀 경계 지역에 위치한 사용자들이 원격송신국으로부터 별다른 혜택을 받지 못한다는 것을 알 수 있으며, 하위 성능을 갖는 사용자의 성능을 개선시키기 위해서는 새로운 방법의 해결 방안이 필요함을 알 수 있다.

따라서, 그림 3에서 표시된 하위 성능을 갖는 사용자의 성능 개선을 위해서 기존의 원격송신국의 설치만으로는 해결할 수 없기 때문에 셀 경계지역을 관장하는 추가적인 원격송신국의 배치를 제안한다. 셀 경계지역에 위치하는 원격송신국의 경우 핫스팟 지역과 같은 사용자가 밀집된 지역에 설치되는 형태가 아니기 때문에 효율적인 운용을 위해 지리적으로 균등하게 배치하는 방식을 사용한다. 또한 추가되는 셀 경계 원격송신국이 서비스 하는 대상인 셀 경계에 위치한 사용자의 수가 많지 않기 때문에 항상 작동시키기 보다는 시간상 부분적으로 사용을 함으로써 셀 경계 원격송신국으로부터 서비스 받지 않는 사용자들에 대한 간섭량을 줄일 수 있다. 따라서 셀 경계 원격송신국의 커버리지 내에 있는 사용자는 해당 원격송신국이 on-state일 때만 서비스를 받을 수 있게 되며, off-state일 때는 셀 내부의 원격송신국 및 기지국에서 전송효율이 높은 셀 내부의 사용자들에게만 집중적으로 서비스를 제공하게 된다. 이를 위해 몇 가지 요구사항이 있는데, 우선 특정 사용자가 셀 경계 원격송신국 커버리지에 있는지, 셀 내의 원격송신국 혹은 기지국 커버리지에 있는지 구별할 수 있는 방식이 필요하며, 셀 경계 원격송신국이 off-state인 경우 다른 전송노드로의 핸드오버하지 않고 다음 on-state가 올 때까지 대기해야 한다.



(a) 섹터 당 1개의 원격송신국을 사용한 경우



(b) 섹터 당 2개의 원격송신국을 사용한 경우

그림 4. 셀 경계 원격송신국 사용으로 인한 셀 커버리지 변화 양상

고려하는 셀 경계 원격송신국은 섹터 당 1개 또는 2개씩 주위 셀과의 관계를 고려하여 균등한 형태로 배치한 경우 셀 커버리지의 변화 양상은 그림 4와 같으며, 섹터 당 1개씩 배치하는 경우 그림 4-(a)와 같이 기지국과 가장 거리가 먼 섹터의 모서리 부분에 원격송신국을 배치하였으며, 섹터 당 2개씩 배치하는 경우 각각의 기지국의 섹터 안테나로부터의 빔의 가장자리 부분의 경계면 가운데에 하나씩 위치시키며, 이때의 커버리지 변화는 그림 4-(b)에 나타내고 있다. 셀 경계 원격송신국의 개수가 달라지면 셀 커버리지의 영역 형태가 변화하며 이와 같은 현상으로 인해 하위 사용자 수율 개선이 이루어지게 된다. 단, 모든 섹터에서 원격송신국이 균등하게 배치되므로 셀 커버리지 면적 자체는 변화하지 않는다.

www.dbpia.co.kr

Ⅳ. 셀 경계 원격송신국 활용에 따른 성능 평가

제안된 셀 경계 원격송신국의 배치에 의하여 셀 경계 지역에 위치한 사용자의 성능을 효율적으로 향상시킬 수 있으며, 이는 기지국만 사용하는 종래의 셀룰러 이동통신에서 문제가 됐던 셀 경계 사용자의 성능을 효과적으로 개선시킬 수 있다. 뿐만 아니라 제안 방식에서는 기지국 및 셀 경계 원격송신국의 동작 빈도를 조절함으로써 셀 경계 영역에서 크게 발생하는 셀 간 간섭에 의한 성능 감소를 방지할 수 있다.

제안 방식의 성능 평가를 위해 다음과 같은 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다. 시스템 모델은 19개의 셀로 이루어지는 환경을 사용하였으며, 각 셀에서는 방향성 안테나를 고려하여 각각 3개의 섹터로 분할되어 운영되며, 또한 시스템 내 기지국의 경우 섹터 당 4개의 안테나를 가지고 있으며, 원격송신국의 경우 2개의 안테나, 그리고 사용자 단말의 경우 단일 안테나를 가지는 환경을 고려하며, 기지국 안테나의 최대 출력은 46dBm, 원격송신국의 경우 30dBm을 넘지 않도록 전송 노드 별 전력 제한 조건을 사용하였으며, 빔포밍 행렬 **W**는 영점 강제 다중 빔포밍을 적용하여 협력 전송 내의 사용자 사이에 사용자 간 간섭이 발생하지 않게 하였다. 실험을 위해 각 셀 당 30명의 사용자를 발생시켰으며 (K=30), 핫스팟 지역 내에 사용자가 발생될 확률인 $K_p^{\mathrm{hot-spot}}$은 2/3으로 가정한다[8]. 데이터의 신뢰도를 향상시키기 위하여 각 단말 당 100회씩 셀 내 균일하게 분포하는 과정을 수행하였으며, 고정된 단말 위치에 대하여 100회의 time-frame을 진행하였다. 각각의 time-frame내에서는 채널 값이 고정되며, 서로 다른 time-frame 간에는 채널 값이 독립적으로 변화한다.

그림 4-(b)에서와 같이 섹터 당 2개씩 경계지역에 원격송신국을 배치한 후 30%의 동작 빈도 (a=0.3)로 원격송신국을 운용하였을 경우의 누적 분포 함수 성능 분포를 그림 5에 나타내었다.

핫스팟 지역에는 동일한 위치에 원격송신국이 존재하며, 경계지역에 새롭게 추가한 원격송신국의 영향으로 하위 성능의 사용자의 평균 전송률의 증가폭이 매우 큼을 알 수 있으며, 하위 5%, 50%, 평균 사용자 전송률을 비교하여 표 1에 정리하였다. 경계지역에 원격송신국을 배치시킴으로써 특히 하위 5% 성능의 사용자의 경우 원격송신국이 없을 경우

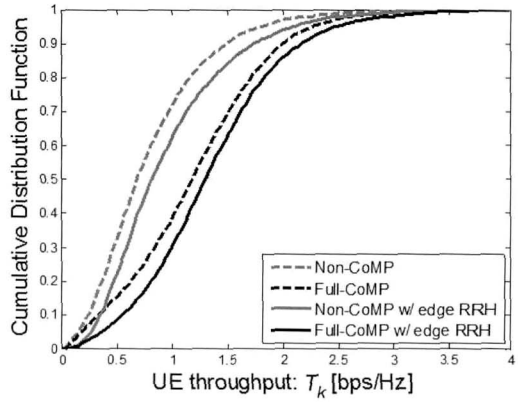


그림 5. 셀 경계 원격송신국의 사용에 따른 평균 사용자 전송률 누적 분포함수

표 1. 방식 별 평균 사용자 전송률(T_k)의 하위 5%, 50%, 평균 비교 (K=30)

T_k	Full-CoMP w/o 셀 경계 원격송신국	Full-CoMP w/ 셀 경계 원격송신국
5 %	0.19(100%)	**0.36(192.2 %)**
50 %	1.18(100%)	1.30(110.0%)
Avg.	1.21(100%)	1.36(112.5%)

대비 192.2%의 성능 이득을 가져왔으며, 또한 기존의 셀 경계 원격송신국이 없는 경우인 그림 3에서 적용한 하위 5% 전송률 (0.19bps/Hz)을 기준으로 하였을 경우 그림 6에서와 같이 경계지역의 원격송신국의 배치로 인해 기존의 원격송신국이 없었을 때에 비해 상당수의 하위 성능의 사용자가 감소하였다.

경계지역을 위한 원격송신국의 동작 빈도 a를 0에서 1로 변화시켜 감에 따른 하위 5% 사용자의 평균 전송률을 그림 7에 나타내었다. a=0이라 함은 경계지역 원격송신국을 배치하되 동작하지 않는 경우를 뜻하며, 이 경우 경계지역 원격송신국으로부터 서비스 받는 사용자의 경우 전송을 받지 못하게 되며, 마찬가지로 a=1인 경우 경계지역 원격송신국을 항상 동작시킴으로 인하여 기지국을 끄게 되므로, 기지국을 서빙 노드로 하는 사용자의 경우 전송을 받지 못하는 형태이다. 위 두 극단적인 운용방식을 제외하고는 대부분 경계지역 원격송신국이 없는 경우에 비해 하위 5%사용자의 성능이 크게 향상됨을 확인할 수 있으며, 특히 0.3에서 0.5 사이의 빈도를 갖는 경우 가장 높은 성능 이득을 보임을 알 수 있다.

www.dbpia.co.kr

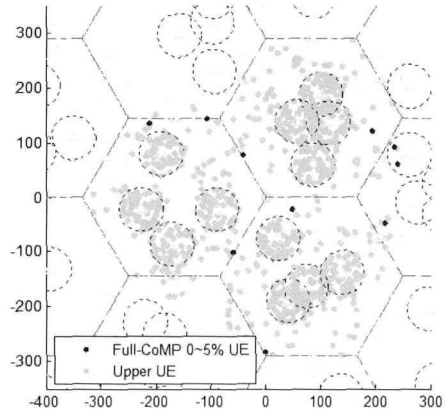


그림 6. 셀 경계 원격송신국 사용에 따른 하위 5% 미만 (0.19bps/Hz 미만)의 평균전송률을 갖는 사용자 분포

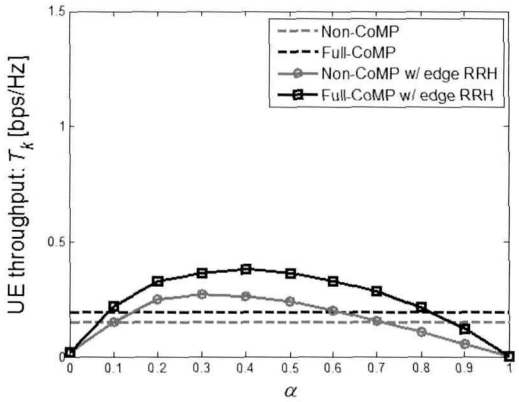


그림 7. 셀 경계 원격송신국의 동작 빈도에 따른 평균 사용자 전송률

V. 결 론

본 논문에서는 이동통신 시스템에서 셀 경계에 위치하는 사용자의 성능 향상을 위해 셀 경계지역에 추가적인 원격송신국을 배치하여 기존의 전송 노드들과의 협력 전송을 통해 하위 전송률을 갖는 사용자의 평균 전송률 측면에서 획기적으로 향상시킬 수 있으며, 추가적인 원격송신국으로부터 발생하는 간섭을 완화할 수 있는 효율적인 동작 빈도를 제안하였다. 제안하는 방식은 현재 활발히 표준화 작업이 진행 중인 기지국 간 협력 전송을 사용하는 차세대 이동통신 시스템인 LTE-A에서 논의되는 다수의 이종 네트워크 간의 협력 전송에 관련된 CoMP 시나리오 3, 4에 적용하여 핫스팟 지역에 원격송신국을 설치함으로써 셀 분할 효과를 통해 전송 용량을 증대시키며, 아울러 셀 경계지역의 사용자의 평균 전송률 측면에서의 성능 향상을 통해 사용자 간 공평성을 보장해 줄 수 있다.

참 고 문 헌

[1] A. Damnjanovic, J. Montojo, Y. Wei, T. Ji, T. Luo, M. Vajapeyam, T. Yoo, O. Song, and D. Malladi, "A survey on 3GPP heterogeneous network," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 10-21, June 2011.

[2] R. Madan, J. Borran, A. Sampath, N. Bhushan, A. Khanderkar, and T. Ji, "Cell association and interference coordination in heterogeneous LTE-A cellular networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 28, no. 9, pp. 1479-1489, Dec. 2010.

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

[4] M. Kobayashi and G. Caire, "Joint beamforming and scheduling for a multi-antenna downlink with imperfect transmitter channel knowledge," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 25, no. 7, pp. 1468-1477, Sep. 2007.

[5] M. Kobayashi and G. Caire, "An iterative algorithm for maximum weighted sum-rate of Gaussian MIMO-BC," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 24, no. 8, pp. 1640-1646, Aug. 2006.

[6] S. Zhou and Z. Niu, "Distributed adaptation of quantized feedback for downlink network MIMO systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 10, no. 1, pp. 61-67 Jan. 2011.

[7] T. Yoo and A. Goldsmith, "On the optimality of multiantenna broadcast scheduling using zero-forcing beamforming," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 24, no. 3, pp. 528-541, Mar. 2006.

[8] 3GPP, TR 36.819, "Coordinated Multi-Point Operation for LTE Physical Layer Aspects," May 2011.

www.dbpia.co.kr

유 형 길 (Hyung-gil Yoo) 준회원

2010년 2월 서강대학교 전자공학과 학사
2010년 2월~현재 서강대학교 전자공학과 석사과정
<관심분야> CoMP, HetNet, LTE-Advanced

성 원 진 (Wonjin Sung) 정회원

1990년 2월 서울대학교 전자공학과 학사
1992년 5월 University of Michigan EECS 석사
1995년 12월 University of Michigan EECS 박사
1996년 1월~2000년 8월 Hughes Network Systems 책임연구원
2000년 9월~현재 서강대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 이동무선통신, MIMO

www.dbpia.co.kr