

이기종 셀룰러 네트워크에서의 분산 자기 구성 셀 접속 기법

이형열*, 이진녕*, 박진배*,
고병훈*, 김광순^o

Distributed Self-Organized Cell Association for Heterogeneous Cellular Networks

Hyung Yeol Lee*, Jinnyeong Lee*,
Jin Bae Park*, Byung Hoon Ko*,
Kwang Soon Kim^o

요약

각 기지국이 공통된 자기구성 전략을 사용하고 자신의 상황 고려하여 자신의 셀 접속 방식을 정하는 분산 자기 구성 셀 접속 기법을 제안하고 복잡도가 높은 중앙 집중 집합 접속 방식과의 성능저하 없이 복잡도를 매우 낮출 수 있음을 보였다.

Key Words : Cell Association, MME,
Heterogeneous Cellular Network

ABSTRACT

In this letter, a distributed self-organized cell association scheme is proposed for heterogeneous cellular networks. In which each small cell uses a common self-organization strategy and takes its environment into account to establish its own cell association scheme. It is confirmed that the proposed cell association improves the user throughput and areal spectral efficiency compared to joint association.

I. 서론

이기종 셀룰러 네트워크(heterogeneous cellular network)에서는 사용자의 서비스 품질(quality of service)이 기지국의 로드 에 따라 많이 달라지며, 이를 해결하기 위해 최근의 연구는 소형 셀 기지국에 특정 편향(bias)값을 적용하여 소형 셀의 영역을 확장하는 방법으로 계층 간(inter-tier) 로드 문제를 해결하는 셀 영역 확장 기법을 중심으로 연구가 되고 있다[1]. 하지만, 이 방법을 통해서는 매크로 기지국과의 거리가 가까운 소형 셀 기지국은 셀 영역이 상대적으로 작고 가장 가까운 매크로 기지국과의 거리가 먼 소형 셀 기지국은 셀 영역이 상대적으로 큰 계층 내(intra-tier) 로드 밸런싱 문제는 여전히 해결할 수 없다. 이러한 계층 내 로드 밸런싱 문제를 해결하기 위해서는, 직관적으로, 모든 소형셀 기지국들의 커버리지를 비슷하게 해야 한다. 하지만, 이 경우 소형셀 별로 링크의 품질이 달라지게 된다. 이러한 계층 간, 계층 내 로드 밸런싱 문제를 동시에 해결하기 위한 한 방법으로 [2]에서 결합 접속 방식이 제안되었지만 이는 기지국을 관리하는 이동성 관리 장치(mobility management entity, MME)가 모든 셀 접속 문제에 관여하여야 하며, 이를 실제 시스템에 활용하기 위해서는 SON 기능이 MME 뿐 만 아니라 모든 기지국과 사용자들에 추가되어야 하고 이는 기존 단말을 쓸 수 없는 큰 문제가 발생한다. 따라서, 실제 시스템에서의 자기 구성 이기종 셀룰러 네트워크에서의 로드 밸런싱은 중앙에서의 MME가 모든 전략을 관장하는 방법이 아닌 각 기지국이 특정 셀 접속 전략을 통해서 기지국 상황에 맞는 전략으로 동작하면서도, 기존 단말로 활용이 가능한 분산 자기 구성 셀 접속 기법(distributed self-organized cell association)이 필요하다.

II. 분산 자기구성 기법

본 논문에서는 매크로 기지국과 소형셀 기지국이 공존하는 자기 구성 이기종 셀룰러 네트워크(self-organized heterogeneous cellular network) 시스템을 고려하였다. 이 때, 매크로 기지국과 소형셀 기지국의 전력은 각각 P_m 과 P_s 로 정의되며 사용자의

* 본 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업임 (NRF-2014R1A2A2A01007254)

♦ First Author : Yonsei University Department of Electrical and Electronic Engineering, neolee@dcl.yonsei.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Yonsei University Department of Electrical and Electronic Engineering, ks.kim@yonsei.ac.kr, 종신회원

* Yonsei University Department of Electrical and Electronic Engineering, jnlee@dcl.yonsei.ac.kr

논문번호 : KICS2015-04-116, Received April 7, 2015; Revised May 11, 2015; Accepted May 11, 2015

위치 집합을 X , 매크로 기지국과 소형 셀 기지국의 위치 집합을 각 Y_m 과 Y_s 라고 정의한다($Y = Y_m \cup Y_s$). 그림 1은 자기 구성 이기종 셀룰러 네트워크에서 셀 영역 확장을 통한 로드 밸런싱의 프로토콜을 설명한 것이며 다음과 같다. 1) 각 사용자 $x \in X$ 는 각 이웃 기지국 집합 N_x 에 기준 수신 전력(RSRP) 집합 $\gamma_x = \{\gamma_{x,y} | y \in N_x\}$ 를 보고한다 ($\gamma_{x,y}$ 는 사용자 x 의 기지국 y 로부터의 RSRP). 또한, 각 소형셀 기지국 y 는 $\Gamma_y = \max_{y' \in Y_m} \bar{\gamma}_{y,y'} (\bar{\gamma}_{y,y'}$ 는 소형셀 기지국 y 에서 매크로 기지국 y' 로부터의 평균 SNR값)로 정의되는 매크로 기지국으로부터의 수신 신호 세기 중 가장 큰 RSRP값 Γ_y 를 MME에 보고한다. 2) MME는 보고된 정보를 긴 시간동안 관찰하고 그 것을 바탕으로 셀 영역 확장에 필요한 편향값 결정 규칙이 포함된 공통의 SON 전략 S 를 정한다. 3) 각 소형셀 기지국 y 는 자신의 편향값 κ_y 를 정하고 그 값을 주변 기지국들과 MME를 통해 공유한다. 4) 각 소형셀 기지국은 MME로부터 온 SON 전략 S 를 바탕으로 자신의 편향 값 정보를 정하고 그 값을 방송채널을 통해 전송한다. 그러면, 각 사용자 x 는 기존 방식과 동일하게 셀 별 편향 수신 전력을 비교하여 셀 접속할 기지국을 $y(x) = \arg \max_{y \in N_x} \kappa_y \gamma_{x,y}$ 로 정한다. 이 때, 만약 $y \in Y_m$ 이면 $\kappa_y = 1$ 이다.

계층 간 및 계층 내 로드 밸런싱을 위한 분산 자기 구성 셀접속 기법을 위해서는 먼저 셀 접속의 특성을 살펴보아야 한다. 앞서 말했듯 계층 간 로드 밸런싱을 위해서는 고정 편향값을 모든 소형셀에 적용하면 되지만 계층 내 로드 밸런싱을 위해서는 소형 셀의 위치에 따라 편향값이 달라져야 하며 가장 가까운 매크로 셀과의 거리가 가까울수록 커버리지가 작으므로 편향

값을 크게 적용하는 것이 유리하다. 이에 본 논문에서는 분산 자기 구성 셀 접속 기법의 규칙을 정하기 위해서 먼저 중앙의 제어 장치인 MME는 기지국과 사용자 위치 집합 Y 와 X 를 서로 겹치지 않는 집합 $\{Y_1, \dots, Y_v\}$ 와 $\{X_1, \dots, X_v\}$ 로 분할하고, 각 분할된 네트워크 내의 모든 기지국과 사용자들에 대한 필요 정보 (γ_x, N_x, Γ_x)를 수집한다. 그런 다음 MME는 그 정보들을 이용하여 [2] 등의 결합 접속 최적화 문제를 설정하고, V 개의 네트워크에 대해서 그 답을 구한 후 가장 가까운 매크로셀의 SNR에 따른 소형셀의 커버리지의 평균치를 업데이트한다. 이제 편향값을 가장 가까운 매크로셀의 SNR의 함수 형태로 적절히 정해서 그 함수의 계수를 얻은 데이터로부터 업데이트하여 SON 전략 S 를 얻는다.

분산 자기 구성 셀 접속 기법의 효과를 알아보기 위해서 그림 2와 같은 2계층 이기종 셀룰러 네트워크에서 매크로 기지국 송신 전력 P_m 은 43dBm, 소형셀 기지국 송신 전력 P_s 는 23dBm이고 무선 채널의 감쇄 지수 α 는 4로 가정하였다. 또한, 매크로 기지국 밀도 $\lambda_m = 1BS/(\pi(1.5km)^2)$ 이며 사용자의 밀도는 1개의 매크로셀 기지국당 평균 300명의 사용자가 배치되도록 가정하였고 각 노드들은 포아송 포인트 프로세스(Poisson point process)를 따르게 분산시켰다. 평균적으로 고정 편향값을 이용한 접속방식을 쓰는 경우는 각 소형셀 기지국이 [1]의 고정 편향값을 이용해 사용자 접속을 수행한 후, 각셀에서 라운드 로빈 방식으로 스케줄링하여 각 사용자의 전송량을 얻고, 이를 네트워크 전체에 대해 사용자 전송량의 기하평균을 얻는다. 이와 같은 실험은 다양한 기지국 및 단말 위치에 대해 수행해 얻어 이를 최대화 하는 고정 편향값을 찾은 후, 그 때의 네트워크 전체의 사용자 전송량을

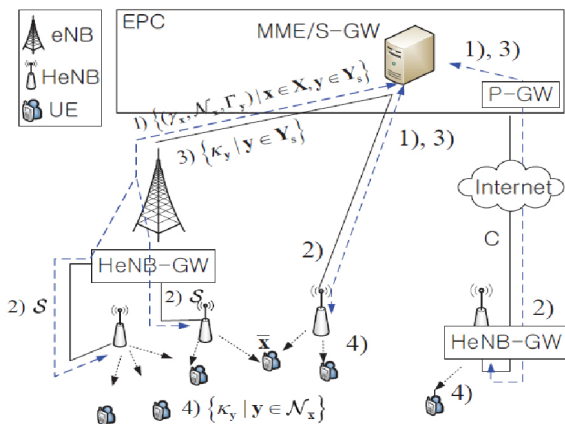


그림 1. 자기 구성 셀 접속 프로토콜
Fig. 1. Self-organized Cell Association Protocol

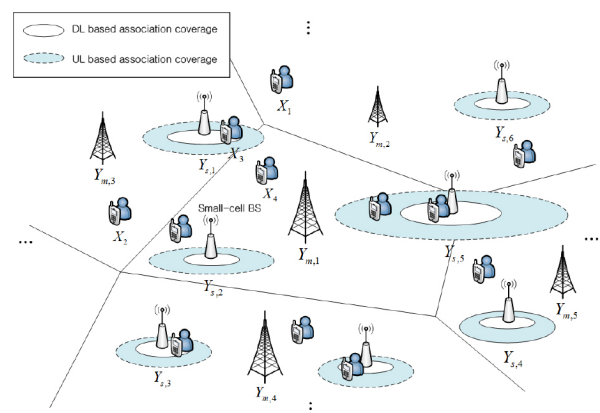


그림 2. 2계층 이기종 셀룰러 네트워크 모형
Fig. 2. A 2-tier Heterogeneous Cellular Network Model

의 기하평균을 얻는다. 결합 접속 방식은 각 기지국 및 단말 위치마다 [2]의 방식을 통해 결합 접속한 후 각 사용자의 평균 전송량을 얻어 네트워크 전체의 사용자 전송량의 기하평균을 얻고, 이를 다양한 기지국 및 단말 위치에 대해 평균한 값을 얻는다. 앞선 두 방식과 달리 본 논문에서 제안하는 방식은 먼저 다양한 기지국 및 단말 위치마다 그림 1의 방법대로 수집한 정보를 통해 네트워크의 비례공평(proportional fairness)을 유틸리티로 할 때의 최적 전략 S를 가장 가까운 매크로셀의 수신 SNR의 함수로 결정한다. 이후, 다양한 기지국 및 단말 위치마다 각 소형셀 별로 얻은 전략 S와 자신의 관측치 즉, 가까운 매크로셀의 SNR을 사용해 각 소형셀 별로 자신의 편향값을 적절하게 정해 분산적으로 사용자 접속을 수행한 후, 각 셀에서 라운드 로빈 방식으로 스케줄하여 각 사용자의 전송량을 얻고, 이를 네트워크 전체에 대해 사용자 전송량의 기하평균을 얻는다. 이와 같은 실험을 다양한 기지국 및 단말 위치에 대해 위에 설명한 것과 같이 수행해 사용자 전송량의 기하평균을 얻는다.

그림 3과 그림 4는 각각 [2]의 결합 접속 방식, [1]의 모든 소형셀의 같은 최적의 고정 편향값을 이용한 접속 방식, 제안한 분산 자기 구성 셀 접속 기법을 사용했을 때의 사용자 당 전송량의 기하평균 값 및 단위 면적당 주파수 효율값을 도시한 그림이다. 실험 결과 상대적으로 복잡도가 낮으면서도 기존 단말을 활용할 수 있는 제안된 분산 자기 구성 셀 접속 기법을 이용하여 복잡도가 높은 [2]의 결합 접속방식의 성능치를 거의 달성할 수 있음을 확인할 수 있다.

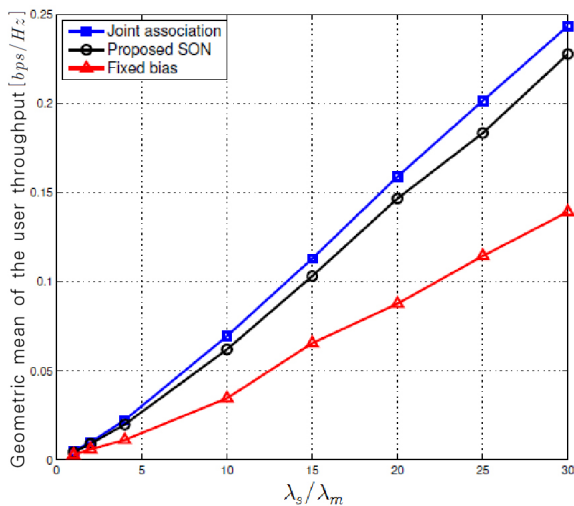


그림 3. 사용자 전송량의 기하 평균 비교
Fig. 3. Comparison on the Geometric Mean of User Throughput

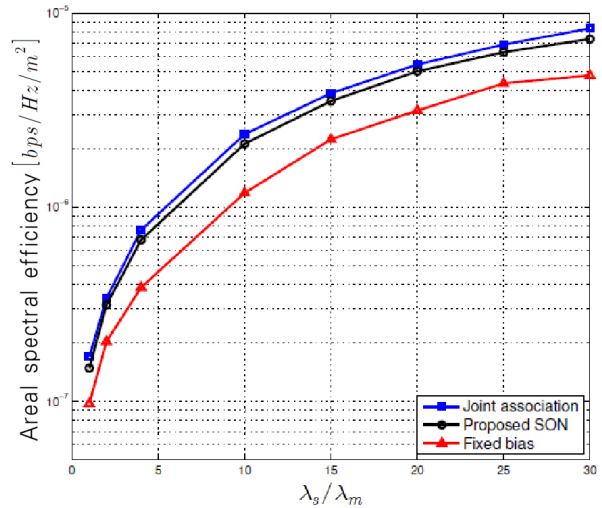


그림 4. 단위 면적당 주파수 효율 비교
Fig. 4. Comparison on the Areal Spectral Efficiency

III. 결론

이 논문에서는 이기종 셀룰러 네트워크에서 복잡도가 낮고 기존 단말을 활용할 수 있으면서도, 결합 접속의 성능을 낼 수 있는 분산 자기 구성 셀 접속기법을 제안하였고, LTE-A 등의 실제 시스템에 적용하여 성능을 개선할 수 있음을 보였다.

References

[1] J. G. Andrews, S. Singh, Q. Ye, Y. Qiao, and H. Dhillon, "An overview of load balancing in hetnets," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 21, no. 2, pp. 18-25, Apr. 2014.

[2] Q. Ye, B. Rong, Y. Chen, M. Al-Shalash, C. Caramanis, and J. G. Andrews, "User association for load balancing in heterogeneous cellular networks," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 12, no. 6, pp. 2706-2716, Jun. 2013.