
초밀집 이중 이동 통신망을 위한 적응형 편향치를 활용한 새로운 셀 선택 기법

조정연 · 반태원 · 정방철

경상대학교

A New Cell Selection Scheme with Adaptive Bias for Ultra Dense Heterogeneous Mobile Communication Networks

Jung-Yeon Jo · Tae-Won Ban · Bang Chul Jung

Gyeongsang National University

E-mail : {jyjo.win,twban35,bcjung}@gnu.ac.kr

요 약

스마트폰의 대중화에 따라 무선 데이터 트래픽이 기하급수적으로 증가하고 있으며, 이러한 데이터 트래픽을 원활히 수용하기 위하여 차세대 이동통신 네트워크에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 특히, 매크로 셀과 소형 셀을 활용하여 공간 재할용성을 높임으로써 네트워크 용량을 획기적으로 개선할 수 있는 이중 이동 통신망이 많은 관심을 끌고 있다. 이중 이동 통신망에서는 매크로 기지국과 소형 기지국 간의 송신전력의 차이로 인하여 부하 불균형과 간섭 등의 문제가 발생하며, 이를 해결하기 위하여 cell range expansion (CRE) 기술을 활용한다. 본 논문에서는, 초밀집 이중 이동 통신망에서 CRE bias를 적응적으로 적용하는 새로운 셀 선택 방식을 제안하고 시스템 레벨 시뮬레이션을 통하여 셀 평균 전송률을 분석하고, 기존의 셀 선택 방식과 비교 한다.

ABSTRACT

As smart-phones become popular, mobile data traffic has been dramatically increasing and intensive researches on the next-generation mobile communication network is in progress to meet the increasing demand for mobile data traffic. In particular, heterogeneous network (HetNet) is attracting much interest because it can significantly enhance the network capacity by increasing the spatial reuse with macro and small cells. In the HetNet, we have several problems such as load imbalance and interference because of the difference in transmit power between macro and small cells and cell range expansion (CRE) can mitigate the problems. In this paper, we propose a new cell selection scheme with adaptive cell range expansion bias (CREB) for ultra dense HetNet and we analyze the performance of the proposed scheme in terms of average cell transmission rate through system-level simulations and compare it with those of other schemes.

키워드

Heterogeneous network, Cell selection, Cell range expansion, Cell range expansion bias

I. 서 론

최근들어 스마트폰의 보급률이 확대됨에 따라, 기존의 음성과 텍스트 전송 서비스 이외에 동영상과 인터넷 스트리밍 서비스가 확산되고 있다. 이에 무선 인터넷 트래픽량이 폭발적으로 증가하였으며, 이러한 증가 추세는 더욱 가속화될 것으로 예상된다. 따라서, 차세대 이동통신 네트워크

는 현재 대비 약 1000배 이상의 전송 용량을 확보하여야 할 것으로 예상되며 후보 기술로 소형 셀을 활용한 heterogeneous network (HetNet), full duplex, massive MIMO 등이 고려된다 [1,2]. 본 논문에서는 매크로 셀과 소형 셀을 활용하여 공간 재할용성을 높임으로써 네트워크 용량을 획기적으로 개선할 수 있는 HetNet 기술에 주목하

며, HetNet에서 소형 셀과 매크로 셀 간의 전송 전력 격차에 따른 부하 불균형과 간섭 등의 문제 해결을 위해 CREB를 유동적으로 적용하는 새로운 셀 선택 방식을 제안한다. 그리고, 시스템 레벨 시뮬레이션을 통하여 셀 평균 전송률을 분석하고, 기존의 셀 선택 방식과 비교 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 시스템 및 채널 모델을 설명하고, III장에서 새로운 적응형 셀선택 기법을 제안한다. IV장에서 성능을 분석하고 기존 방식과 비교한다. 마지막으로, V장에서 본 논문의 결론을 내린다.

II. 시스템 및 채널 모델

매크로 셀은 반경 R 인 육각형 2-tier 구조이며, 총 19개의 셀이 존재한다. 각 매크로 셀 중심에는 매크로 기지국이 존재하고 이를 중심으로 N_s 개의 소형 기지국과 N 명의 사용자가 균일하게 분포(Uniform distribution)하며 각 매크로 기지국 내의 기지국 간 최소거리는 5m, 매크로 기지국과 사용자 간 최소거리는 10m, 소형 기지국과 사용자 간 최소거리는 5m이다. 매크로 기지국 i 에 있는 사용자 j 가 매크로 기지국 m 또는 매크로 기지국 m 과 같은 매크로 셀 내에 존재하는 소형 기지국 s 로부터 수신하는 신호 전력 $P_{i,j}^{m,s}$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$P_{i,j}^{m,s} = \frac{PG|h_{i,j}^{m,s}|^2\Psi_{i,j}^{m,s}}{L_{i,j}^{m,s}}, 1 \leq m \leq 19, 0 \leq s \leq N_s \quad (1)$$

여기서 s 가 0이면 매크로 기지국을 나타내며, s 가 0이 아니면 소형 기지국을 나타낸다. P 는 기지국의 송신전력, G 는 송신 안테나의 이득을 나타낸다. $h_{i,j}^{m,s}$, $\Psi_{i,j}^{m,s}$, $L_{i,j}^{m,s}$ 는 매크로 기지국 m 또는 소형 기지국 s 와 i 번 매크로 기지국 내에 있는 j 번 사용자 사이의 채널 이득, 쉐도잉(shadowing), 경로 손실 값을 각각 나타낸다. $h_{i,j}^{m,s}$ 는 평균과 분산이 0과 1인 복소 정규분포를 따르며, $\Psi_{i,j}^{m,s}$ 는 표준편차가 σ dB인 로그 정규 (Log-normal) 분포를 따른다. $L_{i,j}^{m,s}$ 는 기지국과 사용자 간의 거리에 따르고, 3GPP에서 제시한 도시환경을 가정한 경로 손실 모델을 적용하였다 [3].

$$L_{i,j}^{m,s} = \begin{cases} s = 0, 128.1 + 37.6 \log_{10}(l_{i,j}^{m,s}) \\ s \neq 0, 140.7 + 36.4 \log_{10}(l_{i,j}^{m,s}) \end{cases}, 1 \leq m \leq 19, 0 \leq s \leq N_s \quad (2)$$

III. 적응형 셀 편향치 기반 기지국 선택 기법

일반적으로 경로 손실 기반 홈 셀 선택 기법은 수신전력 기반 홈 셀 선택 기법에 비해 상향 링크에서 높은 성능을 나타낸다고 알려져 있다. 경로손실 기반 홈 선택 방식은 기지국과 단말 간의 쉐도잉과 경로 손실을 모두 고려하여 그 값이 가장 작은 홈 셀을 선택하는 방식으로, 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$H_{i,j} = \operatorname{argmin} \left\{ \frac{L_{i,j}^{m,s}}{\Psi_{i,j}^{m,s}} \right\}, 1 \leq m \leq 19, 0 \leq s \leq N_s \quad (3)$$

그러나 경로손실 기반 홈 선택 방식은 소형 기지국이 홈 기지국으로 선택되는 확률이 높으므로 밀집한 환경에 적용할 경우, 간섭으로 인하여 하향링크의 심각한 성능저하가 발생한다. 수신전력 기반 홈 셀 선택방식은 각 사용자(단말)가 수신하는 전력이 가장 높은 기지국을 홈으로 선택한다.

$$H_{i,j} = \operatorname{argmax} \{P_{i,j}^{m,s}\}, 1 \leq m \leq 19, 0 \leq s \leq N_s \quad (4)$$

매크로 기지국과 소형 기지국의 송신전력의 격차가 매우 크기 때문에 위와 같은 수신 전력 기반 홈 선택 방식을 이중 이동 통신망에 적용하면, 단말들이 높은 확률로 매크로 기지국을 선택하게 된다. 선택된 매크로 기지국과 단말과의 거리는 소형 기지국 대비 멀리 위치하기 때문에 상향 링크의 성능 저하 요인이 될 수 있다. 따라서, 다음과 같이 CREB를 적용하면, 소형 기지국의 선택 확률을 높여 사용자가 밀집된 환경에서 사용자 분산과 상향링크의 성능향상을 기대할 수 있다.

$$H_{i,j} = \operatorname{argmax} \{P_{i,j}^{m,s} \Delta^{m,s}\}, 1 \leq m \leq 19, 0 \leq s \leq N_s$$

$$\Delta^{m,s} = \begin{cases} 1, & \text{if } s = 0 \\ \Delta, & \text{if } s \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

그러나 높은 CREB를 적용하게 되면, 매크로 기지국과 소형 기지국간의 상호 간섭이 증가하여 오히려 하향링크의 성능이 떨어지게 될 수 있다. 따라서 CREB를 어떻게 적용하여야 되는가에 대한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 본 논문에서는 기존 기법들의 단점을 모두 보완 할 수 있는 새로운 셀 선택 기법을 제시한다. 각 소형 기지국은 네트워크 수신 기능을 활용하여 타 기지국으로부터 수신하는 모든 간섭량 $I^{m,s}$ 을 계산한다.. 소형 기지국과 사용자가 매우 밀집한 환경을 가정한다면, 각 소형 셀과 사용자 간의 거리는 매우 가까우므로 각 소형 기지국이 수신하는 간섭량과 소형 기지국이 위치한 셀 내의 사용자가 수신하는 간섭량은 상당히 밀접한 관련이 있다. 제안된 방식에서는 식 (6)에서와 같이 $I^{m,s}$ 가 I_{th} 보다 작을 경우 최대 셀 편향치를 적용하고 $I^{m,s}$ 가 I_{th} 보다 클 경우 최소 셀 편향치를 적용한다.

$$H_{i,j} = \operatorname{argmax}\{P_{i,j}^{m,s} \Delta^{m,s}\}, 1 \leq m \leq 19, 0 \leq s \leq N_s$$

$$\Delta^{m,s} = \begin{cases} 1, & \text{if } s = 0 \text{ and } \Delta^{m,s} = 1 \\ \Delta_{\max}, & \text{if } s \neq 0 \text{ and } I^{m,s} < I_{th} \\ \Delta_{\min}, & \text{if } s \neq 0 \text{ and } I^{m,s} > I_{th} \end{cases}$$

(6)

표 1. 시뮬레이션 변수

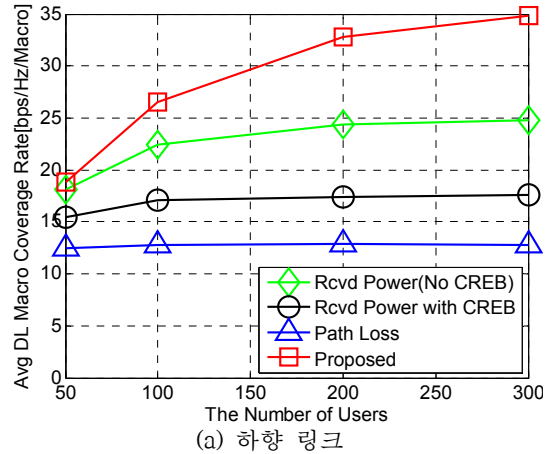
Table 1. Simulation Parameters

변수	값	
이중화 기법 (Duplexing)	TDD	
송신전력[dBm]	매크로 기지국	46
	소형 기지국	30
	사용자 단말	23
송신안테나 이득[dBi]	매크로 기지국	10
	소형 기지국	5
웨도잉 표준 편차(σ)[dB]	매크로 기지국	8
	소형 기지국	10
반송파 주파수[MHz]	2000	
안테나 높이(D_{hb})[m]	매크로 기지국	20
	소형 기지국	2
매크로 셀 반경(R)[km]	0.3	
소형기지국 수/매크로 셀 (N_s)	10	
CREBmax(Δ_{\max})[dB]	6	
CREBmin(Δ_{\min})[dB]	-6	

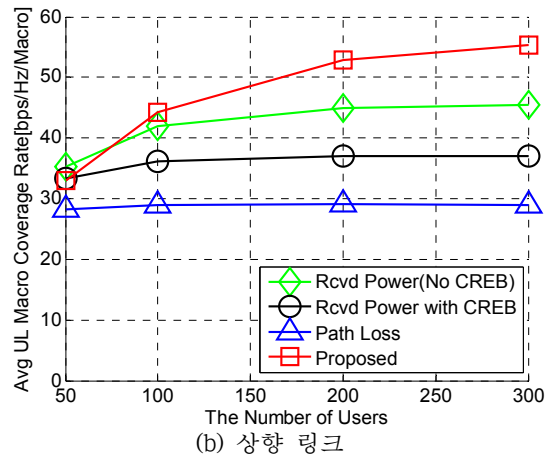
IV. 성능 분석

Monte-Carlo기반 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 성능을 분석하였으며, 시뮬레이션 수행 시간을 줄이기 위하여 위해서 wrap around 기법을 적용하였다 [5]. 이중 네트워크의 평균 기지국 전송 효율(bps/Hz)과 소형 기지국과 매크로 기지국이 1명 이상의 사용자에게 의해서 선택될 확률 등을 분석하였다. 모든 기지국이 상향링크와 하향링크에서 모두 랜덤 스케줄링 방식을 사용한다고 가정하였다. 제안 방식의 성능을 기존 방식과 비교하였으며, 특히 [4]에서 제안된 적응형 편향치 기반 셀 선택 기법과의 성능 차이도 분석하였다.

그림 1은 사용자 수에 따른 상/하향 링크 셀 평균 주파수 효율을 나타낸다. 사용자 수가 증가 할수록 모든 방식의 성능이 향상되며, 제안 방식은 다른 모든 방식보다 우수한 성능을 나타낸다. 특히, 사용자 수가 증가할수록 기존 방식과의 성능 격차가 확대된다. 이는 소형 기지국과 사용자 간의 거리가 가까워질수록, 소형 셀 내의 사용자가 실제 수신하는 간섭량이 소형 기지국이 수신하는 간섭량에 근접하므로 제안 방식의 정확도가 더욱 높아지기 때문이다. 그림2는 사용자 수에 따라 기지국이 사용자에게 의해서 선택될 평균 확률을 보여준다. 본 논문에서 제안하는 계단형 셀 선택 방식은 인접한 기지국들로부터 수신하는 간섭량이



(a) 하향 링크



(b) 상향 링크

그림 1. 셀 선택 기법에 따른 매크로 셀 당 평균 주파수 효율

Fig. 1 Average spectral efficiency per cell coverage for various cell selection schemes

큰 소형 기지국에는 Δ_{\min} (-6dB)을 적용하여 사용자에게 의해서 선택될 확률을 낮춤으로써 네트워크에 미치는 간섭량을 감소시킴으로써 상향링크와 하향링크의 성능을 모두 개선시킬 수 있다. 사용자 수가 300명일 때, 제안된 셀 선택 방식은 기존의 수신 전력 기반 셀 선택 방식 대비 하향 링크와 상향 링크 성능을 약 200%와 150% 향상시킨다.

V. 결론

본 논문에서는 차세대 이동통신 네트워크를 위한 주요 기술 중 하나인 소형 셀을 이용한 이중 이동통신망을 위한 새로운 셀 선택 기법을 제안하였다. 제안된 방식에서는 각 소형 기지국이 주변으로부터의 간섭량을 측정하여 간섭량에 따라서 적응적으로 편향치를 적용한다. Monte-Carlo 기반 시스템 레벨 시뮬레이션을 통한 성능 분석

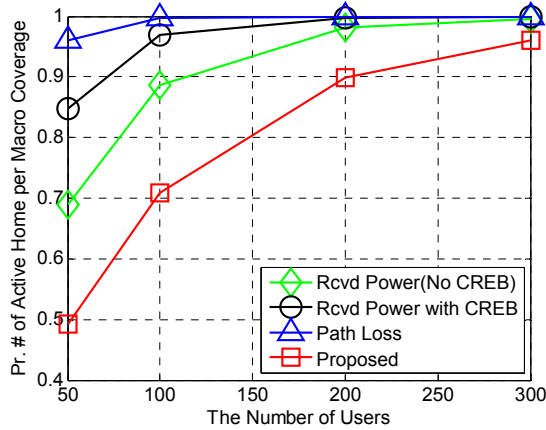


그림 2. 셀 선택 기법에 기지국당 평균 선택 확률

Fig. 2 Average probability of selection per each cell for various cell selection schemes

결과에 따르면, 사용자 수가 300명일 때 제안된 셀 선택 방식에서는 기존의 수신 전력 기반 셀 선택 방식 대비 하향 링크와 상향 링크 성능이 약 200%와 150%씩 향상됨을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] Qualcomm Incorporated, "The 1000xData Challenge," <http://www.qualcomm.com/1000x/>.
- [2] Insoo Hwang, "A holistic view on hyper-dense heterogeneous and small cell networks", *IEEE Communications Magazine* vol. 51, no. 6, June 2013.
- [3] 3GPP TR36.814 v2.0.1, *Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects*, March 2010.
- [4] Katsunori Kikuchi and Hiroyuki Otsuka, "Proposal of adaptive control CRE in heterogeneous networks", *IEEE Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Sept. 2012.
- [5] 3GPP2 C30-20020909, "Wrap-Around System Simulation Description for 1xEV-DV Reverse Link," Sept. 2002.