JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 19, No. 6 : 1307~1312 Jun. 2015

초밀집 이종 이동 통신망을 위한 적응형 셀 선택 기법

조정연 · 반태원* · 정방철

An Adaptive Cell Selection Scheme for Ultra Dense Heterogeneous Mobile Communication Networks

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

Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

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 재활용성을 높임으로써 네트워크 용량을 획기적으로 개선할 수 있는 이종 이동 통신망이 많은 관심을 끌고 있다. 이종 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 이종 이동 통신망 에서 CRE bias (CREB)를 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 : 이종 이동 통신망, 소형셀, 셀 확장, 셀 확장 편향치

Key word : Heterogeneous network, Cell selection, Cell range expansion, Cell range expansion bias

Received 01 May 2015, **Revised** 30 May 2015, **Accepted** 08 June 2015

*** Corresponding Author** Tae-Won Ban(E-mail:twban35@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-772-9177)
Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.6.1307 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

최근 들어 스마트폰의 보급률이 확대됨에 따라, 기존의 음성과 텍스트 전송 서비스 이외에 동영상과 인터넷 스트리밍 서비스가 빠르게 확산되고 있다. 이에 무선 인터넷 트래픽이 폭발적으로 증가하였으며, 이러한 증가 추세는 더욱 가속화될 것으로 예상된다. 따라서, 차세대 이동통신 네트워크는 현재 대비 약 1000배 이상의 전송 용량을 확보하여야 할 것으로 예상되며 후보 기술로 소형셀을 활용한 heterogeneous network (HetNet), full duflex, massive MIMO 등이 고려된다 [1,2].

이 중 소형셀을 활용한 이종 이동 통신(HetNet)기술은 유력한 기술로서 많은 연구가 진행 중에 있다[1,2]. HetNet 기술은 매크로 셀 내 소형 셀을 활용하여 공간 재활용성을 높임으로써 네트워크 용량을 획기적으로 개선할 수 있는 장점이 있지만, 소형 셀과 매크로 셀 간의 전송전력 격차에 따른 부하 불균형과 간섭 등의 문제점들이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 3rd generation partnership project (3GPP)에서는 CREB개념을 제안하였다. 그러나 소형 기지국의 활용도를 높이기 위하여 CREB를 과도하게 적용하게 되면, 많은 사용자들이 소형 기지국(AP)을 홈 기지국으로 선택하여 연결을 맺을 확률이 높아지고 이에 따라 간섭이 급격히 증가하여 네트워크의 전체적인 성능이 저하되는 문제점이 발생하게 된다. 본 논문에서는 사용자의 밀집도에 따라 CREB를 유동적으로 적용하는 새로운 적응형 셀 선택 방식을 제안한다. 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 셀 선택 기법을 제안한다. IV장에서 성능을 분석하고 기존 방식과 비교한다. 마지막으로, V장에서 본 논문의 결론을 내린다.

Ⅱ. 본 론

매크로 셀은 반경 R인 육각형 2-tier 구조이며, 총 19개의 셀이 존재한다. 각 매크로 셀 중심에는 매크로 기지국이 존재하고 이를 중심으로 N_S 개의 소형 기지국과 N명의 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 i에 있는 사용자 j가 매크로 기지국 m 또는 매크로 기지국 m의 영역내에 존재하는 소형 기지국 s로부터 수신하는 신호 전력 $P_{i,j}^{m,s}$은 다음과 같이 계산된다.

$$P_{i,j}^{m,s} = \frac{P_{tx} \times G \times \left| h_{i,j}^{m,s} \right|^2 \times \Psi_{i,j}^{m,s}}{L_{i,j}^{m,s}}, \quad 1 \le m \le 19, 0 \le s \le N_s \tag{1}$$

여기서 s가 0이면 매크로 기지국을 나타내며, s가 0이 아니면 소형 기지국을 나타낸다. P_{tx}와 G는 기지국의 송신 전력과 송신 안테나의 이득을 각각 나타낸다. $h_{i,j}^{m,s}$, $\Psi_{i,j}^{m,s}$, $L_{i,j}^{m,s}$는 매크로 기지국 m 또는 소형 기지국 s와 i번 매크로 기지국 내에 있는 j번 사용자 사이의 채널 이득, 쉐도잉(shadowing), 경로 손실 값을 각각 나타낸다. $h_{i,j}^{m,s}$는 평균과 분산이 0과 1인 복소 정규 분포를 따르며, $\Psi_{i,j}^{m,s}$는 표준 편차가 σdB인 로그 정규(Log-normal) 분포를 따른다. $L_{i,j}^{m,s}$는 3GPP에서 제시한 도시 환경에서의 경로 손실 모델을 가정하였으며, 다음과 같이 계산된다 [3].

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

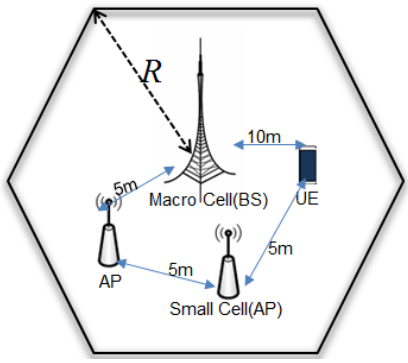


그림 1. 이종 이동통신 네트워크
Fig. 1 Heterogeneous Mobile Communication Network

Ⅲ. 이종 이동통신망에서의 기존 셀 선택 기법들

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

$$H_{i,j}=\arg\min\left\{\frac{L_{i,j}^{m,s}}{\Psi_{i,j}^{m,s}}\right\}, 1\le m\le 19, 0\le s\le N_s \tag{3}$$

그러나 경로손실 기반 홈 선택 방식은 소형 기지국이 홈 기지국으로 선택되는 확률이 높으므로 소형 기지국들이 초밀집한 환경에 적용할 경우, 간섭으로 인하여 하향링크의 성능이 심각히 저하될 수 있다. 반면에, 수신 전력 기반 홈 셀 선택방식은 각 사용자가 수신하는 전력이 가장 높은 기지국을 홈으로 선택하며, 다음과 같이 표현된다.

$$H_{i,j}=\arg\max\left\{P_{i,j}^{m,s}\right\}, 1\le m\le 19, 0\le s\le N_s \tag{4}$$

매크로 기지국과 소형 기지국의 송신 전력의 격차가 매우 크기 때문에 위와 같은 수신 전력 기반 홈 선택 방식을 이종 이동 통신망에 적용하면, 단말들이 높은 확률로 매크로 기지국을 선택하게 된다. 따라서, 하향 링크에서는 성능 개선 효과가 나타나지만, 사용자 기준으로는 선택된 매크로 기지국보다 가까운 위치에 소형 기지국이 존재할 수 있으므로 상향 링크의 성능 저하 요인이 될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다음과 같은 CREB 기반 셀 선택 기법이 제안되었으며, 이를 통하여 소형 기지국의 선택 확률을 높여 사용자가 밀집된 환경에서 부하 분산과 상향링크의 성능향상을 기대할 수 있다.

$$H_{i,j}=\arg\max\left\{P_{i,j}^{m,s}\times\triangle\right\}, 1\le m\le 19, 0\le s\le N_s \quad \triangle=1 \text{ if } s=0 \tag{5}$$

Ⅳ. 제안된 적응형 셀 선택 기법

높은 CREB를 적용하게 되면, 소형 셀의 활용도는 높일 수 있으나, 매크로 기지국과 소형 기지국간의 상호 간섭이 증가하여 네트워크 성능이 저하될 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 간섭 상황에 따라서 적응적으로 CREB를 적용하는 새로운 셀 선택 기법을 제안한다. 각 소형 기지국은 네트워크 탐색 (Sniff) 기능을 활용하여 타 기지국으로부터 수신하는 간섭량을 측정할 수 있다. m번째 매크로 기지국 내에 속한 s번째 소형 기지국이 수신하는 간섭량 $I_{m,s}$은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$I_{m,s}=\sum_{M=1}^{19}P_{m,s}^{M}+\sum_{M=1}^{19}\sum_{S=1}^{N_s}P_{s,m}^{M,S}-P_{m,s}^{m,s}, \quad 1\le m\le 19, 0\le s\le N_s \tag{6}$$

여기서, M번째 매크로 기지국으로부터 수신하는 신호 전력을 $P_{m,s}^{M}$, M번째 매크로 기지국 내 S번째 소형 기지국으로부터 수신하는 신호 전력을 $P_{m,s}^{M,S}$로 나타낸다. 초밀집 이종 통신망 환경을 가정한다면 소형 기지국의 커버리지가 매우 좁기 때문에 소형 기지국이 측정하는 간섭량과 소형 기지국내 사용자가 측정하는 간섭량은 근사적으로 동일하다고 가정할 수 있다. 본 논문에서 새롭게 제안하는 셀 선택 방식은 식 (7)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. 그리고, 매크로 기지국 ($s=0$)에 대해서는 편향치를 1로 적용한다.

$$H_{i,j}=\arg\max\left\{P_{i,j}^{m,s}\times\triangle\right\}, 1\le m\le 19, 0\le s\le N_s$$
$$\triangle=\begin{cases}1, & \text{if } s=0\\ \triangle_{\max}, & \text{if } s\neq 0 \text{ and } I_{m,s}<I_{th}\\ \triangle_{\min}, & \text{if } s\neq 0 \text{ and } I_{m,s}>I_{th}\end{cases} \tag{7}$$

Ⅴ. 성능 분석

본 절에서는 제안 된 셀 선택 기법의 성능을 Monte-Carlo기반 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 시

뮬레이션 실행 시간을 줄이기 위하여 wrap around 기법을 적용하였다 [5]. 이종 네트워크의 셀당 평균 주파수 효율(bps/Hz)과 소형 기지국과 매크로 기지국이 1명 이상의 사용자에 의해서 선택되어 활성화될 확률 등을 분석하였다. 상향와 하향링크에서 모두 랜덤 스케쥴링 방식을 가정하였다. 제안 방식의 성능을 기존 방식과 비교하였으며, 특히 [4]에서 제안된 적응형 편향치 기반 셀 선택 기법과의 성능 차이도 분석하였다.

표 1. 시뮬레이션 변수
Table. 1 Simulation Parameters

Parameters		Values
Duplex Scheme		TDD
Transmit Power (P_{tx})[dBm]	Macro BS	46
	Small AP	30
	User Terminal	23
Antenna Gain (G)[dBi]	Macro BS	10
	Small AP	5
Shadowing Standard Deviation(σ)[dB]	Macro BS	8
	Small AP	10
Carrier Frequency[MHz]		2000
Antenna Height(D_{hb})[m]	Macro BS	20
	Small AP	2
Macro Cell Radius(R)[km]		0.3
The Number of Small APs per a Macro Cell(N_s)		10
CREBmax($\triangle_{\max}$)[dB]		6
CREBmin($\triangle_{\min}$)[dB]		-6

그림 2는 사용자 수에 따른 상/하향 링크 셀당 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. 그림3은 사용자 수에 따라 기지국이 사용자에 의해서 홈 셀로 선택되어 활성화될 확률을 보여준다.

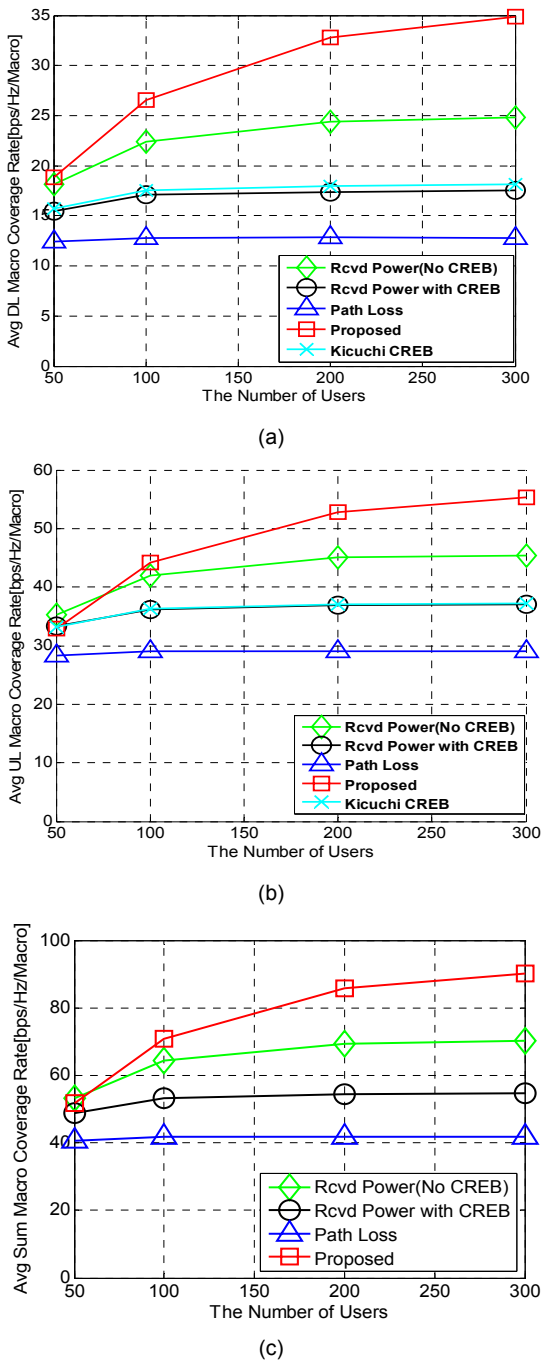


그림 2. 셀 선택 기법에 따른 매크로 셀 당 평균 주파수 효율 (a) 하향 링크 (b) 상향 링크 (c) 상향 링크+하향 링크
Fig. 2 Average spectral efficiency per cell for various cell selection schemes (a) Downlink (b) Uplink (c) Downlink+ Uplink

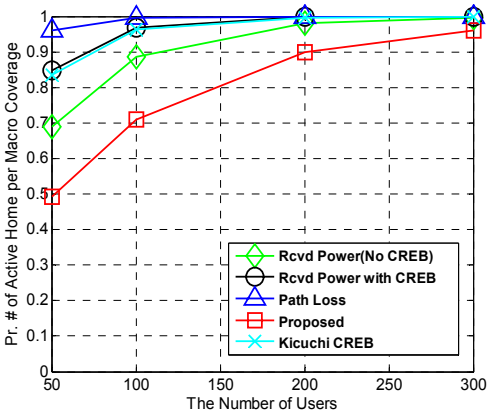


그림 3. 셀 선택 기법에 따른 기지국당 평균 활성화 확률
Fig. 3 Average activation probability per cell for various cell selection schemes

본 논문에서 제안하는 계단형 셀 선택 방식은 인접한 기지국들로부터 수신하는 간섭량이 큰 소형 기지국들에 $\triangle_{\min}$을 적용하여 활성화 확률을 낮춤으로써 네트워크에 미치는 간섭량을 감소시킨다.

이를 통해서, 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.

VI. 결 론

본 논문에서는 차세대 이동통신 네트워크를 위한 주요 기술 중 하나인 소형 셀을 이용한 이종 이동통신망을 위한 새로운 셀 홈 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 결과에 따르면, 사용자 수가 300명일 때 제안된 셀 선택 방식은 기존 수신 전력 기반 셀 선택 방식 대비 하향 링크와 상향 링크의 평균 주파수 효율을 각각 200%와 150%정도 개선시킴을 확인하였다.

REFERENCES

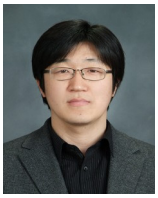
[1] Qualcomm Incorporated, “The 1000xDataChallenge,” http://www.qualcomm.com/1000x/.
[2] Insoo Hwang, “A holistic view on hyper-dense heterogeneous and small cell networks”, *IEEE Communications Magazine* vol. 51, no. 6, June 2013.
[3] 3GPP TR36.814 v2.0.1, Further Advancements for E-UTRA Physical Layer 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

조정연(Jung-Yeong Jo)

2013년 2월 경상대학교 정보통신공학과 학사
2013년 3월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 석 · 박사 통합과정
※관심분야 : 이종 이동통신 네트워크, 단말간 직접 통신

반태원(Tae-Won Ban)

1998년 2월 경북대학교 전자공학과 학사
2000년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
2010년 2월 KAIST 전기전자공학과 박사
2000년 2월 ~ 2012년 8월 KT 네트워크부문
2012년 9월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 조교수
※관심분야 : 이동통신, 자원관리, 간섭관리, 협력 및 중계통신, 인지통신, 주파수 공유, 차세대 이동통신 시스템



정방철(Bang Chul Jung)

2002년 2월 아주대학교 전자공학부 학사
2004년 8월 KAIST 전자전산학과 석사
2008년 2월 KAIST 전자전산학과 박사
2008년 3월 ~ 2009년 8월 KAIST IT 융합연구소 팀장
2010년 3월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 조교수
※관심분야 : 협력 및 중계통신, Cognitive Radios, Compressed Sensing, 차세대 이동통신 시스템