

이종 이동통신 네트워크를 위한 새로운 셀 선택 기법

반태원 · 정방철 · 조정연 · 성길영*

A New Cell Selection Scheme For Heterogeneous Mobile Communication Networks

Tae-Won Ban · Bang Chul Jung · Jung-Yeon Jo · Kil-Young Sung*

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

요 약

최근 폭발적으로 증가하고 있는 모바일 데이터 트래픽을 효과적으로 서비스하기 위하여 소형셀을 활용한 이종 이동통신 네트워크에 대한 논의가 활발히 진행 중이다. 이종 이동통신 네트워크는 기존의 매크로 셀과 함께 소형셀을 동시에 활용하여 공간 재사용율을 높일 수 있지만, 매크로 기지국과 소형 기지국의 송신 전력의 차이로 인해 하향 링크와 상향 링크 성능의 불균형이 발생할 수 있다. 본 논문에서는, 이종 이동통신 네트워크를 위한 새로운 셀 선택 기법을 제안한다. 제안된 셀 선택 기법에서는 단말들이 기존 방식과 달리 하향 링크와 상향 링크의 성능을 모두 고려하여 자신의 홈 셀을 선택한다. 시스템 레벨 시뮬레이션을 통하여 제안된 방식의 성능을 셀 평균 전송률 측면에서 분석하고 기존 방식의 성능과 비교한다.

ABSTRACT

Recently, heterogeneous mobile communication network is attracting plenty of interest to serve explosively increasing mobile data traffic. Although the heterogeneous mobile communication network can enhance spatial reuse ratio by using both conventional macro cells and small cells simultaneously, it causes the unbalance in performance of downlink and uplink. In this paper, we propose a new cell selection scheme for heterogeneous mobile communication network. In the proposed cell selection scheme, mobiles select their home cells by considering both uplink and downlink performance, contrary to conventional schemes. 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 conventional schemes.

키워드 : 이종망, 소형셀, 셀 선택, 홈 셀

Key word : Heterogeneous networks, small cells, cell selection, home cell

접수일자 : 2014. 06. 19 심사완료일자 : 2014. 07. 18 게재확정일자 : 2014. 08. 01

* **Corresponding Author** Kil-Young Sung(E-mail:kysung@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-772-9175)

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

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.10.2397>

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/licenses/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. 서론

최근 대용량 멀티미디어 서비스가 급증하면서 무선 데이터 트래픽이 폭발적으로 증가하고 있으며, 이런 추세는 향후 더욱 심화될 것으로 예상 된다[1, 2]. 무선 데이터 트래픽의 폭발적 증가에 대비하기 위하여 차세대 무선 네트워크 용량의 획기적 개선이 필요하며, 소형 셀을 활용한 이종망 기술이 하나의 대안 기술로 주목 받고 있다. 소형 셀을 활용한 이종망 기술은 공간 재사용율을 증가시킴으로써 전체적인 네트워크 용량을 획기적으로 개선 할 수 있는 장점이 있지만, 해결해야할 몇 가지 기술적 어려움이 있다. 공간 재사용율이 증가함으로써 매크로 기지국과 소형 기지국간의 상호 간섭이 증가할 수 있다. 이러한 간섭 문제들을 해결하기 위하여 다양한 연구가 진행되었다[3, 4].

다음으로, 매크로 기지국과 소형 기지국의 전송 전력 차이로 인해 기존 동종망 (homogeneous network) 에서의 하향 링크 수신 전력 세기 기반의 셀 선택 기법을 적용할 경우 하향 링크와 상향 링크 성능의 불균형이 발생한다. 또한, 단말이 소형 셀을 통해 서비스 받을 확률이 낮아짐으로써 소형 기지국의 활용도가 떨어지게 된다[3].

따라서, 본 논문에서는 소형 셀 기반 이종망에서 상향 링크와 하향 링크의 성능을 모두 고려하는 새로운 셀 선택 기법을 제안하고 시스템 레벨 시뮬레이션을 통하여 하향 링크와 상향 링크의 성능을 분석한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서 시스템과 채널 모델을 설명하고, III 장에서 기존의 셀 선택 기법과 새로운 셀 선택 기법을 제시하고, IV 장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 성능을 분석한다. 마지막으로 V 장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 및 채널 모델

그림 1은 매크로 셀과 소형 셀들로 구성된 이종 이동통신 네트워크를 나타낸다. 매크로 셀들은 반경 R 인 육각형 2-tier 구조이며 총 19개의 셀이 존재한다. 각각의 매크로 셀 내에는 N_s 개의 소형 기지국과 N 명의 사용자가 균일(Uniform)하게 존재한다.

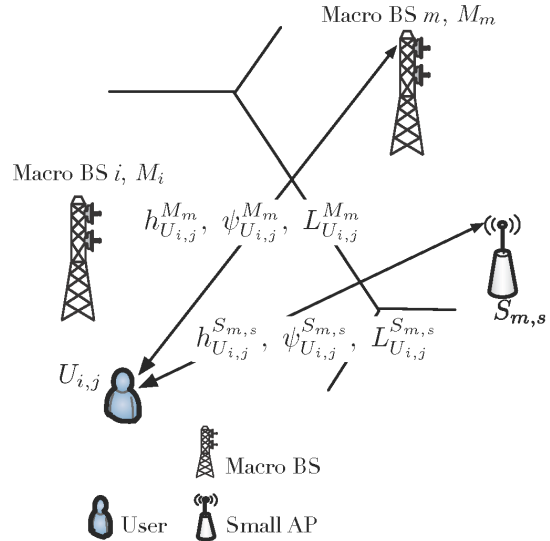


그림 1. 이종 이동통신 네트워크
Fig. 1 Heterogeneous Mobile Communication Network

i 번째 매크로 기지국 M_i 내에 있는 j 번째 사용자 $U_{i,j}$ 가 m 번째 매크로 기지국 M_m 으로부터 수신하는 신호 전력 $P_{U_{i,j}}^{M_m}$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$P_{U_{i,j}}^{M_m} = \frac{P_{tx}^M \times G^M \times |h_{U_{i,j}}^{M_m}|^2 \times \Psi_{U_{i,j}}^{M_m}}{L_{U_{i,j}}^{M_m}} \quad (1)$$

여기서 P_{tx}^M 와 G^M 는 각각 매크로 기지국의 송신전력과 송신 안테나의 이득을 나타낸다. $h_{U_{i,j}}^{M_m}$, $\Psi_{U_{i,j}}^{M_m}$, $L_{U_{i,j}}^{M_m}$ 는 각각 매크로 기지국 M_m 과 사용자 $U_{i,j}$ 사이의 채널 이득, 섀도우잉(shadowing), 경로 손실 값을 나타낸다. $h_{U_{i,j}}^{M_m}$ 는 평균과 분산이 0과 1인 복소 정규분포를 따르며, $\Psi_{U_{i,j}}^{M_m}$ 는 표준 편차가 σ dB인 로그 정규(Log-normal) 분포를 따른다. $L_{U_{i,j}}^{M_m}$ 는 기지국 M_m 과 사용자 $U_{i,j}$ 사이의 거리가 $l_{U_{i,j}}^{M_m}$ 로 주어질 때 다음과 같은 3GPP (3rd Generation Project Partnership) 모델에 의해서 결정된다[5, 6].

$$L_{U_{i,j}}^{M_m} = 128.1 + 37.6 \log_{10}(l_{U_{i,j}}^{M_m}). \quad (2)$$

그리고, 사용자 $U_{i,j}$ 가 m 번째 매크로 셀 내에 위치한 s 번째 소형 기지국 $S_{m,s}$ 으로부터 수신하는 신호 전력 $P_{U_{i,j}}^{S_{m,s}}$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$P_{U_{i,j}}^{S_{m,s}} = \frac{P_{tx}^S \times G^S \times |h_{U_{i,j}}^{S_{m,s}}|^2 \times \Psi_{U_{i,j}}^{S_{m,s}}}{L_{U_{i,j}}^{S_{m,s}}} \quad (3)$$

여기서 P_{tx}^S 와 G^S 는 각각 소형 기지국의 송신전력과 송신 안테나 이득을 나타낸다. 채널 이득 $h_{U_{i,j}}^{S_{m,s}}$ 은 평균이 0이고 분산이 1인 복소 정규 분포를 따르며, $\Psi_{U_{i,j}}^{S_{m,s}}$ 는 매크로와 동일하게 표준 편차가 σ dB인 로그 정규 (Log-normal) 분포를 따른다. 경로 손실 $L_{U_{i,j}}^{S_{m,s}}$ 는 역시 3GPP 모델을 사용한다[5, 6].

$$L_{U_{i,j}}^{S_{m,s}} = 140.7 + 36.7 \log_{10}(l_{U_{i,j}}^{S_{m,s}}) \quad (4)$$

III. 홈 셀 선택 기법

3.1. 수신전력 기반 홈 셀 선택 기법

먼저, 단말의 수신전력 기반 홈 셀 선택 기법에 대해 살펴본다. $U_{i,j}$ 는 자신이 신호를 수신하는 모든 셀들 중에서 다음과 같이 수신 신호 전력이 가장 높은 셀을 홈셀로 선택한다.

$$H_{U_{i,j}}^{Prvd} = \arg \max \left\{ \max_{1 \leq m \leq 19} \left\{ P_{U_{i,j}}^{M_m} \right\}, \max_{\substack{1 \leq m \leq 19 \\ 1 \leq s \leq N_s}} \left\{ P_{U_{i,j}}^{S_{m,s}} \right\} \right\} \quad (5)$$

수신전력 기반 홈셀 선택 기법을 이중 이동통신 망에 적용할 경우, 매크로 기지국과 소형 기지국의 전송 전력 차이로 인해서 단말들이 높은 확률로 매크로 기지국을 선택하게 된다. 이렇게 선택된 매크로 기지국은 단말에서 소형 기지국 대비 상대적으로 멀리 위치하므로, 상향 링크 성능 저하의 한 요인이 될 수 있다.

3.2. 경로 손실 기반 홈 셀 선택 기법

경로 손실 기반 홈 셀 선택 기법은 다음과 같이 기지국과 단말 사이의 웨도잉을 포함한 경로 손실 값이 가

장 작은 셀을 홈 셀로 선택한다.

$$H_{U_{i,j}}^{PL} = \arg \min \left\{ \min_{1 \leq m \leq 19} \left\{ \frac{L_{U_{i,j}}^{M_m}}{\Psi_{U_{i,j}}^{M_m}} \right\}, \min_{\substack{1 \leq m \leq 19 \\ 1 \leq s \leq N_s}} \left\{ \frac{L_{U_{i,j}}^{S_{m,s}}}{\Psi_{U_{i,j}}^{S_{m,s}}} \right\} \right\} \quad (6)$$

상향 링크에서의 수신 전력은 단말과 기지국의 경로 손실에 반비례하므로, 경로 손실 기반 홈 셀 선택 기법은 일반적으로 수신 전력 기반 홈 셀 선택 기법에 비해 상향 링크에서 높은 성능을 나타낸다고 알려져 있다. 반면에, 하향 링크에서는 간섭으로 인한 성능이 저하되는 단점이 있다.

3.3. 제안하는 새로운 셀 선택 기법

본 논문에서는 수신 전력 기반 홈 셀 선택 기법과 경로 손실 기반 홈 셀 선택 기법의 단점들을 보완하여 하향 링크와 상향 링크의 성능을 모두 고려하는 홈 셀 선택 기법을 제안한다. 단말은 다음과 같이 수신 전력과 경로 손실을 모두 고려하여 홈 셀을 선택한다.

$$H_{U_{i,j}}^{Prop} = \arg \max \left\{ \max_{1 \leq m \leq 19} \left\{ \frac{P_{U_{i,j}}^{M_m} \Psi_{U_{i,j}}^{M_m}}{L_{U_{i,j}}^{M_m}} \right\}, \max_{\substack{1 \leq m \leq 19 \\ 1 \leq s \leq N_s}} \left\{ \frac{P_{U_{i,j}}^{S_{m,s}} \Psi_{U_{i,j}}^{S_{m,s}}}{L_{U_{i,j}}^{S_{m,s}}} \right\} \right\} \quad (7)$$

식 (7)에서 보는 바와 같이, 하향 링크를 고려하여 수신 전력이 클수록 그리고 상향 링크를 고려하여 경로 손실이 작을수록 홈 셀로 선택될 가능성이 높아진다.

단말 $U_{i,j}$ 가 홈 셀 선택 기법에 따라서 각자의 홈 셀을 선택하면 다음과 같이 하향과 상향 링크에서의 SINR(Signal to interference plus noise ratio)을 계산할 수 있다.

$$SINR_{U_{i,j}} = \frac{P_{U_{i,j}}^{H_{U_{i,j}}}}{I_{U_{i,j}} + N_0} \quad (8)$$

$P_{U_{i,j}}^{H_{U_{i,j}}}$ 는 하향 링크에서는 단말 $U_{i,j}$ 가 자신이 선택한 홈 셀로부터 수신하는 신호 전력을 의미하며 상향 링크에서는 홈 셀이 단말 $U_{i,j}$ 로부터 수신하는 신호 전력을

나타낸다. $I_{U_{i,j}}$ 는 하향 링크에서는 단말 $U_{i,j}$ 가 홈 셀을 제외한 모든 셀들로부터 수신하는 간섭 전력의 합을 나타내며, 상향 링크에서는 홈 셀이 단말 $U_{i,j}$ 를 제외한 이웃 셀의 단말들로부터 수신하는 간섭 전력의 합을 나타낸다. 식 (8)에서 계산된 $SINR_{U_{i,j}}$ 를 이용하여 단말 $U_{i,j}$ 의 주파수당 데이터 전송 효율 [bps/Hz]는 $\log_2(1 + SINR_{U_{i,j}})$ 로 계산된다.

IV. 성능 분석

본 장에서는 III장에서 제안된 홈 셀 선택 기법의 성능을 시스템 레벨 시뮬레이션을 통해서 셀당 평균 주파수 효율 측면에서 분석하고, 기존 기법들의 성능과 비교한다. 시분할 이중화 (Time Division Duplexing) 기법을 가정한다. 그리고, 각 기지국들이 자신을 홈 셀로 선택하여 연결을 맺은 단말들 중에서 임의의 단말을 선택하여 데이터 전송을 허락하는 무작위 스케줄링 (Random Scheduling) 기법을 가정한다. Monte-Carlo 시뮬레이션의 반복 횟수 (Iteration)를 줄이기 위해서 wrap around 기법을 적용하였다 [7]. 표 1은 시뮬레이션에서 성능 분석을 위해 사용된 변수의 종류와 값을 나타낸다.

표 1. 시뮬레이션 변수
Table. 1 Simulation Parameters

변수		값
이중화 기법 (Duplexing)		TDD
송신전력[dBm]	매크로 기지국	46
	소형 기지국	26
	사용자 단말	23
송신안테나 이득[dBi]	매크로 기지국	20
	소형 기지국	5
쉐도잉 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]		0.5

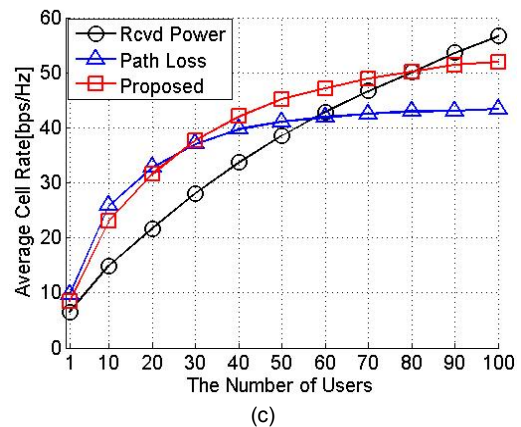
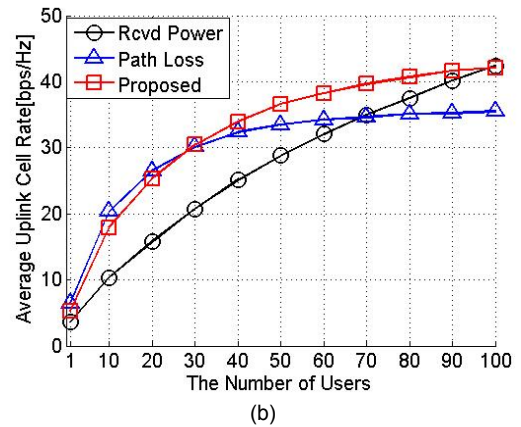
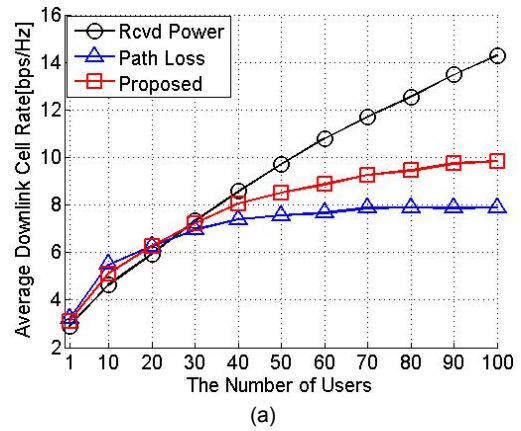


그림 2. 셀 선택 기법에 따른 셀당 평균 주파수 효율 (a) 하향 링크 평균 주파수 효율 (b) 상향 링크 평균 주파수 효율 (c) 하향 링크와 상향 링크 평균 주파수 효율의 합
Fig. 2 Average Spectral Efficiency per Cell for Cell Selection Schemes (a) Downlink Average Spectral Efficiency (b) Uplink Average Spectral Efficiency (c) The sum of downlink and uplink average spectral efficiency

그림 2는 각 매크로 셀 내에 존재하는 소형 기지국의 수가 10개 일 때, 각 매크로 셀당 사용자 수의 변화에 따른 셀당 평균 주파수 효율을 나타낸다. 그림 2-(a)는 하향 링크의 셀당 평균 주파수 효율을 나타낸다. III장에서 설명한 바와 같이, 수신 전력 기반 셀 선택 기법이 대체적으로 가장 뛰어난 주파수 효율을 나타내며, 사용자 수가 증가할수록 수신 전력 기반 셀 선택 기법과 다른 두 방식의 주파수 효율 차이는 증가한다. 그림 2-(b)는 상향 링크의 셀당 평균 주파수 효율을 나타낸다. 하향 링크의 경우와는 달리, 수신 전력 기반 셀 선택 기법의 주파수 효율이 상대적으로 낮게 나타난다. 그림 2-(c)는 하향 링크 주파수 효율과 상향 링크 주파수 효율의 합을 나타낸다. 사용자가 약 60명 이하일 경우에는 경로 손실 기반 셀 선택 기법이 높은 주파수 효율을 나타내는 반면, 사용자가 60명 이상일 경우에는 수신 전력 기반 셀 선택 기법이 높은 주파수 효율을 나타낸다. 이는 단말들이 소형 기지국을 홈 셀로 선택할 확률이 증가할수록 공간 재사용율은 증가하는 반면 간섭의 증가로 인하여 셀 당 주파수 효율은 감소하기 때문이다. 반면에, 제안 방식은 사용자 수와 관계없이 높은 주파수 효율을 나타낸다.

V. 결 론

본 논문에서는 차세대 이동통신 네트워크의 핵심 요소 기술 중의 하나인 소형 셀 기반 이중망에서 상·하향 링크 성능을 동시에 고려할 수 있는 새로운 셀 선택 기법을 제안하였다. Monte-Carlo 기반 시스템 레벨 시뮬레이션을 통하여 제안된 셀 선택 기법의 성능을 셀당 평균 상·하향 링크 주파수 효율 측면에서 분석하고 기존의 수신 전력 기반 셀 선택 기법과 경로 손실 기반 셀 선택 기법의 성능과 비교하였다. 상·하향 링크의 평균 주파수 효율을 종합적으로 고려할 때, 수신 전력 기반

셀 선택 기법은 사용자 수가 적은 경우에 우수한 성능을 나타내며 경로 손실 기반 셀 선택 기법은 사용자 수가 많은 경우에 상대적으로 우수한 성능을 나타낸다. 반면에, 제안된 방식은 사용자 수와 관계없이 전체적으로 우수한 성능을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업지원을 받아 수행된 것임 (2013R1A1A2A1004905).

REFERENCES

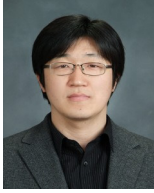
- [1] Cisco Visual Networking Index, Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2012-2017, Feb. 2013.
- [2] Hyung-Young Yoon, "Spectrum Strategy for 4G," KT Digieco, Jan. 2012 [Online]. Available: http://www.digieco.co.kr/KTfront/report/report_focus_view.action?board_seq=6275&board_id=focusD
- [3] Kemal Davaslioglu and Ender Ayanoglu, "Interference-based cell selection in heterogenous networks", *Information Theory and Applications Workshop (ITA)*, 10-15 Feb. 2013.
- [4] Krishna Balachandran, Joseph H. Kang, Kemal Karakayali, and Kiran Rege, "Cell Selection with Downlink Resource Partitioning in Heterogeneous Networks", *Communications Workshops (ICC), 2011 IEEE International Conference*, June. 2011.
- [5] Small Cell Forum, <http://smallcellforum.org>
- [6] Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects, 3GPP TR36.814, V2.0.1, March, 2010.
- [7] 3GPP2 C30-20020909 "Wrap Around System Simulation Description for 1xEV-DV Reverse Link," Sep. 2002.



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
2009년 9월 ~ 2010년 2월 KAIST IT 융합연구소 연구교수
2010년 3월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 조교수
※ 관심분야 : 이동통신, 신호처리, 협력 및 중계통신, Cognitive Radios, Compressed Sensing, 차세대 이동통신시스템



조정연(Jung-Yeong Jo)

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



성길영(Kil-Young Sung)

1980년 경북대학교 전자공학과 학사
1985년 건국대학교 전자공학과 석사
2000년 부경대학교 전자공학과 박사
현재 경상대학교 정보통신공학과 교수
※ 관심분야 : VLSI Array, Computer Architecture, Image Compression