

이종 이동통신 네트워크에서 셀 확장 편향치에 따른 하향 링크 성능 분석

반태원 · 정방철 · 조정연 · 성길영*

Downlink Performance Analysis for Cell Range Expansion Bias in 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

최근에 폭발적으로 증가하고 있는 모바일 데이터 트래픽을 효과적으로 수용하기 위하여 다중 안테나와 소형 셀과 같은 신기술들이 차세대 이동통신 시스템의 핵심 기술로 제안되었다. 특히, 기존의 매크로 셀과 소형 셀을 동시에 활용하여 공간 재사용율을 높일 수 있는 이종 이동통신 네트워크에 대한 관심이 높아지고 있다. 그러나, 이종 네트워크에서는 단말들이 소형 기지국 대비 상대적으로 송신 출력이 높은 매크로 기지국을 통해서 서비스 받을 가능성이 높기 때문에 소형 기지국의 활용도가 상대적으로 낮아지는 문제점이 있으며, 이러한 문제점은 상향 링크에서 두드러지게 나타난다. 3GPP에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 셀 확장 편향치 개념을 제안하고 이에 대한 표준화를 진행하고 있다. 본 논문에서는 셀 확장 편향치를 적용한 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 이종 이동통신 네트워크의 하향 링크 성능을 평균 셀 전송 효율 측면에서 분석한다.

ABSTRACT

New technologies such as multi-antenna and small cell were proposed as key technology for the next generation mobile system to cope with the explosively increasing mobile data traffic. In particular, heterogeneous mobile communication network which can improve spatial reuse factor by exploiting macro and small cells simultaneously is attracting attention. However, the heterogeneous network has a problem that the utilization of small cells becomes low because the transmit power of macro base stations is much higher than that of small base stations and then the probability that mobile stations are attached to the macro base stations becomes high. This problem is dominant in uplink. The concept of cell range expansion bias to mitigate the problem was proposed by 3GPP and the corresponding standardization is in progress. In this paper, we analyze the downlink performance of the heterogeneous mobile communication network based on a system level simulator with the cell range expansion bias in terms of average cell spectral efficiency.

키워드 : 이종망, 소형셀, 셀 확장 편향치

Key word : Heterogeneous networks, Small cells, Cell Range Expansion

접수일자 : 2013. 11. 04 심사완료일자 : 2013. 11. 26 게재확정일자 : 2013. 12. 06

* **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.2013.17.12.2806>

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. 서 론

최근 무선 인터넷 단말기의 급격한 증가와 동영상과 같은 대용량 멀티미디어 서비스의 출현으로 인해 무선 데이터 트래픽이 폭발적으로 증가하고 있으며, 향후 증가 속도가 더욱 빨라질 것으로 예상 된다 [1, 2]. 이렇게 급격하게 증가하고 있는 모바일 데이터 트래픽을 효과적으로 수용하기 위해서 데이터 전송 용량의 획기적인 증대가 필요하다. 차세대 이동통신 시스템에서는 스펙트럼의 획기적 확대, 소형 셀을 활용한 이종망 기술, 그리고 다중 안테나 기술 등이 대안 기술로 거론되고 있다 [2, 3]. 그러나, 제한된 주파수 자원으로 인해 스펙트럼의 획기적인 증대는 현실적으로 어려움이 있다. 다중 안테나 기술은 4세대 이동통신 시스템인 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Long Term Evolution (LTE)-Advanced 시스템의 핵심 기술 중의 하나이지만, 8개까지의 안테나를 지원하는 기지국과 달리 사용자 휴대 단말은 크기, 복잡도 그리고 비용 등 많은 문제점들로 인해서 기지국처럼 많은 수의 안테나를 탑재하는 것이 불가능하다 [4].

그래서, 최근 소형 셀을 활용한 이종망 기술이 차세대 이동통신 시스템의 핵심으로 많은 관심을 끌고 있다. 소형 셀은 높은 공간 재사용율로 인해 단위 면적당 용량이 향상되며 이를 통해 네트워크 용량이 획기적으로 개선될 수 있다. 그러나, 소형 기지국의 전송 전력은 매크로 기지국 대비 상대적으로 낮기 때문에 단말에 기존의 셀 선택 기법을 적용할 경우 단말이 소형 기지국에 접속하여 서비스를 받을 확률이 현저히 떨어져서 기지국의 효율성이 낮아지는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서 3GPP에서는 셀 확장 편향치 개념을 제안하였다 [5]. 셀 확장 편향치를 적용할 경우 단말이 소형 기지국에 접속할 확률이 높아져서 단말과 기지국간의 평균 거리가 짧아진다. 이를 통해서 상향 링크의 전송 속도 향상 효과와 함께 단말 에너지의 획기적인 절감 효과를 기대할 수 있다. 그러나, 셀 확장 편향치가 높아질 경우 셀 간 간섭의 증가로 하향 링크의 성능이 저하되는 문제점이 있을 수 있으므로, 네트워크 환경에 따라서 셀 확장 편향치 값을 최적으로 설정하여야만 한다. 그럼에도 불구하고, 셀 확장 편향치를 적용한 네트워크의 시스템 레벨 성능 분석 연구가 부족하다.

본 논문에서는 소형 셀을 채택한 이종망에서 셀 확장 편향치를 적용할 경우의 성능을 시스템 레벨 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 이종 이동 통신 네트워크와 채널 모델에 대하여 알아보고 셀 확장 편향치에 대하여 설명한다. III장에서는 이종망을 시스템 레벨 시뮬레이터를 통해서 구현하고, Monte-Carlo 기반 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 셀 확장 편향치에 따라서 이종 이동통신 네트워크의 성능을 평균 셀 전송 효율 측면에서 분석한다. 마지막으로, IV장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 네트워크 모델 및 셀 확장 편향치

2.1. 네트워크 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. 한 매크로 셀 내에는 매크로 기지국을 중심으로 반경 d 인 원 상에 동일 간격으로 N_s 개의 소형 셀들이 존재한다. 각 매크로 셀 영역에는 N 명의 사용자가 있으며 Uniform 분포를 가진다.

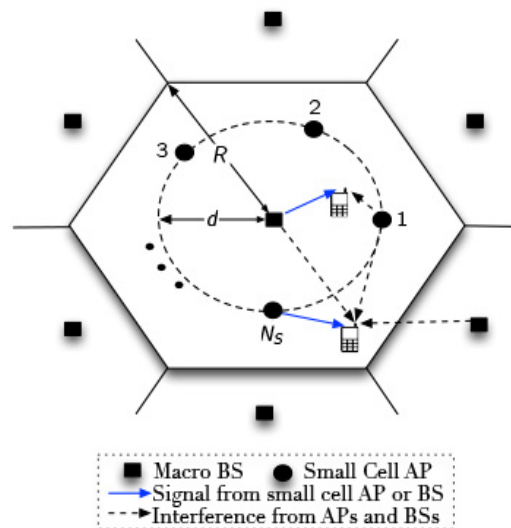


그림 1. 이종 이동통신 네트워크
Fig. 1 Heterogeneous Mobile Communication Network

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

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

여기서 P_{tx}^M 와 G_{tx}^M 는 매크로 기지국의 송신 전력과 송신 안테나 이득을 나타내며 $h_{u_{i,j}}^{M_m}$, $\Psi_{u_{i,j}}^{M_m}$, $L_{u_{i,j}}^{M_m}$ 는 매크로 기지국 m 과 사용자 $u_{i,j}$ 간 페이딩 채널 이득, 쉐도우잉(shadowing), 경로 손실 값을 각각 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. 그리고, 경로 손실은 다음과 같이 3GPP 모델에 의해서 결정된다[6].

$$L(l)[dB] = 40(1 - 4 \times 10^{-3} D_{hb}) \log_{10}(l) - 18 \log_{10}(D_{hb}) + 21 \log_{10}(f) + 80 \quad (2)$$

여기서 l , D_{hb} , f 는 기지국과 단말기 사이 거리(km), 송신기(매크로 또는 소형 기지국) 안테나 높이(m), 반송파 주파수(MHz)를 각각 나타낸다. 그리고, $u_{i,j}$ 가 매크로 셀 m 내에 존재하는 소형 기지국 s 로부터 수신하는 신호 전력 $P_{u_{i,j}}^{S_{m,s}}$ 는 다음과 같이 계산된다.

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

여기서, P_{tx}^S 와 G_{tx}^S 는 소형 기지국의 전송 전력과 송신 안테나 이득을 의미한다.

2.2. 셀 확장 편향치와 스케줄링

각 단말은 서비스를 받기 위해서 주변의 모든 매크로 기지국과 소형 기지국 중에서 수신 신호 세기가 가장 높은 기지국을 홈 기지국으로 선택하고 연결(Association)을 맺는다. 일반적으로 단말기가 소형 기

지국과 연결을 맺을 경우 전송 거리가 짧아지게 되므로 상향 링크에서 많은 성능 개선 효과를 기대할 수 있다. 따라서, 소형 기지국 수신 신호 세기에 셀 확장 편향치(Cell Range Expansion Bias: CREB)를 적용하여 소형 기지국으로 보다 많은 단말이 접속할 수 있도록 가중치를 부여한다 [5]. CREB가 Δ 로 주어질 때 매크로 기지국으로부터의 수신 신호 세기가 소형 기지국으로부터 수신 신호 세기보다 크더라도 그 비율이 Δ 보다 작을 경우에는 소형 기지국을 통해서 서비스를 받도록 한다. 즉, CREB가 Δ 로 주어질 경우 $u_{i,j}$ 의 홈 기지국은 다음과 같이 결정된다.

$$H_{u_{i,j}} = \arg \left(\max_{1 \leq m \leq 19} \left(P_{u_{i,j}}^{M_m}, \max_{1 \leq s \leq N_s} \Delta P_{u_{i,j}}^{S_{m,s}} \right) \right) \quad (4)$$

$u_{i,j}$ 가 association을 맺은 홈 기지국으로부터 수신하는 신호의 세기 $P_{u_{i,j}}^H$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$P_{u_{i,j}}^H = \max_{1 \leq m \leq 19} \left(P_{u_{i,j}}^{M_m}, \max_{1 \leq s \leq N_s} P_{u_{i,j}}^{S_{m,s}} \right) \quad (5)$$

반면에, $u_{i,j}$ 가 association을 맺은 홈 기지국을 제외한 모든 기지국으로부터 수신하는 신호는 $u_{i,j}$ 에게 간섭으로 작용하며 간섭 신호의 세기는 다음과 같이 계산된다.

$$P_{u_{i,j}}^I = \sum_{k=1}^{19} P_{u_{i,j}}^{M_k} + \sum_{k=1}^{19} \sum_{s=1}^{N_s} P_{u_{i,j}}^{S_{k,s}} - P_{u_{i,j}}^H \quad (6)$$

식 (5)와 (6)을 이용하여 $u_{i,j}$ 의 SINR(Signal to interference plus noise ratio)을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$SINR_{u_{i,j}} = \frac{P_{u_{i,j}}^H}{P_{u_{i,j}}^I + N_0} \quad (7)$$

여기서 N_0 는 열잡음 전력을 나타내며, 각 사용자의 $SINR_{u_{i,j}}$ 에 따른 전송 효율은 다음과 같이 계산된다.

$$R_{u_{i,j}} = \log_2(1 + SINR_{u_{i,j}}) \quad (8)$$

마지막으로, 각 기지국은 스케줄링 알고리즘을 통해서 데이터를 전송할 사용자를 선택한다. 본 논문에서는 Max SINR과 Fair 알고리즘을 고려한다. Max SINR 알고리즘은 각 기지국이 자신을 홈 기지국으로 선택한 단말들 중에서 SINR이 가장 높은 사용자 한 명만을 선택하여 데이터를 전송하는 반면, Fair 알고리즘은 자신을 홈 기지국으로 선택한 단말들 모두에게 공평하게 자원을 할당하여 서비스 한다.

III. 성능 분석

본 절에서는 Monte-Carlo 기반의 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 이중 네트워크의 성능을 평균 기지국 전송 효율[bps/Hz] 관점에서 분석한다. Monte-Carlo 시뮬레이션의 반복 횟수 (Iteration)를 줄이기 위해서 wrap around 기법을 적용하였다 [7].

표 1. 시뮬레이션 변수
Table. 1 Simulation Parameters

변수		값
기지국 송신전력[dBm]	매크로(P_{tx}^M)	46
	소형(P_{tx}^S)	30
송신안테나 이득[dBi]	매크로(G_{tx}^M)	10
	소형(G_{tx}^S)	5
쉐도잉 표준 편차(σ)[dB]		10
반송파 주파수[MHz]		2100
안테나 높이(D_{hb})[m]	매크로 기지국	20
	소형 기지국	2
매크로 셀 반경(R)[km]		1
매크로 기지국-소형기지국 거리(d)[km]		0.5

표 1은 시뮬레이션에서 성능 분석을 위해 사용된 변수의 종류와 값을 나타낸다. 그림 2는 셀 확장 편향치 (CREB) 값의 변화에 따른 평균 셀 전송 효율을 나타낸다. 그림 2-(a)는 매크로 셀 내에 존재하는 소형 기지국 개수 N_s 가 5인 경우의 성능을 나타낸다. 매크로 셀 내에 존재하는 사용자 N 은 10명 또는 20명이다.

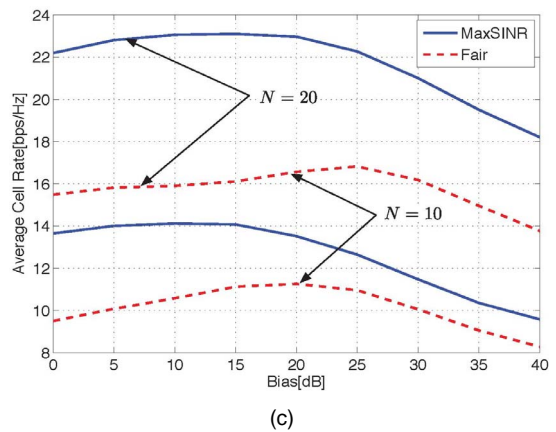
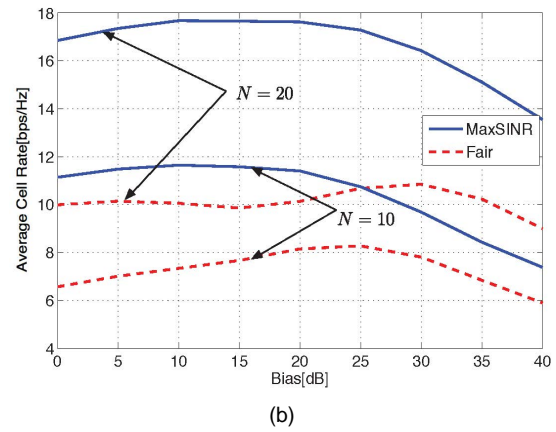
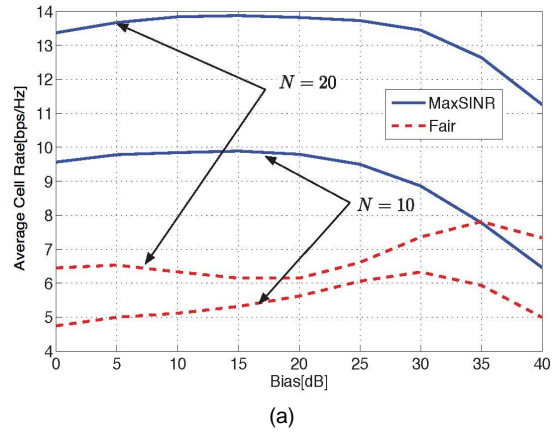


그림 2. 셀 확장 편향치에 따른 평균 셀 전송 효율 (a) $N_s = 5$ (b) $N_s = 10$ (c) $N_s = 20$
Fig. 2 Average Cell Rate For CREB Values (a) $N_s = 5$ (b) $N_s = 10$ (c) $N_s = 20$

사용자들 간의 공평성을 고려하지 않는 Max SINR 방식이 Fair 방식보다 셀 평균 전송 효율 측면에서 높은 성능을 나타내고, 사용자가 증가할수록 다중 사용자 다이버시티 이득으로 인해서 두 방식 모두 성능이 개선된다.

그리고, Max SINR과 Fair 알고리즘에 대해서 CREB가 각각 약 30 dB 그리고 35dB 이상일 경우 하향 링크 성능이 급격히 나빠짐을 알 수 있다. 그림 2-(b)와 (c)는 N_s 가 10과 20일 경우의 성능을 각각 나타내며 N_s 가 증가할수록 하향 링크 성능이 급격히 나빠지기 시작하는 CREB 값이 작아짐을 확인할 수 있다. 이는 이중 네트워크에 지나치게 큰 CREB 값을 적용할 경우 셀간 간섭 증가로 인하여 하향 링크 성능이 급격하게 나빠질 수 있음을 의미한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 차세대 이동통신 네트워크의 핵심 요소 기술 중의 하나인 이중망에서 셀 확장 편향치에 따른 하향 링크 성능을 Monte-Carlo 기반 시스템 레벨 시뮬레이션을 통하여 평균 셀 전송 효율 측면에서 분석하였다. 소형 기지국의 개수가 증가할수록 하향링크에서 셀 간 간섭이 증가하여 셀 확장 편향치에 따른 성능 감소가 빠르게 나타남을 확인하였다. 그러므로, 셀 확장 편향치가 상향 링크 측면에서 많은 성능 향상을 가져올 수 있음에도 불구하고, 지나치게 편향치를 높게 설정할 경우 하향 링크의 성능이 심각히 훼손됨을 알 수 있다. 향후, 상향 링크와 하향 링크를 종합적으로 고려할 셀

확장 편향치의 최적치 산출에 대한 연구를 추가적으로 진행할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [10044933, Local Access 효율 증대를 위한 다중셀-다중 무선망 협력 기술개발]

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] Small Cell Forum, <http://smallcellforum.org>
- [4] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, and Johan Skold, 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband, Elsevier
- [5] 3GPP TR 36.872 v12.0.0 Small cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN-Physical layer aspects
- [6] 3GPP TR 36.942 v9.0.1 E-UTRA; RF system scenarios
- [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 : 이중 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