

논문 2014-51-10-7

이기종 셀룰러 네트워크에서 간섭 제거와 로드 밸런싱 (Interference Cancellation and Load Balancing in Heterogeneous Cellular Networks)

이 경 재*, 조 한 신*

(Kyoung-Jae Lee and Han-Shin Jo[©])

요 약

이기종 셀룰러 네트워크에서는 셀 계층간 접속되는 사용자의 수가 크게 달라지고, 이로 인해 사용자와 기지국 연결을 최적화하는 로드 밸런싱(load balancing)이 필수적으로 요구되어진다. 그러나 로드 밸런싱을 위하여 셀의 크기를 조정하는 경우 간섭량이 증가하는 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 이기종 셀룰러 시스템(heterogeneous cellular system)에서 다중 수신 안테나를 이용하여 인접 셀로부터 오는 간섭을 제거할 때, 사용자와 기지국 사이의 연결을 최적화하고 사용자들의 전송 용량 성능을 확인한다. 결과적으로 다중 안테나 간섭 제거 기법을 적용하면, 로드 밸런싱이 이루어진 이기종 셀룰러 시스템의 성능을 크게 향상시킬 수 있음을 모의실험 결과를 통해 보여준다.

Abstract

In this paper, the performance of the interference cancellation using multiple receive antennas is evaluated for heterogeneous cellular systems when user association and load balancing problems are optimized for cell edge users. The simulation results show that the interference cancellation method remarkably improves the rate performance of load-balanced cells.

Keywords : Heterogeneous Cellular Network, Interference Cancellation, Load Balancing, User Association

I. 서 론

최근 이동 통신 시스템에서는 주파수의 지역적 재사용율을 높이고 음영 지역을 지원하기 위하여 기존의 매크로(macro) 기지국 안에서 상대적으로 적은 전력을 사

용하는 피코셀(pico cell) 또는 펌토셀(femto cell)을 운영하는 이기종(heterogeneous) 다중셀(multi-cell) 모델이 활발히 연구되어지고 있다^[1~5]. 전통적인 셀룰러(cellular) 시스템 모델에서는 동일 계층의 셀들을 고려하기 때문에 모든 셀의 전송 전력이 같고 사용자는 수신 전력의 세기를 비교하여 신호가 가장 큰 기지국과 연결하면 되었다. 그러나 이기종 다중셀 모델에서는 매크로 기지국과 펌토 기지국의 송신 전력이 크게 다르기 때문에 셀의 커버리지(coverage) 면적과 연결되는 사용자 부하에 불균형이 생겨난다^[2].

결과적으로 이기종 셀룰러 시스템은 기존의 사용자 연결(user association) 방법을 사용하는 경우, 매크로셀에 연결되는 사용자가 펌토 기지국에 비해 과다하게 되

* 정회원, 한밭대학교 전자제어공학과
(Department of Electronics and Control Engineering, Hanbat National University)

© Corresponding Author(E-mail: hsjo@hanbat.ac.kr)

※ 이 논문은 2013년도 한밭대학교 교내학술연구비의 지원을 받았고, 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2013R1A1A1060503)

접수일자: 2014년08월21일, 수정일자: 2014년09월10일
게재확정: 2014년09월30일

는 문제점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위하여 이기종 셀룰러 시스템에서 사용자 연결 알고리즘을 최적화하기 위한 연구가 진행되어져 왔다^[2-3].

로드 밸런싱(load balancing)을 위해 단순히 피코셀 또는 펌토셀의 전송 전력에 부가적인 전력 바이어스(bias)를 고려하면 기지국 연결을 하여도 성능열화가 심한 하위 사용자들의 전송률을 상당히 끌어올릴 수 있다^[3]. 그러나 이기종 셀룰러 네트워크에서 기지국-사용자 간 연결을 주어진 유틸리티 함수를 가지고 최적화하는 문제는 다루기가 어려우며, [2]에서는 주어진 조건을 완화하는 방법으로 기지국 연결 문제를 풀기 위한 알고리즘이 연구되었다.

한편 최적화된 로드 밸런싱을 고려하면, 연결된 기지국의 파워가 인접셀의 파워보다 커지는 사용자들이 증가하게 된다. 이러한 간섭 문제를 해결하기 위하여 LTE-A(Long Term Evolution-Advanced) 시스템에서는 셀간 협력을 통해 간섭이 큰 인접셀의 파워를 제어하여 간섭으로 인한 성능 열화를 피하는 eICIC(Enhanced Inter-Cell Interference Coordination) 방식이 고려되고 있다^[4]. 이렇게 간섭의 영향을 줄이기 위하여 전송 파워를 줄이거나 끄는 전략은 기본적으로 동일한 무선 자원을 인접 셀에서 동시에 활용하지 못하여 전체 데이터 전송 용량을 줄이는 결과를 낳게 된다.

송신단이나 수신단에서 다중 안테나를 사용하면, 채널 정보를 바탕으로 원하는 간섭 신호를 제거할 수 있게 된다. 수신단에서 다중안테나를 사용하여 간섭을 제거하면 안테나 개수에 따라서 전송률을 선형적으로 늘

릴 수 있다는 결과가 최근 애드혹(Ad-Hoc) 네트워크에서 도출되었다^[6]. 이기종 셀룰러 네트워크에서도 다중 안테나를 이용하여 수신단에서 간섭 제거를 할 수 있는 자유도를 제공하면 성능이득을 얻을 수 있을 것이다. 그러나 지금까지 수신단 간섭 제거 기능을 고려한 로드 밸런싱 최적화 문제는 다루어지지 않았다. 본 논문에서는 [2]에서 제안되어진 사용자 연결 최적화 알고리즘을 이용하여 수신단 간섭 제거 기능을 가지는 경우 사용자들의 데이터 전송 용량 성능을 실험적으로 관찰하려고 한다. 이를 통해 로드 밸런싱을 최적화한 이기종 셀룰러 네트워크에서 간섭 제거 방법이 시스템의 성능 향상을 위해 매우 효과적임을 보일 것이다.

II. 본 론

이기종 셀룰러 네트워크에서 로드 밸런싱을 위해 전체 사용자의 최적 기지국 연결 알고리즘이 [2]에서 제안되었다. 그러나 최적화된 로드 밸런싱을 통해 매크로셀에 연결되는 사용자는 줄어들지만, 증가된 펌토셀 접속자들은 매크로셀로부터 오는 상대적으로 큰 신호가 간섭이 되어 신호 대 간섭 및 잡음 비율(SINR: Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)이 감소하게 된다. 이렇게 증가된 인접셀 간섭 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 그림 1과 같이 다중 안테나를 가지는 수신단을 고려하고, 다중 수신 안테나를 이용한 인접셀 간섭 제거의 효과를 확인하고자 한다.

이기종 다중셀의 로드 밸런싱을 위하여 사용자의 기

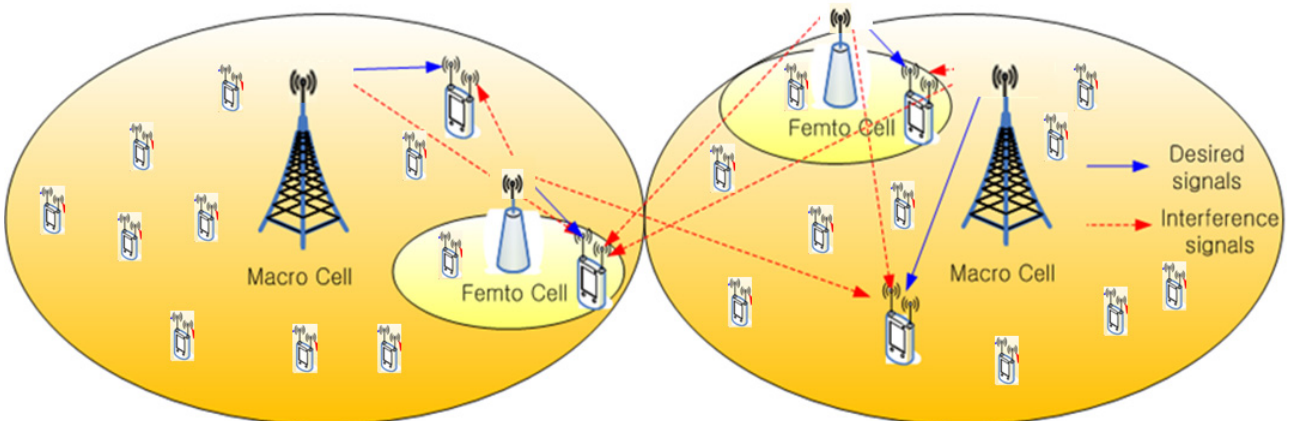


그림 1. 다중 수신 안테나를 가지는 이기종 셀룰러 시스템의 셀간 간섭
 Fig. 1. Intercell interference in heterogeneous cellular systems with multiple receive antennas.

지국 선택 방법으로 전통적으로 사용되어진 max-SINR 방식과 이기종 셀룰러에서 최적화한 max-sum-log-rate 기반 알고리즘^[2]의 성능을 검증한다. 네트워크 위에 존재하는 전체 B 개의 기지국으로부터 특정 수신단 i 까지 측정되는 신호의 크기를 $P_1g_{i1}, P_2g_{i2}, \dots, P_Bg_{iB}$ 라고 하자. 여기서 P_j 는 기지국 j 의 송신 전력, g_{ij} 는 사용자 i 와 기지국 j 사이의 채널 이득을 나타낸다. 그러면 이기종 셀룰러 시스템에서 사용자 i 와 기지국 j 가 연결되었을 때 사용자 수신단에서의 $SINR_{ij}$ 는 아래와 같이 정의되어진다.

$$SINR_{ij} = \frac{P_j g_{ij}}{\sum_{k \neq j, k=1}^B P_k g_{ik} + \sigma^2} \quad (1)$$

위 식에서 σ^2 은 가우시안 잡음의 분산값을 나타낸다.

기존의 max-SINR 기반의 사용자 i 와 연결되는 기지국 \hat{j}_i 은 다음과 같이 간단히 얻을 수 있다.

$$\hat{j}_i = \operatorname{argmax}_j SINR_{ij} \quad (2)$$

사실 우리가 최적화시키려는 성능 지표는 $SINR_{ij}$ 의 값이 아니라 한 셀에 연결된 모든 사용자들이 기지국의 무선 자원을 공유하여 결과적으로 얻는 사용자들의 정보 용량 성능이 되며,

$$R_{ij} = \frac{\log_2(1 + SINR_{ij})}{K_j} \quad (\text{bps/Hz}) \quad (3)$$

으로 나타낼 수 있다. 여기에서 K_j 는 기지국 j 에 연결되는 사용자의 총 수를 나타낸다. 기존의 매크로셀만을 가지는 셀룰러 시스템의 경우 기지국마다 전송파위가 같고 결과적으로 비슷한 K_j 를 갖기 때문에, $\operatorname{argmax}_j R_{ij} \approx \operatorname{argmax}_j SINR_{ij}$ 로 근사화 되어 max-SINR 방식으로도 최적화된 사용자 연결을 찾을 수 있다.

그러나 이기종 셀룰러 네트워크의 경우 연결된 사용자 로드를 나타내는 K_j 의 값이 매크로셀과 펌토 또는 피코셀에서 크게 다르고 기존 max-SINR 방식으로는 최적 솔루션을 찾을 수 없다. [2]에서는 전체 사용자들의 전송 용량에 \log 를 취한 전체합을 최적화 함수로 두고 다음과 같은 max-sum-log 문제를 제안하였다.

$$\hat{j}_i, \forall i = \operatorname{argmax}_{j, \forall i} \sum_i \log(R_{ij}) \quad (4)$$

위의 최적화 문제를 통해 구하여진 정보 용량 성능 $R_{ij} = \frac{\log_2(1 + SINR_{ij})}{K_j}$ 를 max-SINR 기법의 결과와 비교하면, max-SINR의 경우 하위 성능을 가지는 사용자가 주로 큰 K_j 값을 가지는 매크로셀에서 발생하지만, max-sum-log 함수를 최적화하면 간섭이 증가하여 상대적으로 감소한 $SINR_{ij}$ 을 가지는 사용자가 펌토셀에서 발생하게 된다.

이제 간섭 문제를 줄이기 위하여 근접 셀에서 오는 간섭 신호들의 채널 정보와 수신 다중 안테나를 이용한 ZF(Zero Forcing) 방식^[2]의 수신단 간섭 제거 방식을 이기종 셀룰러 네트워크에 적용한다. 사용자가 N_r 개의 다중 안테나를 가지는 경우, 가장 강한 인접 기지국 간섭신호를 최대 $N_r - 1$ 개까지 제거할 수 있게 된다. 사용자 i 가 연결된 셀이 기지국 j 라고 가정하면, 다중 안테나 ZF을 이용한 사용자 수신단에서의 $SINR_{ij}$ 값은 다음 수식으로 표현되어진다.

$$SINR_{ij}^{ZF} = \frac{P_j g_{ij}}{\sum_{k \neq j, k \in I_{N_r-1}} P_k g_{ik} + \sigma^2} \quad (5)$$

여기서 I_{N_r-1} 은 가장 강한 $N_r - 1$ 개의 간섭신호를 가지는 기지국들의 집합을 의미한다.

결과적으로 수식 (5)를 적용하여 $R_{ij}^{ZF} = \frac{\log_2(1 + SINR_{ij}^{ZF})}{K_j}$ 을 구하고, 수식 (4)에서 주어진 사용자 연결 문제를 [2]에서 제안되어진 알고리즘을 이용하여 최적화할 수 있다. 다음 장에서는 로드 밸런싱과 다중 수신 안테나 간섭 제거 기법이 결합될 때 전송속도 성능의 이득을 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 것이다.

III. 실험

모의실험을 위하여 3개의 서로 다른 셀 계층을 가지는 이기종 셀룰러 시스템을 고려할 것이다. 기지국 밀도는 매크로셀, 피코셀, 펌토셀들에서 각각 1, 5, 20의

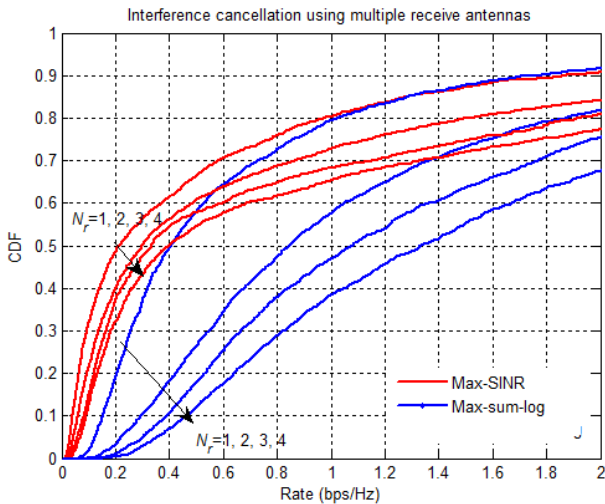


그림 2. 전체 접속자들의 전송 용량 성능 분포
Fig. 2. Rate performance distribution of users

비율을 가지고, 송신 전력은 각각 46dBm, 35dBm, 20dBm을 송출하도록 한다. 매크로셀은 고정된 위치에 있고, 피코셀과 펌토셀은 모두 2차원 평면 위에 균일한 분포를 가지고 불규칙하게 위치한다고 가정한다. 기지국에 접속하기 위하여 대기하고 있는 접속자 수는 총 30명으로 실험하였다.

그림 2에서는 수신 안테나 개수가 1개에서 4개까지 증가할 때, 수신 전력 최대화를 기준으로 하는 기존 max-SINR 방식과 max-sum-log 문제를 최적화한 [2]에서의 로드 밸런싱 알고리즘을 적용한 경우 전송 용량 성능 $R_{i,j}$ 의 분포를 비교하였다. 기존 max-SINR의 경우 수신 안테나 수를 늘려서 간섭신호의 영향을 제거하여도 최하위 성능을 가지는 사용자들의 성능에는 그렇게 큰 이득이 없는 것을 확인할 수 있다. 이는 max-SINR 기법에서 하위 성능은 주로 매크로셀에 너무 많은 사용자가 접속하여 사용자당 전송속도가 감소한 결과이기 때문이다.

그러나 max-sum-log 알고리즘으로 로드 밸런싱을 최적화하면 인접 셀 간섭보다 접속된 기지국의 신호 크기가 오히려 더 작은 접속자들이 증가하기 때문에, 간섭을 제거하면 전송속도 성능이 크게 증가하는 것을 관찰할 수 있다. $N_r = 1$ 인 경우에는 간섭을 제거할 수 없어 로드 밸런싱을 통해 20% 하위 사용자 기준 3배 가량의 채널 용량 성능 향상이 관찰되지만, 3개의 인접 기지국 간섭 신호를 제거할 수 있는 $N_r = 4$ 일 때는 max-sum-log 기법이 max-SINR 방법보다 5배 이상

증가한 성능을 제공한다. 또한 max-SINR의 경우 강한 간섭신호 3개를 제거할 때 0.4bps/Hz 이상의 전송 속도를 얻는 접속자 비율이 38%에서 50%로 12%정도 증가하지만, 로드 밸런싱을 고려하면 간섭 제거로 인한 접속자 비율은 50%에서 93%까지 43%나 향상되는 것을 관찰할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 로드 밸런싱이 고려된 이기종 셀룰러 네트워크에서 간단한 ZF 방식의 수신 간섭 제거 기능이 제공하는 성능 이득을 확인하였다. 이기종 셀룰러 네트워크의 경우 성능 최적화를 위하여 로드 밸런싱을 고려하면 하위 성능 사용자는 주로 간섭 때문에 발생하고, 결과적으로 간섭 제거 기능이 매우 효과적이라는 것을 실험을 통하여 살펴보았다. 앞으로 다중 송신 안테나를 고려하는 경우, 또는 MMSE(Minimum Mean Squared-Error) 기법을 이용하여 간섭 제거를 하는 경우의 성능 확인과 분석이 필요해 보인다.

REFERENCES

- [1] J. G. Andrews, "Seven ways that HetNets are a cellular paradigm shift", *IEEE Communications Magazine*, pp.136-144, March 2013.
- [2] Q. Ye, B. Rong, Y. Chen, M. Al-Shalash, C. Caramanis, J. G. Andrews, "User association for load balancing in heterogeneous cellular networks," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol. 12, no. 6, pp. 2706-2716, June 2013.
- [3] H.-S. Jo, Y. J. Sang, P. Xia, and J. G. Andrews, "Heterogeneous cellular networks with flexible cell association: A comprehensive downlink SINR analysis", *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 11, no. 10, pp. 3484-3495, Oct. 2012.
- [4] A. Amnjanovic, J. Montojo, Y. Wei, T. Ji, T. Luo, M. Vajapeyam, T. Yoo, O. Song, and D. Malladi, "A survey on 3GPP heterogeneous networks," *IEEE Wireless Communications*, pp. 10-21, June 2011.
- [5] A. Ghosh, N. Mangalvedhe, R. Ratasuk, B. Mondal, M. Cudak, E. Visotsky, T. A. Thomas, J. G. Andrews, P. Xia, H. S. Jo, H. S. Dhillon, and T. D. Novlan, "Heterogeneous cellular

networks: From theory to practice,” IEEE Communications Magazine, pp. 54-64, June 2012.

- [6] N. Jindal, J. G. Andrews, S. Weber, “Multi-antenna communication in Ad Hoc networks: Achieving MIMO gains with SIMO transmission,” IEEE Trans. on Commun., vol. 59, no. 2, pp. 529-540, Feb. 2011.

저 자 소 개



이 경 재(정회원)
2005년 고려대학교 전기전자전파
공학부 학사
2011년 고려대학교 전자전기
공학과 박사(석박통합)
2011년~2012년 University of
Texas at Austin,
Postdoctoral Fellow

2012년~현재 한밭대학교 전자·제어공학과
조교수

<주관심분야 : 5G 통신, Relay, Massive MIMO,
Heterogeneous Cellular>



조 한 신(정회원)
2001년 연세대학교 전자공학과
학사
2004년 연세대학교 전자공학과
석사
2009년 연세대학교 전자공학과
박사

2009년~2011년 University of Texas at Austin,
Postdoctoral Fellow

2011년~2012년 삼성전자 네트워크사업부
책임연구원

2012년 3월~현재 한밭대학교 전자·제어공학과
조교수

<주관심분야 : MIMO 시스템, 펌토셀 및 소형셀
네트워크, 학률기하이론>