

MIMO 운영과 DUDe

나세현, 이종석, 방석영, 홍인기

경희대학교 전자정보융합공학과

2015104016, howrhee, qkdtjr97, ekhong@khu.ac.kr

MIMO Operation and DL/UL Decoupling

Se-Hyeon Na, Jong-Seok Rhee, Seok-Yeong Bang, Een-Kee Hong

Dept. of Electronics and Information Convergence Engineering Kyung Hee University

요약

5G 시대에 점점 증가하는 상향링크(Uplink, UL) 용량을 수용하기 위해 상향링크와 하향링크의 셀 연결을 독립적으로 수행하는 셀 연결 방법 DUDe(Downlink Uplink Decoupling)의 효과에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 기존의 연구에서 DUDe는 참조 신호 수신 세기와 경로 감쇠에 기반해 셀 연결이 이루어지며, 이는 DL/UL 전송 데이터 용량의 크기를 결정하는 데에 결정적인 다중 안테나와 같은 요인은 고려되지 않는다. 이에 본 논문은 다중 안테나 이득을 고려하여 용량을 계산하고, 그 용량을 보장하는 셀과 DL, UL 연결을 수행하는 새로운 DUDe 방법을 제안한다. 특히 현대 이동통신 환경은 매크로셀과 스몰셀이 혼재하는 이기종 네트워크이기 때문에 셀의 서로 다른 안테나 구성으로 생길 수 있는 전송 용량 차이가 셀 연결에 고려되는 것은 효율적이고 시의적절한 방법이다. 시뮬레이션 결과, 기존의 DUDe 방법에 비해 UE가 더 큰 용량으로 UL 전송할 수 있게 되었으며 DL에서도 네트워크 전체 전송 효율이 증가하는 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

I. 서론

5G 시대에 IoT, 영상의회의, 실시간 게임 등 상향링크(Uplink, UL) 데이터 용량의 크기가 하향링크(Downlink, DL) 용량만큼이나 중요한 서비스가 등장함에 따라 트래픽을 처리하기 위한 스몰셀의 배치가 활발히 이루어지게 될 것이다 [1-2]. 하지만 이러한 이기종 네트워크 환경에서 단말(User Equipment, UE)이 셀에 연결하는 방식은 DL-RSRP(Reference Signal Received Power)에 의존하며 이 방식으로 선택된 셀은 증가하고 있는 UL 용량을 충분히 수용하지 못한다. 이에 등장한 DUDe(Downlink Uplink Decoupling) 기법은 DL은 RSRP, UL은 경로 감쇠를 기반으로 독립적으로 수행하는 방법으로 UL 용량을 키울 수 있다 [3-4]. 그러나 RSRP와 경로 감쇠는 모두 large scale 정보이며, 실질적인 전송 용량에 직결되는 요소인 다중 안테나의 영향은 고려되지 않았다. 이기종 네트워크에서 매크로셀과 스몰셀의 안테나 개수가 다르기 때문에 다중 안테나 이득을 고려한다면 주변 셀이 UE에게 서비스 할 수 있는 용량의 크기는 다양할 것이며 이와 같은 관점에서 UE에게 보장되는 용량을 최대화하여 셀 연결을 수행할 수 있을 것이다. 이에 본 논문은 현대 이동통신의 핵심 요소인 다중 안테나 기술을 셀 연결에 반영한 새로운 DUDe 방법을 제안한다. 즉, 매크로, 스몰셀이 혼재하는 네트워크에서 UE가 다중 안테나 이득을 고려하여 용량을 계산한 뒤, 주변 셀로부터 제공받을 수 있는 DL 용량 혹은 주변 셀에게 전송할 수 있는 UL 용량을 비교하여 최대 용량을 보장하는 셀과 DL/UL 연결을 독립적으로 수행하는 DUDe 방식에 대해 분석한다.

II. 본론

본 논문에서 제안하는 DUDe 기법은 기존의 DUDe 방법과 다른 셀 연결(cell association) 전략을 취한다. 종래의 연구들에서 사용되는 DUDe 방법은 DL의 경우 DL-RSRP, UL은 경로 감쇠를 기반으로 연결이 수행되지만, 본 논문의 DUDe 연결은 다중 안테나 이득을 고려하여 연결을 수행한다. 즉, DL과 UL 전송에 대해 셀 또는 UE가 최대로 전송할 수 있는 용량이 보장되는 UE 또는 셀로 연결이 수행된다. 따라서 UE는 DL과 UL 전송 각각의 상황에서, 주변 셀들이 보장하는 용량을 비교

하고, 최대 용량을 달성할 수 있는 셀을 선택한다. DL-RSRP와 경로감쇠와 같은 large scale 정보를 사용한 종래의 DUDe 방법에서는 SINR을 구할 수 있겠으나, 전송할 수 있는 실질적인 데이터 양은 다중 안테나 이득을 고려하여 계산된다는 점을 생각하면 본 논문의 방식이 더 합리적이라 할 수 있다.

시뮬레이션은 매크로 셀, 스몰 셀, UE의 안테나 개수를 각각 4개, 2개, 2개로 하였고 매크로 셀 7개가 배치된 환경에 랜덤하게 배치되는 스몰 셀의 개수를 점차 늘려가면서 변화하는 네트워크 성능을 평가한다. DL, UL 전송에서 사용되는 전송 모드는 모든 셀과 UE에서 공간 다중화(spatial multiplexing)를 사용하였으며 표 1에 사용한 파라미터를 나타내었다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
The Number of Macro Cells	7
The number of UEs	200
Area	1 km ²
Transmit Power of MBS	46 dBm
Transmit Power of SBS	30 dBm
Transmit Power of UE	23 dBm
Carrier Frequency	Macro cells: 2.1GHz Small cells: 3.5GHz
Channel Model	Rayleigh fading
Bandwidth	20 MHz
Antenna system	Macro cells: 4 Ants Small cells: 2 Ants UEs: 2 Ants

그림 1은 스몰 셀 개수가 150개 배치된 네트워크 환경에 존재하는 200개의 UE의 UL 전송 용량을 CDF로 나타낸 것이다. DL과 UL이 분리되지 않고 DL-RSRP에 의존해 UL이 수행되는 고전적인 연결 방식을 'DUCo', 종래의 연구들에서 가장 많이 사용되는 방식의 일반적인 DUDe 방법을 'Conventional', 본 논문에서 제안하는 DUDe 방법을 'Proposed'라고 이름 붙

었다. 전체적으로 UE들의 UL 용량은 DL-RSRP 기반 연결에서 벗어나 DUDe와 같이 DL/UL 연결이 독립적으로 수행되었을 때 높아졌다. 그리고 우리가 제안하는 방법이 기존의 DUDe 방법보다 더 UL 용량을 늘릴 수 있음을 보였다.

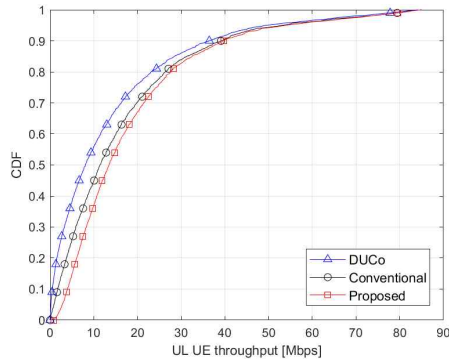


그림 1. UE의 UL 용량의 CDF (스몰셀 개수=150)

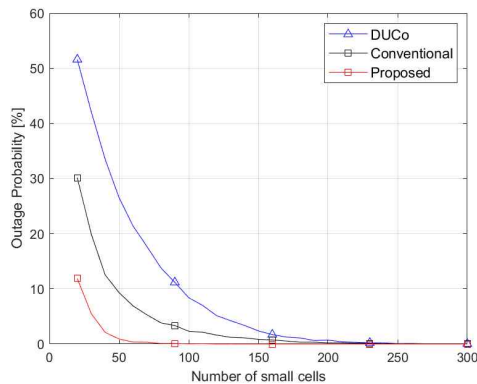


그림 2. 스몰셀 개수에 따른 UE의 UL Outage Probability

그림 2는 약 300Kbps를 달성하지 못하는 UL 전송에 대해 Outage라고 정의했을 때 Outage 확률을 스몰셀의 증가에 따라 나타낸 것이다. 스몰셀이 많이 배치될수록 주변에 연결할 셀이 가까워지기 때문에 충분한 용량을 전송할 수 있으나, 스몰셀 밀도가 높지 않을 때 많은 UE들이 300Kbps를 달성하지 못한다. DUDe가 적용되지 않은 DUCo의 경우 스몰셀 밀도가 20개 일 때 Outage 확률이 50%를 넘는 모습을 보이며 가장 좋지 못한 성능을 보였다. 다중 안테나 이득을 고려했기 때문에 용량에 기반하여 셀 연결을 수행하는 본 논문이 제안하는 방법은 모든 스몰셀 밀도에서 가장 낮은 Outage 확률을 보였다.

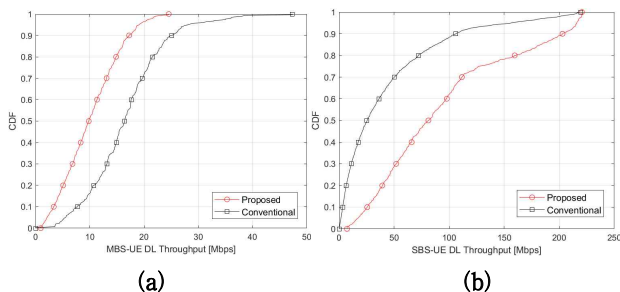


그림 3. (a) 매크로셀 DL 용량의 CDF (b) 스몰셀 DL 용량의 CDF

그림 3은 스몰셀 개수가 그림 1에서와 마찬가지로 150개 일 때 매크로셀에서 UE로의 DL 전송을 (a), 스몰셀에서 UE로의 DL 전송을 (b)로 나타낸 것이다. 본 논문의 DUDe 방식이 적용되면 매크로셀과 스몰셀의 안테나 개수 차이로 발생하는 다중 안테나 이득 차이가 용량 차이로 이어져 매크로셀에 아주 많은 UE가 연결되기 때문에 자원을 공유하는 UE들이 많아지기 때문에 (a)와 같이 UE가 받는 DL 용량은 기존 DUDe에 비해 적다. 그러나, 이 효과에 의해서 제안 방법에서는 스몰셀에 연결되는 UE의 수가 상대

적으로 줄어들어 UE가 스몰셀에 연결된 경우 스몰셀로부터 받는 DL 용량이 매우 큰 것을 (b)를 통해 알 수 있다.

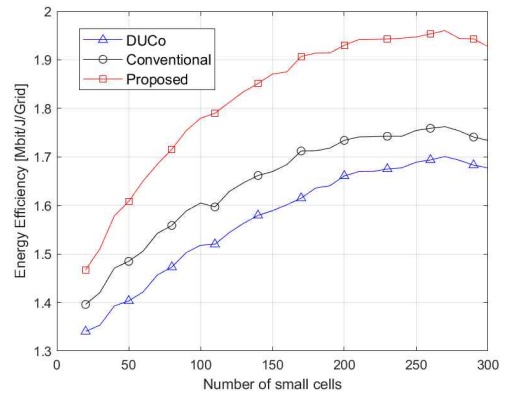


그림 4. 스몰셀 밀도에 따른 에너지 효율

그림 4는 네트워크 전체 DL 용량을 계산하여 에너지 효율(Energy Efficiency)을 구한 것으로, 본 논문에서 제안하는 DUDe 셀 연결이 수행되었을 때 기존 DUDe나 DUCo에 비해 더 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다 [5]. 그림 3에서 매크로셀에 연결된 UE들이 적은 용량을 받고 스몰셀에 연결된 UE들이 더 많은 용량을 받는 것이 확인하였는데, 네트워크 전체적으로는 용량 증가의 결과가 나타났음을 알 수 있다. 네트워크 전체 용량이 증가했다는 것은 매크로셀의 전송 용량을 희생한 대신, 스몰셀 전송 용량을 그보다 상회하는 값으로 훨씬 더 키웠음을 의미한다.

III. 결론

UL 전송 용량이 증가하고 있는 5G 환경을 위해 DL과 UL 연결을 독립적으로 수행하는 DUDe에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으나 용량을 계산하는 데 결정적인 다중 안테나 이득을 고려한 셀 연결에 관한 연구는 진행되지 않았다. 이에 본 논문은 다중 안테나 이득을 반영한 셀 연결을 제안하며 이 방법이 적용되었을 때 얻을 수 있는 효과를 기존의 DUDe 방식과 비교해 제시한다. 시뮬레이션 결과, 본 논문의 방법이 UE의 더 높은 UL 전송 용량을 보장하며 DL의 경우에서도 네트워크 차원에서 더 높은 용량 증가를 달성할 수 있음을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2022- 2021-0-02046)

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2018-0-01659, 5G NR 기반 지능형 오픈 스몰셀 기술 개발)

참고 문헌

- [1] A. Damnjanovic et al., "A Survey on 3GPP Heterogeneous Networks," IEEE Wireless Commun., Vol. 18, No. 3, June 2011, pp. 10-21.
- [2] S. Parkvall et al., "Heterogeneous Network Deployments in LTE," Ericsson Rev., Feb. 2011.
- [3] J. G. Andrews, "Seven ways that HetNets are a cellular paradigm shift," IEEE Commun. Mag., vol. 51, no. 3, pp. 136-144, Mar. 2013.
- [4] F. Boccardi, R.W. Heath, A. Lozano, T.L. Marzetta, and P. Popovski, "Five Disruptive Technology Directions for 5G," IEEE Communications Magazine, Vol. 52, No. 2, 2014, pp. 74-80.
- [5] F. Mirhosseini and A. Tadaion, "Performance analysis of small cell networks with multi-antenna base stations utilizing interference mitigation techniques," in Proc. ISSPIT, Dec. 2015.