J. Internet Comput. Serv.
ISSN 1598-0170 (Print) / ISSN 2287-1136 (Online)
http://www.jics.or.kr
Copyright ⓒ 2021 KSII

고밀도 이기종 네트워크에서 매크로셀 사용자 성능 향상을 위한 스몰셀 기반 다중점 협력통신

Small-cell based Cooperative Multi-Point Communications to Increase Macro-cell User Performance in Ultra-Dense Heterogeneous Networks

반 일 학[1] 김 세 진[1*]
Ilhak Ban Se-Jin Kim

요 약

고밀도 이기종 네트워크에서 스몰셀 기지국(Small-cell base station, SBS)의 수가 증가하면 매크로 단말(Macrocell user equipment, MUE)의 간섭량도 증가하여 수신 신호대 간섭 및 잡음비(Signal-to-interference and noise ratio, SINR)와 시스템 용량이 감소한다. 따라서, 본 논문에서는 SBS의 수가 증가하여도 MUE의 성능을 보장하기 위한 스몰셀 기반 다중점 협력통신(Cooperative Multi-Point, CoMP) 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 MUE가 주어진 SINR 임계값을 만족하기 위해 주변에 위치한 SBS들을 선택하고, 선택된 SBS는 MUE에게 CoMP를 제공하여 성능을 향상시킨다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 스몰셀 기반 CoMP 방법이 다른 간섭관리 및 CoMP 방법과 비교해 스몰셀 단말의 성능은 크게 감소되지 않으면서 MUE의 평균 SINR과 시스템 용량이 향상됨을 보인다.

☞ 주제어 : 이기종 네트워크, 스몰셀, 다중점 협력통신, 간섭관리

ABSTRACT

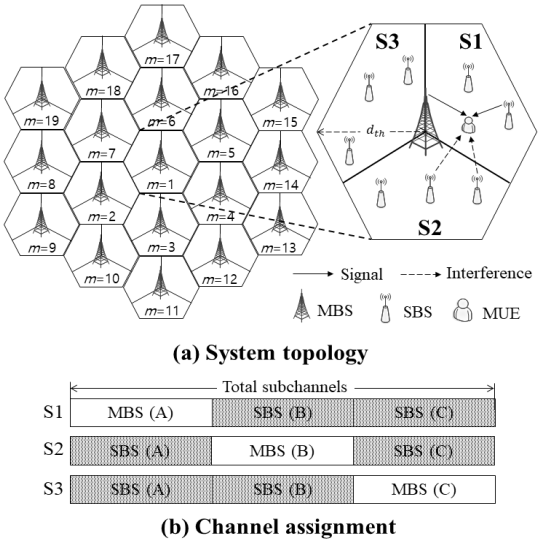
In ultra-dense heterogeneous networks, the amount of interference from small-cell base stations(SBS) to macro-cell user equipments (MUEs) increases significantly as the number of SBSs increases and it causes the MUEs to decrease the signal-to-interference and noise ratio(SINR) and system capacity. In this paper, we propose a small-cell based cooperative multi-point(CoMP) communication scheme that can guarantee the performance of MUEs even when the number of SBSs increases. In the proposed scheme, MUEs first find SBSs that give signal strength equal to or greater than a given SINR threshold and then they are served by different numbers of the selected SBSs using CoMP to improve the performance of MUEs. Simulation results show that the proposed small-cell based CoMP scheme outperforms other interference management or CoMP schemes in terms of the SINR and system capacity of MUEs.

☞ keyword : Heterogeneous network, Small-cell, Cooperative multi-point communication, Interference management

1. 서 론

최근 스마트 단말과 사물인터넷(Internet of Things, IoT) 장치를 이용한 다양한 서비스 요구가 증가하면서 고품질 대용량 모바일 데이터 트래픽 양도 급격히 증가하고 있다[1]. 이에 따라, 매크로셀 기지국(Macro-cell base station, MBS)과 비교해 훨씬 낮은 송신전력으로 소규모 커버리지에 위치한 스마트 단말과 IoT 장치들의 시스템 성능 향상 및 음영지역 해소를 위한 스몰셀 네트워크 기술이 제안되었고, 급격히 증가하는 모바일 데이터 트래픽을 해소할 수 있는 대안으로 관심이 집중되고 있다[2]. 하지만, MBS와 스몰셀 기지국(Small-cell base station, SBS)이 중첩된 고밀도 이기종 네트워크(Ultra-dense heterogeneous network) 환경은 SBS의 수가 증가할수록 매크로 사용자 단말(Macro user equipment, MUE)이 수신하는 간섭 양도 증가하여 수신 신호대 간섭 및 잡음비(Signal-to-interference and noise ratio, SINR)와 시스템 용량이 감소한다. 특히, 셀 경계부분에 위치한 MUE는 MBS로부터 수신하는 신호가 약하기 때문에 주변 SBS들로부터 오는 소량의 간섭에도 큰 영향을 받는다. 또한, 무분별한 SBS의 설치는 MUE와 가깝게 위치한 SBS의 수가 증가할수록 MBS로부터 수신하는 신호의 세기가 강해도 간섭영향을 크게 받는다. 따라서, 고밀도 이기종 네트워크 환경에서 SBS의 성능을 보장하면서 MBS의 성능을 향상시킬 수 있는 효율적인

1 Dept. of Computer Science and Statistics, Chosun University, Gwangju, 61452, Korea.
* Corresponding author (sjkim@chosun.ac.kr)
[Received 16 August 2021, Reviewed 24 August 2021(R2 6 October 2021), Accepted 13 October 2021]



(a) System topology

(b) Channel assignment

(그림 1) 시스템 토폴로지와 채널 할당
(Figure 1) System topology and channel allocation

간섭제어 및 자원할당 방법에 대한 연구에 관심이 집중되고 있다[3-4]. 주파수 재사용 방법은 셀 간 주파수 재사용 인자(Frequency reuse factor)를 다르게 사용하여 셀 경계부분에 위치한 MUE의 간섭을 완화시키는 대표적인 방법이다[5]. 하지만, SBS가 밀집된 이기종 네트워크 환경에서는 주파수 재사용 방법만으로는 MUE의 성능향상이 어렵기 때문에 간섭을 완화시키면서 수신 신호를 높이는 다중점 협력통신(Cooperative Multi-Point, CoMP) 방법에 최근 관심이 집중되고 있다[6-7]. CoMP 는 2개 이상의 MBS가 MUE에게 스케줄링 및 빔포밍 협력을 통해 간섭을 감소시키는 Coordinated Scheduling/Beamforming (CS/CB)방법과 하나의 MUE에게 동시에 데이터를 전송하여 단말의 SINR 성능을 향상시키는 Joint Transmission (JT) 방법이 있다[8]. [9]는 전형적인 매크로셀 네트워크 환경에서 JT-CoMP 방법과 CoMP 방법을 사용하지 않는 일반적인 방법의 성능을 비교하였다. [10]은 JT-CoMP를 위해 고정된 수의 기지국들을 클러스터링하는 방법을 연구하였고, [11]에서는 JT-CoMP를 위해 MUE에게 강한 신호를 전송하는 주변 기지국 중에서 고정된 *N*개를 선택하는 *N*-Best Way방법을 연구하였다. 즉, 이와 같은 연구들은 모든 단말들에게 고정된 수의 기지국들이 JT-CoMP 방법으로 서비스를 제공하였다. 하지만, 고밀도 이기종 네트워크 환경에서는 많은 수의 SBS가 균일하게 배치되기 때문에 모든 단말에게 고정된 수의 SBS를 선택하여 CoMP를 제공하기엔 복잡성 대비 성능향상 정도가 작아 부적절하다.

본 논문에서는 SBS의 수가 증가하여도 MUE의 성능을 보장하기 위한 JT-CoMP 방법을 제안한다. 제안하는 CoMP 방법은 MUE가 미리 정해진 SINR 경계값을 만족하기 위해 주변에 위치한 SBS들의 수를 유동적으로 선택하고, 선택된 SBS는 MUE에게 CoMP를 제공하여 성능을 향상시킨다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 스몰셀 기반 CoMP 방법이 다른 간섭관리 및 CoMP 방법과 비교해 스몰셀 사용자 단말(Small-cell user equipment, SUE)의 성능은 크게 감소되지 않으면서 MUE의 평균 SINR과 시스템 용량이 향상됨을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 다양한 시스템 모델을 소개하고, 3장에서 제안하는 스몰셀 기반 CoMP 방법을 설명한다. 이후, 4장에서 시스템 성능을 분석하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 시스템 모델

2.1 시스템 토폴로지와 채널 할당

그림 1은 고밀도 이기종 네트워크의 시스템 토폴로지와 MBS와 SBS에게 대한 채널 할당 방법을 나타낸다. 그림 1-(a)는 19개의 육각셀이 구성하는 전체 시스템 토폴로지를 나타낸다. 각 셀의 커버리지는 반경 d_{th}이며, 3섹터 안테나를 갖는 MBS가 각 셀의 중앙에 위치한다. 그리고 각 셀의 커버리지는 3개의 섹터(S1,S2,S3)로 나누어지며, 각 섹터에는 *N*개의 MUE와 *F*개의 SBS가 균일하게 분포된다. 각 SBS는 하나의 SUE에게 서비스를 제공한다. 그림 1-(b)는 MBS와 SBS가 성능향상을 위해 간섭을 고려하며 서브채널을 할당하는 방법을 나타낸다. 즉, MBS는 각 섹터(S1, S2, S3)에 위치한 MUE들에게 전체 서브채널의 1/3(A, B, C)을 각각 할당한다. 반면, SBS는 각 섹터(S1, S2, S3)에서 MUE들이 사용하지 않은 2/3(BC, AC, AB)의 서브채널을 할당받아 자신의 SUE에게 서비스를 제공한다. 따라서, SBS들이 동일 섹터에서 자신의 주변에 위치한 MUE들에게 CoMP를 제공하게 되면, SBS는 자신에게 할당되지 않은 서브채널을 이용하여 MUE에게 CoMP를 제공한다. 반면, SBS가 이웃한 섹터에 위치한 MUE들에게 CoMP를 제공하게 되면, SBS는 자신의 SUE에게 서비스를 제공하기 위해 할당된 채널을 이용하게 되며 MUE의 시스템 성능은 향상되지만 SUE의 성능은 소폭 감소한다.

2.2 SINR 모델과 시스템 용량

식(1)과 (2)는 성능 분석을 위한 MUE와 SUE의 SINR 모델을 나타낸다. *m*번째 매크로 기지국이 *n*번째 MUE에게 *k*번째 서브채널을 이용하여 서비스를 제공하기 위한 SINR, γ_{mnk},은 아래와 같이 계산된다.

$$\gamma_{mnk}=\frac{R_{mnk}A(\theta)\omega_{mnk}+\sum_{f\in\mathbf{F}}R_{fnk}\omega_{fnk}\alpha_{fnk}}{\sigma^2+\sum_{j\in\mathbf{M},\mathrm{j}\neq\mathrm{m}}R_{jnk}A(\theta)\omega_{jnk}+\sum_{f\in\mathbf{F}}R_{fnk}\omega_{fnk}\overline{\alpha}_{fnk}}, \quad (1)$$

여기에서, $R_{mnk}=P_{mnk}PL_{mnk}$ 로 계산되며, P_{mnk}와 $PL_{mnk}=15.3+37.6\log_{10}(d)$ 는 각각 *m*번째 MBS와 *n*번째 MUE 사이의 송신전력과 경로손실 모델을 각각 나타낸다. 이때, d는 *m*번째 매크로 기지국과 *n*번째 MUE 사이의 거리(m)를 나타낸다. $A(\theta)=A_g-\min[12(\frac{\theta}{\theta_{3dB}}),A_m]$ 은 MBS와 MUE 사이의 안테나 이득이며, A_g=14dB는 최대 이득을 나타내고 θ_{3dB}와 A_m은 70°와 20°을 각각 사용한다[12]. 또한, $R_{fnk}=P_{fnk}PL_{fnk}$ 로 계산되며, P_{fnk}와 PL_{fnk} $38.46+20\log_{10}(d)$ 는 *f*번째 SBS와 *n*번째 MUE 사이의 송신전력과 경로손실을 각각 나타낸다. ω_{mnk}은 2진 값을 갖는 변수로 *m*번째 MBS가 *n*번째 MUE에게 서브채널 *k*를 할당한다면 1 그렇지 않으면 0 의 값을 갖는다. 그리고, α_{fnk}는 2진 값을 갖는 변수로 *f*번째 SBS가 *n*번째 MUE에게 서브채널 *k*를 이용하여 CoMP 서비스를 제공하면 1 그렇지 않으면 0 의 값을 갖는다. σ^2는 백색잡음을 나타낸다.

*f*번째 SBS가 s번째 SUE에게 *k*번째 서브채널로 서비스를 제공하기 위한 SINR, γ_{fsk}, 은 아래와 같이 계산된다.

$$\gamma_{fsk}=\frac{R_{fsk}\omega_{fsk}}{\sigma^2+\sum_{j\in\mathbf{M}}R_{jsk}A(\theta)\omega_{jsk}+\sum_{l\in\mathbf{F},l\neq f}R_{lsk}\omega_{lsk}}, \quad (2)$$

여기에서, $R_{fsk}=P_{fsk}PL_{fsk}$ 로 계산되며, P_{fsk}와 $PL_{fsk}=38.46+02\log_{10}(d)$는 각각 *f*번째 SBS와 s번째 SUE 사이의 송신전력과 경로손실을 각각 나타낸다.

앞에서 계산된 γ_{mnk}와 γ_{fsk}를 이용하여 식 (3)과 (4)에서는 *m* 번째 MBS가 *n* 번째 MUE 에게 전송하는 용량, C_{mn},과 *f* 번째 SBS가 *s* 번째 SUE에게 전송하는 용량, C_{fs},을 다음과 같이 계산한다.

$$C_{mn}=\sum_{\forall k\in\mathbf{K}}W\bullet\omega_{mnk}\bullet\log_2(1+\gamma_{mnk}), \quad (3)$$

$$C_{fs}=\sum_{\forall k\in\mathbf{K}}W\bullet\omega_{fsk}\bullet\log_2(1+\gamma_{fsk}). \quad (4)$$

여기에서, $W=\frac{W_{Total}}{3N}$ 각 서브채널의 대역폭이고, W_{Total}은 전체 대역폭을 의미한다.

2.3 채널 이용량

MUE에게 CoMP를 제공하는 SBS는 더 많은 서브채널을 사용하기 때문에 채널 이용량 측면에서 성능을 분석한다. 식(5)와 (6)은 *m*번째 MBS가 한 섹터에 위치한 채널 이용량과 *m*번째 MBS의 한 섹터에 위치한 SBS들의 평균 채널이용량, U_m^{MBS}와 U_m^{SBS},을 각각 나타낸다.

$$U_m^{MBS}=\frac{1}{K}\sum_{\forall n\in\mathbf{N}}\sum_{\forall k\in\mathbf{K}}\omega_{mnk}\ m\in\mathbf{M}, \quad (5)$$

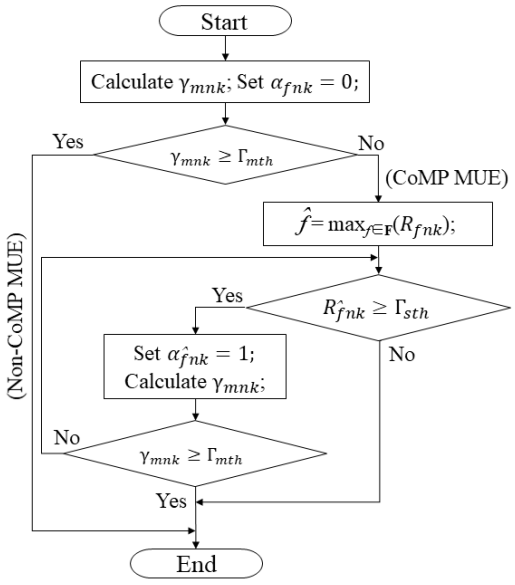
$$U_m^{SBS}=\frac{1}{FK}\sum_{\forall f\in\mathbf{F}}\sum_{\forall s\in\mathbf{S}}\sum_{\forall k\in\mathbf{K}}\omega_{fsk}\ m\in\mathbf{M}. \quad (6)$$

여기에서, MBS는 전체 서브채널 수의 1/3을 각 섹터(S1, S2, S3)에 위치한 MUE들에게 동일하게 할당한다(2.1절 참고). 반면, 각 섹터(S1, S2, S3)에 위치한 모든 SBS들에게 전체 서브채널 수의 2/3를 기본적으로 동일하게 할당한 후, 주변에 위치한 MUE들에게 CoMP를 제공하는 SBS들은 MUE가 사용하는 서브채널을 추가로 이용하게 되어 채널 이용량이 증가한다.

3. 제안하는 스몰셀 기반 CoMP 방법

그림 2는 제안하는 스몰셀 기반 CoMP 방법의 순서도를 나타낸다. 먼저, CoMP가 필요한 MUE를 결정하는 부분을 수행한 후, 결정된 MUE에게 CoMP를 제공하기 위한 SBS들을 유동적으로 선택하는 부분이 수행된다.

CoMP가 필요한 MUE를 결정하기 위해 각 MUE는 식(1)을 기반으로 SINR을 계산한다. 이때, 각 MUE는 서비스 받는 MBS로부터 수신되는 신호의 세기와 이웃한 MBS들 및 주변에 위치한 SBS들로부터 수신되는 간섭 신호의 세기를 이용한다. 계산된 MUE의 SINR은 미리 주어진 MUE의 SINR 경계값 Γ_{mth} 와 비교하여 낮을 경우,



(그림 2) 제안하는 스몰셀 기반 CoMP 방법의 순서도
(Figure 2) Flowchart of the proposed small-cell based CoMP scheme

MBS는 해당 MUE에게 SBS를 이용한 CoMP가 필요하다고 결정(CoMP MUE)한다. 예를 들어, *m*번째 MBS로부터 서비스 받는 *n*번째 MUE가 *k*번째 서브채널을 사용한다면, γ_{mnk}을 계산하여 Γ_{mth} 보다 낮은 경우에 *n*번째 MUE는 CoMP가 필요한 MUE로 결정된다. 이때, CoMP가 필요하다고 결정된 MUE는 주변에 위치한 SBS들로부터 수신되는 신호 세기의 정보를 이용한다. 즉, 신호의 세기가 높은 순서로 SBS에게 CoMP를 요청하게 된다. 반면, 계산된 MUE의 SINR이 Γ_{mth} 보다 높을 경우, MBS는 해당 MUE는 CoMP가 필요하지 않다고 결정(Non-CoMP MUE)한다.

이후, CoMP가 필요한 MUE들이 결정(CoMP MUE)되면, CoMP를 제공하기 위한 SBS들을 유동적으로 선택하는 방법이 수행된다. 이를 위해, MBS는 선택된 MUE들의 SINR이 Γ_{mth} 이상이 되도록 MUE 주변에 위치한 SBS들 중에서 선택하여 CoMP를 요청한다. MUE에게 협력전송을 제공할 수 있는 SBS 후보군은 Γ_{sth} 이상의 간섭신호가 수신되는 SBS들로 구성되며, 무분별한 SBS들의 CoMP가 진행되지 않도록 간섭이 가장 큰 순으로부터 SBS들의 CoMP가 요청된다. 이를 위해, *k*번째 서브채널을 사용하는 *n*번째 MUE는 주변에 위치한 *f*번째 SBS로부터 수신하는 신호의 세기 R_{fnk}를 계산한 후, CoMP가 가능한 SBS들 중에서 R_{fnk}가 가장 강한 SBS $\hat{f}$를 찾는다. 식 (7)은 $\hat{f}$번째 SBS가 *n*번째 MUE에게 *k*번째 서브채널을 사용하는 CoMP를 제공하도록 $\alpha_{\hat{f}nk}$ 를 설정하는 방법을 나타낸다.

$$\alpha_{\hat{f}nk} = \begin{cases} 1 & \text{if } R_{\hat{f}nk} \geq \Gamma_{sth} \\ 0 & otherwise. \end{cases} \quad (7)$$

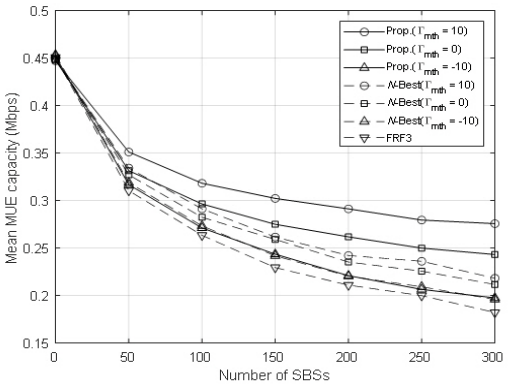
이후, γ_{mnk} 를 계산하여 *n*번째 MUE의 SINR이 Γ_{mth} 이상이 될 때까지 반복하여 수행한다. 하지만, SBS $\hat{f}$를 찾아서 $R_{\hat{f}nk}$ 를 계산한 결과가 Γ_{sth} 보다 작은 경우, *n*번째 MUE에게 CoMP를 제공할 수 있는 SBS가 없기 때문에 반복수행을 중단한다.

(표 1) 시스템 파라미터
(Table 1) System parameters

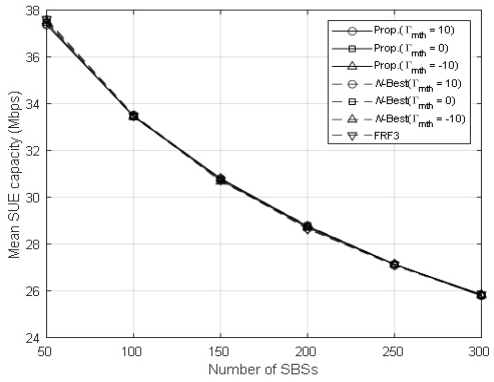
Parameter	Value
Inter site distance	500m[12]
MBS radius(d_{th})	288m
SBS radius	5m
MBS Tx power	20W[5]
SBS TX power	10mW[12]
Number of MUEs per sector	30
Number of SBSs per sector	50~300
Carrier frequency	2.0GHz
Frequency bandwidth(W_{Total})	10MHz
Number of subchannels	90
Min distance the MBSs and MUEs	35m[12]
CoMP MUE threshold(Γ_{mth})	-10, 0, 10dB
CoMP SBS threshold(Γ_{sth})	-78dB
Wall-penetration loss	10dB[13]
σ^2	-174dBm/Hz

4. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 매크로셀과 스몰셀이 밀집된 이기종 네트워크 환경에서 매트랩 소프트웨어를 이용한 하향링크 성능을 분석한다. 매크로 기지국 커버리지 내에 각 섹터마다 30개의 MUE와 50~300개의 SBS를 배치하고, 각 SBS는 한 개의 SUE에게 서비스를 제공한다. 동일한 파라미터 환경에서 500번의 시뮬레이션을 수행하였고, 각 시뮬레이션마다 MUE와 SBS는 균일하게 분포된다. SBS는



(그림 3) 평균 MUE 용량
(Figure 3) Mean MUE capacity



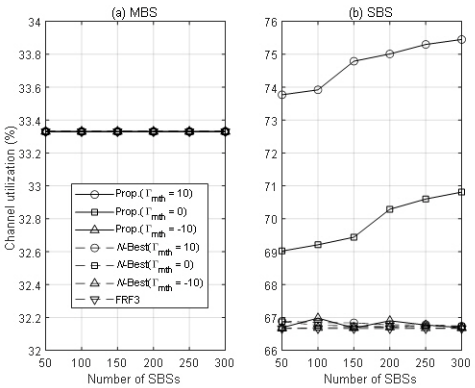
(그림 4) 평균 SUE 용량
(Figure 4) Mean SUE capacity

댁내 환경에 배치되며, 벽 투과 손실은 10dB로 가정한다. 또한, MBS와 SBS의 신호는 평균과 표준편차가 각각 0dB와 8dB인 로그노멀 쉐도우 페이딩을 고려한다. 고밀도 이기종 네트워크 환경에서 제안하는 스몰셀 기반 CoMP 방법을 MUE와 SUE의 Capacity 성능 그리고 MBS와 SBS의 채널 이용량에 대해 SBS 수를 증가시키면서 분석한다. 제안하는 방법의 성능은 각 섹터에서 서로 다른 자원을 사용하여 간섭을 줄이는 FRF3 방법[5] 그리고 고정된 N개의 기지국이 하나의 사용자에게 CoMP를 진행하는 N-Best CoMP 방법[11]과 비교한다. 즉, 전형적인 FRF3 방법은 각 섹터별로 다른 자원을 사용하여 간섭을 줄이는 방법으로 MBS가 각 섹터마다 전체 자원의 1/3을 사용하며, SBS가 전체 자원의 2/3를 사용하는 방법이다. [11]에서 N-Best CoMP 방법은 고정된 2개(N=2)의 SBS가 JT-CoMP에 참여하는 방법으로, 본 논문에서는 MBS와 1개의 SBS가 MUE에게 JT-CoMP를 제공하는 방법으로 변경하여 성능을 비교한다. 제안하는 CoMP 방법에서 Γ_{mth}는 MUE의 Quality of Service(QoS)를 보장하기 위해 CoMP에 참여하는 SBS의 수가 결정되는 중요한 파라미터이며, 실험에서는 -10, 0, 10dB의 3개 값을 고려한다. 마지막으로 MUE에게 CoMP 서비스를 제공할 수 있는 SBS를 결정하는 Γ_{sth}는 -78dB를 사용한다. 표 1은 성능 분석을 위한 시스템 파라미터를 나타낸다.

그림 3은 SBS 수를 증가시키면서 MUE의 평균 시스템 용량을 분석한 결과이다. 전형적인 FRF3 방법보다 CoMP를 적용한 방법이 더 높은 성능을 보여준다. 즉, Γ_{mth}=10dB의 경우, SBS 수가 50~300까지 증가함에 따라 N-Best CoMP 방법과 제안하는 스몰셀 기반 CoMP 방법은 CoMP를 사용하지 않는 FRF3 방법과 비교해 각각 8%~20%과 13%~51%까지 향상된다. 이는 CoMP 를 사용하면 SBS로부터 MUE에게 미치는 간섭을 수신신호로 작용하게 하여 SINR에서 큰 이득을 얻기 때문이다. 또한, 제안하는 스몰셀 기반 CoMP 방법은 N-Best CoMP 방법보다 MUE의 QoS를 보장하여 SBS들이 효율적으로 CoMP를 제공하므로 MUE들의 SINR을 향상시켜 성능이 향상된다. 즉, Γ_{mth}=10dB의 경우, SBS 수가 50~300까지 증가함에 따라 제안하는 스몰셀 기반 CoMP 방법이 5%~26%까지 향상된다. 한편, Γ_{mth}가 증가할수록 CoMP에 참여하는 SBS의 수가 증가하게 되어 MUE의 SINR 및 시스템 용량 성능이 향상된다.

그림 4는 SBS 수를 증가시키면서 SUE의 평균 시스템 용량을 분석한 결과이다. SBS 수가 증가할수록 MUE가 수신하는 간섭량이 증가하기 때문에 3가지 방법 모두 SUE의 평균 시스템 용량은 감소한다. 또한, 제안하는 스몰셀 기반 CoMP 방법은 다른 2가지 방법과 거의 동일한 성능임을 알 수 있다. 이는 MUE와 동일한 섹터에 위치한 SBS들이 대부분 CoMP를 진행하여 SBS들이 자신의 SUE에게 할당된 자원이 아닌 MUE에게 할당된 서브채널을 사용하기 때문이다.

그림 5는 SBS 수를 증가시키면서 MBS와 SBS의 채널 이용량을 분석한 결과이다. 그림 5-(a)는 MBS에게 할당된 채널 이용량을 나타내며, 3가지 방법 모두 MBS는 동일한 성능(1/3)을 보여주고 있다. 그림 5-(b)는 각 SBS에 할당된 평균 채널 이용량을 보인다. $\Gamma_{mth} = -10$db일 때, 제안하



(그림 5) MBS와 SBS의 채널 이용량
(Figure 5) Channel utilization of the MBS and SBS

는 스몰셀 기반 CoMP 방법은 전형적인 FRF3 방법 및 *N*-Best CoMP 방법과 거의 동일한 성능을 나타낸다. 이는 제안하는 스몰셀 기반 CoMP 와 *N*-Best CoMP 방법에서 MUE들의 SINR이 대부분 $\Gamma_{mth} = -10$ dB 이상으로 SBS들이 CoMP를 거의 제공하지 않는 상태가 되어 FRF3 방법과 동일하기 때문이다. 제안하는 스몰셀 기반 CoMP 방법은 Γ_{mth}가 0dB와 10dB 일 때, 유동적으로 CoMP를 제공하는 SBS의 수가 증가하기 때문에 SBS의 채널 이용량도 증가함을 나타낸다. 하지만, *N*-Best CoMP 방법은 Γ_{mth}가 증가하여도 CoMP를 제공하는 SBS 수가 *N*개로 고정되기 때문에 Γ_{mth}에 영향을 받지 않고 동일한 성능을 보이다.

5. 결 론

본 논문은 고밀도 이기종 네트워크 환경에서 MUE의 성능향상을 위해 스몰셀 기반 CoMP 방법을 제안하였다. 제안하는 스몰셀 기반 CoMP 방법은 MUE들의 SINR이 Γ_{mth} 이상이 되도록 유동적인 SBS의 수가 MUE에게 CoMP를 제공하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 스몰셀 기반 CoMP 방법이 전형적인 FRF3 방법 및 *N*-Best CoMP 방법들과 비교해 SUE의 성능은 크게 감소되지 않으면서 MUE의 SINR과 시스템 용량 성능은 증가됨을 알 수 있었다. 향후 연구로는 MBS와 SBS의 소비전력을 절감하면서 MUE의 성능을 향상시키는 머신러닝 기반 CoMP 방법을 연구할 계획이다.

참고문헌(Reference)

[1] CISCO Whitepaper, “Cisco Visual Networks Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update,” 2017-2022 White Paper, Feb 2019.

[2] S.-J. Kim, “Dynamic Channel Assignment with Consideration of Interference and Fairness for Dense Small-cell Networks,” IEICE Transactions on Fundamentals of Electronisc, Communications and Computer Sciences, Vol.E101-A, No.11, pp.1984-1987, 2018. https://doi.org/10.1587/transfun.E101.A.1984

[3] M. Rahman, H. Yanikomeroglu, “Enhancing cell-edge performance: a downlink dynamic interference avoidance scheme with inter-cell coordination,” IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 9, No.4, pp.14141425, Apr. 2010. https://doi.org/10.1109/TWC.2010.04.090256

[4] S. Kim and S. BAE, “Interference-aware dynamic channel assignment scheme for enterprise small-cell networks,” IEICE Trans. Commun., vol.E101-B, NO.12, pp.2453-2461, Dec. 2018. https://doi.org/10.1587/transcom.2018EBP3021

[5] T.Lee, H.Kim, J.Park, and J.Shin, “An efficient resource allocation in OFDMA femtocells networks,” IEEE Vehicular Technology Conference 2010 Fall, pp.1-5, 2010. https://doi.org/10.1109/VETECF.2010.5594587

[6] R. Irmer et al., “Coordinated multipoint: Concepts, performance, and field trial results,” IEEE Commun. Mag., vol. 49, no. 2, pp. 102–111, Feb. 2011. https://doi.org/10.1109/MCOM.2011.5706317

[7] S. Sun, Q. Gao, Y. Peng, Y. Wang, and L. Song, “Interference management through CoMP in 3GPP LTE-advanced networks,” IEEE Wireless Commun., vol. 20, no. 1, pp. 59–66, Feb. 2013. https://doi.org/10.1109/MWC.2013.6472200

[8] D. H. N. Nguyen, L. B. Le and T. Le-Ngoc, ″Optimal Dynamic Point Selection for Power Minimization in Multiuser Downlink CoMP,″ in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 16, no. 1, pp. 619-633, Jan. 2017. https://doi.org/10.1109/TWC.2016.2626444

[9] 3GPP, TR 36.819 Ver. 11.1.0, “Coordinated Multi-Point Operation for LTE Physical Layer

Aspects," Dec. 2011.

[10] P. Marsh and G. Fettweis, "Static clustering for cooperative multi-point(CoMP) in mobile communications," in 2011 IEEE International Conference on Communications(ICC), IEEE, 2011, pp.1-6. https://doi.org/10.1109/icc.2011.5963458

[11] S. Chen, T. Chao, H. H. Chen, Z. Lu, and W. Meng, "Performance analysis of downlink coordinated multipoint joint transmission in ultra-dense networks," IEEE Network, vol. 31, no. 5, pp. 106-114, 2017. https://doi.org/10.1109/MNET.2017.1600192

[12] 3GPP, R4-092042, Simulation assumptions and parameters for FDD HeNB RF requirements, May 2009.

[13] Recom. ITU-R P.1238-6, "Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radio-communication systems and radio local area networks in the frequency range 900MHz to 100GHz," 2009.

◐ 저 자 소 개 ◑

반 일 학(Ilhak Ban)

2016년 조선대학교 컴퓨터통계학과(이학사)
2018년 조선대학교 대학원 전산통계학과(이학석사)
2018년~현재 조선대학교 대학원 전산통계학과 박사과정
관심분야 : 이동통신, 스몰셀, 사물인터넷, 강화학습 etc.
E-mail : ihban@chosun.kr

김 세 진(Se-Jin Kim)

2004년 조선대학교 전자계산학과(이학사)
2006년 고려대학교 대학원 전산학과(이학석사)
2010년 고려대학교 대학원 전산학과(이학박사)
2015년~현재 조선대학교 컴퓨터통계학과 교수
관심분야 : 정보통신, 이동통신, 사물인터넷, 머신러닝 etc.
E-mail : sjkim@chosun.ac.kr