

초고밀도 네트워크에서 상향링크 성능향상을 위한 유동적 채널할당 연구

A Study on Dynamic Channel Assignment to Increase Uplink Performance in Ultra Dense Networks

김 세 진^{1*}
Se-Jin Kim

요 약

초고밀도 네트워크(Ultra dense network, UDN)는 5G 이동통신 시스템에서 많은 수의 스몰셀 기지국(Small-cell access point, SAP)이 매크로셀의 서비스 영역에 배치되기 때문에 매크로 단말(Macro user equipment, MUE)이 수신하는 간섭량이 증가하여 시스템 용량이 크게 감소한다. 따라서, 본 논문은 UDN에서 SAP의 수가 증가하여도 MUE의 성능을 보장하기 위한 상향링크 유동적 채널할당 방법을 제안한다. 제안하는 유동적 채널할당 방법은 간섭량이 높은 MUE와 동일한 부채널을 사용하지 않도록 SAP들이 사용하는 부채널을 제어하여 MUE의 신호 대 간섭 잡음비(Signal to interference and noise ratio)를 주어진 임계값 이상으로 보장하는 것을 목표로 한다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 유동적 채널할당 방법이 다른 방법들과 비교해 스몰셀 사용자 단말의 성능은 크게 감소되지 않으면서 MUE의 평균 전송 용량이 향상됨을 보인다.

☞ 주제어 : 초고밀도 네트워크, 스몰셀, 상향링크, 유동적 채널할당, 간섭관리

ABSTRACT

In ultra dense networks (UDNs), macro user equipments (MUEs) have significant interference from small-cell access points (SAPs) since a number of SAPs are deployed in the coverage of macro base stations of 5G mobile communication systems. In this paper, we propose a dynamic channel assignment scheme to increase the performance of MUEs for the uplink of UDNs even though the number of SAPs is increased. The target of the proposed dynamic channel assignment scheme is that the signal-to-interference and noise ratio (SINR) of MUEs is above a given SINR threshold assigning different subchannels to SUEs from those of MUEs. Simulation results show that the proposed dynamic channel assignment scheme outperforms others in terms of the mean MUE capacity even though the mean SUE capacity is decreased a little lower.

☞ keyword : Ultra dense network, Small-cell, Uplink, Dynamic channel assignment, Interference management

1. 서 론

5G 이동통신 시스템의 초고밀도 네트워크(Ultra dense network, UDN)는 4G LTE 시스템의 이종 네트워크(Heterogeneous network, HetNet)와 유사하지만 훨씬 많은 스몰셀이 밀집된 형태를 갖는다[1]. 즉, UDN은 매크로 기지국(Macro base station, MBS)의 서비스 영역에 수많은 스몰셀 기지국(Small-cell access point, SAP)들을 배치하여, SAP의 주파수 재사용에 따른 전체 시스템 성능을 향상시키는 기술이다[2][3][4][5]. 하지만, SAP가 서비스를 제공

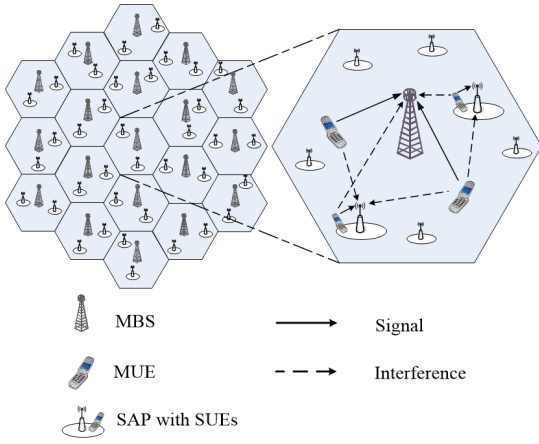
하는 스몰셀 사용자 단말(Small-cell user equipment, SUE)의 성능은 향상되지만, SAP와 동일 채널을 사용하는 매크로 사용자 단말(Macro user equipment, MUE)은 수신되는 간섭의 증가로 성능이 감소하며 HetNet과 비교해 UDN의 간섭 영향이 훨씬 더 증가한다[6][7][8]. 즉, 상향링크에서 동일한 채널로 MUE와 SUE가 전송하는 신호는 SAP와 MBS에게 각각 간섭 영향을 주며, 특히 셀 경계부분에 위치한 MUE는 MBS가 수신하는 신호가 약하기 때문에 SUE로부터 수신되는 소량의 간섭에도 신호 대 간섭 잡음비(Signal to interference and noise ratio, SINR)와 전송 용량이 크게 낮아진다[9][10][11].

최근 UDN과 스몰셀 네트워크 환경에서 MUE의 성능을 보장하기 위한 간섭제어 및 채널할당 방법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. [12]는 하향링크 스몰셀 네

¹ Dept. of Computer Science and Statistics, Chosun University, Gwangju, 61452, Korea.

* Corresponding author (sjkim@chosun.ac.kr)

[Received 20 July 2022, Reviewed 29 July 2022(R2 20 September 2022), Accepted 27 September 2022]



(그림 1) UDN 시스템 토폴로지
(Figure 1) System topology for UDNs

트위크에서 그래프 컬러링 알고리즘을 이용하여 SAP에게 유동적으로 채널을 할당하여 방법을 제안하였다. 하지만, 각 SAP는 하나의 컬러에 할당된 부채널의 수만 이용하게 되어 SUE 전송 용량의 향상에는 한계가 있다. [13]은 UDN에서 부채널을 2개의 그룹으로 분할하고, 서로 다른 채널 그룹을 MBS와 SAP에게 할당하여 이중망 사이의 간섭을 완화하는 분할 채널관리(Split channel management)방법을 연구하였다. 하지만, 간섭완화로 MBS와 SAP의 SINR 성능은 향상되지만, 전체 채널이 2개 그룹으로 분할된 후 MUE와 SUE에게 할당되기 때문에 전송 용량은 크게 향상되지 못한다. 따라서, UDN에서 각 SAP가 자신의 SUE에게 다수의 상향링크 부채널을 할당하면서 MUE가 수신하는 간섭량을 감소시킬 수 있는 유동적 채널할당 방법 연구가 시급한 실정이다.

본 논문에서는 UDN에서 SAP의 수가 증가하여도 SUE의 성능을 보장하면서 MUE의 성능 향상을 위한 상향링크 유동적 채널할당 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 간섭량이 높은 MUE와 동일한 부채널을 사용하지 않도록 SAP들이 사용하는 채널을 유동적으로 제어하여 MUE의 SINR을 주어진 임계값 이상으로 보장하는 것을 목표로 한다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 유동적 채널할당 방법이 다른 방법들과 비교해 SUE의 성능은 크게 감소되지 않으면서 MUE의 평균 전송 용량이 향상됨을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 시스템 모델을 소개하고, 3장에서 제안하는 유동적 채널할당 방법을 설명한다. 이후, 4장에서 시스템 성능을 분석하고, 마지막으로 5장에서 향후 연구와 함께 결론을 맺는다.

2. 시스템 모델

2.1 시스템 토폴로지와 채널 할당

그림 1은 실험을 위한 UDN 환경의 시스템 토폴로지를 나타낸다. 시스템 토폴로지는 육각셀 모형 M 개의 매크로셀 커버리지($M=19$)로 구성되며, 중심 셀의 주변에 6개와 12개의 육각셀이 첫 번째와 두 번째 티어(tier)로 위치한다. 각 매크로셀의 커버리지는 반경 d_r 이며, 전방향 안테나를 갖는 MBS가 각 셀의 중앙에 배치된다. 각 매크로셀 커버리지에는 N 개의 MUE와 S 개의 SAP가 균일하게 분포되며, 각 SAP는 하나의 SUE에게 서비스를 제공한다. 채널할당 방법으로 각 MBS와 SAP는 총 K 개의 상향링크 부채널을 이용한다. MBS는 각 MUE에게 1개의 부채널을 할당하고, 각 SAP는 K 개의 부채널을 SUE에게 할당함을 가정한다. 따라서, MUE를 서비스하는 MBS는 SAP의 수가 증가할수록 SUE로부터 수신하는 간섭 세기가 증가하여 MUE의 시스템 성능이 감소하게 된다.

2.2 SINR 모델과 시스템 용량

먼저, m 번째($1 \leq m \leq M$) MBS와 n 번째($1 \leq n \leq N$) MUE 사이 그리고 m 번째 MBS의 커버리지에 위치한 s 번째($1 \leq s \leq S$) SAP와 자신의 SUE 사이의 경로손실 모델, L_{mn}^{MUE} 와 L_{ms}^{SUE} ,은 각각 다음과 같이 계산된다.

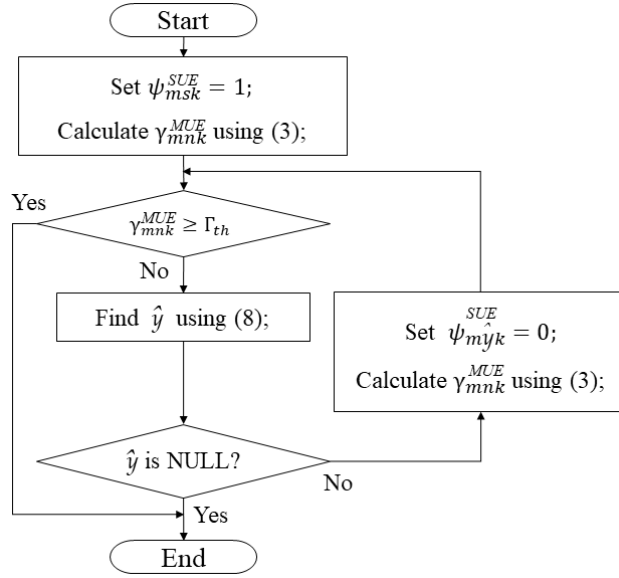
$$L_{mn}^{MUE} = 15.3 + 37.6 \log_{10}(d_{mn}), \quad (1)$$

$$L_{ms}^{SUE} = 38.46 + 20 \log_{10}(d_{ms}), \quad (2)$$

여기에서 d_{mn} 은 m 번째 MBS와 n 번째 MUE 사이 그리고 d_{ms} 은 m 번째 MBS의 커버리지에 위치한 s 번째 SAP와 자신의 SUE 사이의 거리(m)를 각각 나타낸다[14].

식 (1)과 (2)를 이용하여 m 번째($1 \leq m \leq M$) MBS와 n 번째($1 \leq n \leq N$) MUE 사이에 k 번째($1 \leq k \leq K$) 부채널을 이용하여 상향링크 서비스를 제공하기 위한 SINR, γ_{mnk}^{MUE} ,은 다음과 같이 계산된다.

$$\gamma_{mnk}^{MUE} = \frac{PL_{mn}^{MUE} \psi_{mnk}^{MUE}}{N_0 + \sum_{\substack{\forall x \in \mathbf{M} \\ x \neq m}} PL_{xn}^{MUE} \psi_{xnk}^{MUE} + \sum_{\forall x \in \mathbf{M} \forall y \in \mathbf{S}} PL_{xy}^{SUE} \psi_{xyk}^{SUE}}, \quad (3)$$



(그림 2) 제안하는 유동적 채널할당 방법의 순서도
(Figure 2) Flowchart of the proposed dynamic channel assignment scheme

여기에서 P 는 MUE와 SUE의 송신전력이고, N_0 는 백색잡음을 나타낸다. ψ_{mnk}^{MUE} 는 2진 값을 갖는 변수로 만약 $\psi_{mnk}^{MUE}=1$ 이면 m 번째($1 \leq m \leq M$) MBS의 n 번째($1 \leq n \leq N$) MUE가 k 번째($1 \leq k \leq K$) 부채널을 할당받음을, $\psi_{mnk}^{MUE}=0$ 이면 할당받지 못함을 의미한다[15].

식 (3)과 유사한 방법으로 m 번째($1 \leq m \leq M$) MUE의 s 번째($1 \leq s \leq S$) SAP와 s 번째 SAP가 서비스하는 SUE 사이에 k 번째($1 \leq k \leq K$) 부채널을 이용하여 상향링크 서비스를 제공하기 위한 SINR, γ_{msk}^{SUE} 은 다음과 같이 계산된다[15].

$$\gamma_{msk}^{SUE} = \frac{PL_{ms}^{SUE} \psi_{msk}^{SUE}}{N_0 + \sum_{\forall x \in \mathbf{M}} PL_{xs}^{MUE} \psi_{xsk}^{SUE} + \sum_{\forall x \in \mathbf{M}} \sum_{\substack{y \in \mathbf{S} \\ x=m \\ |y \neq s}} PL_{xy}^{SUE} \psi_{xyk}^{SUE}} \quad (4)$$

식 (3)과 (4)에서 계산된 γ_{mnk}^{MUE} 와 γ_{msk}^{SUE} 를 이용하여 m 번째($1 \leq m \leq M$) MBS와 n 번째($1 \leq n \leq N$) MUE 사이의 전송 용량, C_{mn}^{MUE} 과 s 번째($1 \leq s \leq S$) SAP와 자신의 SUE 사이의 전송 용량, C_{ms}^{SUE} 을 샤논의 채널용량 공식을 이용하여 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$C_{mn}^{MUE} = \sum_{\forall k \in \mathbf{K}} \omega \cdot \psi_{mnk}^{MUE} \cdot \log_2(1 + \gamma_{mnk}^{MUE}), \quad (5)$$

$$C_{ms}^{SUE} = \sum_{\forall k \in \mathbf{K}} \omega \cdot \psi_{msk}^{SUE} \cdot \log_2(1 + \gamma_{msk}^{SUE}), \quad (6)$$

여기에서 ω 는 각 부채널의 대역폭을 나타내며 다음과 같이 계산된다.

$$\omega = \frac{W}{N}, \quad (7)$$

여기에서 W 는 전체 주파수 대역폭을 나타낸다.

3. 제안하는 유동적 채널할당 방법

그림 2는 제안하는 상향링크 유동적 채널할당 방법의 순서도를 나타낸다. 먼저, $\psi_{mnk}^{MUE} = 1$ 을 설정하여 m 번째($1 \leq m \leq M$) MBS는 n 번째($1 \leq n \leq N$) MUE에게 k 번째($1 \leq k \leq K$) 부채널을 할당하며, 각 MUE는 K 개의 부채널 중에서 1개만 할당받는다. 반면, m 번째($1 \leq m \leq M$) MBS의 s 번째($1 \leq s \leq S$) SAP는 자신이 서비스하는 SUE에게 $\psi_{msk}^{SUE} = 1$ ($k \in \mathbf{K}$)을 설정하여 K 개의 부채널을 모두 할당한다. 이후, MBS는 MUE와 SUE로부터 수신되는 전력세기(Received signal strength, RSS)를 측정하고, 식 (3)을 이

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

Parameter	Value
반송 주파수	2.0GHz
전체 주파수 대역폭(W)	10MHz
부채널 수	30
매크로 기지국 수	19
매크로 기지국 반경(d_r)	288m[14]
스몰셀 기지국 반경	5m
매크로 사용자 단말 수/셀	30
스몰셀 기지국 수/셀	50~300
스몰셀 사용자 단말 수/스몰셀 기지국	1
매크로 및 스몰셀 사용자 단말의 송신전력	23dBm[14]
매크로 사용자 단말의 목표 SINR(Γ_{th})	-10, 0, 10dB
벽에 의한 손실	10dB[14]
N_0	-174dBm/Hz

용하여 MBS가 서비스를 제공하는 모든 MUE의 γ_{mnk}^{MUE} 를 계산한다. 예를 들어, 일반적으로 MBS와 가까이 위치한 MUE는 RSS가 높아 γ_{mnk}^{MUE} 가 높게 나타나지만, 셀 경계 부분에 위치한 MUE는 RSS가 낮아 γ_{mnk}^{MUE} 가 낮게 나타난다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 제안하는 유동적 채널할당 방법은 MUE의 γ_{mnk}^{MUE} 이 미리 설정된 MUE의 목표 SINR 값인 Γ_{th} 이상인 조건($\gamma_{mnk}^{MUE} \geq \Gamma_{th}$)을 만족하도록 MUE에게 가장 큰 간섭을 주는 SUE를 찾아 MUE에게 할당된 부채널을 SUE가 사용하지 않도록 제어한다. \hat{y} 는 MUE에게 가장 큰 간섭을 주는 SUE를 의미하며 아래와 같이 계산된다.

$$\hat{y} = \arg \max_{y \in \mathbf{S}} (PL_{xy}^{SUE} \psi_{xyk}^{SUE}), \quad \forall x \in \mathbf{M}, \forall k \in \mathbf{K}. \quad (8)$$

여기에서 P 는 SUE의 송신전력이고, L_{xy}^{SUE} 는 식 (2)에서 소개한 x 번째($1 \leq x \leq M$) MBS와 y 번째($1 \leq y \leq S$) SUE 사이의 경로손실을 나타낸다. 따라서, MBS x 는 k 번째 부채널을 사용($\psi_{xyk}^{SUE}=1$)하는 다수의 SUE들로부터 수신되는 신호의 세기 중에서 가장 강한 SUE를 서비스하는 SAP \hat{y} 를 찾는다.

MBS가 \hat{y} 를 찾으면 \hat{y} 번째 SUE를 서비스 중인 SAP에게 메시지를 전송하여 MUE와 동일한 채널 k 를 사용하지 않도록 $\psi_{mjk}^{SUE}=0$ 을 설정한다. 이후, 식 (3)을 이용하

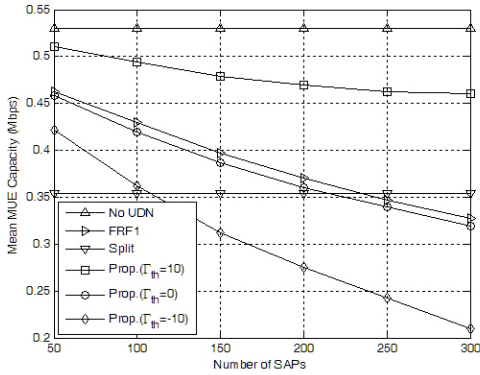
여 다시 γ_{mnk}^{MUE} 를 계산하며, 이와 같은 동작을 $\gamma_{mnk}^{MUE} \geq \Gamma_{th}$ 의 조건이 만족될 때까지 반복하여 수행한다. 만약, \hat{y} 가 NULL 인 경우는 MBS가 S 개의 SUE를 서비스하는 SAP 모두에게 MUE와 동일한 채널 k 를 사용하지 않도록 메시지를 전송한 상태를 의미한다. 마지막으로 SAP는 식 (4)를 이용하여 γ_{msk}^{SUE} 를 계산한다. 이와 같은 방법으로 제안하는 유동적 채널할당 방법은 MUE에게 간섭영향이 높은 SUE를 찾아서 유동적으로 채널을 할당하지 않도록 제어하여 MUE의 성능을 향상시킨다.

4. 시뮬레이션 결과

이 장에서는 UDN 환경에서 SAP 수의 변화에 따라 제안하는 유동적 채널할당 방법의 평균 MUE와 SUE 용량에 대한 성능을 분석한다. 실험은 MATLAB을 이용한 Monte Carlo 시뮬레이션을 이용한다. 제안하는 방법과 성능을 비교하기 위한 3가지 방법은 다음과 같다.

- ① No UDN: 스몰셀이 없는 전형적인 셀룰러 네트워크로 MBS가 MUE에게만 서비스를 제공하는 방법
- ② FRF 1: 모든 SAP가 자신의 SUE에게 N 개의 부채널을 할당하는 방법
- ③ Split: MUE와 SUE가 서로 간섭 영향을 주지 않도록 부채널을 2개 그룹으로 분리하여 운영하는 채널할당 방법[13]

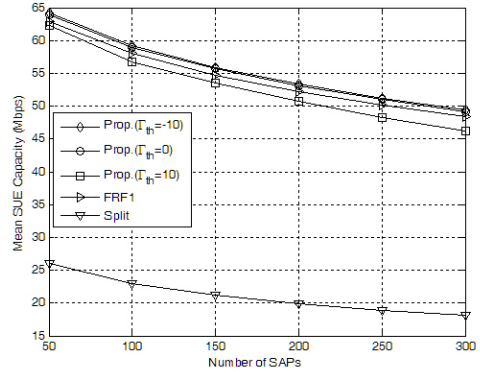
MUE의 수(N)와 부채널의 수(K)는 30개로 동일하기 때문에 각 MUE는 서로 다른 1개의 부채널을 할당받으며, 각 부채널의 대역폭은 $\omega = W/N$ 와 같이 계산된다. 하지만, Split 채널할당 방법은 전체 주파수 대역(W)을 2:1 비율로 나누어 MUE와 SUE에게 각각 할당한다. 즉, Split 채널할당 방법에서 각 MUE에게 할당되는 부채널의 주파수 대역은 $\omega = 2W/3N$ 이고, 각 SAP는 자신의 SUE에게 $W/3$ 의 주파수 대역을 할당한다. 마지막으로, 제안하는 유동적 채널할당 방법에서 MUE의 목표 SINR 값인 Γ_{th} 는 -10, 0, 10dB의 3개 값에 대해서 성능을 분석한다. [16]에서 MUE의 서비스 제공 유무를 결정하는 SINR 기준으로 -10dB를 사용하여 $\Gamma_{th}=-10$ dB부터 시작하였으며, 10dB 간격으로 증가시키면서 성능을 분석한다. Log-normal shadow fading은 zero mean 그리고 매크로셀과 UDN에 8dB와 4dB의 standard deviation을 각각 가정한다[14]. 표 1은 주요 시스템 파라미터를 나타낸다.



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

그림 3은 SAP 수를 증가시키면서 평균 MUE 용량을 분석한 결과이다. No UDN 방법과 Split 방법은 SAP 수가 증가하여도 MUE에게 간섭영향이 없기 때문에 항상 동일한 성능을 보이며, MUE에게 할당된 부채널 수가 많은 No UDN 방법이 Split 방법보다 높은 성능을 보인다(No UDN과 Split 방법이 MUE에게 할당하는 부채널 수의 차이: W 와 $2W/3$). 반면, FRF 1 방법과 제안하는 유동적 채널할당 방법은 SAP 수가 증가함에 따라 MUE가 SUE로부터 받는 간섭량이 증가하여 성능이 감소한다. 또한, 제안하는 유동적 채널할당 방법은 Γ_{th} 의 값에 따라 성능이 크게 다를 수 있다. 즉, $\Gamma_{th} = -10\text{dB}$ 의 경우, 제안하는 유동적 채널할당 방법이 FRF 1 방법보다 크게 낮고, Split 채널할당 방법보다는 부분적으로 낮은 성능을 보인다($S \leq 100$ 경우는 제안하는 채널할당 방법이 Split 채널할당 방법보다 우수하지만, $100 < S$ 경우는 Split 채널할당 방법이 우수함을 보인다). $\Gamma_{th} = 0\text{dB}$ 의 경우, 제안하는 유동적 채널할당 방법이 FRF 1 방법보다 낮고, Split 채널할당 방법보다는 부분적으로 낮은 성능을 보인다($S \leq 200$ 경우는 제안하는 채널할당 방법이 Split 채널할당 방법보다 우수하지만, $200 < S$ 경우는 Split 채널할당 방법이 우수함을 보인다). 마지막으로 $\Gamma_{th} = 10\text{dB}$ 의 경우, 제안하는 유동적 채널할당 방법이 FRF 1과 Split 채널할당 방법보다 우수한 성능을 보인다.

그림 4는 SAP 수를 증가시키면서 평균 SUE 용량을 분석한 결과이다. No UDN 방법은 SAP가 없기 때문에 성능 그래프에 나타나지 않는다. FRF 1 방법, Split 채널할당 방법, 그리고 제안하는 유동적 채널할당 방법은 SAP 수가 증가함에 따라 이웃한 SUE로부터 수신되는 간섭량이



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

증가하기 때문에 평균 SUE 용량이 감소함을 보인다. FRF 1 방법과 제안하는 유동적 채널할당 방법은 비슷한 성능을 나타내지만, 유동적 채널할당 방법은 Γ_{th} 값에 따라 미세한 차이를 보이고 있다. 즉, $\Gamma_{th} = -10\text{dB}$ 와 0dB 의 경우, 제안하는 유동적 채널할당 방법은 FRF 1 방법보다 미세하지만 높은 성능을 보인다. 반면, $\Gamma_{th} = 10\text{dB}$ 의 경우, 제안하는 유동적 채널할당 방법이 FRF 1 방법보다 미세하지만 낮은 성능을 보인다. 마지막으로 Split 채널할당 방법은 다른 방법들과 비교해 SUE가 SAP로부터 할당받는 채널 수가 적기 때문에 평균 SUE 용량이 크게 낮음을 알 수 있다(예, FRF 1과 Split 방법이 SUE에게 할당하는 채널 수의 차이: W 와 $W/3$).

5. 결 론

본 논문은 UDN 환경에서 SUE의 부채널을 유동적으로 할당하여 MUE의 상향링크 성능을 향상시키는 유동적 채널할당 방법을 제안하였다. 제안하는 유동적 채널할당 방법은 MUE의 SINR이 Γ_{th} 이상이 되도록 SUE에게 할당되는 부채널을 관리하여 MUE가 수신하는 간섭을 완화하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 유동적 채널할당 방법이 전형적인 FRF 1 방법 및 Split 방법들과 비교해 평균 SUE 용량은 크게 감소되지 않으면서도 평균 MUE 용량은 향상됨을 알 수 있었다. SAP의 수가 증가할수록 평균 MUE 용량은 감소하지만, 제안하는 유동적 채널할당 방법은 다른 방법들보다 좋은 성능을 보였다(특히, $\Gamma_{th} = 10\text{dB}$). SAP의 수가 증가할수록 평균 SUE 용량도 감소하는 경향을 보이지만 Split 방법을 제외한 나머지 방법들

은 거의 유사한 성능을 나타냈다. 상향링크 UDN 환경에서 MUE와 SUE 사이의 간섭완화 기술은 채널할당 방법 뿐만 아니라 전송전력 제어 방법도 필요하다. 따라서, 향후 연구로는 MUE와 SUE의 소비전력을 절감하면서 시스템 성능을 향상시키는 상향링크 유동적 전송전력 제어 방법을 연구할 계획이다.

참고문헌(Reference)

- [1] Jung S.J., Lee K.S., Kim M.H., Noh T.G., "Technical Trends of 5G UDN," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 33, No. 5, pp.42-50, 2018.
<https://doi.org/10.22648/ETRI.2018.J.330505>
- [2] M. Kamel, W. Hamouda, A. Youssef, "Ultra-Dense Networks: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.18, No.4, pp.2522-2545, 2016.
<https://doi.org/10.1109/COMST.2016.2571730>
- [3] Y. Teng, M. Liu, F. R. Yu, V. C. M. Leung, M. Song, Y. Zhang, "Resource Allocation for Ultra-Dense Networks: A Survey, Some Research Issues and Challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 21, No. 3, pp.2134-2168, 2019.
<https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2867268>
- [4] M. A. Adedoyin, O. E. Falowo, "Combination of Ultra-Dense Networks and Other 5G Enabling Technologies: A Survey," *IEEE Access*, Vol. 8, pp.22893-22932, 2020.
- [5] F. Tseng, L. Chou, H. Chao, J. Wang, "Ultra-dense small cell planning using cognitive radio network toward 5G," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 22, No. 6, pp.76-83, 2015.
<https://doi.org/10.1109/MWC.2015.7368827>
- [6] J. Liu, M. Sheng, L. Liu, J. Li, "Interference Management in Ultra-Dense Networks: Challenges and Approaches," *IEEE Network*, Vol. 31, No. 6, pp.70-77, 2017.
<https://doi.org/10.1109/MNET.2017.1700052>
- [7] H. Zhang, K. Yang, S. Zhang, X. Wang, "Efficient Subchannel Allocation Based on Partial Clustered Interference Alignment and Clusters Merging in Dense Small Cell Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 69, No. 12, pp.16191-16196, 2020.
<https://doi.org/10.1109/TVT.2020.3032669>
- [8] W. Ni, I. B. Collings, "A New Adaptive Small-Cell Architecture," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 31, No. 5, pp.829-839, 2013.
<https://doi.org/10.1109/JSAC.2013.130502>
- [9] S. Cai, Y. Che, L. Duan, J. Wang, S. Zhou, R. Zhang, "Green 5G Heterogeneous Networks Through Dynamic Small-Cell Operation," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 34, No. 5, pp.1103-1115, 2016.
<https://doi.org/10.1109/JSAC.2016.2520217>
- [10] E. Hossain, M. Rasti, H. Tabassum, A. Abdelnasser, "Evolution toward 5G multi-tier cellular wireless networks: An interference management perspective," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 21, No. 3, pp.118-127, 2014.
<https://doi.org/10.1109/MWC.2014.6845056>
- [11] M. Sheng, G. Liu, X. Wang, W. Jiao, J. Li, "Interference Alignment and Cancellation for the Uplink of Heterogeneous Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 66, No. 2, pp.1104-1115, 2017.
<https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2551373>
- [12] E. Pateromichelakis, M. Shariat, A.U. Quddus, R. Tafazolli, "Graph-Based Multicell Scheduling in OFDMA-Based Small Cell Networks," *IEEE Access*, vol. 2, pp.897-908, 2014.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2014.2350556>
- [13] B. Lahad, M. Ibrahim, K. Khawam, "A new uplink interference mitigation in HetNets using macro uplink subframe muting," *IEEE International Conference on Applied Research in Computer Science and Engineering 2015*, pp.1-6, 2015.
<https://doi.org/10.1109/ARCSE.2015.7338138>
- [14] 3GPP, R4-092042, Simulation assumptions and parameters for FDD HeNB RF requirements, May 2009.
- [15] Tony Q. S. Quek et al., *Small Cell Networks: Deployment, PHY Techniques, and Resource Management*, Cambridge University Press, May 2013.
<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139061421>
- [16] 3GPP TR 36.942 V11.0.0, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) System Scenarios, 2009.

● 저 자 소 개 ●



김 세 진(Se-Jin Kim)

2004년 조선대학교 전산학과(이학사)

2006년 고려대학교 대학원 전산학과(이학석사)

2010년 고려대학교 대학원 전산학과(이학박사)

2015년~현재 조선대학교 컴퓨터통계학과 교수

관심분야 : 정보통신, 차세대 이동통신, 사물인터넷, 지능형 네트워크, 머신러닝 etc.

E-mail : sjkim@chosun.ac.kr