

초밀집 네트워크에서 에너지 효율 향상을 위한 사용자 밀집도 기반 적응적 기지국 제어 방안

이 원 석*, 이 호 원°, 정 방 철*

Adaptive BS Control Scheme Based on User Density for Improving Energy Efficiency in Ultra Dense Networks

Wonseok Lee*, Howon Lee°, Bang Chul Jung*

요 약

5G 네트워크에서는 기지국과 단말의 수가 급증할 것으로 예상되므로, 네트워크에서 소비되는 에너지의 효율적인 사용은 매우 중요한 이슈들 중 하나이다. 본 논문에서는 초밀집 네트워크 환경에서 불필요한 에너지 낭비를 최소화하기 위하여 네트워크 영역 별 사용자 밀집도에 따라서 기지국의 어웨이크/슬립 (Awake/Sleep) 모드를 적응적으로 제어하는 방안을 제안한다. 확률 기하 이론을 기반으로 네트워크에 존재하는 사용자와 기지국을 푸아송 점 과정에 따라 생성하되, 다양한 상황을 고려하기 위해 사용자 분포를 영역 별로 지수적으로 증가하는 환경과 일부 영역에 밀집되어 있는 환경을 고려하여 결과를 도출하였다. 본 논문에서 제안하는 적응적 thinning 알고리즘은 영역 별 사용자 밀집도에 따라 적응적으로 thinning 반경을 결정하며, 제안하는 알고리즘에 따라 결정된 thinning 반경 이내에 존재하는 기지국들의 상태를 슬립 모드로 변경하여 네트워크의 에너지 효율성을 향상시킨다. 면적 당 수율과 에너지 효율 결과를 통해 기존방안과 제안방안의 성능을 비교 분석하도록 한다.

Key Words : Ultra-Dense Networks, Thinning Process, Energy Efficiency

ABSTRACT

In 5G networks, the number of base stations (BSs) and user equipments (UEs) will rapidly increase. Therefore, efficient energy utilization is one of the most important issues in the 5G networks. In this paper, we propose an algorithm to adaptively control the awake/sleep mode of the BS according to the user density in order to minimize the unnecessary energy consumptions in the ultra-dense network environments. By using the stochastic geometry, UEs and BSs are basically generated by the Poisson point process (PPP). Also, we consider the simulation environments where the users are concentrated on the specific region to consider the dense network situations. Because the proposed adaptive thinning (AT) algorithm determines the thinning radius considering the active user density, the status of the BSs within the thinning radius is changed into the sleep mode to improve the network energy efficiency. Through the simulation results with respect to the area throughput and energy efficiency, we demonstrate that our proposed AT algorithm outperforms conventional algorithms.

※ 이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2016R1D1A1B03935902).

♦ First Author : (ORCID:0000-0002-8632-1280)Dept. of EECE, Hankyong National University, longtimep@gmail.com, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0001-5509-9202)Dept. of EECE, Hankyong National University, hwlee@hknu.ac.kr, 종신회원

* (ORCID:0000-0002-4485-9592)Dept. of EE, Chungnam National University, bcjung@cnu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : 201806-0-141-SE, Received April 27, 2018; Revised June 25, 2018; September 17, 2018

I. 서 론

5G 네트워크는 ITU-R에서 정의한 20 Gbps의 최대 전송률, 100~1000 Mbps의 사용자 체감 전송률, 4G 대비 3배의 주파수 효율, 4G 대비 100배의 에너지 효율 등의 요구사항들을 지원할 수 있어야 한다^[1]. 이에 따라, 다양한 5G 요구사항들을 만족시키기 위해 전이중 듀플렉스 (Full-Duplex), 초다중 안테나 (massive-MIMO), 무선 백홀/프론트홀 (backhaul/fronthaul) 및 초밀집 네트워크 (ultra-dense network) 등과 같은 다양한 기술들이 핵심 기술로 각광받고 있다^[2-4].

본 논문에서 살펴보고자 하는 초밀집 네트워크는 급격하게 증가하는 모바일 및 사물통신 (Internet of Things) 디바이스 등에서 발생하는 엄청난 양의 트래픽을 지원하는 동시에 초다중 디바이스들의 연결성을 지원해 줄 수 있는 핵심 기술이다. 하지만, 많은 수의 기지국이 네트워크 내에 매우 밀집되어 배치될 가능성이 높기 때문에 이에 따라 불필요한 간섭과 빈번한 핸드오버가 발생하게 된다. 또한, 네트워크에서 소비하는 에너지 소비량의 80% 이상이 기지국에서 소비되고 있기 때문에 에너지의 효율적인 사용 또한 매우 중요한 이슈이다^[5,6].

최근, 초밀집 네트워크의 에너지 효율 향상에 대한 주제로 많은 연구가 활발히 진행되고 있으며, [7]에서는 효율적 기지국 전송 파워 제어, 사용자 분포를 고려한 네트워크 에너지 효율성 제고와 같은 요소가 전체적인 에너지 효율 향상에 끼치는 영향에 대하여 분석하였다. 또한, [8]에서는 초밀집 네트워크에서 기지국의 어웨이크/슬립 (Awake/Sleep)에 대한 가능성과 필요성에 대한 연구를 진행하였고, [9]에서는 시스템 레벨 시뮬레이션을 통해 이중 네트워크 환경에서 최적화된 중앙제어 어웨이크/슬립(Awake/Sleep) 기지국 제어에 대한 연구가 진행되었다. 그리고, [10]에서는 기지국과 사용자 사이에서 데이터 트래픽량의 정보 교환 기반으로 마르코프 결정 과정을 통해 이중 네트워크 환경에서 에너지 소비를 최소화하는 방안에 연구를 진행하였으며, [11]에서는 초밀집 네트워크에서 에너지 하베스팅을 통해 기지국에서 소비하는 에너지를 줄이기 위한 연구를 수행하였다. 그리고, [12]에서는 네트워크에서 영역을 분할하지 않고 전체 영역에서 사용자 밀집도에 따라서 기지국의 어웨이크/슬립을 확률적으로 제어하는 방안을 연구하였다.

본 논문에서는 초밀집 네트워크 환경에서 사용자 밀집도에 따라 기지국의 제어 반경을 결정하는 알고

리즘 제안을 통해 네트워크의 에너지 효율을 향상시키고자 한다. 제안하는 알고리즘은 네트워크에 존재하는 임의의 불특정 기지국으로부터 특정 제어 반경 이내에 있는 기지국들을 슬립 모드로 변경하는 과정을 수행하며, 더 이상 기지국들의 모드 변화가 없을 때까지 반복적으로 수행하도록 한다. 제안하는 알고리즘의 성능 검증을 위하여 사용자가 영역에 따라 지수적으로 증가되어 분포하는 환경과 특정 영역에 밀집되어 있는 상황에서 제안하는 알고리즘의 성능을 비교분석하였다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 무선통신 환경을 모델링하는데 사용되는 대표적인 방법들 중 하나인 확률기하 (Stochastic Geometry) 이론을 기반으로 네트워크를 구성하였다. 기지국과 사용자는 푸아송 점 과정 (Poisson point process)을 통해 생성되며, 각 점은 랜덤하고 독립적인 특성을 가지게 된다. 또한, 제안하는 알고리즘의 기반이 되는 마탄 하드코어 점 과정 (Matern hardcore point process)은 푸아송 점 과정으로부터 도출된다. II 장에서는 푸아송 점 과정과 마탄 하드코어 점 과정에 대해서 설명하고, 기지국과 사용자 사이 거리 (r)에 대한 확률밀도함수 (probability density function, pdf)를 도출하는 방법에 대해 소개한다. 기본적으로 기지국과 사용자 사이의 거리에 대한 확률밀도함수를 통해 사용자가 받는 평균 데이터 전송률과 네트워크의 포함 확률을 계산할 수 있다^[9].

2.1 푸아송 점 과정과 마탄 하드코어 점 과정

네트워크에 분포되는 기지국과 사용자는 밀도(λ , intensity)를 가진다. 수식 (1)은 특정 공간 S 에서 n 개의 점이 생성될 확률을 의미한다.

$$P(n) = \frac{(\lambda S)^n}{n!} e^{-\lambda S} \quad (1)$$

그림 1은 기지국과 사용자 밀도 λ_{BS} 와 λ_{UE} 를 가지는 푸아송 점 과정에 의해 기지국과 사용자가 분포되어 있는 네트워크의 예를 보여준다. 그림 1에서 볼 수 있는 다각형 영역은 푸아송 점 과정에 의해서 생성된 기지국 점 (다이아몬드)들을 보로노이 테셀레이션 (Voronoi tessellation) 삼각분할 하여 구성되며, 각 기지국 별 전송 영역을 의미하게 된다.

사용자는 가장 가까운 기지국과 통신을 하게 되며

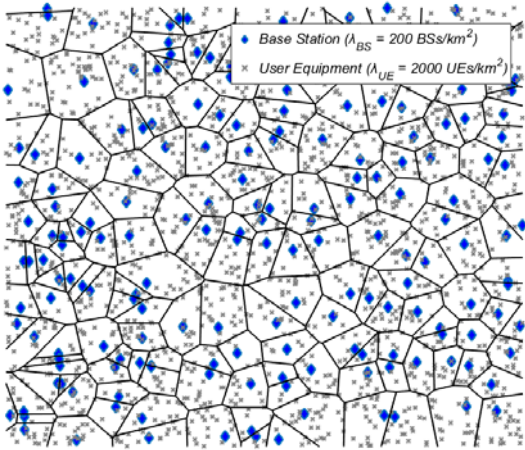


그림 1. 기지국과 사용자의 분포 예
Fig. 1. Examples of network deployments of BS and users

이외의 기지국들에서 발생하는 신호는 간섭 신호로 계산된다. 사용자와 가장 가까운 기지국과의 거리 r 에 대한 확률밀도함수는 2차원 푸아송 점 과정의 널 확률 (Null probability)을 사용하여 유도할 수 있다. 즉, 반경 R 을 가지는 공간 S 에 푸아송 점 과정에 의해서 생성되는 점이 없을 확률을 기반으로 푸아송 점 과정의 확률밀도함수를 유도하는 과정은 수식 (2)와 같다 [13].

$$\begin{aligned}
 P[r > R] &= e^{-\lambda_{BS}\pi R^2} \\
 P[r \leq R] &= F_r(R) = 1 - e^{-\lambda_{BS}\pi R^2} \quad (2) \\
 f_r(r) &= 2\pi r \lambda_{BS} \cdot e^{-\lambda_{BS}\pi r^2}
 \end{aligned}$$

또한, 수식 (2)를 기반으로 제안하는 알고리즘이 동작하는 마탄 하드코어 점 과정에 대한 확률밀도함수 또한 근사화되어 도출할 수 있다. 하드코어 점 과정은 푸아송 점 과정에 의해서 분포된 점들에서 점 사이의 거리가 최소한 특정 반경 (r_t) 이상을 가지는 것을 목적으로 한다. 즉, 불특정 점에서 특정 반경 (r_t) 이내에 있는 다른 점들을 제거하고 불특정 점을 순차적으로 선택하면 모든 점 사이에 거리가 최소한 특정 반경 (r_t)을 가지게 된다. 마탄 하드코어 점 과정에 대한 네트워크 생성은 다음과 같은 단계로 진행된다.

- 1) 푸아송 점 과정에 의해 생성된 모든 점에 0~1사이의 난수를 할당
- 2) 푸아송 점 과정에 의해 생성된 점들 중 기준점을 정한 뒤, 기준점으로부터 특정 반경 (r_t) 이내에 있

는 다른 점들의 난수 값을 비교

3) 특정 반경 (r_t) 이내의 다른 점들의 난수와 기준점의 난수를 비교하여 기준점보다 작은 난수 값을 가지는 점들을 제거

4) 푸아송 점 과정에 의해 생성된 점들 중에서 과정 2를 수행하지 않고 과정 3에 의해 제거되지 않은 점들에 한해서 과정 2~4를 반복적으로 수행

다시 말해서, 푸아송 점 과정에 의해서 생성된 점들의 집합에서 랜덤하게 선택된 불특정 점을 기준으로 특정 반경 (r_t) 이내에 다른 점들과의 난수를 비교하여 점을 제거한다, 모든 푸아송 점 과정의 점의 집합이 변하지 않을 때까지 반복적으로 수행하여 마탄 하드코어 점 과정의 새로운 점들의 집합을 구할 수 있게 된다. 따라서, 마탄 하드코어 점 과정에 의해서 기지국 밀도가 바뀌게 되고, 수식 (3)과 같이 기지국 밀도 ($\lambda_{BS.T}$)가 새롭게 정의될 수 있다 [14-16].

$$\lambda_{BS.T} = \frac{1 - e^{-\lambda_{BS}\pi r_t^2}}{\pi r_t^2} \quad (3)$$

또한, 마탄 하드코어 점 과정에 의한 사용자와 기지국 사이의 거리 r 에 대한 확률밀도함수는 근사화 된 수식 (4)로 도출된다 [17,18].

$$f_{r,t}(r) \approx 2\pi r \frac{1 - e^{-\lambda_{BS.T}\pi r_t^2}}{\pi r_t^2} e^{-\lambda^s A(r,r_t)} \quad (4)$$

수식 (4)에서 $\lambda_{BS.P}$ 는 푸아송 점 과정의 기지국 밀도를 의미하고 λ^s 는 확률밀도함수를 1로 만들어주기 위한 특정 값이다. 또한, $A(r,r_t)$ 는 특정 반경 (r_t)에 의해 새롭게 정의되는 영역을 의미하며 수식 (5)와 같이 구할 수 있다 [18].

$$A(r,r_t) = \begin{cases} 0, & 2r \leq r_t \\ \pi r^2 + r_t \sqrt{r^2 - \frac{r_t^2}{4}} - r^2 \left(2\arcsin \frac{r_t}{2r} + \arccos \frac{r_t}{2r} \right), & 2r > r_t \end{cases} \quad (5)$$

2.2 SINR, 데이터 전송률 및 에너지 효율

네트워크에서 사용자가 가장 인접한 기지국과의 거리가 r 일 때, SINR은 수식 (6)과 같이 표현된다.

$$SINR(r) = \frac{P_t h r^{-\alpha}}{I_r + N_0}, \quad I_r = \sum_{i \in B/b_i} P_i h v_i^{-\alpha} \quad (6)$$

P_t 는 기지국의 송신전력, h 는 small-scale 페이딩 (Rayleigh fading)이며 α 는 path-loss 지수를 의미한다. I_r 은 간섭 신호의 합을 의미하며 N_0 는 열잡음 전력밀도를 의미한다. Shannon 공식에 따라 사용자가 받는 평균 데이터 전송률은 다음과 같이 수식 (7)을 통해 구할 수 있다.

$$T(r) = B \log_2(1 + SINR(r)) \quad (7)$$

기지국 영역 이내에 있는 사용자 별로 데이터 전송률을 통해 기지국 총 수율을 정의할 수 있다. 또한, 네트워크에 존재하는 모든 기지국 수율의 총합을 통해 면적 당 처리량을 (T_{area}) 도출하게 된다. 이를 기반으로, 에너지 효율 (η)은 수식 (8)과 같이 구할 수 있다.

$$\eta = \frac{T_{area}}{\lambda_{BS} \times P_B}, \quad P_B = \frac{1}{\sigma} P_t + P_c + P_0 \quad (8)$$

수식 (8)에서 P_B 는 기지국에서 소비되는 전력을 의미하며, σ 는 증폭 효율, P_t 는 기지국 송신전력, P_c 는 회로에서 소비하는 전력, P_0 는 대기 전력을 의미한다.

III. 사용자 밀집도 기반 적응적 기지국 제어 방안

III장에서는 초밀집 네트워크에서 에너지 효율을 증진시키기 위한 사용자 밀집도 기반 기지국 제어 알고리즘을 설명한다. 기지국 개수가 증가하는 초밀집 네트워크에서는 상황에 따라 사용자의 수가 적은 경우에도 많은 수의 기지국을 사용하게 되므로 에너지 낭비가 발생하게 된다. 다시 말해서, 네트워크에서 총 기지국 개수 (N_B)를 모두 사용하지 않고 전체 사용자 수 (N_U)를 기지국이 서비스할 수 있는 총 사용자 수 (C_B)로 나누어, 필요로 하는 기지국의 개수 (N_R)만 가지고 전체 사용자를 서비스할 수 있다. 필요로 하는 기지국의 개수 (N_R)가 총 기지국 개수 (N_B)보다 적을 경우에서 제안하는 알고리즘이 적용될 수 있다.

네트워크에는 초기에 기지국이 푸어송 점 과정에 의해서 생성되고, 이후 마탄 하드코어 점 과정을 통해 기지국의 어웨이크/슬립 모드가 결정된다. 알고리즘에서는 마탄 하드코어 점 과정을 통해 제거되는 점을 슬립 모드, 제거되지 않는 기지국을 어웨이크 상태로 간주한다. 마탄 하드코어 점 과정에서 특정 반경 (r_t)에 따라 주변에 제거 (슬립)되는 점 (기지국)의 개수가 달라지며, 제안하는 알고리즘에서는 사용자 밀집도에 따라서 적응적으로 특정 반경 (r_t) 결정하고 네트워크에 필요로 하는 기지국 개수만 어웨이크 모드로 설정하여 에너지 소비를 줄이고자 한다.

알고리즘은 크게 두 단계로 구성되어 있으며, 첫 번째 단계에서는 특정 반경 (r_t)을 계산하고, 두 번째 단계에서는 특정 반경 (r_t) 이내에 존재하는 다른 기지국을 슬립 모드로 변경하는 과정을 수행한다. 또한, 특정 반경 (r_t)을 도출하기 위해 네트워크에 존재하는 기지국의 개수 (N_B), 사용자 수 (N_U), 기지국에서 서비스할 수 있는 총 사용자 수 (C_B), 기지국 사이 거리 ($d_{i,j}$)에 대한 누적분포함수 (cumulative distribution function, CDF)를 알고 있다고 가정한다. 제안하는 알고리즘에서 마탄 하드코어 점 과정을 수행하기 위하여 기준 기지국의 난수를 M_k 로 표기하고 특정 반경 (r_t) 이내에 다른 기지국 그룹 (G_k)의 난수를 M_i 로 표기 한다.

1) 사용자 수 (N_U), 기지국이 서비스 할 수 있는 총 사용자 수 (C_B)를 통해 네트워크에 필요로 하는 기지국 개수 ($N_R = N_U / C_B$)를 계산한다. 이를 기반으로, 필요로 하는 기지국의 개수 (N_R)가 전체 기지국의 개수 (N_B)보다 작을 경우 해당 알고리즘이 동작한다. 전체 기지국의 개수 (N_B)에서 필요로 하는 기지국의 개수 (N_R)를 빼면 슬립모드로 변경해야 하는 기지국의 개수를 도출할 수 있으며, 필요로 하는 기지국의 개수 (N_R)로 다시 나누어주게 되면 어웨이크 기지국 당 몇 개의 기지국을 슬립 모드로 변경해야 하는지 알 수 있다. 또한, 어웨이크 기지국 당 슬립 모드로 변경해야 하는 기지국의 개수를 $\widetilde{N}_R = (N_B - N_R) / N_U$ 를 통해 계산할 수 있다. 어웨이크 기지국 당 슬립 모드로 만들어야 하는 개수 (\widetilde{N}_R)를 전체 기지국 개수 (N_B)로 나누어주게 되면 \widetilde{N}_R 이 전체 기지국 개수 중 차지하는 비율 (P_r)을 도

출할 수 있다. 마지막으로, 기지국 사이 거리의 누적 분포함수 ($F_{d_{i,j}}$)에서 $F_{d_{i,j}}(r_t) = P_r$ 을 만족하는 특정 반경 (r_t)를 도출하여 단계 1을 마무리 한다.

2) 기준 기지국 (k)을 선택한 뒤 단계 1에서 도출한 특정 반경 (r_t) 이내의 다른 기지국 그룹 (G_k)을 구분 한다. 기지국 그룹의 난수들 (M_i) 중 기준 기지국의 랜덤 난수 (M_k)보다 작은 기지국을 슬립 모드로 설정한다. 이후에 기준 기지국을 변경하여 단계 2를 수행하고 전체 네트워크에서 더 이상의 변화가 일어나지 않을 때 단계 2를 종료한다.

알고리즘의 이해를 위해 예를 설명한다. 전체 기지국의 개수 (N_B)가 500개, 기지국에서 서비스할 수 있는 총 사용자 수 (C_B)는 100명, 사용자 수 (N_U)가 10000명이면 네트워크에 필요로 하는 기지국의 개수 (N_R)는 100개가 된다. N_R 이 N_B (500개)보다 적게 되므로 알고리즘이 동작하며, 전체 기지국 개수 중 슬립 모드로 변경해야 하는 기지국 개수 ($N_B - N_R$)는 400개 이다. 400개를 필요로 하는 기지국의 개수 (N_R) 100개로 나누어주게 되면 어웨어 기지국 당 슬립 모드로 만들어야 하는 개수 (\widetilde{N}_R)가 4개인 것을 알 수 있다. 마지막으로, \widetilde{N}_R 을 N_B 로 나누어 주면 0.8%의 P_r 을 도출할 수 있으며, 기지국 사이 거리의 누적분포함수 ($F_{d_{i,j}}$)에서 P_r 을 만족하는 특정 반경 (r_t)을 선택하여 기지국의 어웨어/슬립을 제어할 수 있다.

IV. 성능 분석

4.1 시뮬레이션 환경

네트워크 공간 ($1km \times 1km$)을 4개의 동등한 영역으로 나누고 각 영역마다 사용자를 지수적으로 증가시켜 분포한 시나리오 1과 특정 영역에 사용자를 밀집시켜 분포시킨 시나리오 2에서 실험을 수행하였다. 추가적으로, 기지국의 밀도는 $500/km^2$ 으로 네트워크 공간에 랜덤하게 분포되어 있다. 영역 별 사용자 밀도는 표 1을 통해 확인할 수 있다. N은 사용자 수를 의미하며 시뮬레이션 결과는 100, 500, 1000, 2000의 결과를 확인하였으며, 네트워크 총 사용자 수는 시나리오 1에서는 30N (3000, 15000, 30000, 60000)이고 시나리오 2에서는 18N (1800, 9000, 18000, 36000)이다.

표 1. 영역 별 사용자 밀도
Table 1. User density per area

Area	Scenario 1	Scenario 2
1	$2 \times N/0.5 \text{ km}^2$	$1 \times N/0.5 \text{ km}^2$
2	$4 \times N/0.5 \text{ km}^2$	$1 \times N/0.5 \text{ km}^2$
3	$8 \times N/0.5 \text{ km}^2$	$1 \times N/0.5 \text{ km}^2$
4	$16 \times N/0.5 \text{ km}^2$	$15 \times N/0.5 \text{ km}^2$

시나리오 1과 시나리오 2에서 제안하는 알고리즘 (adaptive thinning, AT)은 영역마다 개별적으로 수행되며, 기지국 제어 방안이 반영된 이후의 네트워크 모습을 그림 2와 그림 3을 통해 확인할 수 있다.

시뮬레이션에서 기지국 송신전력 (P_t)은 초밀집 네트워크에서 스몰셀 기지국이 배치될 것을 고려하여 0.25 W로 시뮬레이션 하였고^[19], 1개의 기지국에서 서비스할 수 있는 사용자 수 (C_B)는 100명이라고 가정하였다. 추가적인 시뮬레이션 파라미터들에 대한 정보는 표 2를 통해 확인할 수 있다. 성능분석을 위해 II장에서 정의한 면적 당 처리량 (T_{area})과 에너지 효율 (η)을 성능지표로 선정하여 MATLAB 시뮬레이션을 통해 결과를 확인하였다. 그리고 성능비교를 위해 사용자 밀집도를 기반으로 적응적으로 기지국을 제어하는 제안 알고리즘 (adaptive thinning, AT), 영역 구분 없이 전체 네트워크 공간에서 확률적으로 기지국을 제어하는 fixed thinning (FT) 알고리즘^[12], 그리고 모든 기지국이 항상 어웨어 모드인 always awake (AA) 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 비교 분석하였다.

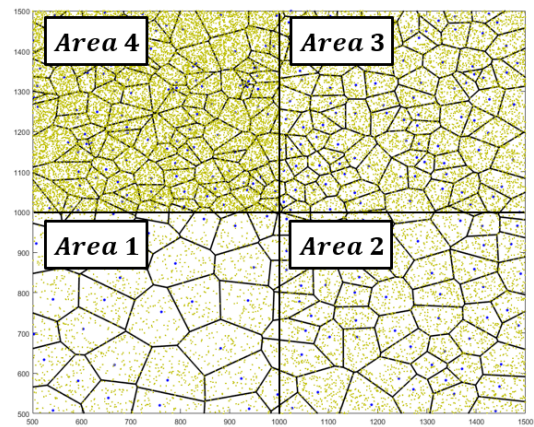


그림 2. N=1000일 때, 시나리오 1에 대한 네트워크 모델
Fig. 2. Network model for scenario 1

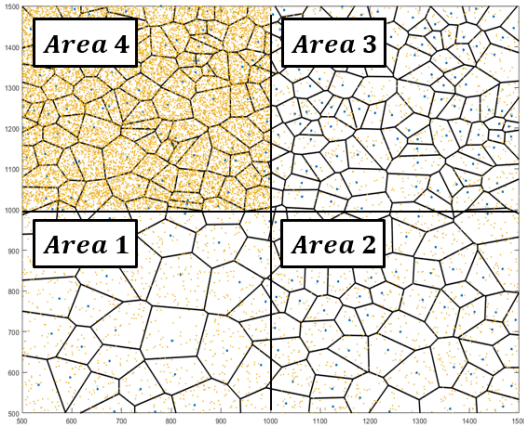


그림 3. N=1000일 때, 시나리오 2에 대한 네트워크 모델
Fig. 3. Network model for scenario 2

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Simulation parameters

Parameter	Value
Network Size	1 km × 1 km
Bandwidth (B)	10 MHz
Thermal Noise Power Spectral Density (N ₀)	-120 dBm/Hz
BS Density (λ _{BS})	500 /km ²
Path-Loss Exponent (α)	3.5
BS Transmit Power (P _t)	0.25 W
BS Capacity (C _B)	100
BS Amplification Efficiency (σ)	0.23

4.2 시뮬레이션 결과

그림 4의 면적 당 처리량은 시나리오 1에서 네트워크 (1km²)에 존재하는 모든 기지국의 총 수용의 합을 의미한다. AT 알고리즘에서는 영역 별로 III장에서 설명한 기지국 제어 알고리즘을 통해 기지국 전송 영역 이내에 기지국 용량 (C_B)만큼의 사용자가 존재하게 되고 특정 반경 (r_t)이내에 주변 기지국을 슬립 모드로 변경하기 때문에 사용자가 받는 간섭량이 줄어들어 데이터 전송률이 증가하게 된다. 따라서, AT 알고리즘이 AA 알고리즘에 비해 높은 면적 당 처리량 결과가 도출된다. 반면에, FT 알고리즘에서는 네트워크 전체에서 획일적으로 기지국 제어 알고리즘이 동작하기 때문에 영역 별 사용자 수를 정확하게 반영하여 기지국 제어를 수행하지 못한다. 따라서, AA 알고리즘과 유사하거나 낮은 결과를 보인다. 다시 말해서, AT

알고리즘에서는 영역 별로 어웨이크 기지국 개수가 상이한 반면에 FT 알고리즘에서는 영역 별로 유사한 어웨이크 기지국 개수를 가지게 된다. 이를 통해, 사용자가 비 균일하게 분포된 환경에서 면적 당 처리량 결과를 높이기 위해서는 영역 분할에 따라 기지국 제어 알고리즘 동작이 필요한 것을 확인할 수 있다.

그림 5는 시나리오 1에서 면적 당 처리량을 네트워크에 존재하는 모든 어웨이크 기지국에서 소비하는 총 전력을 나누어 정의한 에너지 효율 결과이다. 그림 4의 면적 당 처리량 결과에서 AT와 FT 알고리즘 모두 면적 당 처리량이 AA 알고리즘과 유사한 것을 확인하였기 때문에 어웨이크 기지국 개수가 감소하는 AT와 FT 알고리즘이 AA 알고리즘에 비해 높은 에너지 효율 결과를 보인다. AT 알고리즘은 영역별로 사용자 밀집도를 반영하여 기지국 제어를 통해 모든 결과에서 FT와 AA 알고리즘에 비해 높은 에너지 효율을 보인다. 반면에, FT 알고리즘은 네트워크 영역 구

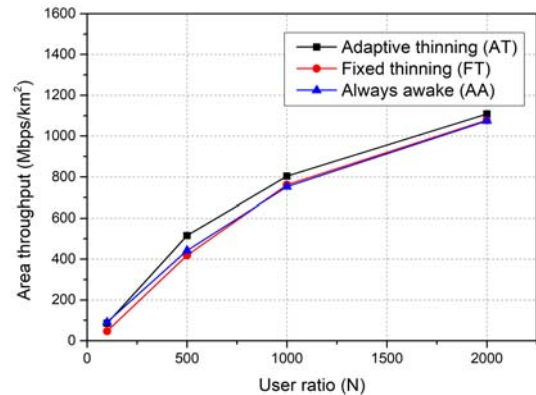


그림 4. 시나리오 1의 면적 당 처리량
Fig. 4. Area throughput of scenario 1

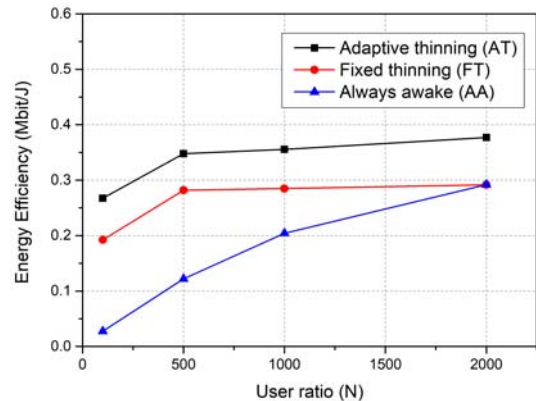


그림 5. 시나리오 1의 에너지효율
Fig. 5. Energy efficiency of scenario 1

본 없이 사용자 밀집도를 반영하여 기지국 제어하기 때문에 AT 알고리즘 보다 낮고 AA 알고리즘에 보다 높은 에너지 효율 결과를 보인다. 그리고, FT 알고리즘이 $N=2000$ 일 때 사용자 수 (N_U)가 6000개, 필요로 하는 기지국의 개수 (N_R)가 600개로 총 기지국 개수 (N_B) 500개 보다 많아서 기지국 제어 알고리즘이 동작하지 않는다. 따라서, FT 알고리즘이 $N=2000$ 인 결과에서 AA 알고리즘과 같은 결과가 도출된다. 그림 5의 결과로 보아 사용자가 비 균일하게 분포된 환경에서 에너지 효율을 증진시키기 위해서는 영역 별로 사용자 밀도를 반영하여 기지국 제어 알고리즘의 수행이 필요하다는 것을 확인할 수 있다.

그림 6과 그림 7은 시나리오 2에 대한 면적 당 처리량, 에너지 효율 결과를 보여준다. 시나리오 2는 특정 영역 (Area 4)에 사용자가 밀집되어 분포된 환경이다. FT 알고리즘은 전체 네트워크에서 동일하게 특정

반경을 결정하여 기지국을 제어하기 때문에 모든 영역에서 유사한 개수의 기지국을 사용한다. 다시 말해서, 사용자가 밀집된 특정 영역 (Area 4)에서는 기지국 전송 영역 이내에 기지국 용량 (C_B)보다 많은 사용자가 존재하여 서비스할 수 없는 사용자가 존재하게 되고 이외의 영역 (Area 1, 2, 3)에서는 기지국 전송 영역 이내에 기지국 용량 (C_B)보다 적은 사용자가 존재한다. 따라서, 그림 6의 면적 당 처리량 결과에서 AA 알고리즘 보다 FT 알고리즘이 낮은 결과를 보인다.

반면에, AT 알고리즘에서는 네트워크 영역을 구분하여 기지국 제어 알고리즘이 동작하기 때문에 모든 영역에서 기지국 전송 영역 이내에 기지국 용량 (C_B)만큼의 사용자가 존재하게 된다. 따라서, AA 알고리즘 보다 높은 면적 당 처리량 결과를 보인다.

그림 7의 에너지 효율 결과를 보면 기지국 제어 알고리즘을 통해 AT 알고리즘과 FT 알고리즘 모두 AA 알고리즘에 비해 높은 결과를 보인다. 그리고, AT 알고리즘에서는 영역 별로 사용자 밀집도를 파악하여 기지국 제어 알고리즘의 수행이 이루어지기 때문에 FT 알고리즘 보다 높은 결과를 보인다. 시나리오 1의 결과와는 다르게 $N=2000$ 인 결과에서 FT 알고리즘의 결과가 AA 알고리즘 보다 높은 이유는 사용자 수 (N_U)가 18000개, 필요로 하는 기지국의 개수 (N_R)가 180개로 총 기지국 개수 (N_B) 500개 보다 작아서 기지국 제어 알고리즘이 동작하기 때문이다.

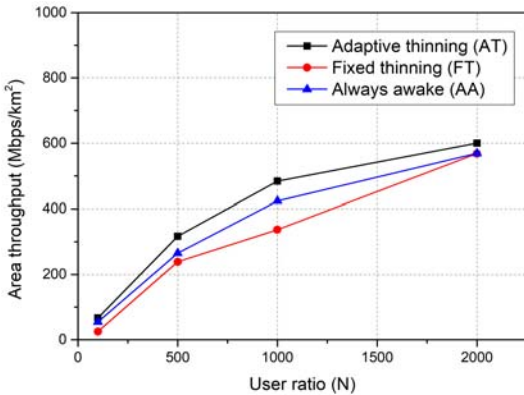


그림 6. 시나리오 2의 면적 당 처리량
Fig. 6. Area throughput of scenario 2

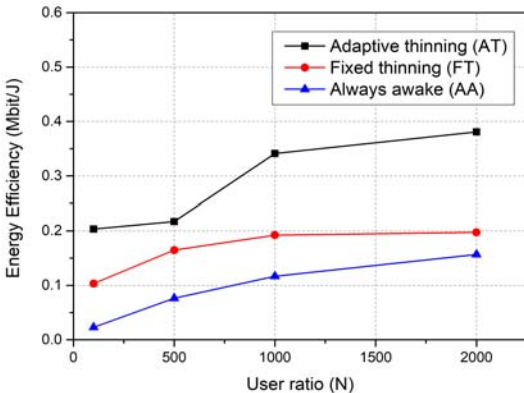


그림 7. 시나리오 2의 에너지효율
Fig. 7. Energy efficiency of scenario 2

V. 결론

본 논문에서는 초밀집 네트워크에서 면적 당 처리량과 기지국에서 소비되는 전력에 의해 정의되는 에너지 효율을 증진시키기 위해 기지국의 어웨이크/슬립 모드를 사용자 밀집도를 기반으로 영역에 따라 적응적으로 제어하는 adaptive thinning (AT) 알고리즘을 제안하였다. 사용자가 네트워크 영역 별로 지속적으로 분포되어 있는 환경과 일부 영역에 밀집되어 분포되어 있는 환경에서 결과를 기존 방안들과의 비교 분석을 통해 제안 방안의 우수성을 확인하였다. 제안하는 AT 알고리즘은 영역에 따른 사용자 밀집도에 의존하여 적응적으로 특정 반경 (r_t)을 결정하고 특정 반경 이내에 있는 주변 기지국을 슬립 모드로 설정하기 때문에 확실히 기지국을 제어하는 FT 알고리즘과 AA 알고리즘 보다 모든 시나리오에서 네트워크의 에너지 효율이 증진될 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] Rec. ITU-R M-2083-0, *IMT vision-framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond*(2015), Retrieved Jun., 06, 2018, from https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!PDF-E.pdf.
- [2] J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. V. Hanly, A. Lozano, A. C. K. Soong, and J. C. Zhang, "What will 5G be?," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 6, pp. 1065-1082, Jun. 2014.
- [3] O. Queseth, D. Aziz, K. Kusume, H. Tullberg, M. Fallgren, M. Schellmann, M. Uusitalo, and M. Maternia, *ICT-317669-METIS/D8.4 V1 METIS final project report*(2015), Retrieved May, 24, 2018, from <http://docplayer.net/10103634-Deliverable-d8-4-metis-final-project-report.html>
- [4] J. Kim and H. Lee, "D2D based advertisement dissemination using expectation maximization clustering," *J. KICS*, vol. 42, no. 5, pp. 992-998, May 2017.
- [5] S. Tombaz, M. Usman, and J. Zander, "Energy efficiency improvements through heterogeneous networks in diverse traffic distribution scenarios," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. and Netw. in China (CHINACOM)*, pp. 708-713, Harbin, China, Aug. 2011.
- [6] F. Richter, A. J. Fehske, and G. P. Fettweis, "Energy efficiency aspects of base station deployment strategies for cellular networks," in *Proc. IEEE VTC Fall 2009*, pp. 1-5, Anchorage, Alaska, Sep. 2009.
- [7] D. Lopez-Perez, M. Ding, H. Claussen, and A. H. Jafari, "Towards 1 Gbps/UE in cellular systems: Understanding ultra-dense small cell deployments," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 17, no. 4, pp. 2078-2101, Jun. 2015.
- [8] Z. Hasan, H. Boostanimehr, and V. K. Bhargava, "Green cellular networks: A survey, some research issues and challenges," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 13, no. 4, pp. 524-540, Aug. 2011.
- [9] G. P. Koudouridis, H. Gao, and P. Legg, "A centralised approach to power on-off optimisation for heterogeneous networks," *IEEE VTC Fall 2012*, pp. 1-5, Quebec City, Canada, Sep. 2012.
- [10] L. Saker, S. E. Elayoubi, R. Combes, and T. Chahed, "Optimal control of wake up mechanisms of femtocells in heterogeneous Networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 30, no. 3, pp. 664-672, Apr. 2012.
- [11] H. Zhang, S. Huang, C. Jiang, K. Long, V. C. Leung, and H. V. Poor, "Energy efficient user association and power allocation in millimeter-wave-based ultra dense networks with energy harvesting base stations," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 35, no. 9, pp. 1936-1947, Jun. 2017.
- [12] W. Lee, B. C. Jung, and H. Lee, "ACEnet: Approximate thinning-based judicious network control for energy-efficient ultra-dense networks," *MDPI Energies*, vol. 11, no. 5, May 2018.
- [13] J. G. Andrews, F. Baccelli, and R. K. Ganti "A tractable approach to coverage and rate in cellular networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 59, no. 11, pp. 3122-3134, Oct. 2011.
- [14] B. Matern, *Spatial Variation*, 2nd Ed., Springer Lecture Notes in Statistics, 1986.
- [15] M. Haenggi, "Mean interference in hard-core wireless networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 15, no. 8, pp. 792-794, Jun. 2011.
- [16] H. S. Dhillon, R. K. Ganti, F. Baccelli, and J. G. Andrews, "Modeling and analysis of k-tier downlink heterogeneous cellular networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 30, no. 3, pp. 550-560, Mar. 2012.
- [17] G. Alfano, M. Garetto, and E. Leonardi, "New insights into the stochastic geometry analysis of dense CSMA networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Commun.*, pp. 2642-2650, Shanghai, China, Apr. 2011.
- [18] H. Jia, J. Chen, and X. Ge, "Switch-off strategy of base stations in HCPP random cellular networks," *IEEE Int. Conf. Commun.*,

pp. 1-6, Kuala Lumpur, Malaysia, May 2016.

[19] M. Vajapeyam, T. Yoo, O. Song, and D. Malladi, "A survey on 3GPP heterogeneous networks," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 10-21, Jun. 2011.

이 원 석 (Wonseok Lee)



2016년 2월 : 한경대학교 전자공학과 졸업
2018년 2월 : 한경대학교 전기전자제어공학과 석사
<관심분야> 5G 통신, IoT, 네트워크 프로토콜

이 호 원 (Howon Lee)



2003년 2월 : KAIST 전자전산학과 학사
2009년 8월 : KAIST 전기및전자공학과 박사 (석박사통합)
2009년~2010년 : KAIST IT 융합연구소 선임연구원
2010년~2012년 : KAIST IT 융합연구소 팀장/연구조교수
2012년 3월~2016년 3월 : 국립한경대학교 전기전자제어공학과 조교수
2015년~2016년 : 국립한경대학교 IT 융합연구소장
2016년 4월~현재 : 국립한경대학교 전기전자제어공학과 부교수
2012년~현재 : KAIST IT 융합연구소 겸직교수
<관심분야> 5G 모바일 네트워크, 사용자 클러스터링, 3D 비디오 통신 등

정 방 철 (Bang Chul Jung)



2002년 2월 : 아주대학교 전자공학과 졸업
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~2014년 2월 : 경상대학교 정보통신공학과 조교수
2014년 3월~2015년 8월 : 경상대학교 정보통신공학과 부교수
2015년 9월~현재 : 충남대학교 전자공학과 부교수
2010년 4월~현재 : KAIST IT 융합연구소 겸직교수
<관심분야> 무선통신, 통계적 신호처리, 정보이론, 압축센싱, 이동통신 시스템