

## 에너지 효율성 향상을 위한 DBSCAN 기반 기지국 모드 제어 알고리즘

이호원<sup>1\*</sup> · 이원석<sup>2</sup>

### DBSCAN-based Energy-Efficient Algorithm for Base Station Mode Control

Howon Lee<sup>1\*</sup> · Wonseok Lee<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Associate Professor, Dept. of EECE, Hankyong National Univ., Anseong, 17579 Korea

<sup>2</sup>Researcher, Standard Research Team, Innovative Technology Lab, Seoul, 06746 Korea

#### 요약

이동통신 시스템의 급격한 발전과 함께 다양한 모바일 융합서비스가 등장하고 있으며 이에 따른 데이터 트래픽도 폭발적으로 증가하고 있다. 이러한 급증하는 디바이스를 지원하기 위한 기지국의 수도 함께 증가하고 있기 때문에 통신사업자의 관점에서는 이러한 네트워크를 통해 소모되는 에너지 소모량을 줄이는 것이 매우 중요한 이슈 중 하나이다. 따라서 본 논문에서는 대표적인 사용자 밀집도 기반 클러스터링 기술 중 하나인 DBSCAN 알고리즘을 적용하여 사용자가 밀집된 영역을 추출하고 이렇게 추출된 서브네트워크 별로 씬닝 과정을 적용하여 기지국의 모드를 효율적으로 제어한다. 시뮬레이션을 통해 면적 당 수율과 에너지 효율 측면에서 제안 방안이 기존 방안 대비 높은 성능 결과를 가지는 것을 보인다.

#### ABSTRACT

With the rapid development of mobile communication systems, various mobile convergence services are appearing and data traffic is exploding accordingly. Because the number of base stations to support these surging devices is also increasing, from a network provider's point of view, reducing energy consumption through these mobile communication networks is one of the most important issues. Therefore, in this paper, we apply the DBSCAN (density-based spatial clustering of applications with noise) algorithm, one of the representative user-density based clustering algorithms, in order to extract the dense area with user density and apply the thinning process to each extracted sub-network to efficiently control the mode of the base stations. Extensive simulations show that the proposed algorithm has better performance results than the conventional algorithms with respect to area throughput and energy efficiency.

**키워드** : 사용자 밀집도 기반 클러스터링, 기지국 모드 제어, 면적 당 수율, 에너지 효율

**Keywords** : User Density Based Clustering, Base Station Control, Area Throughput, Energy Efficiency

Received 31 October 2019, Revised 12 November 2019, Accepted 16 November 2019

\* Corresponding Author Howon Lee(E-mail:hwlee@hknu.ac.kr, Tel:+82-31-670-5198)

Associate Professor, Dept. of Electrical, Electronic and Control Engineering and IITC, Hankyong National Univ., Anseong, 17579 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.12.1644>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

이동통신 시스템의 급격한 발전과 함께 다양한 모바일 융합서비스가 등장하고 있으며 이에 따른 트래픽이 폭발적으로 증가하고 있다[1]-[3]. 또한, 이동통신 사용자수와 네트워크에 연결된 디바이스의 수가 급증하고 있으며, 이러한 급증하는 디바이스를 지원하기 위한 기지국의 수도 함께 증가하고 있다. 통신사업자의 관점에서는 이러한 네트워크를 통해 소모되는 에너지 소모량을 줄이는 것이 매우 중요한 이슈 중 하나이다[4]. 모바일 디바이스들은 서비스의 특성 상 네트워크 내에 밀집되어 존재하는 경향을 가지고 있으며, 이에 따라 많은 수의 기지국들 또한 네트워크 내에 매우 밀집되게 배치될 가능성이 높다. 따라서 인접 셀 간의 심각한 간섭 문제와 빈번한 핸드오버, 네트워크 에너지 소비 급증 등의 다양한 문제들이 발생하게 된다. 네트워크에서 소비되는 총 에너지 소비량 중에서 기지국에서 소비되는 에너지가 80% 이상을 차지하기 때문에, 통신 사업자 관점에서는 이러한 기지국들에서 소비되는 에너지를 효율적으로 관리하는 것이 매우 중요한 이슈이다[5][6]. 최근 초밀집 네트워크(ultra dense network)에서의 에너지 효율 향상을 위한 많은 연구들이 활발하게 진행되고 있다 [7]-[9]. [7]에서는 효율적 기지국 전송 파워 제어 및 사용자 분포를 고려한 총체적 네트워크 에너지 효율 향상 기법에 대한 분석을 수행하였고, [8]에서는 초밀집 네트워크에서 효율적 기지국 모드 제어 방식에 대한 연구를 수행하였다. 또한, [9]에서는 이중 네트워크 환경에서의 최적화 알고리즘 적용을 기반으로 효율적 기지국 제어를 통한 네트워크의 효율을 향상시키는 방안에 대한 연구를 수행하였다.

본 논문에서는 사용자 밀집도 기반 클러스터링(Density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN))과 기지국 모드 제어 기술의 융합을 통하여 네트워크 내의 사용자 분포를 고려하여 효율적으로 기지국 모드를 제어함으로써 네트워크 에너지 소모를 절감하고자 한다. 다시 말해서, DBSCAN으로부터 얻어지는 클러스터링 영역의 반경을 이용하여 네트워크 제어 반경을 결정함으로써, 통신 사업자들은 네트워크에서 모바일 기기들을 효율적으로 지원하기 위한 최적의 기지국 수를 효율적으로 결정하고 제어할 수 있다. 사용자의 이동성 및 시간에 따라 요구되는 서비스가 상이하기

때문에, 네트워크 내에 존재하는 능동적인(active) 사용자들의 분포는 매우 역동적으로(dynamically) 변하게 된다. 따라서 네트워크 운영자는 확률적으로 네트워크를 제어하거나, 모든 기지국을 항상 켜두거나, 또는 요구되는 수 이상의 기지국을 켜 두으로써, 사용자와 모바일 기기로 제공되는 서비스가 끊임없이 제공될 수 있도록 한다. 따라서, 본 논문에서는 사용자 밀집도 기반 클러스터링을 통하여 네트워크에 존재하는 능동적 사용자 밀집도를 정확히 예측함으로써, 네트워크에서 요구되는 기지국의 개수를 보다 정확하게 파악할 수 있다. 이를 기반으로 기지국의 모드를 제어함으로써 네트워크에서 소모되는 에너지를 효율적으로 관리할 수 있게 된다.

본 논문은 2장에서 대표적 사용자 밀집도 기반 클러스터링 기술 중 하나인 DBSCAN 알고리즘과 씨닝 과정(thinning process)에 대해 자세히 알아본다. 또한, 3장에서는 초밀집 네트워크 환경에서 제안하는 기지국 모드 제어 알고리즘의 소개와 함께 기존 연구들과의 비교를 통해 제안방안의 우수성을 시뮬레이션을 통해 보여준다. 마지막으로, 4장에서 결론을 제시한다.

## II. 사용자 밀집도 기반 클러스터링(User Density Based Clustering)과 씨닝 과정(Thinning Process)

### 2.1. 사용자 밀집도 기반 클러스터링 알고리즘 (Density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN))

대표적인 사용자 밀집도 기반 클러스터링 중 하나인 DBSCAN은 설정된 반지름  $\epsilon$ 과 최소 객체 수( $N_{MinPts}$ )를 이용하여 해당 노드를 중심으로 주변 노드들의 밀집도를 연속적으로 확인해 가면서 사용자 밀집도가  $\epsilon$ 과  $N_{MinPts}$ 를 만족하는 전체 영역을 결정해 나간다 [10]. 자기를 중심으로 거리  $\epsilon$  이내에  $N_{MinPts}$  이상의 노드가 존재하는 경우, 해당 노드를 중심 노드(core node)라 정의하고 각각의 중심 노드들과 이 노드들과 거리  $\epsilon$  이내에 있는 노드들을 중심으로 ( $\epsilon, N_{MinPts}$ ) 조건을 만족하는 노드들이 존재하는지 계속적으로 확인하는 작업을 수행한다. 그림 1은 7개의 점이 존재하는 경우에 대해서  $N_{MinPts}$ 가 3인 경우의 DBSCAN 동작 예시를 보여주고 있다. 클러스터링 결과에 따라  $x_1, x_2, x_3, x_4$ 가 클러스터

내에 포함되도록 클러스터링 된 것을 확인할 수 있고,  $x_5, x_6, x_7$ 는 클러스터에서 배제된 것을 확인할 수 있다. 이 경우  $x_1, x_2$ 는 중심 노드(core node),  $x_3, x_4$ 는 외곽 노드(border node),  $x_5, x_6, x_7$ 는 아웃라이어 노드(outlier node)라고 부른다. 위와 같은 동작 절차를 통해서 DBSCAN은 네트워크 내에 특정 밀집도 이상을 가지는 영역들을 효율적으로 검출해 낼 수 있다. 본 논문에서는 이렇게 DBSCAN에서 추출된 영역들을 기반으로 기지국 모드 제어 수행하도록 한다.

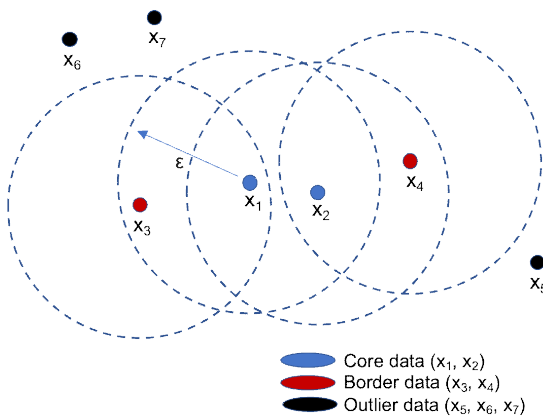


Fig. 1 Example of DBSCAN operation

2.2. 마탄 하드코어 점 과정(Matern Hardcore Point Process) 과 씨닝 과정(Thinning Process)

마탄 하드코어 점 과정은 포아송 점 과정(Poisson Point Process)에 의해서 분포된 점의 집합에서 씨닝 과정(Thinning Process)을 적용함으로써 얻을 수 있다 [11], [12]. 씨닝 과정이란 포아송 점 과정에 의해서 분포된 점의 집합에서 점과 점 사이의 거리가 특정 반경( $r_{th}$ ) 이상을 가지도록 점을 제거해 나가는 과정을 통해 구할 수 있다. 구체적으로는 다음과 같은 과정을 통해서 마탄 하드코어 점 과정을 통한 노드 분포를 수행할 수 있다.

- **단계 1** : 포아송 점 과정에 의해 생성된 모든 점에 대해서 0과 1사이의 난수를 발생시킨다.
- **단계 2** : 포아송 점 과정에 의해 생성된 점들 중에서 기준점을 설정하고, 기준점으로부터 특정 반경 ( $r_t$ ) 이내에 있는 다른 점들의 난수 값을 점차적으로 비교한다.
- **단계 3** : 특정 반경 ( $r_t$ ) 이내에 존재하는 다른 점들의

난수와 기준점의 난수를 비교함으로써 기준점보다 작은 난수값을 가지는 점들을 순차적으로 제거해나간다. 본 논문에서는 여기서 제거되는 조건에 해당되는 노드들을 어웨이크 모드에서 슬립 모드로 변경하도록 한다.

- **단계 4** : 포아송 점 과정에 의해 생성된 점들 중에서 단계 2를 수행하지 않고 또한 단계 3에 의해 제거되지 않은 점들에 대해서 과정 2-4를 반복적으로 수행하도록 한다.

III. DBSCAN 기반 에너지 효율적 기지국 모드 제어 알고리즘 및 시뮬레이션 결과 분석

3.1. DBSCAN 기반 에너지 효율적 기지국 모드 제어 알고리즘

본 논문에서 제안하는 DBSCAN 기반 기지국 모드 제어 방안(D-DeCoNet)은 전체의 네트워크 영역을 DBSCAN 알고리즘을 활용하여 사용자 밀도에 따라 여러 개의 서브 네트워크들로 분할한다. DBSCAN 알고리즘에 따라 분할된 클러스터들은 각각 하나의 서브네트워크로 매핑된다. 각각의 클러스터들에서 최외곽 사용자 사이의 거리를 이용하여 서브 네트워크 반경 (thinning radius)  $r_c$ 를 구할 수 있다. 다시 말해서,  $r_c$ 는 다음의 식 (1)을 통해서 계산할 수 있다.

$$r_c = \arg_{j,k} \max \frac{Dist(j,k)}{2}. \tag{1}$$

또한, 씨닝 반경  $r_t$ 는 식 (1)의 서브 네트워크 반경  $r_c$ 를 기반으로 계산될 수 있다.  $r_t$ 는 다음 식을 통해 계산될 수 있다.

$$r_t = \sqrt{\frac{(r_c)^2}{N_{B_{awake}}}}. \tag{2}$$

식 (2)에서  $N_{B_{awake}}$ 는 서브 네트워크 내의 사용자 밀도와 기지국 평균 용량을 통해 계산된 서브 네트워크 별 어웨이크 모드로 설정되어야 할 기지국의 개수를 의미한다. 식 (2)를 통하여 계산된  $r_t$ 를 이용하여 2.2장에서 설명한 마탄 하드코어 점 과정을 적용할 수 있다. 이를 통해 D-DeCoNet을 통하여 전체 네트워크 내에서 각각 서브네트워크 별로 기지국들의 모드를 에너지 효율적으로 제어할 수 있다.

### 3.2. 시뮬레이션 환경

스몰셀 기지국들이 밀집되어 존재하는 환경을 가정하였으며, 실제 환경에서의 사용자 불균등 분포를 반영하기 위하여 전체 영역 내에 고밀집 지역과 저밀집 지역을 함께 고려하였다. 표 1은 시뮬레이션에서 사용된 파라미터를 보여준다.

**Table. 1** Simulation parameters

Simulation Parameter	Value
Total Network Area	1 km <sup>2</sup>
BS Density	500/km <sup>2</sup>
BS Capacity	50
UE Density of Low Density Area	100
UE Density of High Density Area	4~30K

또한, 성능지표로 면적 당 기지국의 수율을 의미하는 면적 당 수율 (area throughput)과 사용된 에너지 당 수율을 의미하는 에너지 효율 (energy efficiency)을 고려하였다.

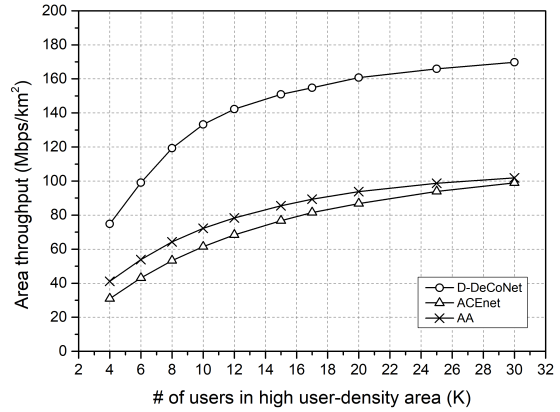
$$Area\ throughput = \frac{\sum_i^{BS} \sum_j^{UE} \log(1 + SINR_i^j)}{\sum_i^{BS} A_i} \quad (3)$$

$$Energy\ efficiency = \frac{\sum_i^{BS} \sum_j^{UE} \log(1 + SINR_i^j)}{\sum_i^{BS} P_i} \quad (4)$$

여기서,  $P_i$ 는 기지국에서 소비하는 총 전력이며,  $A_i$ 는 전체 기지국들의 영역을 보로노이 다이어그램 (Voronoi diagram)으로 표현한 후 나누어진 각 기지국 별 커버리지를 의미한다. 시뮬레이션 성능 비교분석을 위해 제안하는 D-DeCoNet, 네트워크 전체 영역에서 쉰닝 과정을 수행하는 ACEnet, 기지국 제어가 이루어지지 않고 모든 기지국은 어웨이크 상태로 동작하는 AA (always awake)의 성능 결과를 확인하였다 [12].

### 3.3. 시뮬레이션 결과

그림 2은 D-DeCoNet, ACEnet, AA 방안의 면적 당 수율을 보여준다. D-DeCoNet은 사용자를 DBSCAN 알고리즘에 따라 네트워크를 분할하고, 각 서브 네트워크



**Fig. 2** Area throughput (Mbps/km<sup>2</sup>) of D-DeCoNet ACEnet and AA (always awake algorithm) against the number of users in high user-density area (K)

마다 각각 사용자 밀도를 고려한 쉰닝 과정을 수행한다. 쉰닝 과정에서는 사용자 밀도에 따라 기지국을 제어하기 때문에 기지국 커버리지 이내에 기지국 사용자 수용 용량 (BS capacity) 만큼의 사용자를 지원하게 된다. 또한, 불필요한 기지국을 사용하지 않기 때문에 인접 셀 간섭을 줄일 수 있다. 따라서, 네트워크에 존재하는 사용자 고밀집 영역을 DBSCAN으로 분할하고 쉰닝과정을 통해 적응적으로 기지국을 제어하는 D-DeCoNet은 고밀집 영역의 노드 밀도가 10K인 경우 AA 및 ACEnet 대비 179% 및 208% 이상의 높은 면적 당 수율을 가지는 것을 볼 수 있다.

반면에, ACEnet에서는 클러스터링 과정의 수행 없이 전체 네트워크에서의 사용자 밀도만을 고려하여 쉰닝 과정을 수행한다. 즉, 사용자 고밀집 영역을 반영하지 못하기 때문에 모든 기지국이 유사한 기지국 커버리지를 가지게 된다. 따라서, 사용자 고밀집 영역에서 주파수 자원을 모두 사용해도 모든 기지국이 커버리지 내에 존재하는 모든 사용자를 지원할 수 없게 된다. 또한, AA 알고리즘에서는 기지국을 제어하지 않고 모든 기지국인 어웨이크 상태로 동작하기 때문에 네트워크에 존재하는 모든 사용자가 연속적인 서비스를 받을 수 있다. 하지만, 모든 기지국이 동작하므로 가장 큰 인접 셀 간섭을 가지게 되고, 이는 낮은 면적 당 수율 결과를 야기한다.

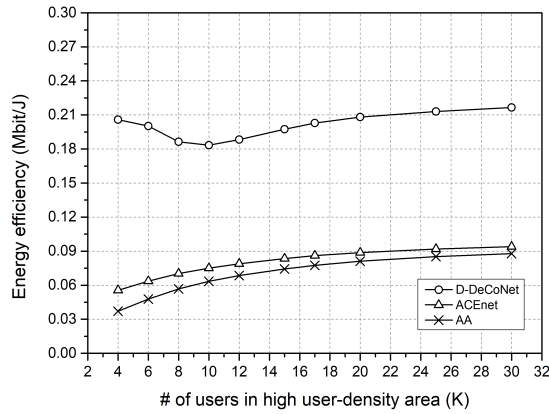


Fig. 3 Energy efficiency (Mbit/J) of D-DeCoNet ACEnet and AA (always awake algorithm) against the number of users in high user-density area (K)

그림 3은 에너지 효율 결과를 보여준다. D-DeCoNet은 네트워크를 사용자 DBSCAN 영역 별로 켜는 과정을 수행하기 때문에 에너지 효율면에서 매우 우수한 것을 확인할 수 있다. 또한, 사용자 위치를 고려한 켜는 과정에서 모든 사용자들에게 끊임없는 연결 제어가 가능하고 인접 셀 간섭을 줄일 수 있으므로 그림 2에서와 같이 가장 높은 면적 당 수율을 가진다. 이에 따라, 그림 3에서도 ACEnet과 AA 대비 높은 에너지 효율을 가지게 된다. 또한, 사용자 수 10~12K 이후에는 사용자 고밀집 영역에 있는 기지국을 모두 사용하기 때문에 전력소비가 일정해지고, 사용자 수는 계속적으로 증가하기 때문에 면적 당 수율이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, D-DeCoNet 결과 중 사용자 수 10K에서 가장 낮은 에너지 효율을 가지는 것을 확인할 수 있다.

ACEnet에서는 전체 네트워크에 대하여 켜는 과정을 적용하므로 AA보다 적은 전력 소비량 결과를 보이지만, 사용자 고밀집 영역에서 주파수 자원 포화로 인하여 통신이 불가능한 사용자가 발생하기 때문에 그림 1과 같이 면적 당 수율 결과에서 뛰어난 성능을 보이지 않는다. 따라서, 그림 3에서와 같이 D-DeCoNet에 비해 현저히 낮은 에너지 효율을 가지게 된다. AA방안에서는 모든 기지국이 어웨이크 모드로 동작하여 모든 사용자와의 통신이 가능하지만 인접 셀 간섭이 가장 높기 때문에 가장 낮은 면적 당 처리량과 가장 높은 전력 소비량을 가지게 되고 결과적으로 가장 낮은 에너지 효율을 가지게 된다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 모바일 사용자 수의 폭발적 증가 및 다양한 사물인터넷 융합 서비스의 등장으로 인한 여러 종류의 커넥티드 사물들의 증가로 인하여 발생하는 급증하는 데이터 트래픽을 지원하기 위해, 함께 늘어나고 있는 수많은 기지국들에서 발생하는 에너지 소모 낭비를 줄이기 위하여, 대표적인 사용자 밀집도 기반 클러스터링 기술 중 하나인 DBSCAN 알고리즘과 HCPP 과정에서 켜는 알고리즘의 융합을 통한 기지국 모드 제어 알고리즘인 D-DeCoNet 알고리즘을 제안하였다. 제안 방안에서는 DBSCAN을 통해 추출된 서브네트워크 별로 기지국의 모드를 적응적으로 제어하기 때문에 면적 당 수율 (area throughput) 및 에너지 효율 (energy efficiency) 측면에서 기존 방안인 ACEnet, AA 알고리즘 대비 매우 우수한 성능을 가지는 것을 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있었다. 향후 제안 방안은 네트워크에서 소비되는 에너지 중 가장 많은 비율을 차지하는 기지국 에너지 낭비를 효율적으로 줄일 수 있도록 함으로써 네트워크 사업자가 초밀집 네트워크를 전체적으로 관리함에 있어서 매우 유용하게 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

#### ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by a research grant from Hankyong National University for an academic exchange program in 2018.

#### REFERENCES

- [ 1 ] Rec. ITU-R M-2083-0, "IMT vision-framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," ITU-R WP5D, Sep. 2015.
- [ 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," Tech. Rep., Apr. 2015. [Online]. Available: <https://www.metis2020.com/>

wp-content/uploads/deliverables/METIS D8.4 v1.pdf.

[ 4 ] J. Kim, and H. Lee, "D2D Based Advertisement Dissemination Using Expectation Maximization Clustering," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 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 *Proceeding of the IEEE International Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM)*, Aug. 2011.

[ 6 ] F. Richter, A. J. Fehske, and G. P. Fettweis, "Energy efficiency aspects of base station deployment strategies for cellular networks," in *Proceeding of the IEEE Vehicular Technology Conference*, 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" in *Proceeding of the IEEE Vehicular Technology Conference*, Sep. 2012.

[10] M. Ester, H.-P. Kriegel, J. Sander, and X. Xu, "A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise," in *Proceeding of the ACM International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 226-231, Aug. 1996.

[11] M. Haenggi, "Mean interference in hard-core wireless networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 15, pp. 792 - 794, Aug. 2011.

[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, pp. 1-11, May. 2018.



**이호원(Howon Lee)**

2003년 2월: KAIST 전자전산학과 공학사  
 2009년 8월: KAIST 전기및전자공학과 공학박사 (석박사통합)  
 2009년~2010년 : KAIST IT융합연구소 선임연구원  
 2010년~2012년 : KAIST IT융합연구소 팀장/연구조교수  
 2012년 3월~2016년 3월 : 국립한경대학교 전기전자제어공학과 조교수  
 2015년~2016년 : 국립한경대학교 IT융합연구소장  
 2016년 4월~현재 : 국립한경대학교 전기전자제어공학과 부교수  
 2012년~현재 : KAIST IT융합연구소 겸직교수  
 ※관심분야 : 5G 모바일 네트워크, 사용자 클러스터링, 3D 비디오 통신, 드론 통신 등



**이원석(Wonseok Lee)**

2016년 2월 : 한경대학교 전자공학과 공학사  
 2018년 2월 : 한경대학교 전기전자제어공학과 공학석사  
 2019년 11월~현재 : ㈜TL 표준연구팀 연구원  
 ※관심분야 : 5G 통신, IoT, 네트워크 프로토콜