

UDN 환경에서의 셀 부하 기반 클러스터링 성능 분석

김영민, 이제우, 안희준 홍인기

경희대학교 전자공학과

mini8709@naver.com, jechoosea@khu.ac.kr, hmk6160@khu.ac.kr, ekhong@khu.ac.kr

Performance Analysis of Clustering Algorithm Based on Cell Load in Ultra Dense Network Environment

Young-Min Kim, Je-Woo Lee, Hee-Jun Ahn, Een-Kee Hong

Dept. of Electronics Engineering, Kyung-Hee Univ.

요 약

본 논문에서는 초고밀도화된 네트워크 환경에서 네트워크 무선 자원을 효과적으로 사용하기 위한 클러스터링 알고리즘을 연구하고, 기존 환경과의 성능을 분석하였다. 이전 연구에서 클러스터링 알고리즘 중 복잡도가 낮아 가장 많이 사용되던 K-means 클러스터링 알고리즘과 계층적 클러스터링 알고리즘을 비교하여 계층적 클러스터링 알고리즘이 더 균형적인 군집을 형성하여 더 효과적인 성능을 낸 것을 확인하였고, 이번 연구에서는 각 셀의 부하를 기반으로 클러스터링 했을 때의 성능을 분석하고 비교하였다. 특정 지역에 UE가 집중적으로 분포하는 경우, 거리를 기반으로 한 계층적 클러스터링 알고리즘은 각 UE의 성능을 보장할 수 없다. 이를 보완하기 위해 본 논문에서는 셀 부하를 기반으로 클러스터링을 적용하였으며, 셀 부하 기반 클러스터링을 수행했을 시, 계층적 클러스터링을 적용했을 때 보다 Capacity 측면에서 더 효율적인 성능을 내는 것을 확인하였다.

I. 서론

무선 트래픽의 양이 시간이 지날수록 폭발적으로 증가하고 있다. 국내 무선 데이터 트래픽 사용량이 19년 12월 기준 600 PB(Petabyte)를 넘보고 있으며, 향후에는 월 무선 트래픽 사용량이 1EB(Exabyte)를 넘길 것으로 예상된다. 이는 기존 이동통신 네트워크 구조로는 만족시키기 힘든 무선 트래픽 용량이며, 이를 만족시키기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 그 방법 중 한가지인 셀 고밀도화(Cell Densification)는 Small Cell들의 밀집된 배치로 주파수 재사용률을 높여, 네트워크 용량을 증가시키며, 모바일 사용자와 기지국이 매우 근거리에서 위치함에 따라 사용자가 받는 신호의 세기를 증가시킨다.[1] 하지만 이러한 고밀도화된 셀 환경은 많은 셀의 관리를 위해 필요한 네트워크 시그널로 인한 네트워크 복잡도가 매우 클 것으로 예측되며, 서로 다른 셀 간의 거리도 매우 근접하기 때문에 사용자에게 전달되는 간섭 신호 또한 이전 환경보다 굉장히 크다는 문제점이 있다.

또한, 기존의 셀 경계에 존재하는 사용자의 셀 간 간섭을 줄이는 기술인 ICIC(Inter-Cell Interference Coordination)(Rel.8 표준) 및 eICIC(Rel. 10 표준) 기술, COMP(Coordinated multi-point)(Rel. 12 표준) 기술은 셀의 크기가 큰 LTE/LTE-A에서는 효과적으로 작동했지만, UDN 환경에서는 기지국이 굉장히 밀집되어 근접하게 배치되어 있기 때문에 위 기술들을 적용하기에는 매우 심각한 네트워크 복잡도를 초래할 것으로 전망된다.[2]

이를 보완하기 위해서는 클러스터링 알고리즘이 효과적으로 적용될 수 있다. 클러스터링 알고리즘은 머신 러닝의 종류 중 비지도 학습(Unsupervised Learning)의 일종으로, 비슷한 개체들끼리 한 군집으로 묶는 것을 말한다. 이를 네트워크에 적용한다면, 인접한 기지국들을 하나의 군집으로 묶어 군집 내의 기지국들은 Orthogonal Resource Block을 사용해 간섭을 없애

원활한 통신을 할 수 있으며, 군집 단위로 네트워크를 관리하면 네트워크 복잡도를 효과적으로 낮출 수 있다.

하지만 거리를 기반으로 하는 다른 K-means 클러스터링 알고리즘과 계층적 클러스터링 알고리즘의 경우, 특정 지역에 UE가 집중적으로 분포한다면 각 UE가 받을 수 있는 대역폭의 크기가 줄어들어 오히려 Data rates 측면에서 더 비효율적인 클러스터링 알고리즘이 될 수 있다. 위와 같은 배경으로, 본 논문에서는 셀의 부하를 기반으로 클러스터링 알고리즘을 적용하여 다른 거리 기반 클러스터링 알고리즘과 비교하여 Data Rates 측면에서 더 효과적인 성능을 낼 수 있음을 확인하였다.

II. 셀 부하 기반 클러스터링 알고리즘

기존의 거리를 기반으로 클러스터링 하는 알고리즘인 K-means 클러스터링 알고리즘은 사전에 군집의 수 K를 정해 임의의 K개의 점을 토대로 군집을 형성해 나가 총 K개의 군집을 형성하는 알고리즘이며, 계층적 클러스터링 알고리즘은 각 개체의 거리를 계층적인 트리 구조로 형성해 각 개체들을 순차적으로 유사한 개체 또는 군집과 통합하여 클러스터링을 수행하는 알고리즘이다. 하지만 두 클러스터링 알고리즘을 네트워크에 적용하면, 특정 지역에 UE가 집중적으로 분포되는 Hotspot 같은 경우, 비효율적인 대역폭 할당이 이루어져 UE의 Data rates 측면 성능이 떨어질 수가 있다.

하지만 본 논문에서 제시하는 셀 부하를 기반으로 하는 클러스터링 알고리즘을 적용하면, 계층적 클러스터링과 마찬가지로 거리를 기반으로 클러스터링을 순차적으로 수행하지만, 셀 부하 용량을 임계점으로 두어 UE의 분포가 집중된 Hotspot에서는 클러스터를 작게 형성해 더 효과적인 대역폭 할당이 가능하다.

클러스터가 적용된 네트워크에서 각 사용자의 달성할 수 있는 Data Rates 는 샤논의 Capacity 공식에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{C_n,k} = BW_k \log_2(1 + SINR_{n,k}) \quad (1)$$

이 때, BW_k 는 클러스터 C_n 의 사용자 k 에게 할당된 대역폭이고, $SINR_{n,k}$ 은 사용자 k 의 SINR(Signal to Interference and Noise Ratio)로 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$SINR_{n,k} = \frac{P_n^T h_{n,k} d_{n,k}^{-\alpha}}{\sum_{i \in C_n} P_i^T h_{i,k} d_{i,k}^{-\alpha} + \sigma^2} \quad (2)$$

이 때, P_n^T 는 기지국 n 의 전송 전력, $h_{n,k}$ 는 채널 이득, $d_{n,k}^{-\alpha}$ 는 기지국 n 과 사용자 k 간의 path loss 를 의미한다. 또한, α 는 사용자 k 가 속하는 클러스터가 아닌 다른 클러스터 중 같은 주파수 대역을 할당 받은 기지국이며, σ^2 는 잡음 전력이다.

또한 Outage 는 UE 가 기지국에게 신호를 받을 수 있는 최소한의 SINR 을 의미하는데, 클러스터링을 통해 향상된 성능을 확인할 수 있다. Outage Probability 는 다음과 같은 식으로 정의할 수 있다.[3]

$$Pr_{outage} = Prob\{SINR \leq \beta\} \quad (3)$$

(3) 식에서 β 는 Outage Threshold 값을 의미한다.

III. 시뮬레이션 결과

Table 1. Simulation Parameter

Parameter	Value
Map Range	200 x 200
Number of BS	40
Number of UE	80
Maximum Distance of Cluster	40
Carrier Frequency	3.5GHz
System Bandwidth	10MHz
BS Transmit Power	30dBm

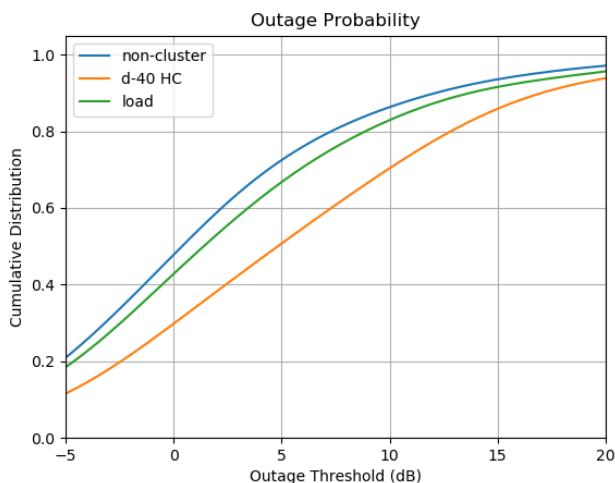


그림 1. 계층적 클러스터링 알고리즘과 셀 부하 기반 클러스터링 알고리즘의 Outage Probability 비교

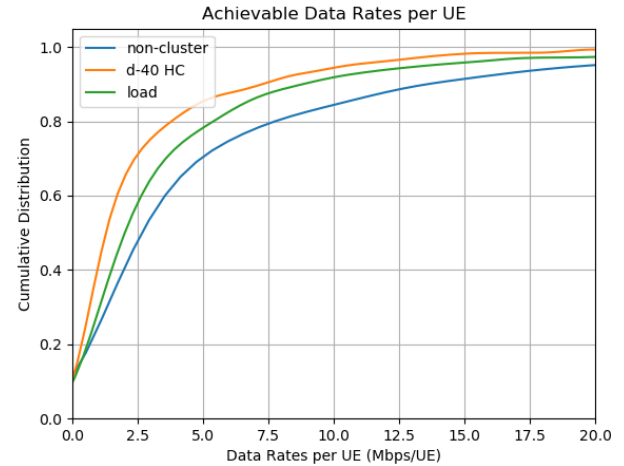


그림 2. 계층적 클러스터링 알고리즘과 셀 부하 기반 클러스터링 알고리즘의 각 사용자의 Achievable Data Rates 비교

IV. 결론

본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 특정 지역에 UE가 집중적으로 분포된 UDN 환경에서 거리 기반의 계층적 클러스터링 알고리즘과 셀 부하 용량을 기반으로 한 클러스터링 알고리즘을 비교했을 때, Outage Probability 측면에서는 계층적 클러스터링이 좀 더 효과적이었지만, 각 사용자가 달성할 수 있는 Data rates 측면에서는 셀 부하 용량 기반 클러스터링이 더 효과적임을 확인하였다. Outage 측면에서 계층적 클러스터링이 더 효과적이었던 이유는 특정 지역에 밀집된 UE로 인해 셀 부하 기반 클러스터링은 해당 지역에 더 작은 군집을 형성해 서로 다른 클러스터에 포함된 기지국들이 가까운 위치에 존재할 수 있기 때문이었다. 하지만 해당 클러스터 내의 UE들은 굉장히 밀집되어 분포되어 있기 때문에 대역폭을 적게 할당 받을 수밖에 없어 자연스럽게 Data rates 측면에서는 셀 부하 기반 클러스터링 알고리즘의 성능이 더 좋았던 것으로 설명된다.

따라서, 비교한 두 클러스터링 알고리즘 간의 Outage Probability와 Capacity 사이의 Trade-off가 존재하므로, UDN 환경에서 UE의 집중 분포를 파악하고, 그 분포에 따라 유동적으로 클러스터링 알고리즘을 적용한다면 더 효과적인 네트워크 환경을 구성할 수 있을 것으로 보인다.

참고 문헌

- [1] XIAOHU GE, SONG TU, GUOQIANG MAO, CHENG-XIANG WANG, TAO HAN, "5G ULTRA-DENSE CELLULAR NETWORKS", IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 23, ISSUE. 1, PP. 72-79, FEB 2016.
- [2] DAVID LÓPEZ-PÉREZ, MING DING, HOLGER CLAUSSEN, AMIR H. JAFARI, "TOWARDS 1 GBPS/UE IN CELLULAR SYSTEMS: UNDERSTANDING ULTRA-DENSE SMALL CELL DEPLOYMENTS", IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 17, ISSUE. 4, PP.2078-2101, JUN 2015
- [3] R.E. REZAGAH ; A. MOHAMMADI, "OUTAGE THRESHOLD EXTRACTION FOR MAXIMISING THE CAPACITY OF WIRELESS AD HOC NETWORKS", IET COMMUNICATIONS, VOL. 5, ISSUE. 6, PP. 811-818, APR 2011