

Capacity-centric 구조에서 SINR 기반 단말 클러스터링 기법

김태환, 정성엽, 최수용
연세대학교 전기전자공학과

kimth1217@yonsei.ac.kr, andy2878@yonsei.ac.kr, csyong@yonsei.ac.kr

SINR based User Equipment Clustering in Capacity-centric Architecture

Kim Taehwan, Joung Seongyeop, Choi Sooyong
School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

요약

기존 네트워크 구조의 문제를 해결하기 위해 고안된 capacity-centric 구조는 피드백 오버헤드를 감소시키고 일정 이상의 네트워크 용량을 보장한다. 하지만 클러스터 가장자리에서 다른 클러스터로부터의 간섭에 의한 성능 열화를 고려하지 못하였다. 본 논문에서는 단말의 신호 대 간섭·잡음비(SINR)를 이용하는 매핑 기법을 제시한다. 설정된 SINR 임계값을 넘지 못하는 단말을 SINR 이 개선되는 다른 클러스터로 매핑한다. 실험 결과를 통해 기지국당 평균 클러스터 용량과 SINR 임계값 이하 단말의 SINR 을 개선할 수 있음을 확인하였다.

I. 서론

5G 시스템에서 보편적으로 사용되는 구조는 셀룰러 네트워크 구조이다. 셀룰러 네트워크 구조는 여러 개의 셀로 구성되어 각 셀이 기지국의 서비스 구역에 해당한다[1]. 다른 셀의 영향에 의해 성능이 저하되는 셀 가장자리 문제를 해결하기 위해 제 fully-coordinated 구조가 제안되었다 [2]. Fully-coordinated 구조는 모든 기지국이 중앙 처리 장치를 이용하여 단말에게 서비스를 제공한다. 하지만 프론트홀/백홀을 통해 교환되는 정보의 양이 기하급수적으로 늘어나 피드백 오버헤드와 범위성의 면에서 실제 시스템에 부적합하다 [3].

피드백과 범위성 문제를 해결하기 위해 평균 클러스터 용량 정리를 바탕으로 capacity-centric 구조가 제안되었다 [3]. Capacity-centric 구조는 클러스터 최소 반지름을 통해 최소 용량을 보장하며 클러스터 개수를 최대화하여 오버헤드를 최소화하는 구조이다. 하지만 capacity-centric 구조는 클러스터의 크기만을 변수로 이용하므로, 클러스터 테두리에서 다른 클러스터로부터의 간섭에 의한 성능 열화를 고려하지 못한다.

이 논문에서는 단말의 SINR 을 이용하여 capacity-centric 구조를 개선한다. Capacity-centric 구조에서 단말 SINR 을 확인하고, 임계값 SINR 을 넘지 못하는 단말을 분류한다. 분류된 단말은 다른 클러스터에 포함되었을 때의 SINR 을 측정하여, 기존의 SINR 과 비교한다. SINR 이 개선된다면 해당 단말의 클러스터를 변경한다.

II. 본론

2.1. 시스템 모델

본 논문에서는 단일 안테나로 이루어진 L 개의 기지국과 단일 안테나로 이루어진 K 개의 단말로 구성된 상향 링크 통신 네트워크를 가정한다. 기지국의 집합은 $\mathbf{B} = \{b_1, b_2, \dots, b_L\}$, 단말의 집합은 $\mathbf{U} = \{u_1, u_2, \dots, u_K\}$ 로 정의한다. 네트워크에 총 M 개의 클러스터가 존재할 때, j 번째 클러스터의 기지국과 단말의 집합은 C_j 로 정의한다. 또한, 클러스터 C_j 의 기지국과 단말의 수는 각각 L_j, K_j 로 정의한다.

기지국 $b_l \in C_j$ 와 단말 $u_k \in \mathbf{U}$ 사이의 채널 h_{jlk} 는 다음과 같이 정의한다 [4].

$$h_{jlk} = \ell_{jlk} \times g_{jlk}$$

여기서 $g_{jlk} \sim \mathcal{CN}(0,1)$ 은 small-scale fading 이다. ℓ_{jlk} 는 large-scale fading 이며, 기지국 b_l 과 단말 u_k 사이의 거리에 의한 신호 감쇄로 다음과 같이 계산된다.

$$\ell_{jlk} = (\theta d_{jlk}^{-\alpha})$$

여기서 d_{jlk} 는 b_l 과 u_k 사이의 유클리드 거리이다. θ 와 α 는 거리에 의한 신호 감쇄 모델에 따라 다른 값을 가지는 매개변수이다. 본 논문에서 채널 계수 값들은 [3]에서 정의된 three-slope model 의 값들을 사용한다.

j 번째 클러스터의 k 번째 단말의 uplink 신호 모델은 다음과 같이 계산된다.

$$y_j = \sum_{b_l \in C_j} h_{jlk} s_k + \sum_{b_l \in C_j} \sum_{u_k \notin C_j} h_{jlk} s_k + z_{jk}$$

여기서 $s_k \sim \mathcal{CN}(0, P)$ 는 단말 u_k 의 전송 파워가 P 인 정보 신호이다. $z_{jk} \sim \mathcal{CN}(0, N_0)$ 는 부가 백색 가우스 잡음이다.

2.2. SINR 기반 단말 클러스터 매핑 기법

j 번째 클러스터의 k 번째 단말의 SINR 은 다음과 같이 계산된다 [5].

$$SINR_{jk} = \frac{P \sum_{b_l \in C_j} h_{jlk} \overline{h_{jlk}}}{N_0 + P \sum_{b_l \in C_j} \sum_{u_k \notin C_j} h_{jlk} \overline{h_{jlk}}}$$

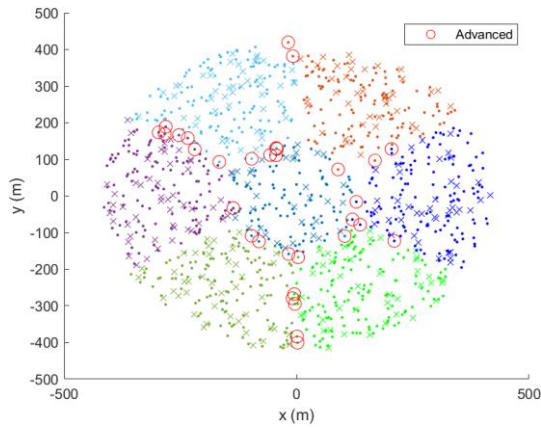


그림 1. SINR 을 통해 개선된 단말 분포

본 논문에서 제시하는 SINR 기반 단말 클러스터 매핑 기법은 capacity-centric 구조의 클러스터를 사용한다. 클러스터가 정해진 각 단말의 SINR 을 측정하고, 설정된 임계값을 넘지 못하는 단말을 분류한다. 분류된 단말은 다른 클러스터에 속했을 때의 SINR 을 다시 측정하고, 기존 SINR 과 비교한다. 단말의 새로운 SINR 의 값이 기존 SINR 보다 큰 경우, 새로운 클러스터로 변경된다. 반대로 기존 SINR 을 넘지 못한다면 클러스터를 변경하지 않는다.

그림 1 은 기존 네트워크 크기(R_0) 480m, 클러스터 최소 반지름(R_{Th}) 140m, 단말 밀도 $\rho_u = 6 \times 10^{-3}m^{-2}$, 기지국 밀도 $\rho_b = \rho_u/3$ 에서 SINR 임계값 0dB 를 적용한 결과이다. 같은 색의 점과 가위표는 같은 클러스터의 단말 및 기지국의 위치이다. 빨간색 원으로 표현된 원은 SINR 이 개선되어 변경된 단말을 나타낸다.

2.3 실험 결과

제안 기법의 성능을 평가하기 위해, SINR 임계값을 0dB 로 설정하여 실험을 진행하였다. 성능 지표로는 capacity-centric 구조에서 제시된 기지국당 평균 클러스터 용량을 이용한다 [3].

그림 2 는 클러스터 최소 반지름 R_{Th} 가 100m, 전체 네트워크 크기 R_0 가 400m 에서 1000m 로 증가할 때 평균 클러스터 용량 변화를 나타낸다. 네트워크 크기가 변화할 때 약 5% 개선됨을 확인할 수 있다.

그림 3 은 같은 환경에서 SINR 임계값을 넘지 못한 단말들의 평균 SINR 과 기법을 적용한 후 같은 단말들의 평균 SINR 을 비교한 그래프이다. 실험 결과 약 -2.5dB 의 평균 SINR 에서 약 1.2 dB로 약 3dB 증가함을 확인할 수 있다.

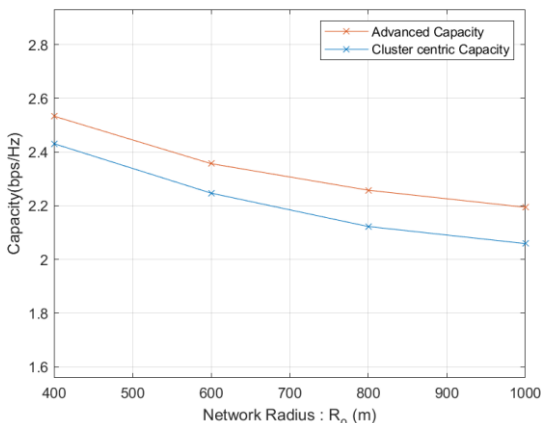


그림 2. 네트워크 크기 변화에 따른 기지국당 평균 용량 비교

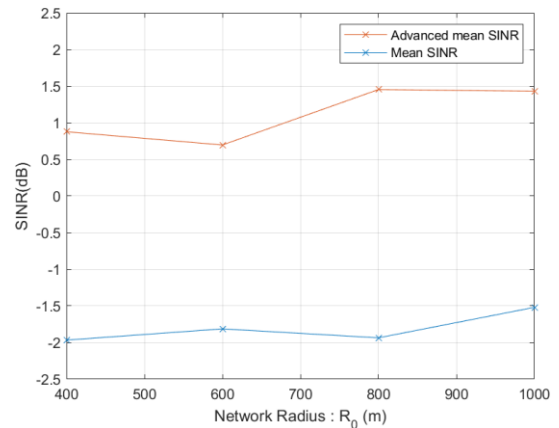


그림 3. 네트워크 크기 변화에 따른 임계값 이하 단말들의 평균 SINR 비교

III. 결론

본 논문에서는 기존에 제시된 기지국당 평균 용량에 의한 클러스터 구분 방식에서 단말의 SINR 을 측정하여 더 나은 클러스터로 조정하는 방식을 통하여 전체 네트워크의 용량을 향상시키는 방식을 제안한다. 실험 결과를 통해 제안된 기법이 capacity-centric 기법 대비 높은 용량을 달성하는 것을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 이미 구성된 클러스터에서 단말의 위치를 조정하는 기법을 이용하였으나, 향후에는 기지국과 단말 모두를 새로운 기준으로 클러스터링 하는 기법을 연구하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원 (No. 2021-0-00973, 차세대 무선 변복조 기술 (Post-OFDM) 개발)과 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022-R1A2B5B02002226).

참고 문헌

- [1] A. R. Mishra et al., Advanced Cellular Network Planning and Optim- 837sation. Chichester, U.K.: Wiley, 2007.
- [2] M. A. Habibi, M. Nasimi, B. Han, and H. D. Schotten, "A comprehensive869 survey of RAN architectures toward 5G mobile communication system,"870 IEEE Access, vol. 7, pp. 70371-70421, 2019.
- [3] L. Yang et al., "C2: A Capacity-Centric Architecture Toward Future Wireless Networking," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 21, no. 10, pp. 8134-8147, Oct. 2022
- [4] S. Buzzi, C. D'Andrea, A. Zappone, and C. D'Elia, "User-centric 5G 907 cellular networks: Resource allocation and comparison with the cell908 free massive MIMO approach," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 19,909 no. 2, pp. 1250-1264, Feb. 2020
- [5] D. Tse and P. Viswanath, Fundamentals of Wireless Communication. 839 New York, NY, USA: Cambridge Univ. Press, 2005.