

NOMA-UAV 네트워크에서 처리량 향상을 위한 사용자 클러스터링 기법 동향 조사

홍성훈, 이동현, 오준석, 송치현, 허동현, 백정엽, *임유진, 조성래

중앙대학교, *숙명여자대학교

{shhong, dhlee, jsch, chsong, dhur}@uclab.re.kr, jpaek@cau.ac.kr, *yujin91@sm.ac.kr, srch@cau.ac.kr

Investigating Trends in User Clustering Techniques to Improve Throughput in NOMA-UAV Networks

Seonghun Hong, Donghyun Lee, Junsuk Oh, Chihyun Song,

Donghyeon Hur, Jeongyeup Paek, *Yujin Lim, and Sungrae Cho

Chung-Ang Univ., *Sookmyung Women's University.

요약

높은 이동성과 유연성을 지원하는 무인 항공기(UAV)의 개발은 5세대 이상 무선 네트워크의 다양한 애플리케이션에서 주목받고 있다. 하지만 기존 UAV 배포 기술은 처리량, 전력 효율 및 사용자 만족도가 제한되어 있다. 이러한 문제를 해결하려면 UAV 네트워크의 관심 연구 분야인 효율적인 클러스터링이 필요하다. 또한 NOMA(비직교 다중 접속)와 UAV(무인 항공기)를 결합하면 무선 네트워크의 성능이 향상될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 효율적인 UAV 클러스터링으로 네트워크 처리량, 전력 효율을 향상시킬 수 있는 기법 연구 동향에 대해 조사한다.

I. 서론

모바일 인터넷은 광대역 인터넷의 공간적 한계와 가용성으로 인해 더욱 대중화되고 널리 보급되고 있다. 모바일 인터넷에 대한 의존도가 높아짐에 따라 광범위하고 원활한 모바일 통신이 필수적이다. UAV 지원 무선 네트워크는 이러한 네트워크를 보장하기 위한 최신 발전이다. [1] 기지국은 UAV에 장착되어 높은 데이터 수요가 증가할 때, 네트워킹 시설이 취약한 곳일 때 도움을 줄 수 있다. 기존 UAV 배포 기술의 한계로 처리량, 전력 효율 및 사용자 만족도 면에서 제한되고 있다. UAV 네트워크의 효율적인 클러스터링 기법은 이러한 문제를 해결할 수 있다. 많은 연구자들이 다양한 성능 지표 및 시나리오에서 사용자 클러스터링을 조사하였다. 5G 통신을 위한 유망한 기술로서, NOMA(비직교 다중 접속) 시스템을 UAV 네트워크에 활용하여 동일한 시간-주파수 자원으로 모바일 장치에 서비스를 제공함으로써 스펙트럼 효율성을 향상시킬 수 있다. [2] 따라서 본 논문에서는 NOMA-UAV 네트워크 시스템에서 처리량 향상을 위한 사용자 클러스터링 기법 동향을 조사한다.

II. 본론

UAV 네트워크 환경에서 사용자 클러스터링은 네트워크 효율성을 크게 향상시킬 뿐만 아니라 사용자들을 위치 기반으로 최적의 클러스터로 그룹화 함으로써 UAV가 보다 효과적으로 자원을 할당할 수 있고, 간섭을 줄여 전체 네트워크 성능이 개선된다. 또한 네트워크의 동적인 관리를 가능하게 하여 네트워크의 유연성을 높이고 이에 따라 처리량을 극대화시킬 수 있다.

[3]에서는 주어진 클러스터 또는 다중 UAV 서비스에 대한 기존 작업들과 달리 사용자 클러스터링과 UAV 라우팅을 모두 고려한 다중 클러스터

NOMA-UAV 네트워크의 총 처리량을 최대화하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘에서는 K-means 알고리즘과 GA를 채택하여 사용자 클러스터링하고 각각 최적의 라우팅을 얻는다. 이후 최적의 클러스터 및 라우팅을 기반으로 전송 전력, 호버링 위치 및 전송 기간을 공동으로 최적화하여 총 처리량을 최대화한다. 먼저 UAV의 사용 가능한 리소스가 제한되어 있으므로 K-means 알고리즘을 활용하여 모든 사용자를 M개의 클러스터로 그룹화 한다. 이후 다음 최적의 UAV 라우팅과 최단 거리를 얻기 위해 계산 복잡도가 적은 GA를 채택하였다. 최적화된 사용자 클러스터링 및 UAV 라우팅을 기반으로 자원을 최대한 활용하기 위해 전송 전력을 공동으로 최적화하여 시스템 처리량 극대화를 하였다. 시뮬레이션에서 AWGN은 -110dBm으로 설정되었고, 참조 채널 계수는 -60dB, 지상 사용자 수는 19명으로 설정되었다. 모든 사용자가 동일한 QoS 요구 사항과 처리량 임계값을 가지는 상황에서 OFDMA와 NOMA 기반의 기존 방식에 비해 제안된 알고리즘이 더 높은 성능을 보였다.

[4]에서는 UAV 지원 전이중(FD) NOMA 시스템 기반 셀룰러 네트워크를 조사하여 동적 사용자 클러스터링, 최적의 UAV 배치 및 시스템을 통해 시스템의 처리량을 증가시켰다. 두 단계의 동적 클러스터링 기법으로 2단계 K-means(Elbow K-means)을 제안하였다. 첫 번째 단계에서는 네트워크의 모든 UN을 K개의 클러스터로 나눈 후 두 번째 단계에서는 해당 클러스터에 속하는 UN이 하위 클러스터의 수를 동적으로, 항상 최적으로 선택하는 하위 클러스터로 더 나눈다. 이후 UAV 위치를 수정한 다음 SCA(Successive Convex Approximation) 방법을 사용하여 문제를 반복적으로 해결하고, 무차별 검색 알고리즘을 활용하여 처리량을 극대화 하였다. 50개의 UL 및 50개의 DL을 포함하는 100개의 UN이 $500 \times 500 m^2$ 의 지상 평면에 균일하게 배포되는 상황에서 2000개의 Monte-Carlo 시뮬

레이션을 평균화한 결과 기존 OMA 및 단일 단계 사용자 클러스터링 방식보다 우수한 성능을 입증하였다.

Conference on Signal Processing, Information, Communication & Systems (SPICSCON), Dhaka, Bangladesh, 2021, pp. 91-95, doi: 10.1109/SPICSCON54707.2021.9885326.

III. 결론

본 논문에서는 NOMA-UAV 네트워크 환경에서 처리량 극대화를 위한 최근 연구 동향을 조사하였다. 조사된 연구들은 전통적인 알고리즘을 수정하여 클러스터링 최적화에 초점을 두었고, 계산 복잡도를 줄일 수 있는 알고리즘을 선택하여 처리량을 증가시켰다. 이러한 연구들은 통신 자원에 대한 네트워크 관리를 효과적으로 개선하고 기본 사용자와의 충돌 및 간섭 비율을 줄이는 효과를 줄 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2024-RS-2022-00156353, IITP-2024-RS-2023-00258639)

참 고 문 헌

- [1] S. Afrin, M. S. Hossain, M. R. Iqbal, A. Refat and A. U. Tamim, "A Fuzzy Logic Approach for Improving Throughput of the UAV-Assisted Wireless Networks," 2021 IEEE International Conference on Signal Processing, Information, Communication & Systems (SPICSCON), Dhaka, Bangladesh, 2021, pp. 91-95, doi: 10.1109/SPICSCON54707.2021.9885326.
- [2] J. Park, S. Kim and C. Lee, "SE-Based User Clustering for Sum Rate Maximization in Multi-UAV NOMA Networks," 2023 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers, and Communications (ITC-CSCC), Jeju, Korea, Republic of, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ITC-CSCC58803.2023.10212722.
- [3] Q. Huang, W. Wang, W. Lu, N. Zhao, A. Nallanathan and X. Wang, "Throughput Maximization for Multi-Cluster NOMA-UAV Networks," GLOBECOM 2022 - 2022 IEEE Global Communications Conference, Rio de Janeiro, Brazil, 2022, pp. 3730-3735, doi: 10.1109/GLOBECOM48099.2022.10000720.
- [4] M. Katwe, K. Singh, P. K. Sharma, C. -P. Li and Z. Ding, "Dynamic User Clustering and Optimal Power Allocation in UAV-Assisted Full-Duplex Hybrid NOMA System," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 21, no. 4, pp. 2573-2590, April 2022, doi: 10.1109/TWC.2021.3113640.
- [5] H. V. Abeywickrama, Y. He, E. Dutkiewicz and B. A. Jayawickrama, "An Adaptive UAV Network for Increased User Coverage and Spectral Efficiency," 2019 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Marrakesh, Morocco, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/WCNC.2019.8885892.
- [6] S. Afrin, M. S. Hossain, M. R. Iqbal, A. Refat and A. U. Tamim, "A Fuzzy Logic Approach for Improving Throughput of the UAV-Assisted Wireless Networks," 2021 IEEE International