

Massive MIMO-NOMA를 위한 사용자 클러스터링 기술 동향 조사

홍성훈, 이동현, 오준석, 송치현, 백정엽, 김의직*, 조성래

중앙대학교, *한림대학교

{shhong, dhlee, jsoh, chsong}@uclab.re.kr, jpaek@cau.ac.kr, *ejkim32@hallym.ac.kr, srcho@cau.ac.kr

Investigation Trends of User Clustering algorithm for massive MIMO-NOMA

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

Jeongyeup Paek, Euijik Kim* and Sungrae Cho

Chung-Ang Univ., *Hallym University

요약

초고주파 및 넓은 대역폭에서 효과적인 통신을 위한 6G의 유망 기술인 mMIMO-NOMA 시스템을 소개한다. mMIMO-NOMA 시스템에서 여러 사용자를 그룹화하여 각 그룹 간의 통신을 최적화하고, 간섭을 최소화하기 위한 사용자 클러스터링 기법들에 대한 조사와 향후 연구 방향에 대해 논한다.

I. 서론

massive MIMO(대규모 다중 입력 다중 출력)는 과도한 전력이나 넓은 대역폭을 사용하지 않고도 통신 시스템의 전체 전송용량을 증가시킬 수 있다. NOMA(비직교 다중 액세스) 구성은 추가 사용자 데이터 속도 및 강화된 스펙트럼 효율성에 대한 요구를 충족하기 위해 MIMO 구조를 수용할 수 있는 좋은 후보이다. 두 기술 간의 통합인 mMIMO-NOMA 시스템은 낮은 대기 시간과 높은 에너지 효율성으로 수많은 장치를 연결해야 하는 대규모 사물 인터넷(IoT) 장치에 효과적이며, 향상된 스펙트럼 효율성으로 mmWave 및 THz같은 고주파 스펙트럼에서 유망하다.

현재까지 NOMA 시스템에 대한 연구는 성능 중점으로 연구되어있고 사용자 클러스터링에 관한 연구에 초점을 맞추고 있지 않다[1]. 저주파 대역에서의 연구는 충분히 진행되었으나 mmWave/THz 네트워크 영역에서의 사용자 클러스터링 연구가 광범위하게 조사되지 않은 상태이다. 따라서 본 논문에서는 클러스터링의 중요성과 mMIMO-NOMA 기반 mmWave/THz 통신 아키텍처에서 제안된 기존의 클러스터링을 두 가지 범주 RAUC(resource aware user clustering), LAUC(learning assisted user clustering)의 구분 및 알고리즘을 간략하게 설명하고 향후 연구 방향에 대해 논한다.

II. 본론

기존의 거리 기반 k-means 클러스터링의 경우 각 사용자로부터 클러스터 헤드까지의 거리를 계산 후 가장 거리가 가까운 헤드에 할당하고 할당된 사용자들 간에 클러스터 헤드를 재계산을 반복하여 그룹이 변하지 않을 때까지 반복한다. 그림 1에서는 user1과 user2가 유사한 방위각에 위치하므로 Cluster A와 같이 동일한 클러스터로 그룹화되는 것이 이상적이지만 거리 기반 알고리즘에서는 이를 고려하지 못하여 Cluster B로 그룹화된다. 방위각 기반 k-means 클러스터링은 거리 기반의 방향성 문제를 해결하기 위하여 방위각을 사용한다.

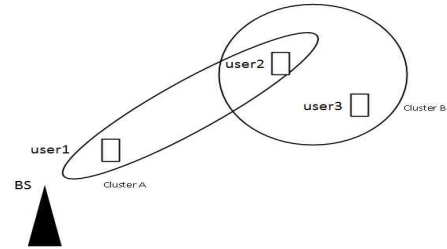


그림 1. 거리 기반 k-means 클러스터링.

그림 2에서 볼 수 있듯이 중심은 기지국이며, 인접한 두 실선으로 싸인 영역은 섹터이다. 한 섹터의 기준 방위각과 모든 사용자의 방위각의 교차점을 비교하여 기준 방위각과 최소 교차각을 갖는 사용자가 해당 섹터의 클러스터 헤드로 간주된다. 섹터를 나누고, 각 섹터의 중심 방위각을 초기 기준 방위각으로 설정한다. 각 섹터 내 모든 사용자의 방위각과 벤치마크 방위각의 교차각을 비교하여 벤치마크 방위각과 최소 교차각을 갖는 사용자가 해당 섹터의 클러스터 헤드로 선택된다. 최소 교차각을 기준으로 각 사용자는 재그룹화 되고 다음과 같이 벤치마크 방위각을 재설정한다[2].

$$j_g = \frac{A_{zi_max} - A_{zi_min}}{2}, g = 1 \dots G \quad (1)$$

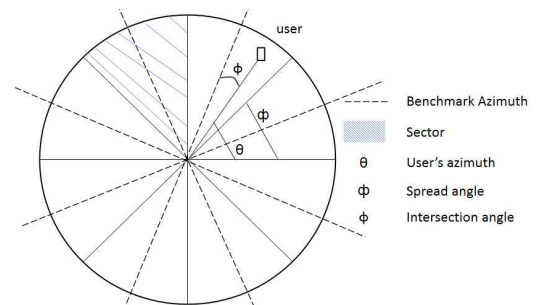


그림 2. 알고리즘의 방위각 표기법.

[1]에서는 mMIMO-NOMA 기반 mmWave, THz 네트워크에서의 사용자 클러스터링 기법을 두 가지 범주 RAUC, LAUC로 나누고 있다. RAUC는 메트릭, 전력 및 에너지 효율성(EE), 공간 위치가 포함된다. 기존 k-means와 방위각 기반 k-means 알고리즘의 경우 LAUC로 분류되며 지도 및 비지도 기계학습 접근 방식이다. LAUC는 비교적 구현 복잡도가 낮지만 효과적인 클러스터 헤드를 초기화하는 방법을 찾기 어렵다는 단점이 있다. RAUC 클러스터링중 하나로 채널 상관 계수 기반 클러스터링이 제안되었다. 채널 상관 계수 기반 클러스터링에서 기지국은 사용자 간의 채널 상관관계를 측정하며 채널 그래프를 생성한다. 빔 간섭을 제거하기 위해 사용자 간에는 낮은 상관관계를 가지며, 견고성을 위해 클러스터 간에는 높은 채널 상관관계를 가진다. 상관도가 높은 경우 채널 내 간섭을 일으킬 수 있어 간섭이 심한 사용자를 재그룹화 하여 간섭을 줄인다. 또한 RAUC에서 에너지 효율성은 mMIMO-NOMA 시스템의 주요 관심사이다[1]. 따라서 에너지 효율이 높은 사용자 기반 클러스터링과 [3]에서는 공동 사용자 클러스터링 및 진원 할당을 제안하였다. 제안된 알고리즘에도 실시간 애플리케이션 적용 부적합 및 셀룰러 네트워크 과부하 문제가 있어 이를 해결하는 연구가 필요할 것으로 보인다.

III. 결론

mMIMO와 NOMA의 결합은 고주파 스펙트럼에서의 효율성 향상과 대규모 연결성 및 고용량을 달성시킬 수 있는 6G의 유망한 기술이다. mMIMO-NOMA 시스템에서 단일 안테나 사용자를 클러스터링하는 알고리즘에 대해 RAUC와 LAUC로 구분하여 간략하게 소개하였다. 클러스터링의 성능은 채널 간 간섭을 최소화시킬 수 있는 중요한 열쇠이다. 대규모 연결을 위한 최적의 알고리즘은 굉장히 복잡하다[4]. mmWave/THz 네트워크를 기반으로 고주파 스펙트럼에서의 빔 지향성과 손실을 모두 고려하여 실현가능한 복잡도의 클러스터링 알고리즘 개발과 성능 평가가 필요하며 향후 빔포밍 아키텍처와 전력 할당 최적화가 중요한 연구가 될 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터 육성지원사업 (IITP-2024-RS-2022-00156353) 및 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2022R1A4A5034130).

참 고 문 헌

- [1] M. Shahjalal, M. H. Rahman, M. O. Ali, B. Chung and Y. M. Jang, "User Clustering Techniques for Massive MIMO-NOMA Enabled mmWave/THz Communications in 6G," 2021 Twelfth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), Jeju Island, Korea, Republic of, 2021, pp. 379-383, doi: 10.1109/ICUFN49451.2021.9528659.
- [2] H. He, Y. Liang and S. Li, "Clustering Algorithm based on Azimuth in MmWave Massive MIMO-NOMA System," 2021

IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC Workshops), Xiamen, China, 2021, pp. 118-122, doi: 10.1109/ICCCWorkshops52231.2021.9538933.

- [3] S. Chinnadurai, P. Selvaprabhu, Y. Jeong, A. L. Sarker, H. Hai, W. Duan, et al., "User clustering and robust beamforming design in multicell MIMO-NOMA system for 5G communications", International Journal of Electronics and Communications, vol. 78, pp. 181-191, 2017.
- [4] W. A. Al-Hussaini and F. H. Ali, "Efficient User Clustering, Receive Antenna Selection, and Power Allocation Algorithms for Massive MIMO-NOMA Systems," in IEEE Access, vol. 7, pp. 31865-31882, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2902331.