

최근 위성 지원 Cell-Free 네트워크 관한 연구

이윤성, 이동현, 김재민, 나인호*, 조성래

중앙대학교, *군산대학교

yslee@uclab.re.kr, dhlee@uclab.re.kr, jmkim@uclab.re.kr, ihra@kunsan.ac.kr, srcho@uclab.re.kr

A Study on Satellite-assisted Cell-Free Networks

Yunseong Lee, Donghyun Lee, Jaemin Kim, Inho Ra*, Sungrae Cho

Chung-Ang Univ., *Kunsan Univ.

요약

본 논문은 최근 각광받고 있는 다중입출력 안테나 기술 중 하나인 Cell-Free 네트워크에 대해 연구하며, 또한 위성과 협업 통신을 시도하는 Cell-Free 네트워크에 대해 조사하였다. 여러 기지국으로부터 동시에 데이터 전송을 받을 수 있는 Cell-Free 네트워크는 다가올 6G에서 요구하는 대용량 데이터 전송, 신뢰성 전송에 부합할 것으로 기대된다.

I. 서론

다가오는 6G에서는 TB/s 레벨의 데이터 트래픽을 요구할 것으로 예측되며, 저지연 고용량 트래픽을 처리할 수 있는 네트워크 환경을 요구한다. 사용자 및 트래픽 요구량을 수용할 수 있는 다양한 네트워크 기술들이 등장하였고, 그 중 기지국에 다수의 안테나를 설치하여 제어하는 다중입출력 안테나 기술은 (multiple-input multiple-output; MIMO)이 많은 주목을 받고 있다. 특히, 수많은 안테나로 구성된 massive MIMO는 기존 MIMO보다 더 높은 데이터 처리량과 에너지 효율성을 보인다. 그러나, 기존 네트워크보다 많은 이점을 가지는 massive MIMO도 여러 도전 과제들을 가지고 있다. 예를 들어, 안테나를 많이 배치하여도 핸드오버와 같은 문제는 여전히 존재한다. 이러한 문제들을 해결할 수 있는 새로운 massive MIMO 기술이 바로 Cell-Free 네트워크 기술이다[1].

II. 본론

Cell-Free 네트워크에서는 멀티 안테나 또는 싱글 안테나가 장착된 다수의 기지국들이 넓게 분포하며 존재한다. Cell-Free 네트워크는 사용자가 같은 네트워크 자원과 같은 시간대에 모든 기지국으로부터 데이터를 수신 받으며, 이는 높은 데이터 처리량을 가질 수 있을 뿐 아니라, 사용자가 이동해도 핸드오버가 발생하지 않는 장점이 있다. 이러한 동시에 같은 데이터를 전송하는 협업 전송 기법을 위해서는 모든 기지국이 중앙처리유닛 (central processing unit; CPU)에 연결되어 관리되어야 한다. 즉, CPU와 기지국 사이에 많은 제어 트래픽이 교환될 것이며, 이는 백홀 망에 많은 부하를 일으키게 된다. 백홀망의 부하는 결국 종단간 전송에도 지연을 일으킬 수 있게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 User-Centric Cell-Free 네트워크가 제안되었다[2]. 기존의 Cell-Free 네트워크는 사용자가 모든 기지국으로부터 데이터를 전송 받았다면, User-Centric Cell-Free 네트워크에서는 모든 기지국이 아닌 일부의 기지국으로부터만 데이터를 전송 받게 된다. 사용자는 강한 신호를 보내는 정해진 개수의 기지국을 하나의 클러스터로 구성하게 되며, 해당 클러스터로만 데이터 전송을 시도한다. 이러한 원리는 백홀망에서 발생하는 부하를 현저하게 줄

여주며, 에너지 효율성도 더욱 높아지는 강점을 가지고 있다. 수신받는 기지국 수가 줄어들어도 오히려 간섭 문제가 줄어들어 기존의 Cell-Free 네트워크보다 높은 데이터 처리량을 보장한다.

하지만 Cell-Free 네트워크 인프라가 설치될 수 없는 지역에서는 여전히 사용자가 네트워크에 연결될 수 없을 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 위성과 융합한 새로운 Cell-Free 네트워크 들이 제안되고 있다 [3][4]. 위성은 높은 고도에서 넓은 전파 범위를 보장하며, 이는 네트워크 인프라가 설치되지 않은 바다, 산 등에서 큰 이점을 가지게 된다. 인프라가 설치된 곳이라면 이미 높은 연결성을 보장하는 Cell-Free에 위성이 결합되게 되면 더 넓은 지역에서 더 많은 사용자들을 수용할 수 있으며, 동시에 높은 데이터 처리량도 보장할 수 있게 된다. 하지만 위성은 높은 고도에서 지상으로 신호를 보내기 위해 높은 전송 전력을 필요로 하며, 이는 지상의 사용자들에게 간섭을 줄 가능성이 높다. 즉, 위성도 도움이 필요한 사용자에게만 연결하여 최적의 빔포밍 제어를 이루어야 한다. Cell-Free 네트워크도 다수의 기지국이 동시에 데이터를 전송하는 환경이기 사용자가 이룬 클러스터간 간섭 또한 발생하기에 간섭 문제를 해결하는 것이 기존 모바일 네트워크보다 더 중요하다. 이를 위해서는 기존과는 다른 새로운 안테나 빔포밍 기법이 필요로 한다. 또한 지상이 기지국간의 Cell-Free 네트워크 자원 관리 기법도 필요로 한다. 모든 사용자가 모두 강한 신호를 보내는 기지국들과만 연결을 시도하게 된다면, 일부 사용자는 적은 신호를 보내는 기지국과 연결될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 자원 공정성을 높이는 사용자를 위한 User-Centric 클러스터링 기법이 필요로 한다. 또한 이러한 클러스터링 기법은 기지국이 여러 사용자를 지원할 수 있는 Overlapping 기법과, 오직 한 사용자만 지원하는 Non-overlapping 기법이 존재하며, 자원 효율성을 높이기 위해서는 Overlapping 기법을 적용하는 것이 맞지만, 이는 클러스터링 복잡성을 높이는 문제를 가지고 있어 이에 대한 해결 방안 또한 필요로 한다. 즉, 위성 과 Cell-Free 네트워크 융합과 실용화를 위해서는 다양한 문제점을 먼저 짚어봐야 하고, 이를 해결하기 위한 최적의 빔포밍, 클러스터링, 자원 관리 기법들을 연구하여야 한다.

III. 결론

다가올 6G 환경에서 언제 어디서든 높은 데이터 처리량과 연결성을 보장하기 위해서 위성과 Cell-Free 네트워크와의 융합은 필수적인 것이다. 본 연구팀은 앞으로 위성과 Cell-Free 협업 네트워크에서 필요한 클러스터링 및 빔포밍 기법 연구를 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참 고 문 헌

- [1] Ngo, Hien Quoc, et al. "Cell-free massive MIMO versus small cells." *IEEE Transactions on Wireless Communications* 16.3 (2017): 1834-1850.
- [2] Buzzi, Stefano, and Carmen D'Andrea. "Cell-free massive MIMO: User-centric approach." *IEEE Wireless Communications Letters* 6.6 (2017): 706-709.
- [3] Riera-Palou, Felip, et al. "Enhancing cell-free Massive MIMO networks through leo satellite integration." *2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW)*. IEEE, 2021.
- [4] Gao, Qiling, et al. "Jointly optimized beamforming and power allocation for full-duplex cell-free NOMA in space-ground integrated networks." *IEEE Transactions on Communications* (2023).