

6G 네트워크 AI의 탄소중립 실현을 위한 당면 과제와 해결 방안

이현수, *박수현, 김중헌
고려대학교, *숙명여자대학교

{hyunsoo, joongheon}@korea.ac.kr

soohyun.park@sookmyung.ac.kr

Challenges and Solutions for Achieving Net-Zero Carbon Neutrality in 6G Network AI

Hyunsoo Lee, *Soohyun Park, and Joongheon Kim
Korea University, *Sookmyung Women's University

요약

최근 ICT 산업에서 기후 변화와 에너지 지속 가능성에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 6G를 비롯한 네트워크 기술 발전은 에너지 소비와 탄소 배출량 증가를 야기하고 있으며, 인공지능 알고리즘의 통합은 이러한 문제를 더욱 악화시키기도 한다. 본 논문에서는 네트워크 AI의 수명 주기와 탄소배출원 정보에 대해 조사하고, 네트워크 AI를 최적화하기 위한 분산 학습 프레임워크에 대해 소개한다.

I. 서론

최근 ICT 산업에서, 기후 변화와 에너지 지속 가능성에 대한 관심이 높아지고 있다. 국제 사회는 2030년까지 온실가스 배출량을 절반으로 줄이고, 2050년까지 순 탄소 배출 제로(Net-Zero)를 달성하기 위한 노력을 기울이고 있다 [1]. 특히 6G와 같은 차세대 통신 기술 개발 시에는 이러한 목표에 부합하도록 연구가 이루어져야 한다. 그러나 6G 네트워크의 발전은 에너지 소비와 탄소 배출량의 증가를 초래하고 있다. 특히, 인공지능 알고리즘을 통신 기술에 통합하는 것은 자본 자원 소모를 가속화시켰고, 이에 따라 네트워크 전체의 에너지 소비와 탄소 배출량이 급격하게 증가하고 있다. 거대 언어모델 발전에 따라 훈련 비용이 기하급수적으로 늘어나고 있으며, 이는 환경적으로 비효율적이면서도 경제적으로도 큰 부담이 되고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 네트워크 AI 시스템의 탄소 배출을 최소화할 수 있는 최적화 프레임워크를 제안한다. 네트워크 AI 구현의 수명 주기(Lifecycle)를 평가하고, 탄소배출원을 식별하며, 동적 에너지 거래 및 작업 할당 최적화 프레임워크에 대해 소개한다.

II. 네트워크 AI의 수명 주기와 탄소배출원

ITU에서 분석한 네트워크 AI 시스템의 수명 주기는 크게 네 단계로 구성된다 [2]. 준비 단계는 데이터 수집 장치에서 데이터 저장 및 처리 서버로 데이터를 수집하고 전송하는 과정으로 구성된다. 이 단계는 AI 모델의 특정 서비스 요구사항 및 필요 조건을 식별하게 된다. 다음으로, 개발 단계는 모델 설계, 알고리즘 개발, 파라미터 선택 및 최적화 단계가 포함된다. 개발 단계에서의 탄소 배출은 엣지 서버와 클라우드 데이터 센터의 에너지 소모와 관련된다. 응용 단계에서는 모델의 배포와 서비스 제공을 위한 에너지 소비에 의해 탄소 배출이 발생한다. 마지막으로 재활용 단계에서는 AI 알고리즘과 구현의 일반화 단계를 나타낸다.

이러한 네 단계에서, 탄소 배출원의 주요 구성 요소도 다시 네 종류로 나눌 수 있다. 가장 탄소를 많이 배출하는 요소는 네트워크 인프라이다. 이는 전체 네트워크 시스템의 에너지 소비 70% 이상을 차지한다. 특히 5G-Advanced와 같은 고성능 네트워크 기술의 빠른 도입으로, 네트워크 인프라의 탄소 배출은 더욱 증가하고 있다. 다음으로 스마트폰이나 노트북과 같은 사용자 기기는 정기적으로 충전해야 하고, 교체 빈도가 높아 제조 및 폐기 과정에서 많은 탄소 배출이 발생한다. 최근에는 클라우드 및 엣지 컴퓨팅 인프라에 대한 수요 증가로 인한 탄소 배출량이 증가하고 있기 때문에, 단순하고 효율적인 자원 공유 및 조정 솔루션이 요구된다. 마지막으로 서비스 제공자는 5G 네트워크가 기존의 데이터 중심 통신 구조에서 서비스 기반으로 전환되었기 때문에, 이러한 변화가 환경에 미치는 영향을 분석하여야 한다. 특히 AI 기반 의사 결정을 통한 네트워크 지원 서비스가 탄소 배출에 미치는 영향을 평가할 수 있는 지표 개발이 필요하다.

III. 탄소 배출량 조절을 위한 작업 할당 최적화

네트워크 AI 시스템에서 탄소 배출량을 최소화하기 위해, 동적 에너지 거래 및 작업 할당 최적화 (Dynamic Energy and Task Allocation, DETA)를 위한 프레임워크가 제안되었다 [3]. DETA는 동적 에너지 거래(Dynamic Energy Trading, DET)와 동적 작업 할당(Dynamic Task Allocation, DTA)로 구성되며, DET는 에너지 수집 장치를 통해 수집된 에너지를 교환하고 공유하여 전체 탄소 배출을 최소화한다. 에너지원 간의 실시간 에너지 균형을 맞추기 위한 방법으로, 특정 엣지 서버에서 사용하지 않은 잔여 에너지를 다른 엣지 서버로 전달하여 전체 시스템의 에너지 효율을 높인다. 또한 DAT를 통해서도 고배출 에너지원에서 공급되는 엣지 서버의 데이터를 저배출 에너지원에서 공급되는 엣지 서버로 오프로드하여 탄소 배출을 줄일 수 있다. 이는 실시간으로 작업 부하를 이동시켜 에너지가 많이 필요한 서버의 작업을 에너지 효율이 높은 서버로 재배치한다. 해당 프레임워크 적용을 통해, 네트워크 AI

시스템의 탄소 배출량이 최대 74.9%까지 감소하는 결과를 나타냈다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 네트워크 AI의 수명 주기와 탄소배출원에 대해 조사하고, 네트워크 AI를 최적화하기 위한 DETA 프레임워크를 소개하였다. 향후 네트워크 AI의 수명 주기를 최적화하기 위해 생산 및 물류, 인프라 구축 등과 같이 서로 다른 단계에서의 탄소발자국을 공동 최적화하는 연구가 필요할 수 있다. 또한, 기존의 거대 모델이 소비하는 전력을 최적화하거나, 저비용 모델로의 일반화를 피하게 되면 친환경적인 프로세스로 네트워크 AI를 발전시킬 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Institute of Information communications Technology Planning Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2021-0-00467, Intelligent 6G Wireless Access System)

참고 문헌

- [1] P. Zhang et al., "Toward Net-Zero Carbon Emissions in Network AI for 6G and Beyond," *IEEE Communications Magazine*, vol. 62, no. 4, pp. 58-64, Apr. 2024
- [2] ITU-T, "Greenhouse Gas Emissions Trajectories for the Information and Communication Technology Sector Compatible With the UNFCCC Paris Agreement," *Recommendation ITU-T L.1470*, Jan. 2020.
- [3] Y. Xiao et al., "Time-Sensitive Learning for Heterogeneous Federated Edge Intelligence," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 23, no. 2, pp. 1382-1400, Feb. 2024
- [4] M. Choi et al., "Joint Delay-Sensitive and Power-Efficient Quality Control of Dynamic Video Streaming Using Adaptive Super-Resolution," *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, vol. 8, no. 1, pp. 103-119, Mar. 2024.