

# 연합학습을 통한 네트워크 탄소배출량 감소 연구

이성진, 김건, 권혁선, 홍인기  
경희대학교

{ssjj3552, gun, gurtjs0116, ekhong}@khu.ac.kr

## Study for reducing network carbon emissions through federated learning.

Sung Jin Lee, Geon Kim, Hyuk Sun Kwon, Een Kee Hong  
Kyunghee Univ.

### 요약

본 논문은 이동통신 환경에서 에너지 효율성과 탄소 배출량 감소를 위해 연합학습(Federated Learning)을 활용한 솔루션을 제안한다. ns-3 시뮬레이터와 codecarbon 패키지를 활용하여 연합학습과 중앙집중식 학습 방식의 에너지 효율성을 비교 분석하고 이를 통해 인공지능을 결합한 네트워크 구조에서의 탄소 배출량 절감을 위한 기술 개발에 기여하고자 한다.

### I. 서론

5세대 이동통신(5G)의 보급은 셀의 소형화를 촉진하고 있으며, 이로 인해 기존의 셀보다 훨씬 작고 밀도가 높은 기지국들이 세워지게 되었다. 이러한 소형화는 효율적인 무선 통신을 가능하게 하지만, 더 많은 셀들에 전력을 공급하게 되고 전체적인 에너지 소비량이 상당히 증가하는 구조이므로 에너지 효율성 측면에서 불리하게 작용하며 서비스 제공업체의 OPEX(Operational Expenditure) 측면에서도 큰 부담이 되고 있다.

연합학습(FL: Federated Learning)은 서버에 집중되는 데이터 처리와 AI 모델 학습 리소스를 분산시켜 에너지 효율성을 높일 수 있다. 이 방식은 각 디바이스가 자체 데이터를 로컬에서 학습하고, 학습된 모델의 파라미터만 중앙 서버로 전송하여 업데이트를 진행한다. 이를 통해 대규모 데이터 전송에 따른 네트워크 부하와 에너지 소비를 최소화할 수 있으며, 중앙 서버의 처리 부담을 분산시켜 전체 시스템의 에너지 사용을 효율적으로 관리할 수 있다.

본 연구에서는 네트워크 환경 시뮬레이션을 위해 ns-3 시뮬레이터를 사용하였으며 ns3-gym[1]을 이용해 모델 학습을 진행하였다. 에너지 측정을 위해서는 codecarbon 패키지를 사용하였다. Codecarbon은 AI 학습에 이용되는 컴퓨팅 리소스를 측정하여 탄소 배출량을 추정한다. 이를 이용해 연합학습과 전통적인 중앙집중식 학습 방식의 에너지 효율성을 비교하였으며 이를 통해 보다 에너지 효율적이고 친환경적인 네트워크 운영 방안을 제시하고자 한다.

### II. 연합학습

최근 오픈랜(Open RAN) 등 네트워크 구조의 발전은 인공지능(AI)의 도입을 촉진하고 있으며 인공지능은 유연하고 효율적인 네트워크 운영을 가능하게 한다. 그러나 AI 모델의 학습을 위해 대규모 데이터를 중앙 서버로 전송하는 방식은 데이터 프라이버시와 보안 문제 뿐 아니라 대규모 데이터 전송과 중앙 서버의 과부하를 초래한다.

연합학습의 기본 아이디어는 각 디바이스가 로컬 데이터를 사용하여 모델을 학습한 후, 학습된 모델의 파라미터나 업데이트 정보를 중앙 서버로 전송하는 것이다. 이를 통해 중앙 서버의 처리 부담을 줄일 수 있고 중앙 서버가 모든 데이터를 처리하고 학습하는 경우와 비교하여 각 디바이스의 에너지 소비를 균형 있게 유지할 수 있게 하여, 전체적인 에너지 효율성을 향상시킬 수 있다.

### III. 구조 및 모델

본 논문에서 설명할 솔루션의 전체적인 구조는 그림 1에서 확인할 수 있다. 강화학습 모델을 학습하는 데에는 python 환경이 사용되며 학습에 필요한 데이터는 ns-3의 시뮬레이션으로 공급된다. 에이전트를 학습하는 데 소모되는 에너지 및 탄소 배출량은 codecarbon python 패키지를 이용해 측정한다.

Ns-3로 시뮬레이션되는 시나리오는 무선 다중 채널 환경에서의 채널 선택 시나리오이다[2]. 강화학습 에이전트는 간섭이 없는 채널을 선택하도록 학습된다. 우선 최근 타임 슬롯의 채널 상태를 바탕으로, 간섭과 충돌이 발생하지 않았을 경우 보상(reward)을 1씩 부여하고, 그렇지 않은 경우 보상으로 -1을 부여한다.

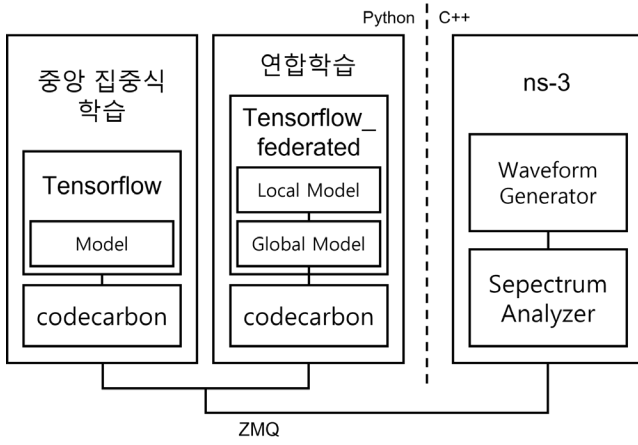


그림 1. 솔루션 구조 및 구성요소

연합학습 모델의 경우 각 클라이언트는 독립적으로 ns-3 시뮬레이션 환경과 상호작용하면서 행동을 결정하고, 이 행동의 결과로 받은 보상을 바탕으로 자신의 Local Model 을 업데이트한다. 서버는 업데이트된 각 Local Model 로부터 가중치와 편향을 수집하여 Global Model 을 업데이트하고, 이 업데이트된 Global Model 은 다시 클라이언트들에게 분배된다. 이후, 각 에피소드마다 이러한 과정이 반복된다.

#### IV. 탄소 배출량 시뮬레이션

연합학습을 수행하기 위해 TensorFlow Federated 패키지를 활용하였으며 학습을 수행한 디바이스 환경은

항목	사양
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-13700
GPU	NVIDIA GeForce RTX 4070
RAM	32GB
운영체제	Ubuntu 20.04
Python	3.7.12

표 1. 디바이스 환경

표 1 과 같다.

Codecarbon 패키지[3]는 인공지능 모델 학습과 같은 작업에서 발생하는 탄소 배출량을 실시간으로 추적하고 측정할 수 있는 도구이다. 이 패키지는 사용자가 수행하는 연산의 에너지 소비를 모니터링하고, CPU 와 GPU 의 사용량, 전력 소비량을 바탕으로 탄소 발자국을 계산한다.

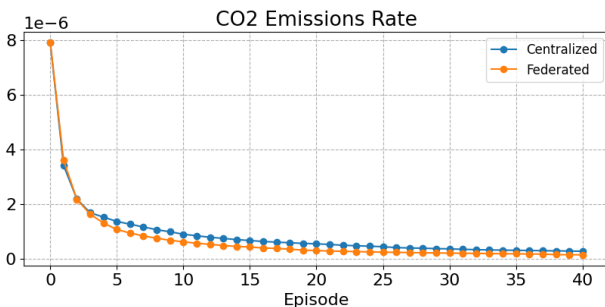


그림 2. 에피소드에 따른 탄소 배출률 비교

그림 2 는 연합학습 모델과 중앙 집중식 모델에서 측정된 탄소 배출량을 모델 학습에 걸리는 시간으로 나누는 단위 시간당 탄소 배출량인 탄소 배출률을 비교한

그래프이다. 모델의 학습이 진행될수록 탄소 배출률이 감소함과 동시에 연합학습 알고리즘으로 학습을 진행하였을 때, 중앙 집중식 알고리즘으로 학습을 진행하였을 때 보다 탄소 배출률이 낮은 것을 확인할 수 있다.

#### V. 결론

본 논문에서는 5G 환경에서의 에너지 효율성과 탄소 배출량 감소를 위해 연합학습(Federated Learning)을 활용한 솔루션을 제안하고, 이를 ns-3 시뮬레이션 및 codecarbon 패키지를 이용하여 분석하였다. 강화학습 에이전트를 활용한 무선 다중 채널 환경에서의 채널 선택 시나리오를 통해, 연합학습의 실효성을 검증하였다.

실험 결과, 연합학습을 통해 에너지 소비 및 탄소 배출량을 효율적으로 관리할 수 있음을 확인할 수 있었다. 특히, 탄소 배출량 측정 결과, 연합학습을 활용한 모델이 중앙집중식 모델에 비해 더 낮은 탄소 배출률을 보이는 것을 확인하였다. 이는 연합학습이 에너지 효율성과 환경적 지속 가능성 측면에서 우수한 대안이 될 수 있음을 시사한다.

본 연구는 연합학습의 환경적 이점을 실증적으로 검토함으로써, 인공지능을 결합한 네트워크 구조에서의 탄소 배출량 절감을 위한 기술 개발에 기여하고자 한다. 다양한 시나리오와 환경에서의 연합학습 적용 가능성을 더욱 확장하고, 에너지 효율성을 극대화할 수 있는 방법을 지속적으로 모색할 필요가 있다. 이를 위해 향후 연구 계획으로는 ns-3 를 이용하여 더욱 현실적인 네트워크 시나리오를 설계하고 오픈랜과 결합하여 네트워크 성능 지표와 탄소 배출량과의 관계성을 분석해 더욱 에너지 효율성을 높일 수 있는 연구를 진행해 볼 예정이다.

#### ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2021-0-02046\*)

#### 참 고 문 헌

- [1] Gawł owicz P., and Zubow A. "ns-3 meets OpenAI Gym: ThePlayground for Machine Learning in Networking Research," inProc. ACM MSWIM 2019, Nov. 2019
- [2] Telecommunication Networks Group (TKN) at the School of Electrical Engineering and Computer Science, ns3-gym (2019), Github repository, <https://github.com/mlco2/codecarbon>.
- [3] Code Carbon NGO, cordecarbon, (2023), Github repository, <https://github.com/tnk-tub/ns3-gym>.