

태양에너지 수집형 엣지 AIoT의 효율적인 연합학습을 위한 시스템수준 에너지 적응적 동작 기법

이창한¹, 양재훈², 이민욱², 허석문², 박준수², 노동건³

¹숭실대학교 지능시스템학과 석사과정

²숭실대학교 AI융합학부 학부생, ³숭실대학교 AI융합학부 교수

dlckdgks99@naver.com, lljhms@naver.com, lmw3164@naver.com,

tjtrans303@soongsil.ac.kr, freefree9758@naver.com, dnoh@ssu.ac.kr

System-level Energy-aware Operations for the Efficient FL of the Solar-powered Edge AIoT

Changhan Lee¹, Jaehoon Yang², Minwook Lee², Seokmun Heo²,
Junsoo Park², Dong Kun Noh³

¹Dept. of Intelligent System, Soongsil University

^{2,3} School of AI Convergence, Soongsil University

요 약

지속가능한 AIoT의 필요성과 에너지 수집 기술의 발달, 그리고 온디바이스 학습이 가능한 IoT 기기들의 등장으로 인해, 최근 에너지 수집형 AIoT(AI-enabled IoT) 기술이 주목받고 있다.[1] 본 연구에서는 에너지 수집형 엣지 AIoT를 대상으로 기기의 안정적인 동작을 보장하며 동시에 연합학습 성능 수준을 높일 수 있는 시스템 수준의 에너지 적응형 동작을 제안한다. 기본적으로 각 기기에서는 학습성능과 에너지 소비량이 비례관계에 있으므로, 기기의 안정적 동작 확보를 위해 학습 성능의 감소가 필요할 때도 있다. 제안 기법에서는 에너지와 학습 성능 사이의 이러한 상충관계를 최소화하기 위해, 태양에너지 수집 모델을 기반으로 주어진 에너지 예산 내에서 각 기기의 학습 데이터양과 연합학습을 위한 파라미터 교환량을 최적화한다. 이러한 각 기기들의 정전시간 최소화(안정성 증가)는 결과적으로 전체 AIoT의 연합학습 정확도 향상으로 이어질 수 있는데, 실험 결과 기존 기법에 비해 정전시간의 감소와 연합학습의 정확도가 각각 최대 53%, 35% 향상됨을 확인할 수 있었다.

1. 서론

최근에는 주변 에너지를 이용한 에너지 수집형(energy harvesting, EH) 기기에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다. EH 기술은 AIoT 장치에 친환경적인 에너지를 공급할 수 있을뿐더러, 근래에는 EH 기술의 비약적 발전으로, 태양광과 같은 밀도가 높은 에너지원의 경우 AIoT 장치들을 구동시킬 수 있을 만한 높은 에너지 공급이 일정 수준 가능하게 되었다.[2]

한편, 엣지 AIoT는 사용자 IoT 네트워크 내에서 학습(ML, machine learning)이 이루어지는 환경을 일컫는다. 엣지 AIoT는 정보 생성 소스와 학습 수행 장치의 물리적 근접성이 보장되므로, 기존 클라우드 AI가 가진 프라이버시 침해 등의 문제점들을 해결할 수 있다는 장점이 있다.[3] 현재까지 엣지 AIoT와 관련하여 가장 활발히 연구되고 있는 ML 모델은 엣지서버(엣지노드라고도 불림)가 존재하는 형태이다. 이 환경에서 엣지서버는 AIoT 장치들에

서 수집한 데이터를 전송받아 전체 또는 일부의 ML을 수행하거나, 또는 각 장치들에서 학습된 모델을 수합하여 보다 정교한 모델을 만드는 파라미터 서버의 역할을 한다. 각 IoT 기기에서도 일부 학습을 수행하기 때문에 분산형 ML(distributed ML, DML)에 해당하지만, 엣지서버가 학습을 주도적으로 이끌기 때문에 이를 중앙집중형 DML(centralized DML, C-DML)이라 부른다. 엣지서버의 존재는 DML의 구현을 용이하게 하지만, AIoT의 확장성(scalability)이나 내결함성(fault-tolerance)에 대한 약점을 보인다. 따라서 이를 보완할 수 있는 환경, 즉 엣지서버가 없는 완전 분산형 AIoT 환경의 필요성이 높아지고 있는데, 이러한 환경을 비중앙집중형 DML (decentralized DML, D-DML)이라 정의한다.[4]

본 연구에서는 이러한 D-DML 기반 연합학습을 에너지 수집형 엣지 AIoT에서 효율적으로 동작시키기 위한 기기 내 시스템 수준의 에너지 적응적 동작을 제안한다.

4. 결론

Edge AIoT 환경의 각 기기에서 에너지와 학습의 성능(정확도)은 상충관계에 있다. 즉, 안정성(정전시간 최소화)을 위하여 어느 정도 학습의 성능을 희생해야 하므로, 학습 성능의 감소를 최소화하면서 안정성을 확보할 수 있는 에너지 적응적 학습이 필요하다. 본 연구에서 제안하는 이러한 에너지 적응적 동작은 각 기기의 안정성을 높이면서 최종적으로 연합학습의 전체 정확도를 높이는 결과로 이어질 수 있었다.

사사 (Acknowledgement)

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 지원을 받아 수행되었음 (2024-0-00071)"

참고문헌

- [1] A. Matin et al., "AIoT for sustainable manufacturing: Overview, challenges, and opportunities," in Elsevier IoT, p. 100901, 2023.
- [2] Y. C. Lee et al., "High-Performance Multiband Ambient RF Energy Harvesting Front-End System for Sustainable IoT Applications-A Review," in IEEE Access, 2023.
- [3] A. Bourechak et al., "At the Confluence of Artificial Intelligence and Edge Computing in IoT-Based Applications: A Review and New Perspectives," in MDPI Sensors, vol. 23, no 3, p. 1639, 2023.
- [4] E. T. M. Beltrán et al., "Decentralized federated learning: Fundamentals, state of the art, frameworks, trends, and challenges," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2023.
- [5] Z. Wen et al., "Approxiot: Approximate analytics for edge computing," in IEEE ICDCS, pp. 411-421, Jul. 2018.
- [6] M. Kang et al., "Energy-aware Transmission Power Control for Solar Energy Harvesting Wireless sensor system and Its Effects on Network-wide Performance", KIICE, vol. 17, no. 2, pp.750-753, Oct. 2013.