

연합 학습 기반 네트워크 슬라이싱 최적화 연구의 최신 동향

김재민, 이윤성, 이충현, 오준석, 송치현, 홍성훈, 백정엽, 박수현*, 조성래

중앙대학교, *숙명여자대학교

{jmkim, yslee, chlee, jsch, chsong, shhong}@uclab.re.kr, jpaek@cau.ac.kr,
soohyun.park@sookmyung.ac.kr*, srcho@uclab.re.kr

Recent Trends in Network Slicing Optimization Research Based on Federated Learning

Jaemin Kim, Yunseong Lee, Chunghyun Lee, Junsuk Oh, Chihyun Song, Seonghun Hong,

Jeongyeup Paek, Soohyun Park*, Sungrae Cho

Chung-Ang University, *SookMyung Women's University

요약

본 논문에서는 네트워크 슬라이싱의 최적화를 위한 연합 학습 기반 기술의 최신 연구 동향을 조사한다. 네트워크 슬라이싱은 물리적 인프라를 다수의 독립적 가상 네트워크로 분할하여 각기 다른 서비스와 애플리케이션에 최적화된 조건을 제공하는 핵심 기술로, 5G 및 차세대 네트워크 환경에서 특히 중요하다. 연합 학습은 중앙 서버 없이 로컬 서버에서 모델을 직접 학습할 수 있어 데이터 보안과 프라이버시를 강화할 수 있는 분산 학습 패러다임으로 부상하였다. 이러한 기법의 적용은 네트워크 자원의 효율적 관리, 트래픽 예측, 서비스 품질 보장을 통해 네트워크 성능을 극대화한다.

I. 서론

최근 이동통신 네트워크는 다양한 서비스와 기술의 급속한 발전에 따라 고도의 유연성과 효율성을 요구받고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해, 물리적인 네트워크 인프라를 다양한 가상 네트워크로 분할하는 네트워크 슬라이싱은 각기 다른 서비스와 애플리케이션에 맞춤형 네트워크 환경을 제공하는 핵심 기술로 자리 잡고 있다[1].

또한, 5G 및 차세대 네트워크 기술이 발전함에 따라, 데이터 보안과 개인 정보 보호의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 이에 따라, 연합 학습이 주목 받고 있으며, 이러한 기법은 통해 데이터를 로컬에서 처리하고 중앙 서버 없이 모델 학습이 가능하여 데이터 프라이버시를 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 연합 학습 기반의 네트워크 슬라이싱 최적화 기술의 최신 연구 동향을 조사하여, 이러한 기법이 네트워크 운영의 효율성과 안정성을 어떻게 변화시킬 수 있는지 연구한다. 특히, 연합 학습이 네트워크 슬라이싱의 성능 최적화와 자원 할당을 어떻게 향상시키는지 분석하고, 이를 통한 네트워크 설계 및 관리의 미래 전망을 조사한다. 이를 위해 본 논문에서는 연합 학습 알고리즘과 네트워크 슬라이싱 기법을 소개하고, 현재의 제약 사항과 향후 연구 방향에 대해 논의한다.

II. 본론

네트워크 슬라이싱은 다양한 서비스 요구 사항을 충족시키기 위해 동일한 물리적 네트워크 인프라 위에서 여러 가상 네트워크를 생성하고 관리하는 기법이다. 이는 네트워크 운영자에게 효율적인 자원 활용과 개별 서비스에 최적화된 네트워크 조건을 제공할 수 있도록 한다. 특히, 5G 및 IoT 환경에서의 슬라이싱은 다양한 기기와 서비스 간의 복잡한 데이터 트래픽과 요구 사항의 효과적인 처리를 가능하도록 한다. 이처럼 네트워크 슬라이싱은 물리적 인프라 위에서 독립적인 가상 네트워크를 구성함으로써

써 각각의 슬라이스가 서로 다른 네트워크 요구 사항에 맞추어 자원을 독립적으로 할당받고, 운영될 수 있도록 하는 기법이다[2],[3].

연합 학습(Federated Learning, FL)은 다수의 클라이언트(모바일 기기나 네트워크 엣지 서버)가 개인 데이터를 로컬에서 보유한 채로 중앙 집중식 서버에 모델 업데이트만을 공유하여 공동으로 머신러닝 모델을 훈련시키는 분산 학습 패러다임이다. 이러한 접근 방식은 데이터 프라이버시와 보안을 강화하며, 데이터의 중앙 집중식 수집 없이도 여러 노드가 협력하여 모델 학습을 진행할 수 있는 장점이 있다.

네트워크 슬라이싱에서 연합 학습의 적용은 주로 자원 관리와 트래픽 예측, 서비스 품질(QoS) 보장과 같은 분야에서 이루어진다. 각 네트워크 슬라이스는 다양한 트래픽 패턴과 사용자 행동을 보이기 때문에, 이 데이터를 기반으로 한 지능형 예측 모델을 통해 네트워크 자원을 동적으로 최적화할 수 있다. 특정 시간대에 예상되는 데이터 수요 증가에 대비하여 자동으로 네트워크 리소스를 재구성하고, 이를 통해 네트워크 성능을 극대화하며 사용자 경험을 향상시킬 수 있다. 또한, 연합 학습을 통해 각 슬라이스는 보다 맞춤형 데이터 보안 조치를 적용하여, 슬라이스 간 데이터 유출 및 간섭이 최소화된다[4].

이처럼 연합학습은 네트워크 운영자에게 높은 수준의 서비스 맞춤화와 효율적인 자원 사용을 가능하게 하여, 전반적인 네트워크 관리를 향상시키는 데 큰 이점을 제공한다. 따라서 연합 학습은 네트워크 슬라이싱의 최적화와 혁신을 위한 핵심 기술로 인식되고 있으며, 이는 차세대 네트워크 기술의 발전에 크게 기여할 것으로 기대된다[5].

III. 결론

연합 학습을 활용한 네트워크 슬라이싱 최적화 기술은 네트워크 운영의 효율성과 안정성을 향상시킬 뿐만 아니라, 다가오는 데이터 중심의 네트

워크 환경에서 요구되는 맞춤형 서비스 제공을 가능하게 한다. 이 기술은 네트워크 자원의 동적 할당과 실시간 트래픽 관리에 있어 중요한 역할을 수행하며, 이를 통해 네트워크 설계 및 관리의 미래를 혁신적으로 변화시킬 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 그러나 동시에 데이터 동기화, 알고리즘 효율성, 보안 문제 등 여전히 극복해야 할 기술적 도전과제들이 존재한다. 향후 연구에서는 이러한 문제들을 해결하기 위한 보다 진보된 알고리즘과 프레임워크 개발이 요구되며, 연합 학습과 네트워크 슬라이싱 기술의 통합을 통해 다양한 산업 분야에 걸쳐 혁신적인 네트워크 서비스를 제공할 수 있는 가능성을 탐색하는 것이 주요 과제라고 할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참 고 문 헌

- [1] Abdellatif, Alaa Awad, et al. "Intelligent-slicing: an AI-assisted network slicing framework for 5G-and-Beyond networks." *IEEE Transactions on Network and Service Management* (2023).
- [2] Phyu, Hnin Pann, Diala Naboulsi, and Razvan Stanica. "Machine learning in network slicing-a survey." *IEEE Access* (2023).
- [3] Phyu, Hnin Pann, Razvan Stanica, and Diala Naboulsi. "Multi-slice privacy-aware traffic forecasting at RAN level: A scalable federated-learning approach." *IEEE Transactions on Network and Service Management* (2023).
- [4] González, Claudia Carballo, et al. "Network Selection over 5G-Advanced Heterogeneous Networks Based on Federated Learning and Cooperative Game Theory." *IEEE Transactions on Vehicular Technology* (2024).
- [5] Al-Quraan, Mohammad, et al. "Edge-native intelligence for 6G communications driven by federated learning: A survey of trends and challenges." *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence* (2023).