

시맨틱 통신 기반 가상 무선 액세스 네트워크(vRAN) 연구의 필요성

서명진, 김성륜

연세대학교

mjsuh@yonsei.ac.kr, slkim@yonsei.ac.kr

Semantic Communications over virtual RAN: Why and How?

MyungJin Suh, Seong-Lyun Kim

Robotic & Mobile Networks Laboratory, School of EEE, Yonsei University

요약

본 논문은 최근 주목받고 있는 시맨틱 통신을 가상 무선 액세스 네트워크에 적용하여 생길 수 있는 여러 가지 시사점들을 각각의 선행 연구 논문을 기반으로 살펴보고 해당 연구의 필요성을 제시한다.

I. 서론

최근 효율적인 차세대 통신망 구축을 위해 네트워크 기능을 가상화하여 소프트웨어로 구성하는 가상 무선 액세스 네트워크(virtual radio access network, vRAN)는 기술이 각광받고 있다. vRAN은 기존의 RAN을 소프트웨어로 구현하므로 artificial intelligence(AI) / machine learning(ML) 기술을 구현하여 적용하기가 용이하다 [1]. 이는 목적에 따라 다양한 알고리즘을 사용하여 네트워크를 구성할 수 있다는 의미이다. 따라서 AI/ML 알고리즘을 통해 총 컴퓨팅 에너지를 감소시킬 수 있으나, 실제 환경에 적용할 때 모델 학습 및 실행 시 여전히 높은 비용과 복잡한 설계가 필요하다는 한계가 있다 [2]. 이에 따라 전체적인 네트워크 복잡도를 줄이기 위해 필요한 정보만 전송하여 자원을 효율적으로 사용하는 기술인 시맨틱 통신 기술이 주목받고 있다 [3]. 본 논문에서는 vRAN에 적용된 AI/ML 알고리즘에 관한 선행 연구를 소개하고, 시맨틱 통신 기술의 확장 가능성에 대해서 논의하고자 한다.

II. AI/ML 기반 vRAN 연구

가상화된 무선 네트워크의 지능화, 자동화를 목표로 한 연구가 최근 많이 이루어지고 있다. 대표적으로 O-RAN에서 RIC component를 통해 AI/ML 알고리즘 적용에 대한 표준화를 진행하고 있다. RIC은 인터페이스를 통한 데이터 수집 및 실행을 통해 RAN 요소 및 자원을 제어하고 최적화할 수 있는 논리적 함수이며, AI/ML 모델 학습 및 실행에 용이하다는 장점이 있다. 실시간 제어를 요구하는 near-real time RIC (near-RT RIC)와 비실시간 제어를 요구하는 non-real time RIC (non-RT RIC) 두 종류가 있으며, RIC 내부의 RAN function에 AI/ML을 적용하여 handover, RAN slicing 등의 기능을 수행한다 (Fig. 1) [4]. 인공지능 기반의 vRAN은 통신 자원의 유동적인 스케줄링을 통해 컴퓨팅 에너지 소비를 줄이는 동시에 시스템 성능을 향상, 사용자 경험 개선이 가능하다. 이에 따라 컴퓨팅 리소스를 효율적으로 관리하기 위하여 AI 기반의 RIC를 활용하는 연구들이 많이 진행되었다.

컴퓨팅 에너지의 과소비를 해결하기 위해 AI 기반의 RIC (AIRIC)이 개발되었다 [5]. 해당 논문은 컴퓨팅 자원을 동적으로 관리하기 위해 가상 기지국 수에 따른 uplink와 downlink 사이의 간섭, 사용 가능한 자원량 등

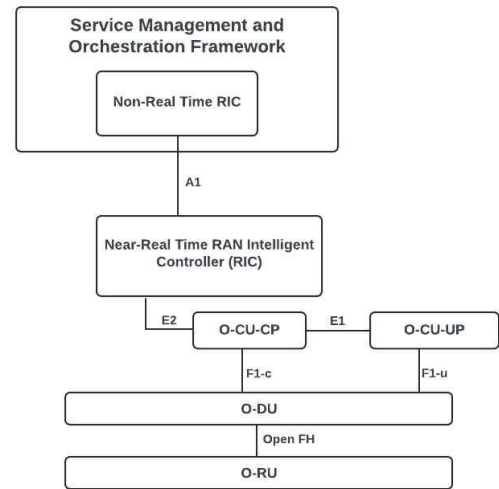


Fig. 1 O-RAN Architecture [4]

의 정보를 수집해 RIC에서 예측 모델을 학습하는 알고리즘을 제안한다. 이를 이용해 CPU 사용량과 throughput을 측정하여 기존 시스템 대비 에너지 효율이 높다는 것을 확인하였다.

최근 연구 [6]에서는 컴퓨팅 환경의 혼잡도를 감소시키기 위해 ML 기반의 스케줄러인 ATHENA를 설계하였다. Near-RT RIC에서 RAN에서 받은 사용자, 채널, 데이터 정보 등을 이용해 모델을 학습시키고, 해당 정보를 네트워크 정책으로 바꾸어 스케줄링에 반영한다. 실시간으로 상호작용을 하며 알고리즘이 작동하므로, throughput, 안정성, latency 측정 결과 모두 baseline 알고리즘보다 성능이 개선되었다.

더 나아가 워크 로드를 분산시켜 컴퓨팅 에너지 소비를 최소화하기 위해 딥러닝 강화 학습 모델에 기반한 알고리즘을 다룬 연구가 존재한다 [7]. 데이터 처리량에 따라 수집된 정보로 무선 정책을 구성하며 이를 모델에 학습시켜 통신의 안정성을 보장하고자 한다. 또한, 클라우드 형태의 RIC를 구축하여 자원 공유 플랫폼을 통해 데이터를 나누어 처리해 CPU 사용량을 최적화한다.

하지만, 이러한 기술들은 단순히 vRAN에 지능형 알고리즘을 적용하는

것에 중점을 두고 있어서 실제 상용화를 하게 되면 데이터 처리 시 발생하는 에너지 소비가 크고 ML 모델 학습이 hardware accelerator (HA)에 의존해 높은 비용이 든다는 단점이 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위해서는 vRAN 내부의 component 사이에 송수신 되는 데이터양을 줄이는 기술이 필요하다.

III. 시맨틱 통신 기반 vRAN으로의 확장

시맨틱 통신은 목표지향적 시스템으로, 의미 있는 정보만을 전달해 통신의 효율성을 증대시켜 대역폭이 제한된 네트워크에서 유용하게 사용될 수 있다 [8]. 이러한 특징을 이용하여 단말과 기지국 사이의 통신에 집중하던 기존 연구와 달리, 기지국 내부에서의 통신 최적화를 목표로 새로운 연구 방향을 제안하고자 한다. O-RAN architecture를 참고하여 (Fig 1) near-RT RIC과 non-RT RIC 사이의 데이터 전송, RIC에서 central unit (CU), distributed unit (DU), radio unit(RU)으로의 송수신 과정 등에 시맨틱 통신 기술을 적용하여 시맨틱 RIC을 구현해 볼 수 있다 [9]. 각 요소 간의 통신 인터페이스를 통해 명령을 전달할 때 목적별로 정보를 추출한 후, 단순화된 데이터를 전송하면 네트워크 내의 충전보량이 감소해 컴퓨팅 에너지 소비가 효과적으로 줄어들 것이다. 이를 더 확장하여 시맨틱 통신 기반의 RAN(시맨틱 RAN)이 개발된다면 AI/ML 모델을 학습하는 과정에서도 시맨틱 통신을 이용하여 데이터를 압축해 컴퓨팅 자원 사용량을 줄일 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 하지만 시맨틱 RAN이 외부 단말과 정보 교환을 하는 경우, 시스템 내부와 달리 호환이 가능한 알고리즘을 적용해야 한다는 한계점이 남아있다 [10]. 따라서 해당 기술을 실질적으로 구현하기 위해 소프트웨어 영역에서의 추가적인 연구가 계획되어야 한다.

IV. 결론

본 논문에서는 AI/ML 기술을 적용한 vRAN과 그 한계점을 분석하고, 시맨틱 통신 기술을 활용한 새로운 연구 방향을 소개하였다. O-RAN architecture의 RIC에 시맨틱 통신을 이용하면 vRAN의 내부 요소 간의 통신 자원 관리를 최적화할 수 있기 때문에 AI/ML 기술만으로 얻을 수 있는 성능보다 더 좋은 결과를 기대해 볼 수 있다. 하지만 vRAN 외부 단말과의 호환이 보장된 시맨틱 알고리즘 개발이 선행되어야 하므로 해결해야 할 문제점이 남아있다. 앞으로 이러한 점을 잘 극복하여 vRAN에 시맨틱 통신 기술을 적용해야 함을 시사한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2021-0-00347, 6G 통신을 위한 Post MAC)

참고 문헌

- [1] Foukas, Xenofon, et al. "Concordia: Teaching the 5G vRAN to share compute." Proceedings of the 2021 ACM SIGCOMM 2021 Conference.
- [2] Azariah, Wilfrid, et al. "A survey on open radio access networks: Challenges, research directions, and open source approaches." Sensors 24.3 (2024)
- [3] Seo, Sejin, et al. "Towards semantic communication protocols: A probabilistic logic perspective." IEEE Journal on Selected Areas in

Communications (2023).

- [4] Polese, Michele, et al. "Understanding O-RAN: Architecture, interfaces, algorithms, security, and research challenges." IEEE Communications Surveys & Tutorials 25.2 (2023).
- [5] Lozano, J. Xavier Salvat, et al. "AIRIC: Orchestration of Virtualized Radio Access Networks with Noisy Neighbours." IEEE Journal on Selected Areas in Communications (2023).
- [6] Apostolakis, Nikolaos, et al. "ATHENA: Machine Learning and Reasoning for Radio Resources Scheduling in vRAN systems." IEEE Journal on Selected Areas in Communications (2023).
- [7] Lo Schiavo, Leonardo, et al. "CloudRIC: Open Radio Access Network (O-RAN) Virtualization with Shared Heterogeneous Computing." ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (2024).
- [8] Park, Jihong, et al. "Enabling the wireless metaverse via semantic multiverse communication." 2023 20th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking (SECON). IEEE, (2023).
- [9] Strinati, Emilio Calvanese, et al. "Goal-Oriented and Semantic Communication in 6G AI-Native Networks: The 6G-GOALS Approach." *arXivpreprint arXiv:2402.07573* (2024).
- [10] Nam, Hyelin, et al. "Language-oriented communication with semantic coding and knowledge distillation for text-to-image generation." ICASSP 2024-2024 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE, (2024).