

오픈 랜 시스템에서의 xApp 충돌 완화 기술 연구 동향

위성률, 박희재, 송승엽, 이예린, 박래혁

서울과학기술대학교

{holylaw, prkhj98, sysong, 21101146, lhpark}@seoultech.ac.kr

Research Trend on xApp Conflict Mitigation In Open RAN Systems

Seongryool Wee, Heejae Park, Seungyeop Song, Yerin Lee, Laihyuk Park

Seoul National Univ. of Science and Technology

요약

Open RAN (Open Radio Access Network) 시스템에서는 서로 다른 벤더의 xApp이 동시에 운영되면서 정책 충돌이 발생할 수 있다. 본 논문은 Open RAN 시스템에서 발생하는 충돌 유형을 정리하고, 이를 해결하기 위한 최신 연구 동향을 분석하였다.

I. 서론

Open RAN (Open Radio Access Network) 은 표준화된 인터페이스와 벤더 간 상호운용성을 바탕으로 네트워크의 유연성을 증가하는 차세대 RAN 구조로 주목받고 있다 [1]. Open RAN에서는 다양한 벤더의 xApp을 Near-RT RIC에 배포하고 운영할 수 있다. 하지만 Near-RT RIC 내에서 서로 다른 최적화 목표를 가지는 xApp들이 운영되기에 xApp 간 정책 충돌이 발생할 수 있다. 이러한 충돌은 처리량 저하, 지연 시간 증가 등 네트워크 성능 저하를 발생시킬 수 있다. 본 논문에서는 Open RAN 환경에서 발생하는 충돌 유형을 정리하고, 이를 완화하기 위한 최신 연구 동향을 분석한다.

II. 본론

II-1. 충돌 유형

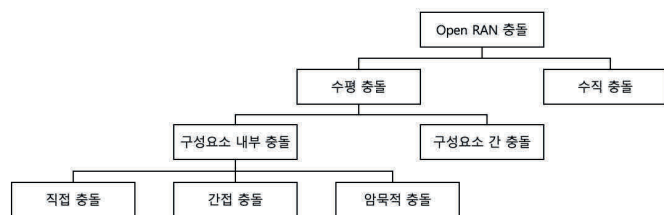


그림 1. Open RAN 시스템에서의 충돌 유형 분류

그림 1은 Open RAN 시스템에서의 충돌 유형 분류를 보여준다. Open RAN에서의 충돌은 수직 충돌과 수평 충돌로 구분된다. 수직 충돌은 서로 다른 계층 간에 발생하며 Near-RT RIC와 Non-RT RIC 사이의 충돌이 해당한다. 반면, 수평 충돌은 동일한 계층 내에서 발생하며 인접한 Near-RT RIC 간의 충돌이나 Near-RT RIC 내의 xApp 간 충돌이 해당한다. 전자는 구성요소 간 (Inter Component) 충돌, 후자는 구성요소 내부 (Intra Component) 충돌로 구분된다. 특히 구성요소 내부 충돌은 직접, 간접, 암묵적 충돌로 세분화할 수 있다. 직접 충돌은 다수의 xApp이 동시에 동일한 파라미터를 서로 다른 값으로 변경할 때 발생한다. 간접 충돌은 두 개 이상의 xApp들이 서로 다른 파라미터를 조정하지만, 한 xApp의 변경이 다른 xApp의 성능에 간접적인 영향을 미칠 때 발생한다. 암묵적 충돌

은 xApp들이 서로 관련 없는 최적화 목표를 수행하는 과정에서 의도치 않게 다른 xApp의 성능을 저하할 때 발생한다.

II-2. 연구 동향

Open RAN 환경에서 xApp 간 충돌 문제는 네트워크 성능 저하를 유발할 수 있어 이를 탐지하고 완화하는 기술 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 장에서는 이러한 충돌을 해결하기 위한 최신 연구들을 분석하였다.

연구 [2]는 Near-RT RIC 내에서 발생하는 xApp 간 충돌을 해결하기 위해 CMS (Conflict Mitigation System) 을 제안하였다. 제안된 CMS는 CDC (Conflict Detection Controller) 와 CMC (Conflict Mitigation Controller) 로 구성되며, xApp의 현재 KPI 값과 제어 변경 메시지를 저장하는 데이터베이스를 활용하여 충돌을 탐지 및 완화한다. 또한 NSWF (Nash's Social Welfare Function) 와 EG (Eisenberg-Galle) 게임 이론을 활용하여 충돌 완화를 위한 자원 설정값을 결정한다. 실험 결과, NSWF는 xApp들의 집합 유틸리티를 극대화하며, EG는 우선순위 기법을 활용해 특정 xApp을 우선순위를 부여할 수 있음을 보였다.

연구 [3]는 xApp 간 충돌을 탐지하고 완화하기 위한 CMF (Conflict Mitigation Framework) 를 제안하였다. CMF는 Near-RT RIC 내에 CD (Conflict Detection) Agent와 CR (Conflict Resolution) Agent를 구성하여, 충돌을 탐지하고 완화할 수 있다. 해당 프레임워크는 직접 충돌의 경우 제어 파라미터 중복 변경 여부를 실시간으로 분석하고, 간접 충돌은 KPI (Key Performance Indicator) 에 영향 기반으로 사전 예측한다. 또한 암묵적 충돌은 PM (Performance Management) 를 통한 사후 분석 방식으로 탐지한다. 해당 프레임워크를 Handover와 Load Balancing xApp 시나리오에 적용한 결과, Call Blockage, Radio Link Failure, Ping-pong Handover 등이 효과적으로 감소하였다.

연구 [4]은 xApp 간 전송 전력 제어 직접 충돌을 완화하기 위해 CMF 구조를 활용하여 COMIX (Conflict Management for Multi-Channel Power Control in O-RAN xApps) 프레임워크를 개발하였다. COMIX는 Conflict Detector, Conflict Resolver, NDT (Network Digital Twin) 등으로 구성된다. 또한, NDT를 활용하여 실시간 네트워크에 설정을 적용하기 전에 충돌하는 행동의 영향을 평가한다. 시뮬레이션 결과, COMIX는 CMF가 없는

구조 대비 에너지 소비를 대폭 절감하고 안정적인 전송률을 유지하였다.

연구 [5]는 xApp 간 충돌 완화를 위해 팀 러닝 기반 충돌 완화 알고리즘 연구를 수행하였다. 이를 위해 DQN (Deep Q-Network) 을 활용하여 전송 전력 할당 xApp과 무선 자원 할당 xApp을 강화학습 에이전트로 설정하고, 서로 행동 정보를 교환하는 팀 러닝을 활용하였다. 각 xApp은 서로의 초기 행동을 학습에 반영해 충돌 완화를 위한 행동을 결정한다. 실험 결과, 제안된 알고리즘은 64.8%의 낮은 패킷 손실률과 기존의 독립 학습 방식 대비 8.8% 높은 전체 시스템 처리량을 달성하였다.

연구 [6]은 QoS (Quality Of Service) 기반 QACM (QoS-Aware Conflict Mitigation) 프레임워크를 개발하였다. QACM은 기존의 우선순위 기반 방식 (NSWF, EG) 과 달리, 각 xApp의 QoS 임계값을 고려하여 충돌 완화 최적값을 도출함으로써 QoS 기준을 만족하도록 한다. 이를 위해 KPI를 정규화하여 유틸리티로 변환하고, KPI와 QoS 간 최소화의 차이를 위한 최적화를 수행한다. 실험 결과, 기존 방식 대비 더 많은 xApp들이 QoS 임계값을 만족하였다.

III. 결 론

본 논문에서는 Open RAN 환경에서 발생하는 충돌 유형을 정리하고, 이를 해결하기 위한 최신 연구 동향을 정리하였다. 최신 연구들은 CMF, 게임 이론, 강화학습 기반 팀 러닝, QoS 인식 기반 방식 등 다양한 방법을 통해 충돌을 완화하였다. 제안된 방법들은 처리량 향상, QoS 만족도 개선 등 다양한 성능 지표에서 개선 효과를 보였다. 향후에는 충돌을 지능적으로 예측하고 네트워크 상황에 따라 유연하게 대응할 수 있는 충돌 완화 기술을 개발할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2025-RS-2022-00156353)

참 고 문 헌

[1] H. Park, T.-H. Nguyen, and L. Park, "An investigation on open-ran specifications: Use cases, security threats, requirements, discussions,," CMES-Computer Modeling in Engineering & Sciences, vol. 141, no. 1, 2024.

[2] A. Wadud, F. Golpayegani and N. Afraz, "Conflict Management in the Near-RT-RIC of Open RAN: A Game Theoretic Approach," 2023 IEEE International Conferences on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing & Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical & Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData) and IEEE Congress on Cybermatics (Cybermatics), Danzhou, China, 2023, pp. 479-486.

[3] C. Adamczyk and A. Kliks, "Conflict Mitigation Framework and Conflict Detection in O-RAN Near-RT RIC," in IEEE Communications Magazine, vol. 61, no. 12, pp. 199-205, December 2023.

[4] A. Giannopoulos, S. Spantideas, L. George, K. Alexandros, and P. Trakadas, "COMIX: Generalized Conflict Management in O-RAN xApps--Architecture, Workflow, and a Power Control case." arXiv preprint 2025.

[5] H. Zhang, H. Zhou and M. Erol-Kantarci, "Team Learning-Based Resource Allocation for Open Radio Access Network (O-RAN)," ICC 2022 - IEEE International Conference on Communications, Seoul, Korea, Republic of, 2022, pp. 4938-4943.

[6] A. Wadud, F. Golpayegani and N. Afraz, "QACM: QoS-Aware xApp Conflict Mitigation in Open RAN," in IEEE Transactions on Green Communications and Networking, vol. 8, no. 3, pp. 978-993, Sept. 2024.