

# 5G 오픈랜 아키텍처에서의 동적 네트워크 슬라이싱 프레임워크

한종원, 김민현\*, 문정모\*, 곽정호  
대구경북과학기술원, \*한국전자통신연구원

herowhddnjs@dgist.ac.kr, jeongho.kwak@dgist.ac.kr,

\*minhyun.kim@etri.re.kr, \*jmoon@etri.re.kr

## Dynamic Network Slicing Framework in 5G Open-RAN Architecture

Jongwon Han, Minhyun Kim\*, Jungmo Moon\*, Jeongho Kwak  
DGIST, \*ETRI

### 요약

5G 오픈랜의 핵심 기술 중 하나인 네트워크 슬라이싱은 네트워크 가상화 기술을 활용하여 단일 물리적 네트워크 인프라를 여러 가상 네트워크로 분할하는 기술이다. 네트워크 자원을 미리 정해진 방식에 따라 고정적으로 분할하여 셀 간 잠재적인 간섭관계의 변화나 채널 환경의 변동성을 유연하게 고려하지 못하는 기존의 개발된 정적 네트워크 슬라이싱 기술과 달리, 사용자의 이동성과 채널 환경에 따라 실시간으로 자원의 할당을 결정하는 동적 네트워크 슬라이싱 기술은 네트워크 성능의 향상과 효과적인 서비스 품질 제어를 가능하게 할 것으로 기대된다. 하지만 동적 네트워크 슬라이싱 기술에서 실시간으로 사용자와 빔 스케줄링, 전송 전력 및 대역폭 할당을 동시에 결정하는 데 발생하는 높은 계산 복잡도로 인해 이들을 최적으로 결정하는 알고리즘의 개발은 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 효율적으로 자원 할당을 결정할 수 있는 저 복잡도 동적 네트워크 슬라이싱 알고리즘의 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있는 동적 네트워크 슬라이싱 프레임워크를 제안한다.

### I. 서론

최근 스마트폰, 태블릿, Internet of Things (IoT) 기기의 광범위한 보급과 함께 가상 현실, 증강 현실이나 Ultra-High Definition (UHD) 비디오 스트리밍과 같이 상당한 데이터 전송이 필요한 응용 프로그램의 인기가 증가하면서 모바일 데이터 트래픽이 크게 증가하고 있으며, 이러한 데이터의 급등은 현재 네트워크 인프라로는 감당하기 어려워지고 있다[1].

이러한 도전을 해결하고자 개발된 네트워크 슬라이싱은 단일 물리적 네트워크 인프라를 여러 가상 네트워크로 분할하는 기술이다. 기존의 RAN 을 다양한 기능적 구성 요소로 분해하고, 개방형 인터페이스를 통해 연결한 5G 오픈랜 아키텍처에서의 핵심 기술 중 하나인 네트워크 슬라이싱은 각 슬라이스에 특정 서비스나 사용자 그룹의 데이터 전송 속도 요구에 맞추어 자원을 할당함으로써 더 높은 데이터 전송률을 요구하는 사용자들의 서비스 품질을 만족시킬 수 있으며 더욱더 효율적인 자원의 할당이 가능해진다. 기존에 개발된 정적 네트워크 슬라이싱 기술에서는 네트워크 자원을 미리 정해진 방식으로 고정적으로 분할하여 특정 서비스마다의 네트워크 품질을 보장하고자 하였다. 하지만 이 방식은 채널 환경의 변동성이나 사용자가 이동하면서 발생하는 셀 간 잠재적인 간섭관계의 변화 등을 유연하게 고려하지 못한다는 한계점이 존재한다.

사용자가 이동하는 환경에서 효과적인 동적 네트워크 슬라이싱 기술을 구현하기 위해서는 한정된 네트워크 자원을 효율적으로 사용하기 위해 실시간으로 변화하는

사용자의 이동성과 채널 환경에 따라 동적으로 네트워크 자원의 할당(ex) 빔 스케줄링, 사용자 스케줄링, 전송 전력 및 대역폭)을 결정해야 한다. 이를 통해 사용자의 서비스 품질 요구를 만족시키고 전체 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있다. 하지만 위 4 가지 자원 할당에 대한 결정(빔/사용자 스케줄링, 전력 및 대역폭 할당)을 동시에 계산하는 것은 복잡도가 매우 높아, 실시간으로 이들을 결정할 수 있는 최적의 알고리즘의 개발은 불가능하다. 따라서 효과적인 동적 네트워크 슬라이싱 기술을 구현하기 위해서는 효율적으로 자원 할당을 결정할 수 있는 저 복잡도 알고리즘 뿐만 아니라, 이 알고리즘의 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있는 지능적 시스템의 개발이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 AI 기반 계층적 오픈랜 아키텍처에서 이동성 예측과 자원 할당이 다중 시간 척도 분해에 의해 결정될 수 있도록 하는 동적 네트워크 슬라이싱 제어 프레임워크를 제안한다. 제안한 프레임워크는 빔포밍, 대역폭, 사용자 스케줄링 및 송신 전력 결정을 분할된 시간 슬롯에서 효율적으로 결정할 수 있도록 한다.

### II. 본론

사용자가 이동하는 환경에서 효과적으로 데이터를 전송하기 위해서는 사용자의 이동성을 효과적으로 추적하고, 그에 따라 전략적으로 빔포밍을 결정하는 것이 중요하다. 연구 [2]에서는 라디오 환경 지도 (REM)와 강화학습 기반의 빔포밍 기술을 통해 사용자의 현재 위치 정보를 외부 위치 결정 서버로부터 받아 다음 위치를 예측한 후, 참조 신호 수신 전력에 따라 스케줄링할 빔을 결정하는 방법을 제시하였다. 하지만, 이 연구는 단일 기지국과 단일 사용자

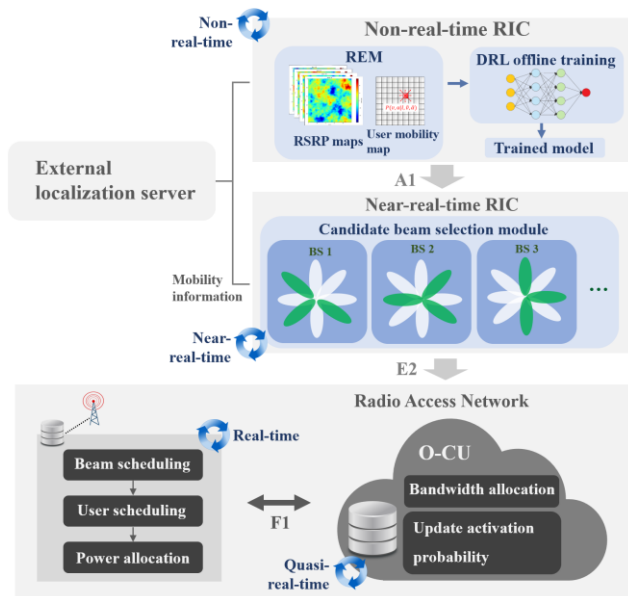


그림 1. 제안한 동적 네트워크 슬라이싱 프레임워크

환경을 가정하여 셀 간 간섭을 고려하지 않았으며, 다른 자원 할당 요소들은 고려하지 않았다.

본 논문에서는 다중 기지국과 다중 사용자 환경에서 발생할 수 있는 셀 간 간섭을 줄여 전체 네트워크의 성능을 향상시키며, 사용자의 서비스 품질 요구를 제어할 수 있는 저 복잡도 동적 네트워크 슬라이싱 알고리즘의 성능을 향상시킬 수 있는 프레임워크를 제안한다.

그림 1 은 제안한 동적 네트워크 슬라이싱 프레임워크를 나타내며, 이는 동적으로 송신 전력과 대역폭 할당, 빔 및 사용자 스케줄링을 결정하는 데 발생하는 높은 계산 복잡도를 효과적으로 줄이기 위해 설계되었다. 제안된 프레임워크는 오픈랜의 계층적 구조를 활용하여, 각 계층이 특정 시간 척도에 따라 작동하고 오픈랜의 인터페이스를 통해 다른 계층과 정보를 교환함으로써 더 효율적인 네트워크 제어를 가능하게 한다. 각 계층별 동작은 다음과 같다.

Non-RT-RIC 에서는 심층 강화학습 모델을 비 실시간 주기로 훈련하여 사용자의 현재 위치를 기반으로 다음 위치를 예측하고, 스케줄링할 빔들의 집합을 결정한다. Non-RT-RIC 는 외부 위치 결정 서버 (External Localization Server)로부터 사용자의 이동 정보 (위치, 속도, 방향)와 라디오 유닛으로부터 사용자들의 참조 신호 수신 전력 (RSRP) 값을 수집하여 라디오 환경 지도를 업데이트한다. 라디오 환경 지도는 특수한 형태의 데이터베이스로, 참조 신호 수신 전력 지도와 사용자 이동성 패턴 지도로 이루어져 있다. 사용자 이동성 패턴 지도는 사용자의 이동 경향성을 확률적으로 표현하며, 참조 신호 수신 전력 지도는 수집한 참조 신호 수신 전력 값에 기반한 채널 추정 기술을 활용하여 모든 지역에서 각 빔들의 참조 신호 수신 전력 값을 표시한다. 라디오 환경 지도의 업데이트가 완료되면, 이를 활용하여 심층 강화학습 모델을 훈련한다. 훈련된 모델은 데이터베이스에 저장되며, A1 인터페이스를 통해 Near-RT-RIC 의 Candidate beam selection 모듈로 전송된다.

Near-RT-RIC 내의 Candidate beam selection 모듈에서는 학습된 심층 강화학습 모델이 외부 위치 결정 서버에서 제공되는 사용자의 현재 위치에 대해 다음 위치를 예측하여 스케줄링할 후보 빔들의 집합을 결정할 수 있도록 한다. 여기서 후보 빔이란 스케줄링될 빔들의 후보로, 빔의

스케줄링 결정을 오로지 이 빔들로 제한된다. 각 네트워크 슬라이스에 관해 결정된 후보 빔의 정보는 근실시간 주기마다 E2 인터페이스를 통해 O-CU 로 전송된다.

멀티 액세스 엣지 컴퓨팅 (MEC) 서버에 배치된 O-CU 는 Near-RT-RIC 로부터 받은 각 후보 빔에 스케줄링 될 확률을 할당한다. 이 확률들은 제안된 프레임워크 내에 통합된 동적 네트워크 슬라이싱 알고리즘에 따라 결정되며, 성능 향상을 위해 주기적으로 업데이트된다. O-CU 는 또한 근 실시간 주기로 대역폭 할당을 결정한다. 이 결정 역시 통합된 알고리즘에 의해 결정된다. O-DU 에서 빔 스케줄링, 사용자 스케줄링, 전력 할당을 실시간으로 결정하는 것과 다르게 O-CU 에서 근 실시간 주기로 대역폭을 결정함으로써 알고리즘의 복잡도를 크게 낮출 수 있으며, 앞에서 결정한 정보들을 활용하여 대역폭을 보다 거시적인 관점에서 효과적으로 결정할 수 있다.

제안한 프레임워크에서, 각 gNB 는 전용 엣지 컴퓨팅 서버를 가지고 있다고 가정하며, 이 서버에 배치된 O-DU 에서는 실시간으로 각 네트워크 슬라이스에 대해 네트워크 자원을 순차적으로 결정한다. 이 때, 빔 활성화, 사용자 스케줄링, 전력 할당 순으로 결정하며, 이들을 순차적으로 결정함으로써 알고리즘의 복잡도를 크게 낮출 수 있다. 빔 스케줄링은 O-CU 에 의해 할당된 확률에 기반하여 후보 빔들 중에서 확률적으로 결정한다. 이 후, 스케줄링된 빔에 대해 사용자 스케줄링과 전력 할당은 각 사용자의 요구하는 서비스 품질 요구를 만족시킬 수 있도록 개발된 동적 네트워크 슬라이싱 알고리즘에 의해 결정될 수 있도록 한다.

### III. 결론

본 논문에서는 오픈랜 네트워크에서 동적 자원 할당 기술과 사용자 이동성 추적 시스템 기반 빔포밍 기술을 통합하여 효과적인 동적 네트워크 슬라이싱 알고리즘을 지원할 수 있는 프레임워크를 제안하였다. 제안한 프레임워크에서는 사용자 스케줄링, 빔 스케줄링, 전송 전력 및 대역폭 할당을 동적으로 결정하는 과정에서 발생하는 높은 계산 복잡도를 효과적으로 줄일 수 있으며, 오픈랜의 계층적 구조를 활용하여 오픈랜 인터페이스를 통해 다른 계층과 정보를 교환함으로써 더 효율적인 네트워크 제어를 가능하게 한다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2023-00225468, 오픈랜 지능화를 위한 무선지능화 제어기술개발)

### 참고 문헌

- [1] Cisco, "Cisco annual internet report (2018-2023)," White Paper, Mar. 2020. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.pdf>
- [2] M. Hoffmann and P. Kryszkiewicz, "Beam management driven by radio environment maps in O-RAN architecture," in 2023 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), Rome, Italy, May 2023, pp. 54-59.