

# AI/ML 기반 빔 관리 방법에 관한 연구 및 표준화 동향

윤영준  
한국전자통신연구원

youngjoon.yoon@etri.re.kr

## A Study and Standardization Trends on AI/ML-based Beam Management Process

Youngjoon Yoon  
ETRI

### 요약

본 논문은 AI/ML 기반 빔 관리 방법과 관련된 3GPP Release 18/19 표준화 현황을 소개하고, 이에 따른 추가적인 연구 방향을 제시한다.

#### I. 서론

3GPP Release 19에서는 AI/ML 기반의 무선 인터페이스 기술이 Working Item으로 논의되고 있다[1]. 3GPP에서 정의하는 AI/ML 기반 무선 인터페이스의 활용 예시는 빔 관리, 단말 측위 및 CSI 측정이다. 구체적으로, AI/ML 기반의 빔 관리와 AI/ML 기반의 단말 측위에 대한 표준화 작업이 진행 중이며, AI/ML 기반의 CSI 예측/CSI 압축에 대한 추가 연구가 진행 중이다. 특히 AI/ML 기반의 빔 관리 방법과 관련하여, 기존 5G 기술에서는 단말과 기지국의 빔 페어링을 위해 최대 64개 이상의 참조 신호를 전송해야 했으며, 이는 기지국 전송 측면과 단말 수신 측면 모두에서 극심한 오버헤드를 초래하게 된다. 따라서 이러한 오버헤드를 줄이는 등의 목적으로 AI/ML 기반의 빔 관리 방법이 AI/ML 기반 무선 인터페이스 전송 후보 기술 중 하나로 오르게 되었다. 본 논문에서는 AI/ML 기반의 빔 관리 방법에 관한 표준화 동향을 소개하고, 이에 따른 후보 표준 기술을 제시한다.

#### II. AI/ML 기반 무선 인터페이스의 일반적인 프레임워크

3GPP Release 18에서는 AI/ML 기반의 무선 인터페이스 송수신 기술을 위해 AI/ML 모델의 Life Cycle Management(LCM)과 관련하여 다음과 같은 과정들을 포함하도록 정의하였다[2]. 구체적으로, 데이터 수집, 모델 트레이닝, 기능/모델 식별 과정, 모델 전송, 모델 추론 등이 AI/ML 모델의 LCM 과정에 포함된다. 3GPP에서는 이러한 AI/ML 모델에 대한 LCM 과정을 두 가지 경우로 정의/분류하였다.

1. Model ID 기반의 LCM (Model-ID based LCM): 모델은 네트워크에서 식별될 수 있으며, 네트워크 혹은 단말은 모델 ID를 통해 AI/ML 모델에 대한 활성화, 비활성화, 선택, 교체 등의 작업을 수행할 수 있다.

2. 기능 기반의 LCM (Functionality based LCM):

3GPP 시그널링(RRC, MAC CE, DCI 등)을 통해 AI/ML 기능의 활성화, 비활성화, 선택, 교체, 폴백(fallback) 동작 등의 작업을 수행할 수 있다. 해당 LCM의 경우 모델은 네트워크에 의해 식별되지 않을 수 있으며, 이 경우 단말이 model-level LCM을 수행할 수 있다.

이와 더불어 3GPP에서는 모델의 위치에 따라 단말 측 AI/ML 모델, 네트워크 측 AI/ML 모델, 양측 AI/ML 모델(Two-sided AI/ML model)로 분류하였다. 양측 AI/ML 모델의 경우 단말과 네트워크 측 모두에 AI/ML 모델이 존재하는 것을 의미한다.

#### III. AI/ML 기반 빔 관리 방법에 관한 표준화 동향 및 기술

3GPP Release 19에서 AI/ML 기반 빔 관리 방법이 working item으로서 표준화 작업이 본격적으로 시작되면서, AI/ML 기반 빔 관리 방법에서는 기본적으로 기능 기반의 LCM을 지원하며, 동시에 단말 측 AI/ML 모델과 네트워크 측 AI/ML 모델을 가정한 시나리오에 대해서 표준화가 진행되고 있다.

3GPP에서는 AI/ML 기반 빔 관리 방법에 대해 다음의 두 가지 경우에 대해 표준화 작업이 이뤄지고 있다.

1. BM case 1: Set B 하향링크 빔들에 대한 측정치를 바탕으로 공간 도메인에서 Set A 하향링크 빔들을 예측하는 케이스, 예를 들어, 단말은 Set B에 해당하는 넓은 하향링크 빔(wide beam)을 수신하여, 해당 측정치를 바탕으로 좁은 하향링크 빔(narrow beam)을 예측할 수 있다.
2. BM Case 2: Set B 하향링크 빔들에 대한 측정치를 바탕으로 시간 도메인에서 Set A

하향링크 빔들을 예측하는 케이스. 예를 들어, 단말은 가장 최근의 K 개의 측정치를 바탕으로 앞으로의 F 개의 빔을 예측할 수 있다.

여기서 Set B 빔에 대한 측정치는 AI/ML 모델의 input으로써 사용될 수 있으며, Set A 빔은 AI/ML 모델의 추론 결과로 대변된다.

현재 3GPP Release 19에서는 AI/ML 모델 추론 시 빔 리포트 내용, 빔 지시, 하향링크 참조 신호의 구성 등 AI/ML 기반 빔 관리 방법의 전반적인 내용에 대해 논의 중이다.

지난 RAN1 #116 회의[3]에서는 네트워크 측 모델과, 단말 측 모델에 대해 빔 지시는 통합된 TCI 상태 프레임워크에 기반하여 이뤄질 것과 이와 관련한 잠재적인 개선점이 있을 경우 이에 대해 연구할 것이 합의되었다. 현재 지원되는 빔을 지시하는 대표적인 TCI 상태 중 하나로 QCL-Type D가 있다. 이는 공간적인 수신 파라미터가 동일한 경우 해당 TCI 상태를 이용하여 나타낼 수 있다. 그러나 AI/ML 기반 빔 관리 과정에서는 특히 BM case 1의 경우 Set A의 빔과 Set B의 빔이 다를 수 있기 때문에 이러한 관계를 지시할 수 있는 추가적인 TCI 상태가 필요할 것으로 보이며, 이를 위한 추가적인 연구가 진행될 수 있다.

또한 지난 RAN1 #116 회의에서는 단말 측 모델에 대해 적어도 BM case 1에 대해, 모델 추론에 대한 리포트의 내용은, 예측된 Top K 빔에 대한 빔 정보(Option 1) 혹은 예측된 Top K 빔에 대한 빔 정보 및 Top K 빔의 RSRP 값(Option 2)을 포함할 것을 합의하였다. 여기서 빔 정보, 예측된 Top K 빔에 대한 구체적인 정의, K의 값, 보고되는 RSRP의 정의, 추가적으로 보고되는 다른 정보 등은 추가적인 연구를 할 것이 합의되었다. 빔 정보와 관련하여, 현재 5G 시스템에서 빔을 나타내는 정보로 사용되는 것은 자원 지시자(RI, resource indicator)이며, SSB의 위치를 나타내는 SSBRI 및 CSI-RS를 지시하는 CSI-RI 등이 사용된다. 따라서 AI/ML 기반 빔 관리 방법에서도 빔 정보를 나타내기 위해 이러한 지시자들이 사용될 것으로 보이며, 추가적인 빔 정보가 필요한지 여부에 대해서는 추가적인 연구가 진행될 수 있다.

지난 RAN1 #116 회의[4]에서는 네트워크 측 모델에 대해 모델 추론을 위해 빔 리포트가 네트워크에 의해 개시되는 경우, 하나의 측정 자원 셋에 기반하여 L1 시그널링을 통해 4개 이상의 빔 관련 정보를 보고할 것을 합의하였다. 여기서 빔 관련 정보의 보고 내용과 한 개의 리포트 내에 보고되는 빔 관련 정보의 최대 개수에 대해서는 추가 연구 사항으로 남겨졌다.

지난 RAN1 #116-bis 회의에서는 BM case 2에서 단말 측 AI/ML 모델의 모델 추론에 대해 한 개의 리포트 내에 N개의 미래 시간 instance에 대한 추론 결과를 보고할 것이 합의되었다. 다만 BM case 1에 대해서는 한 개의 리포트에 한 개의 시간 instance에 대한 추론 결과를 보고할 것을 합의하였으며, 이에 대한 오버헤드를 줄이는 방법에 대해서는 추가적인 연구가 이뤄질 수 있을 것이다.

지난 RAN1 #116-bis 회의에서, 네트워크 측 AI/ML 모델에 대해 BM case 1, 2 모두에서 Set A와 Set B의 구성은 현재 NR CSI 프레임워크를 사용할 것을 합의하였다.

지난 RAN1 #116-bis 회의에서는 BM case 1에서 단말 측 AI/ML 모델에 대하여 예측된 Top K 빔의 RSRP와 관련하여, 예측된 RSRP를 사용하는 방안(Option 1)과 예측할 빔에 대한 측정치가 있는 경우 해당

측정치를 보고하고, 그렇지 않은 경우 예측된 RSRP 값을 전송하는 방안(Option 2)가 제기되었다.

지난 RAN1 #116-bis 회의에서는 적어도 BM case 1에서 단말 측 AI/ML 모델의 추론 결과 리포팅을 현재 지원되는 파라미터인 'CSI-ReportConfig'를 이용하여 구성하는 것이 합의되었다. 이에, 한 개의 파라미터를 이용하여 Set B를 구성하는 방안(Alt 1), 한 개의 파라미터를 이용하여 Set A와 Set B를 모두 구성하는 방안(Alt 2), 두 개의 파라미터를 이용하여 Set A와 Set B를 각각 구성하는 방안(Alt 3), 한 개의 파라미터를 이용하여 Set B를 구성하고, Set A를 다른 분리된 자원 셋을 이용하여 구성하는 방안(Alt 4) 등이 제시되었다. 제시된 방안 중 더 효율적인 방안이 무엇인지, 그리고 해당 방안에서 Set A와 Set B를 구성하는 구체적인 방식에 대한 내용에 대해서는 추가적인 연구가 진행될 수 있다.

지난 RAN1 #116-bis 회의에서는, BM case 1, 2에 대해 단말 측 모델의 모델 훈련과 모델 추론 사이의 일관성을 보장하기 위한 네트워크 측의 추가적인 조건에 대하여, Associated ID를 도입하는 것(Option 1)과 성능 모니터링을 기반으로 일관성을 보장하는 것(Option 2)가 제기되었다. Option 1이 도입되는 경우 Associated ID가 어떤 식으로 정의될 지에 대한 연구가 필요해 보이며, 반대로 Option 2가 도입되는 경우 성능 모니터링을 어떤 방식으로 진행해야 일관성을 보장할 수 있는 지에 대한 추가적인 연구가 진행될 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 AI/ML 기반의 빔 관리 방법에 대한 현재 3GPP RAN1 표준화 동향과 향후 연구 방향을 제시하였다. 앞으로의 추가적인 연구를 통해 AI/ML 기반의 빔 관리 방법에 관한 기술들을 개발할 수 있을 것이며, 이는 앞으로 논의/개발될 6G 시대에도 AI/ML 기반 무선 인터페이스 통신 기술의 한 축으로써 적용될 수 있을 것이다.

#### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021-0-00972, (세부 2) 지능형 무선 액세스 기술 개발)

#### 참고 문헌

- [1] RP-234039, WID on AI/ML for NR Air Interface.
- [2] TR 38.843 v18.0.0, Study on AI/ML for NR air interface.
- [3] R1-2401937, Final Report of 3GPP TSG RAN WG1 #116 v1.0.0
- [4] R1-2403821, Final Report of 3GPP TSG RAN WG1 #116b v1.0.0