

# 밀리미터파 채널을 위한 머신러닝 기반 환경 인지적 빔북 생성 및 활용

박상춘, 성원진  
서강대학교

[wsung@sogang.ac.kr](mailto:wsung@sogang.ac.kr)

## Environment-aware beambook construction and utilization based on machine learning for millimeter-wave channels

Sangchun Park and Wonjin Sung  
Sogang University

### 요 약

본 논문에서는 제한된 피드백 자원을 활용하는 밀리미터 채널을 위한 머신러닝 기반의 환경 인지적 빔북 생성 및 활용 방안을 제안한다. 빔북이란, 궤적을 따라 다중 빔으로 구성된 빔 시그니처의 집합이며 빔북의 활용을 통해 적은 피드백 오버헤드만을 이용하여 정확한 빔 전송을 가능하게 한다. 빔북을 생성하기 위해 각각의 사용자로부터 시간 순서에 따른 프리코딩 행렬 지시자 (precoding matrix indicator; PMI) 피드백을 수집하여 PMI 기반의 궤적 데이터를 수집한다. 수집된 데이터를 활용하여 대표적인 머신러닝 방식인  $k$ -평균 군집 알고리즘 ( $k$ -means clustering)을 통해  $k$  개의 대표 궤적을 생성하여 빔북을 구성한다. 빔북 활용 방안은 움직이는 사용자의 PMI 피드백 데이터와 모든 빔 시그니처와의 유사도 비교를 통해 사용자에게 적합한 빔 시그니처를 선택하고, 선택된 빔 시그니처를 구성하는 빔간 보간법을 통해 예측 빔을 생성한다. 제안된 방식을 기존의 대표적인 코드북인 벡터 양자화 (vector quantization; VQ) 코드북과 이산 푸리에 변환 (discrete Fourier transform; DFT) 코드북과의 비교를 통해 빔포밍 이득 향상을 보여준다.

### I. 배경 및 연구 목적

밀리미터파를 활용한 광대역 통신에서 경로 손실을 극복하고 넓은 커버리지를 확보할 수 있도록 대규모 다중 입출력 (massive multiple-input multiple-output; massive MIMO)을 위한 대규모 안테나 어레이의 활용은 필수적이다. 대규모 안테나 어레이가 경로 손실을 극복하기 위해 사용되는 좁은 빔은 정밀한 빔 정렬을 필요로 한다 [1]. 특히 빠른 이동성을 갖는 사용자에게 대한 정밀한 빔 정렬은 어려운 과제이다. 또한 기존의 방식으로 정밀한 빔 정렬을 하기 위해서는 오버헤드의 증가는 불가피하며, 이를 극복하기 위해 예측적 빔 관리 방안인 빔북이 제안되었다 [2]. 본 논문에서는 제한된 피드백 자원을 활용하여 머신러닝 기반의 환경 인지적 빔북 생성 및 활용 방식을 제안하고 검증한다.

### II. $k$ -평균 군집 알고리즘을 활용한 빔북 생성

환경은 차로 폭 3.5m, 가로와 세로가 100m 인 왕복 6 차선 사거리를 가정한다. 안테나는 사거리 중심에서 서방 25m, 북방 25m 에 위치하며 높이는 15m 이다. 안테나의 기울임 각도는 12 도이며, simulation of urban mobility (SUMO) 시뮬레이터를 활용하여 이동체를 생성한다. 기지국은 기존의 빔 관리 방식을 활용하여 벡터 양자화 (vector quantization; VQ) 코드북으로 빔포밍을 하며, 이동체는 PMI 피드백 주기인  $T_{PMI}$  초마다 PMI 피드백 인덱스를 기지국으로 송신한다. 기지국은 PMI 피드백 인덱스 순서 데이터를 수집하여 각각의 인덱스와 일대일 대응이 되는 빔 방향을 가리키는 직교 좌표계의 단위 벡터로 변환하여 수집된 데이터를 궤적으로 만든다. 만들어진 궤적들을  $k$ -평균 군집 알고리즘의 종류 중 하나인 구형  $k$ -평균 군집 알고리즘 (spherical  $k$ -means clustering)을 활용하여  $k$  개의 대표 궤적을 생성한다 [3]. 생성된 궤적들을 이용하여

사용자의 PMI 피드백 인덱스 순서 데이터와 cosine 유사도를 비교하여 적합한 궤적을 선택하며, 빔간 보간법을 통해 빔과 빔 사이의 미세 빔을 생성한다. 생성된 미세 빔을 이용하여 다음 PMI 피드백 주기 전까지 예측적 빔포밍을 통해 빔을 업데이트하여 사용자의 수신 품질을 향상시킨다.

### III. 결론

PMI 피드백 데이터를 활용하여 머신러닝 기반의 빔북 생성이 가능하며, 생성된 빔북을 활용하여 예측적 빔포밍 수행 시 피드백 자원의 효율성이 극대화된다. 제안하는 빔북은 다양한 이동성을 갖는 사용자에게 대해 적용되어 높은 빔 수신 품질의 제공이 가능하며, 가시선 (line-of-sight; LoS)이 존재하지 않는 채널 환경으로의 확장 방안도 중요한 연구 주제이다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 한국연구재단 중견연구지원사업의 지원으로 수행된 연구 결과임 (과제번호 2020R1A2C1004135).

### 참 고 문 헌

- [1] M. Giordani, M. Polese, A. Roy, D. Castor, and M. Zorzi, "A tutorial on beam management for 3GPP NR at mmWave frequencies," *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 21, no. 1, pp. 173–196, Firstquarter 2019.
- [2] S. Park and W. Sung, "Utilization of beam signatures supporting high user mobility with extremely low feedback overhead," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 47461–47475, 2022.
- [3] C. Buchta, M. Kober, I. Feinerer, and K. Hornik, "Spherical  $k$ -means clustering," *J. Stat. Softw.*, vol. 50, no. 10, pp. 1–22, 2012.