

테라헤르츠 통신을 위한 하위배열기반 근거리장 빔 관리 기법 연구

신상목, 심병호
서울대학교

{sin14152, bshim}@snu.ac.kr

요약

본 논문은 분할된 배열 안테나에 대한 빔 트레이닝을 수행하여 사용자 위치를 추정하는 하위배열 기반 근거리 빔 훈련 기법을 제안한다. 사용자와 하위배열 간의 각도 정보를 활용하여 효율적으로 사용자 위치 정보를 추정함으로써 기존 기법 대비 데이터 전송 지연 시간을 획기적으로 감소시킬 수 있다.

I. 서론

최근 테라헤르츠 통신은 6G 무선 통신에 대한 대규모 데이터 수요를 지원하는 핵심 구현 기술로 등장했다. 방대한 양의 데이터 전송을 위해서 고도의 지향성 빔포밍 기술이 현재 기지국에서 널리 사용되고 있다. 빔을 신호 전파경로와 적절히 정렬시키기 위해서는, 기지국은 정확한 사용자에 대한 채널 정보를 획득해야 한다. 밀리미터파에서 테라헤르츠 통신 시스템으로 넘어오면서 사용자의 채널 정보가 단순히 출발각과 도착각으로 표현되는 것과 달리 거리 정보를 포함해서 표현되게 되었습니다.

본 논문은 분할된 배열 안테나에 대한 빔 트레이닝을 각각 수행하여 사용자 위치를 직접 추정하는 하위배열 기반 근거리 빔 트레이닝 기법을 제안한다. 사용자와 하위배열 간의 추출된 각도 정보를 활용하여 효율적으로 사용자 위치 정보를 추정함으로써 기존 기법 대비 데이터 전송 지연 시간을 획기적으로 감소시킬 수 있다.

II. 본론

본 논문의 목적은 높은 빔포밍 이득과 더불어 낮은 빔 훈련 지연을 달성하는 효율적인 근거리장 빔 훈련 기법을 제안하는 것이다. 구체적으로, 우리의 근거리장 빔 관리 기법은 두 가지 주요 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서, 우리는 전체 큰 안테나 배열을 여러 개의 하위 배열로 나누고 위상 천이기 및 시간 지연기를 통해 주파수 종속 빔을 통해 여러 사용자 방향을 동시에 검색합니다. 그러면 사용자는 각 하위배열별로 기준 신호 대비 수신 전력이 가장 큰 빔 색인을 기지국에게 피드백하고, 이로부터 기지국은 각 하위배열로부터 사용자 방향을 추출할 수 있습니다. 두 번째 단계에서

기지국은 추출된 사용자 방향을 활용하여 최소 제곱법 추정기를 사용하여 근거리장 시나리오에 대한 사용자 각도 및 거리 정보를 얻습니다. 우선, 하위 배열에서, 주파수 종속적인 변수를 적절히 조절함으로써, 주파수 종속적인 빔을 생성하고 그런 다음 동시에 다중 방향을 탐색할 수 있습니다. 그러면 사용자로부터 최적의 빔 색인을 피드백을 받아 두번째 단계에서 사용자 위치 정보를 추정합니다. 이때, 사용자 위치 정보를 간단한 선형 시스템을 품으로써 다음과 같이 추정될 수 있습니다.

$$\hat{\mathbf{p}} = [\hat{p}_x \hat{p}_y]^T = (\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T \mathbf{B}.$$

여기서, \hat{p}_x 과 \hat{p}_y 는 사용자 위치의 x 좌표와 y 좌표를 나타낸다. 또한, 행렬 \mathbf{G} , \mathbf{B} 는 각각 하위배열에서의 추출된 사용자 방향 벡터, 하위 배열의 위치 벡터를 나타내고 다음과 같이 표현될 수 있습니다.

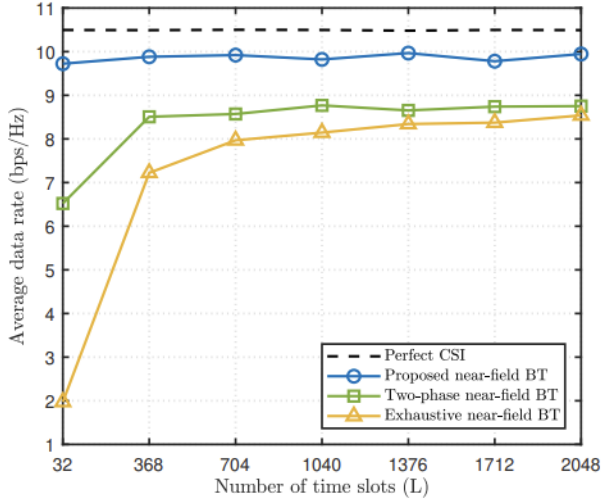
$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & -\tan(\arcsin \hat{\theta}_1) \\ \vdots & \vdots \\ 1 & -\tan(\arcsin \hat{\theta}_G) \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{G \times 2},$$

$$\mathbf{B} = [\delta_1 E d \cdots \delta_G E d]^T \in \mathbb{R}^{G \times 1}.$$

여기서, G 는 하위배열의 개수인 동시에 추출된 사용자 방향의 개수이다. 또한, $\hat{\theta}_g$ 는 하위배열에서 추출된 사용자 방향을 나타냅니다.

아래와 같은 그래프에서 보듯이, 우리의 기법은 다음 세 가지 벤치마크와 비교된다. 1) 이상적인 시스템: 기지국은 완벽한 채널 상태 정보를 가지고 최적의 빔포밍을 수행한다. 2) 두 단계 근거리장 빔 훈련 기법: 기지국은

각도와 거리 영역에 대해서 분리해서 빔 훈련을 수행한다. 3) 철저한 근거리장 빔 훈련 기법: 기지국은 샘플링된 모든 각도와 거리에 대해서 철저히 빔 훈련을 수행한다. 시뮬레이션 실험 결과, 기존의 타 기법들에 비해서 지연 시간 관점에서 매우 효율적일 뿐만 아니라 데이터 전송률 또한 증가하였음을 확인할 수 있었다.



ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행하였음 (RS-2023-00208985).

III. 결론

본 논문의 목적은 높은 빔포밍 이득과 더불어 낮은 빔 훈련 지연을 달성하는 효율적인 근거리장 빔 훈련 기법을 제안하였다. 또한, 우리는 시뮬레이션 실험 결과를 통해 해당 기법이 기존 타 기법에 비해서 빔 훈련 지연 시간을 단축시킬 뿐만 아니라 높은 빔포밍 이득을 성취할 수 있음을 확인하였다. 해당 기법을 실 기지국에 적용함으로써 테라헤르츠 통신 시스템에서의 데이터 전송률 목표 달성할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] M. Giordani, M. Polese, M. Mezzavilla, S. Rangan, and M. Zorzi, "Toward 6G networks: Use cases and technologies," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 58, no. 3, pp. 55-61, 2020.
- [2] Hashemi, T.-S. Chu, and J. Roderick, "Integrated true-time-delay based ultra-wideband array processing," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no. 9, pp. 162-172, 2008.
- [3] S. Kim, J. Park, J. Moon, and B. Shim, "Fast and accurate Terahertz beam management via frequency-dependent beamforming," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, 2023.