

6G 무선통신 시스템을 위한 균일 평면 배열 안테나 기반 LOS-MIMO 기술의 성능 분석

오민규, 이영석, 정방철

충남대학교

minkyuoh@o.cnu.ac.kr, yslee@o.cnu.ac.kr, bcjung@cnu.ac.kr

Performance Evaluation of Uniform Planar Array-Based LOS-MIMO Technique for 6G Wireless Communication Systems

Minkyu Oh, Young-Seok Lee, Bang Chul Jung

Chungnam National University

요약

본 논문에서는 송수신 가시선 다중안테나(line-of-sight multiple-input multiple-output: LOS-MIMO) 통신시스템에서 다수의 균일 원형 부배열 안테나(uniform circular subarray: UCSA)를 포함하는 균일 평면 배열안테나(uniform planar arrays: UPA) 송신기가 최대 채널 용량을 달성하도록 하나의 UCSA를 선택하는 기법을 조사하고 모의실험을 통해 해당 기법이 전반적인 전송 거리에 대해 최대 채널 용량에 근접함을 검증하였다.

I. 서론

밀리미터파 및 테라헤르츠 대역용 송수신 가시선 다중안테나(line-of-sight multiple-input multiple-output: LOS-MIMO) 통신 시스템에서 주어진 전송 거리에 대해 다양한 배열안테나를 고려하여 채널 용량을 극대화하도록 안테나 기하 구조를 최적화하는 연구가 최근 활발히 진행되고 있다 [1-2]. 본 논문에서는 [2]에서 제안된 다수의 균일 원형 부배열 안테나(uniform circular subarray: UCSA)를 포함하는 균일 평면 배열안테나(uniform planar array antennas: UPA) 송신기가 주어진 전송 거리에서 최대 채널 용량을 달성하도록 하나의 UCSA를 선택하는 기법의 채널 용량을 모의실험을 통해 평가한다.

II. LOS-MIMO 통신시스템용 UPA 기반 채널 용량 달성 기법

본 논문에서는 N 개의 원소를 갖는 UPA 송신기와 4개의 수신 안테나를 가지면서 직경이 d_r 로 고정된 UCA 수신기를 고려한다. 이때, 송신 UPA는 [2]와 같이 4개의 안테나로 구성된 $N/4$ 개의 중복되지 않은 UCSA를 포함하도록 설계하고 하나의 UCSA를 선택하여 통신한다고 가정한다.

전송 거리 D 에서 $i \in \{1, \dots, N/4\}$ 번째 UCSA를 선택할 때 무선 채널 용량은 다음과 같다:

$$C_i = \log_2 \left[\det \left(\mathbf{I}_4 + \frac{\gamma}{4} \mathbf{H}_i \mathbf{H}_i^H \right) \right],$$

여기서 γ 는 송신 신호 대 잡음 비(signal to noise ratio: SNR)를 의미하며 $\mathbf{H}_i \in \mathbb{C}^{4 \times 4}$ 는 i 번째 UCSA와 수신 UCA 사이의 무선 채널 행렬을 의미한다. \mathbf{H}_i 의 각 원소인 $m \in \{1, 2, 3, 4\}$ 번째 수신 안테나와 i 번째 UCSA의 $n \in \{1, 2, 3, 4\}$ 번째 송신 안테나 사이의 무선 채널(h_{nm}^i)은 다음과 같이 정의된다:

$$h_{nm}^i = \frac{\lambda}{d_{nm}^i} e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} d_{nm}^i},$$

이때, λ 는 파장을 의미하고 d_{nm}^i 은 i 번째 UCSA의 n 번째 안테나에서 m 번째 수신 안테나까지의 기하학적 거리를 의미하며 다음과 같이 정의된다 [1]:

$$d_{nm}^i = D \sqrt{1 + \frac{d_r^2 + (d_r^i)^2 - 2d_r^i d_r \cos(\theta_i + (m-1)\frac{\pi}{2} - (n-1)\frac{\pi}{2})}{4D^2}},$$

여기서 d_r^i 와 θ_i 는 각각 i 번째 UCSA의 직경과 수신 UCA에 상대적인 회전 각도를 의미한다. 따라서, 주어진 D 에 대해 송신 UCSA 인덱스 j 는 최대 채널 용량 달성을 위해 다음과 같이 선택한다:

$$j = \arg \min_{i \in \{1, \dots, N/4\}} |C_i - C_{UB}|^2,$$

이때 C_{UB} 는 최대 채널 용량의 상한을 의미하며 다음과 같이 정의된다 [1]:

$$C_{UB} = 4 \log_2 \left(1 + \gamma \left(\frac{\lambda}{D} \right)^2 \right).$$

III. 모의실험 결과 및 결론

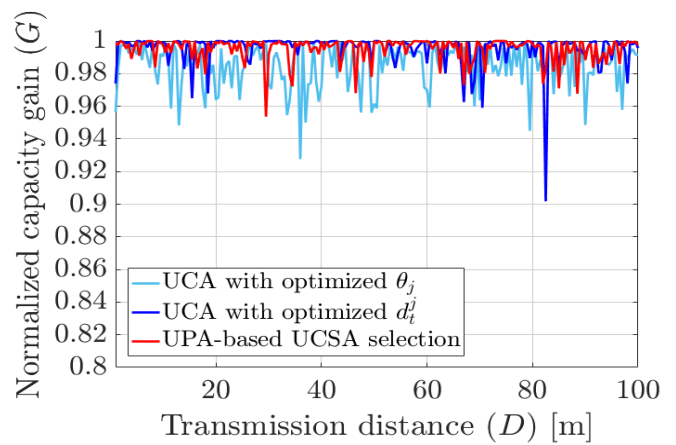


그림 1. LOS-MIMO 환경에서 UPA 기반 UCSA 선택 기법의 채널 용량 성능.

그림 1은 다수의 UCSA를 포함하는 송신 UPA 구조에서 최대 채널 용량을 달성하도록 하나의 UCSA를 선택할 때의 채널 용량을 전송 거리에 따라 도시한 결과를 나타낸다. 본 논문에서는 LOS-MIMO 채널 용량의 정밀한 비교를 위해 C_{UB} 로 정규화된 채널 용량($G = C_j/C_{UB}$)을 도시하였으며, 모의실험은 파장 $\lambda = 0.0048$ m, 송신 SNR은 $\gamma = 30$ dB로 가정하였다. 또한, 수신 UCA의 직경(d_r)은 22.6274 m로 고정하였고 송신 UPA의 전체 64개 안테나 수(N)를 가지며 각 안테나 사이 간격은 2m로 설정하여 UPA의 대각선 길이가 d_r 과 동일하도록 설정하였다. 결론적으로, UPA 기반의 채널 용량 달성을 위한 UCSA 선택 기법은 각 UCSA의 직경과 상대적 회전각을 함께 고려하여 선택하게 되므로 동일한 환경에서 송신 UCA 안테나의 직경과 상대적 회전각을 각각 조절하는 방법보다 전반적인 전송 거리에 대해 더 강인한 채널 용량 성능을 갖는 것을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (2021-0-00486, ABC-MIMO: 중강 빔 라우팅 기반 차세대 다중 입출력 통신 시스템). 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No.NRF-2021R1A4A1032580).

참고 문헌

- [1] 오민규, 이영석, 손웅, 정방철 "6G 이동통신용 UCA-LoS-MIMO 시스템의 성능 최적화," *통신정보 합동 학술대회 (JCCI)*, Apr. 2022.
- [2] H. Cho, C. Park, and N. Lee, "Capacity-achieving precoding with low-complexity for terahertz LOS massive MIMO using uniform planar arrays," in *Proc. IEEE ICTC*, pp. 535-539, Oct. 2020.