

6G 이동통신용 UCA-LoS-MIMO 시스템의 성능 최적화

오민규*, 이영석, 손웅, 정방철
충남대학교 전자공학과

dmb02048@o.cnu.ac.kr, yslee@o.cnu.ac.kr, woongson@cnu.ac.kr, bcjung@cnu.ac.kr

1. 서론

6세대 이동통신에서는 무선 통신 트래픽 수요가 폭증할 것으로 예상되며, 주파수 자원의 고갈이 가속됨에 따라 대용량 전송을 위해 밀리미터파 및 테라헤르츠 대역에서 OAM 전송 기법을 포함한 신개념 LoS-MIMO 전송 기술이 활발히 연구되고 있다 [1]. 최근에는 채널 용량을 극대화하기 위한 Newton-iterative algorithm [2] 및 Exhaustive search algorithm [3] 기반의 균일 원형 배열 (uniform circular array, UCA) 구조의 직경 최적화 기술이 제안되었다. 본 논문에서는 통신 거리에 따라 송/수신 안테나의 직경을 조절하지 않고, 상대 회전 각도만을 최적화하여 채널 용량을 극대화할 수 있는 기법을 제안하고 모의 실험을 통해 성능을 검증하였다.

2. UCA-LoS-MIMO 시스템 성능 최적화

N 개의 송신 안테나 성분과 직경 d_t [m]의 송신 UCA 구조와 M 개의 수신 안테나 성분과 직경 d_r [m]의 수신 UCA 구조로 이루어진 송/수신기가 쌍으로 존재하며, θ [deg.]의 상대 회전 각도를 갖는 UCA-LoS-MIMO 통신 시스템을 고려한다. UCA 구조의 중심간 통신 거리는 D [m]으로 가정한다. 송신기가 수신기로 $\mathbb{E}[\|s\|^2] = P$ 의 전력제한을 만족하는 메시지 $s \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ 를 전송할 때, 수신기에서의 수신 신호 벡터 $r \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 는 다음과 같다.

$$r = \mathbf{H}s + w,$$

여기서 열 잡음 벡터 $w \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 는 $CN(0, N_0 \mathbf{I}_M)$ 분포를 따르고, λ [m]는 파장이다. 송/수신 UCA 구조간 무선 채널 행렬 $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{M \times N}$ 은 다음과 같다.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1N} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M1} & h_{M2} & \cdots & h_{MN} \end{bmatrix},$$

여기서 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ 번째 송신 안테나 성분부터 $m \in \{1, 2, \dots, M\}$ 번째 수신 안테나 성분까지의 무선 채널 h_{mn} 은 무선 채널 행렬 \mathbf{H} 의 한 성분으로 다음과 같다.

$$h_{mn} = e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d_{mn}},$$

여기서 각 UCA구조의 안테나 성분 간 통신 거리는 $d_{mn} = D \left(1 + \frac{d_t^2 + d_r^2 - 2d_t d_r \cos(\phi_{mn})}{4D^2}\right)^{1/2}$ [m] 이고, 도래각은 $\phi_{mn} = \theta + \left((m-1)\frac{2\pi}{M} - (n-1)\frac{2\pi}{N}\right)$ [deg.]이다.

위 시스템에서 채널 용량은 C 이고, 통신 거리와 송/수신 UCA의 안테나 성분 수가 주어진 경우의 상한 값 C_{UB} 및 하한 값 C_{LB} 은 다음과 같다.

$$C = \log_2 \left[\det \left(\mathbf{I}_M + \frac{\gamma G_t G_r}{M 4\pi} \left(\frac{\lambda}{d_{mn}}\right)^2 \mathbf{H}\mathbf{H}^H \right) \right],$$

$$C_{UB} = \min(N, M) \log_2 \left(1 + \frac{\max(N, M)}{N} \gamma \left(\frac{\lambda}{D}\right)^2 \right),$$

$$C_{LB} = \log_2 \left(1 + \min(N, M) \gamma \left(\frac{\lambda}{D}\right)^2 \right),$$

여기서 평균 신호 대 잡음 비(signal to noise ratio)는 $\gamma = P/N_0$ 이다.

3. 모의실험 결과 및 결론

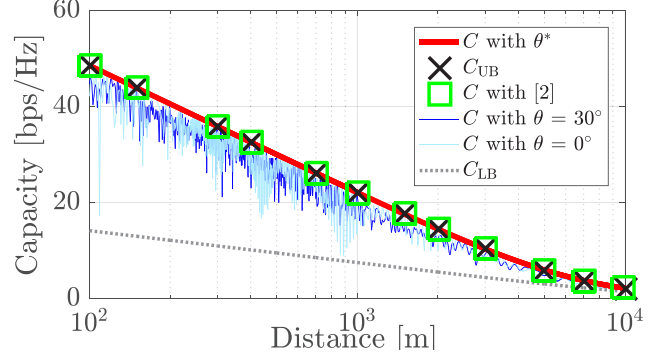


그림 1. 전송 거리에 따른 채널 용량

중심주파수 $f_c = 75$ [GHz] 대역에서 송신 전력 $P = -50$ [dBm/Hz], 잡음 전력 $N_0 = -174.5$ [dBm/Hz], $N = M = 4$ 인 경우에 통신 거리에 따른 채널 용량을 분석하였다. 송/수신 안테나 직경을 조절하는 기존 Newton-iterative method 기반 송/수신기 최적화 설계 기법 [2]을 적용하면 모든 통신거리에서 C_{UB} 에 거의 도달한다. 한편, $d_t = d_r = 4$ [m], $\theta \in \{0^\circ, 30^\circ\}$ 인 경우에는 특정 통신 거리에서만 C_{UB} 에 거의 도달한다. 그러나, $d_t = d_r = 4$ [m]인 경우에는 채널 용량을 극대화하기 위한 최적 θ^* 을 적용하면 모든 통신 거리에서 C_{UB} 에 거의 도달한다. 결론적으로, 본 논문에서 제안한 기법은 통신 거리에 따라 송/수신 안테나의 직경을 조절하지 않고, 기존 기법 [2]과 거의 동일한 채널 용량에 도달할 수 있음을 확인하였다.

4. ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(2021-0-00486, ABC-MIMO: 증강 빔 라우팅 기반 차세대 다중 입출력 통신 시스템).

5. 참고 문헌

- [1] A. Sawant, I. Lee, B. C. Jung, and E. Choi, "Ultimate capacity analysis of orbital angular momentum channels," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 28, No. 1, pp. 90-96, Feb. 2021.
- [2] L. Zhu and J. Zhu, "Optimal design of uniform circular antenna array in mmWave LOS MIMO channel," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 61022-61029, 2018.
- [3] 오민규, 손웅, 정방철, "균일 원형 배열안테나 기반 LOS-MIMO 통신시스템의 성능 분석," *한국통신학회/ 동계종합학술발표회*, Feb. 2022.