

Performance analysis of LOS-MIMO Communication System with Uniform Circular Antenna Arrays

Min Kyu Oh, Woong Son, Bang Chul Jung

Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National University

요약

본 논문에서는 균일 원형 배열 (uniform circular array, UCA) 기반 다중 안테나를 탑재한 송/수신기로 이루어진 line-of-sight (LoS) multi-input and multi-output (MIMO) 통신 시스템의 채널 용량 (channel capacity)을 분석하였다. 수신기 UCA 안테나 구조의 직경이 주어질 경우에는 특정 전송 거리에서만 최대 채널 용량에 거의 근접한다. 반면, 주어진 전송 거리에 따라 수신기 UCA 안테나 구조의 직경을 조절한다면 최대 채널 용량에 거의 도달하는 것을 확인하였다.

I. 서론

5세대 이동 통신의 상용에 따라 폭발적으로 증가하는 데이터 트래픽의 수요가 지속적으로 증가할 것으로 전망되고 있으며, 이에 따라 전송 속도 향상, 용량 개선 등의 필요성이 높아지고 있다. 또한, 고갈된 무선자원으로 인하여 기존 통신 시스템에서 이용하던 통신 주파수 대역보다 높은 millimeter-wave 및 terahertz 대역을 활용하기 위한 다중 안테나 기반 대용량 전송 기술이 활발하게 연구되고 있다. 특히, 최근에는 LOS-MIMO 통신환경에서 채널 용량을 증가시키기 위해 궤도 각 운동량 (orbital angular momentum, OAM) 다중화 기술과 균일 원형 배열 (uniform circular arrays, UCA)구조의 다중 안테나를 이용한 통신 기술들이 주목 받고 있다 [2,3]. 본 논문에서는 전송 거리에 따라 수신기 UCA 안테나의 직경을 조절하여 데이터 전송율을 최적화할 수 있다는 것을 보인다.

II. UCA기반 LOS-MIMO 시스템의 전송률 분석

$N$ 개의 안테나를 탑재한 송신기와  $M$ 개의 안테나를 탑재한 수신기가 존재하는 LOS-MIMO 통신 시스템을 고려한다. 송신기와 수신기의 모든 안테나는  $x-z$  평면 내에서 UCA 구조를 이루며 배치되며,  $D$ 는 송신기로부터 수신기까지의 전송 거리로 가정한다. 송신기가 수신기로  $\mathbb{E}[\|\mathbf{s}\|^2] = P$ 의 전력 제한을 만족하는 메시지  $\mathbf{s}$ 를 전송할 때, 수신기에서의 수신 신호는 다음과 같다.

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

이때,  $\mathbf{w}$ 는 수신기에서의 열잡음 벡터로 각 성분은  $CN(0, N_0)$  분포를 따른다.  $\lambda$ 는 파장,  $d_{nm}$ 은 송신기의  $n \in \{1, 2, \dots, N\}$  번째 안테나에서 수신기의  $m \in \{1, 2, \dots, M\}$  번째 안테나까지의 거리이다. 송신기로부터 수신기까지의 무선 채널 행렬은  $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{M \times N}$ 이며, 다음과 같다.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1N} \\ h_{12} & h_{22} & \dots & h_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{1M} & h_{2M} & \dots & h_{NM} \end{bmatrix},$$

이때,  $h_{nm}$ 은 송신기의  $n$ 번째 안테나에서 수신기의  $m$ 번째 안테나까지의 무선 채널이고, 거리  $d_{nm}$ 와 도래각  $\phi_{nm}$ 으로 다음과 같이 결정된다.

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

$$d_{nm} = D \sqrt{1 + \frac{d_r^2 + d_t^2 - d_t d_r \cos(\phi_{nm})}{4D^2}},$$

$$\phi_{nm} = (\theta_r - \theta_t) + \left[ (m-1) \frac{2\pi}{M} - (n-1) \frac{2\pi}{N} \right].$$

이때, 송신기 및 수신기 UCA 안테나 구조의 직경은 각각  $d_t$ 와  $d_r$ 이다.

위 시스템 모델의 채널 용량과 달성할 수 있는 최대 채널 용량은 다음과 같다.

$$C = \log_2 \left[ \det \left( \mathbf{I}_M + \frac{P}{NN_0} \mathbf{H}\mathbf{H}^H \right) \right],$$

$$C_{\max} = M \log_2(1 + \gamma).$$

이때, 수신기에서의 유효 수신대잡음비(signal to noise ratio)는  $\gamma = P/N_0$ 이다.

III. 모의실험 결과 및 결론

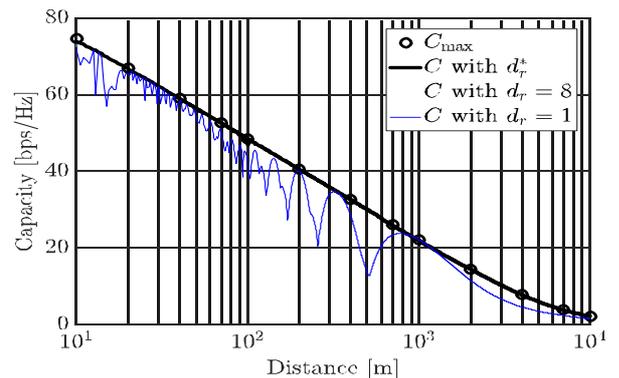


그림 1. 전송 거리에 따른 채널 용량

앞에서 고려한 시스템 모델에서 중심 주파수  $f_c = 75$  [GHz]에 대응하는 파장  $\lambda = 0.004$  [m], 송신 전력  $P = -50$  [dBm/Hz], 잡음 전력  $N_0 = -174.5$  [dBm/Hz], 송신기 UCA 안테나 구조의 직경  $d_t = 4$  [m], 송신 안테나 수  $N = 4$ , 수신 안테나 수  $M = 4$ 일 경우, 전송 거리  $D$ 에 따른 채널 용량을 분석하였다.

파장  $\lambda$ 와 송신기 UCA 안테나 구조의 직경  $d_t$ 가 주어질 때, 송신기로부터 수신기까지의 전송 거리  $D$ 가 증가할수록 최대 채널 용량  $C_{\max}$ 이 감소한다. 전송 거리  $D$ 가 주어진 경우에  $d_r^*$ 는 0.1 [m]부터 10 [m]까지 조정하여 채널 용량을 극대화하는 수신기 UCA 안테나 구조의 직경이며, 이때 채널 용량  $C$ 는 최대 채널 용량  $C_{\max}$ 에 거의 근접한다. 반면, 수신기 UCA 안테나 구조의 직경  $d_r$ 은 특정 전송 거리  $D$ 일때만 최대 채널 용량  $C_{\max}$ 에 거의 근접한다.

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).

참고 문헌

[1] A. Sawant, I. Lee, B. C. Jung, and E. Choi, "Ultimate capacity analysis of orbital angular momentum channels," *IEEE Wireless Commun.*, Vol. 28, No. 1, pp. 90-96, Feb. 2021.

[2] P. Wang, Y. Li and B. Vucetic, "Millimeter wave communications with symmetric uniform circular antenna arrays," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 18, no. 8, pp. 1307-1310, Aug. 2014.

[3] 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.