

# Intelligent-Omni-Surface (IOS) 기반 다중 사용자 Sum-Rate 연구

강보성<sup>1</sup>, 윤신웅<sup>2</sup>, 이제민<sup>1</sup>

<sup>1</sup>성균관대학교 전자전기공학부, <sup>2</sup>대구경북과학기술원 전기전자컴퓨터공학과

bohang98@g.skku.edu, lion4656@dgist.ac.kr, jemin.lee@skku.edu

## A Study on Multi-User Sum-Rate in IOS-enabled Networks

Bosung Kang<sup>1</sup>, Sinwoong Yun<sup>2</sup>, Jemin Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronic and Electrical Engineering, Sungkyunkwan University.,

<sup>2</sup>Department of Electrical Engineering and Computer Science, DGIST

### 요약

본 논문에서는 Intelligent-Omni-Surface (IOS) 지원 통신 환경에서 간섭을 고려한 다수 이용자의 sum rate 을 공식화한다. 또한 시뮬레이션을 통해 sum rate 이 최대가 되는 IOS 반사 및 투과 amplitude coefficient 를 확인하고 IOS 의 요소 개수가 증가함에 따른 영향을 확인한다.

### I. 서론

Reconfigurable-Intelligent-Surface (RIS)는 신호의 경로를 반사해 사각지대를 줄이고 통신 영역을 증가시키는 기술이다. 이는 이용자 수와 그에 따른 자원 사용량이 증가하는 차세대 네트워크에서 통신 음영 지역 문제를 해소하는 유망한 기술이다[1]. 이에 더불어, 최근에는 실내까지 네트워크 영역을 확보하기 위해 투과와 반사를 동시에 가능케 하는 Intelligent-Omni-Surface (IOS) 기술이 등장하였다. 이를 이용해, IOS 가 배치된 네트워크에서 높은 achievable rate 을 획득하기 위해 통신 네트워크 관점에서의 분석이 활발하게 이루어지고 있다[2]. 그러나 현재까지 IOS 연구에서는 간섭이 존재하지 않는 단순한 상황만을 고려하고 있다. 따라서 본 논문에서는 간섭을 고려한 IOS 상황에서 다수 이용자들의 sum rate 을 공식화하고 시뮬레이션을 통해 sum rate 을 최대화하는 반사 및 투과 amplitude coefficient 를 연구한다.

### II. IOS 네트워크에서 Sum rate 공식화 & 시뮬레이션

본 논문에서는 반사 및 투과 amplitude coefficient 비율을 임의로 조절하는 것이 가능한[3] IOS 가 존재하는 환경을 가정한다. IOS 는  $N$ 개의 요소로 구성되어 있으며, 기지국 및 간섭 기지국들과 이용자 간 직접 링크는 장애물에 의해 막혀 있어 IOS 를 거쳐 정보를 전송받겠다고 가정한다.

기지국에게 정보를 전송받는 환경에서, 그림 1 에서와 같이 IOS 를 기준으로 반사구역과 투과구역 각각 한 명의 이용자가 존재한다. 이 때 각 이용자는 가장 가까운 기지국과 연결되고 이외 기지국으로부터 간섭 신호가 들어온다고 가정한다. IOS 를 통해 반사와 투과된 신호를 받는 이용자의 채널은 다음과 같다.

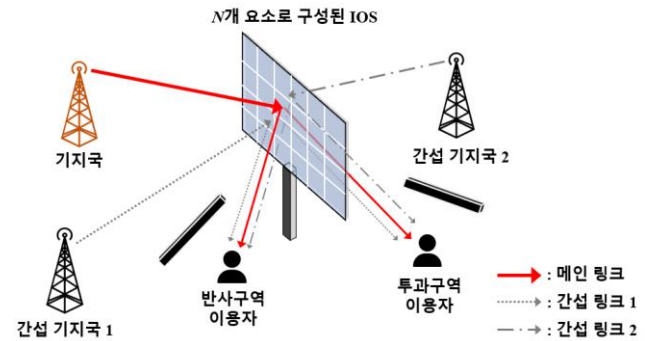


그림 1. 간섭이 작용하는 IOS 기반 네트워크 모델

$$h_r = |\mathbf{H}_{BI}\mathbf{\Theta}_r\mathbf{H}_{IU}^T|, \quad (1)$$

$$h_t = |\mathbf{H}_{BI}\mathbf{\Theta}_t\mathbf{H}_{IU}^T|. \quad (2)$$

여기서  $h_i, i \in \{r, t\}$  는 각각 반사 ( $i = r$ ) 및 투과 ( $i = t$ ) 지역에 있는 이용자의 채널,  $\mathbf{H}_{BI}$  는 기지국으로부터 IOS 까지의 채널,  $\mathbf{H}_{IU}, i \in \{r, t\}$  는 IOS 로부터 이용자까지의 채널이다.  $\mathbf{\Theta}_i, i \in \{r, t\}$  는 IOS 의 diagonal matrix 로써, 다음과 같이 구성된다.

$$\mathbf{\Theta}_i = \text{diag} [\sqrt{\beta_i}e^{j\phi_i^1}, \dots, \sqrt{\beta_i}e^{j\phi_i^N}], i \in \{r, t\}. \quad (3)$$

이 때,  $\phi_n^i, i \in \{r, t\}, n \in \{1, \dots, N\}$  는  $n$ 번째 요소의 phase shift 를 나타낸다.  $\beta_i, i \in \{r, t\}$  는 반사와 투과의 amplitude coefficient 이며, 에너지 보존법칙에 의해  $\beta_r + \beta_t = 1$  를 만족한다.

그림 1 과 같이 간섭이 고려된 환경에서, Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio (SINR) 은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \text{SINR}_i &= \frac{P|h_i|^2\beta_i d_{BI}^{-\alpha} d_{IU}^{-\alpha}}{P|h_i'|^2\beta_i d_{BI,1}^{-\alpha} d_{IU}^{-\alpha} + P|h_j''|^2\beta_j d_{BI,2}^{-\alpha} d_{IU}^{-\alpha} + \sigma^2}, \quad (4) \\ (i, j) &\in \{(r, t), (t, r)\} \end{aligned}$$

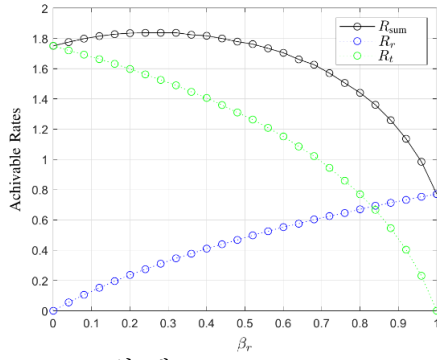


그림 2.  $N = 50$ 일 때 achievable rates & sum rate

이 때  $P$ 는 송신 전력,  $h_i, h_j'$ 는 각각 첫번째 간섭 기지국과 이용자 사이 채널, 두번째 간섭 기지국과 이용자 사이 채널이다. 또한  $d_{BI}, d_{Inl}, d_{IUR}, d_{IUT}$ 는 각각 기지국과 IOS 사이 거리, 간섭 기지국과 IOS 사이 거리, IOS와 반사구역 이용자 사이 거리, IOS와 투과구역 이용자 사이 거리이며  $\sigma^2$ 은 잡음 파워이다. 기지국으로부터 IOS, IOS로부터 이용자까지의 무선 채널은 independent and identically distributed (i.i.d.) Nakagami- $m$  fading channel을 따른다 가정한다. 이때 IOS의 요소가 충분히 많을 경우 채널  $|h_i|, i \in \{r, t\}$ 을 Gamma distribution  $\Gamma(k, \theta)$ 로 fitting하는 것이 가능하다[4]. 여기서 shape parameter  $k$ 와 scale parameter  $\theta$ 는 아래식을 따른다.

$$k = \frac{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)^2}{4\left(m\Gamma(m)^2 - \Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)^2\right)}N \quad (5)$$

$$\theta = 4\Omega N - \frac{4\Omega}{m}\left(\frac{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)}{\Gamma(m)}\right)^2 N$$

여기서  $m, \Omega$ 는 Nakagami- $m$  distribution의 shape parameter, spread parameter이다.

식 (4), (5)를 통해 얻어진 SINR을 토대로 얻어진 achievable rate 및 sum rate은 다음과 같다.

$$R_i = B \log_2(1 + \text{SINR}_i), i \in \{r, t\}, \quad (6)$$

$$R_{\text{sum}} = R_r + R_t. \quad (7)$$

여기서  $B$ 는 주파수 대역폭,  $R_i \in \{r, t\}$ 는 각각 반사구역 이용자 ( $i = r$ )와 투과구역 이용자 ( $i = t$ )의 achievable rate이다. 최종 sum rate  $R_{\text{sum}}$ 은 식 (7)과 같이 두 이용자의 achievable rate의 합으로 표현된다.

최종 수식을 바탕으로 IOS 요소 개수  $N$ 의 변화에 따른 시뮬레이션을 진행하였다.  $P = 33$  dBm,  $\alpha = 3.5$ ,  $\sigma^2 = -170$  dBm/Hz,  $B = 10$  MHz로 설정하였고  $d_{BI} = 100$  m,  $d_{IUR} = 80$  m,  $d_{IUT} = 50$  m,  $d_{Inl,1} = 200$  m,  $d_{Inl,2} = 400$  m로 두었다.

그림 2를 통해 IOS의 요소 개수가 50개일 때 반사 amplitude coefficient  $\beta_r$ 에 따른 achievable rate 및 sum rate을 관찰하였다.  $\beta_r$ 이 증가함에 따라 반사구역 이용자의 achievable rate  $R_r$ 은 증가하는 반면에 투과구역 이용자의 achievable rate  $R_t$ 는 감소함을 보였다. 그림 3에서는 IOS 요소 개수에 따른 sum rate을 관찰하였다. 그림을 통해, 요소 개수가 증가함에 따라 sum rate이 증가함을 확인하였다. 또한 요소 개수가 증가할수록 sum rate을 최대화 하는 최적의 반사 amplitude coefficient가 점차 증가하였다.

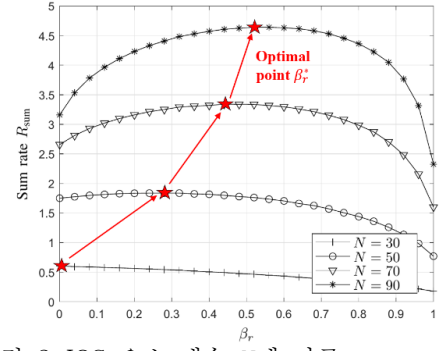


그림 3. IOS 요소 개수  $N$ 에 따른 sum rate

이를 통해 IOS의 요소 개수가 늘어남에 따라서 채널 안정성이 증가하고 이로 인해 amplitude coefficient에 따른 영향이 줄어들음을 확인할 수 있었다.

### III. 결론

본 논문에서는 간섭이 작용하는 IOS 기반 통신환경에서 다수의 이용자가 존재할 때의 sum rate을 공식화하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 IOS의 요소 개수가 증가함에 따라 sum rate이 증가하고, 최적의 반사 및 투과 amplitude coefficient가 중간 지점으로 수렴함을 확인하였다. 차후 연구에서는, 보다 실제 상황과 유사하게 이용자 수 및 간섭 기지국이 더 많은 복잡한 상황에서 간섭을 줄이기 위한 precoding 기법 등을 고안할 것이다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2020R1A2C2008878).

### 참고 문헌

- [1] H. Zhang, B. Di, L. Song, and Z. Han, "Reconfigurable intelligent surface-empowered 6G," *Springer*, 2021.
- [2] Y. Liu, X. Mu, R. Schober, and H. V. Poor, "Simultaneously transmitting and reflecting (STAR)-RISs: A coupled phase-shift model," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, IEEE, 2022, pp. 2840–2845.
- [3] S. Zeng, H. Zhang, B. Di, Y. Tan, Z. Han, H. V. Poor, and L. Song, "Reconfigurable intelligent surfaces in 6G: Reflective, transmissive, or both?," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 25, no. 6, pp. 2063–2067, 2021.
- [4] B. Zhao, C. Zhang, W. Yi, and Y. Liu, "Ergodic rate analysis of STAR-RIS aided NOMA systems," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 26, no. 10, pp. 2297–2301, 2022.