

# 다중 사용자 Massive MIMO 시스템에서 RIS의 임피던스 네트워크 그룹화 기법에 대한 연구

<sup>1,2</sup>김민아, <sup>1,2</sup>유승근, <sup>3</sup>김형도, <sup>3</sup>신경호, <sup>1,2</sup>송형규\*

<sup>1</sup>세종대학교 정보통신공학과, <sup>2</sup>세종대학교 지능형드론융합전공, <sup>3</sup>세종대학교 전자정보통신공학과

happy990927@naver.com, dbtmdrms96@naver.com, gudeh8330@naver.com,  
shinkh1000@naver.com, \*songhk@sejong.ac.kr

## A Study on the Grouping Scheme of RIS Impedance network in Multi-User Massive MIMO systems

<sup>1,2</sup>Min-A Kim, <sup>1,2</sup>Seung-Geun Yoo, <sup>3</sup>Hyoung-Do Kim,

<sup>3</sup>Kyeung-Ho Shin and <sup>1,2</sup>Hyoung-Kyu Song\*

<sup>1</sup>Information and Communication Engineering, <sup>2</sup>Convergence Engineering for Intelligent  
Drone and <sup>3</sup>Department of Electronic Information and Communication Engineering,  
Sejong University, Seoul, 209 Neungdong-ro, 05006, Korea

### 요 약

본 논문은 다중 사용자 massive MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 무선 통신 시스템에서 RIS(Reconfigurable Intelligent Surface) 각 소자의 임피던스 네트워크 그룹화 기법을 제안한다. RIS 각 소자의 재구성 가능한 임피던스 네트워크가 서로 연결된 구조는 송수신기 간 유연한 전파 조절이 가능하여 더 높은 성능을 갖는다. 인접한 소자 간 임피던스 네트워크 연결은 성능 향상에 있어 한계가 존재하며 이에 본 연구에서는 더 높은 sum-rate 성능을 보장하는 임피던스 네트워크 그룹화 기법을 제안한다. 사용자 간 간섭 성분을 제거하기 위해 송신단에서 디지털 프리코더로 ZF(Zero-Forcing) 기법을 채택하고, RIS 각 열 별로 더 높은 채널의 코사인 유사도를 갖는 소자와 연결하는 기법을 적용함으로써 향상된 sum-rate 성능을 얻을 수 있음이 시뮬레이션 결과를 통해 확인되었다.

### I. 서 론

5G (fifth-generation)에는 향상된 모바일 광대역, 고신뢰 및 저지연 통신, 대규모 기계 유형 통신의 모든 요구 사항을 지원할 수 있는 단일 활성화 기술이 없어 최근 연구들은 B5G (Beyond the fifth-generation) 및 6 세대 무선 통신 시스템으로 넘어가고 있다 [1]. RIS(Reconfigurable Intelligent Surface)는 기지국과 사용자 간 무선 전파를 지능적으로 조절함으로써 적은 비용과 높은 에너지 효율 및 스펙트럼 효율로 B5G, 6G 무선 통신 시스템의 유망한 기술 중 하나이다 [2].

기존 RIS 는 각 소자의 임피던스들이 접지되어 있는 구조가 가정되어 왔다 [3]. 최근 각 소자의 재구성 가능한 임피던스 네트워크가 서로 연결된 일반적인 구조가 제안되었다. 해당 구조는 기존 RIS 보다 무선 전파의 조절이 유연하여 향상된 성능을 갖는다.

[3]에서 제안된 인접한 소자들의 임피던스 네트워크가 연결된 구조는 sum-rate 성능의 한계가 존재한다. 이에 본 논문에서는 다중 사용자 massive MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 시스템에서 더 높은 sum-rate 성능을 보장하는 임피던스 네트워크 그룹화 기법을 제안한다.

### II. 본론

#### A. 시스템 모델

본 논문에서는 [그림 1]과 같이  $N_t$  개 안테나를 갖고 있는 송신기, 각  $N_r$  개 안테나를 갖고 있는  $N_k$  개 수신기 및  $N_i$  개 반사 소자를 갖고 있는 RIS 가 있는 다중 사용자 MIMO 시스템을 가정한다.

송수신기 간 다이렉트 채널은 장애물에 의해 막혀 있다고 가정하며, 송신기와 RIS 간 채널과 RIS 와 수신기 간 채널을 각각  $\mathbf{H}_{TI} = [\mathbf{h}_{I1}, \mathbf{h}_{I2}, \dots, \mathbf{h}_{IN_I}] \in \mathbb{C}^{N_i \times N_t}$ ,

$\mathbf{H}_{IR} = [\mathbf{h}_{I1}, \mathbf{h}_{I2}, \dots, \mathbf{h}_{IN_k}]^T \in \mathbb{C}^{N_r \times N_k \times N_i}$  로 나타낸다.

여기서  $\mathbf{h}_{II} \in \mathbb{C}^{N_i \times 1} (t=1, 2, \dots, N_t)$  이고,

$\mathbf{h}_{Ik} \in \mathbb{C}^{N_r \times N_r} (k=1, 2, \dots, N_k)$  이다. 사용자 간

간섭성분을 제거하기 위해서 송신단에서 디지털 프리코더  $\mathbf{P} = [\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_{N_k}] \in \mathbb{C}^{N_t \times N_k}$  에 ZF(Zero-Forcing) 기법을 적용한다. 여기서

$\mathbf{p}_k \in \mathbb{C}^{N_t \times 1} (k=1, 2, \dots, N_k)$  이다. 따라서 송신 심볼이

$\mathbf{s} = [s_1, s_2, \dots, s_{N_k}] \in \mathbb{C}^{N_k \times 1}$  일 때, 수신기에서 수신된 신호는 다음과 같이 나타낸다.

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}_{IR} \Theta \mathbf{H}_{TI} \mathbf{P} \mathbf{s} + \mathbf{n} \quad (1)$$

$\mathbf{n} \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \sigma_n^2 \mathbf{I})$  은 additive white gaussian noise (AWGN)이다.

산란 행렬  $\Theta \in \mathbb{C}^{N_I \times N_I}$  은 네트워크 이론에 의해 다음과 같이 표현할 수 있다 [6].

$$\Theta = (\mathbf{Z}_I + \mathbf{Z}_0 \mathbf{I})^{-1} (\mathbf{Z}_I - \mathbf{Z}_0 \mathbf{I}) \quad (2)$$

여기서  $\mathbf{Z}_I \in \mathbb{C}^{N_I \times N_I}$  는 재구성 가능한 임피던스 네트워크 행렬이며 본 연구에서 순수 반응적이라고 가정하며 따라서  $\mathbf{Z}_I = j\mathbf{X}_I$  로 표현할 수 있다. 각 소자들의 임피던스 네트워크는 서로 연결되어 있을 때, 블록 대각 행렬을 이룬다.

#### B. 제안 기법

인접한 소자의 임피던스 네트워크를 연결한다면 sum-rate 향상의 한계가 존재한다. 더 높은 sum-rate 성능을 얻기 위해 제안되는 가능한 모든 조합에서 RIS 각 열 별로 가장 높은 채널 코사인 유사도를 갖는 소자들끼리 연결한다. 채널 코사인 유사도는 다음과 같이 나타낸다.

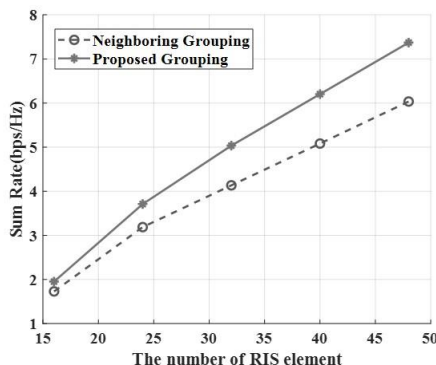
$$\rho = \mathbf{w}_{IR} \mathbf{w}_{TI} \quad (3)$$

여기서  $\mathbf{w}_{IR} = [\|\mathbf{u}_{IR,1}\|, \|\mathbf{u}_{IR,2}\|, \dots, \|\mathbf{u}_{IR,N_G}\|]$ ,

$\mathbf{w}_{TI} = [\|\mathbf{u}_{TI,1}\|, \|\mathbf{u}_{TI,2}\|, \dots, \|\mathbf{u}_{TI,N_G}\|]^T$  는 그룹에 해당하는 채널의 dominant left singular vector 크기들의 행렬이다.

#### C. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문의 시뮬레이션에서는 송신기 안테나 수 8 개, 단일 안테나를 갖는 3 개의 수신기가 존재하는 통신 시스템을 가정한다. 송신 전력은 10dBm, 잡음 전력은 -80dBm 을 사용한다. 또한 채널 모델은 LOS 파가 존재하는 Rician fading 채널 모델을 사용하였으며, 채널은 3D(3-dimentional) 채널을 가정한다. 송신기의 위치는 (0,0,25), RIS 의 위치는 (50,5,5), 수신기는 RIS 주위로 랜덤하게 5 씩 떨어진 곳에서 높이 1.5 를 갖는다. 또한 채널은 총 100 번의 채널 형성하여 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 결과 RIS 반사 소자 개수가 증가함에 따라 인접 소자 간 그룹화, 제안된 그룹화 기법 모두 sum-rate 성능이 증가하는 것을 보여주며 **Algorithm 1** 을 적용한 제안된 그룹화 기법이 인접 소자 간 그룹화 기법보다 더 향상된 성능을 보여준다.



[그림 2] RIS 반사 소자 개수에 따른 Sum-rate

### III. 결론

본 연구에서는 다중 사용자 massive MIMO 시스템에서 RIS 의 각 소자 간 임피던스 네트워크 그룹화 기법을 제안하고 있다. 제안되는 기법은 인접한 소자간 그룹화를 할 때 발생하는 제한된 sum-rate 성능을 향상시키기 위해 RIS 각 열 별로 발생 가능한 모든 조합에서 가장 높은 채널 코사인 유사도를 갖는 소자와 연결하는 그룹화 기법을 제안한다. 제안되는 기법은 인접한 소자간 그룹화 할 때보다 향상된 sum-rate 성능을 보이는 것이 확인되었다. 향후 연구에서는 저 그룹화 기법의 복잡도를 줄이며 더 높은 성능 개선을 할 수 있는 기법에 대한 연구가 필요할 것으로 본다.

### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. NRF-2021R1A2C2005777)

This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.2017-0-00217, Development of Immersive Signage Based on Variable Transparency and Multiple Layers). 이 논문은 2017 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017-0-00217, 투명도와 레이어 가변형 실감 사아니지 기술 연구).

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(2020R1A6A1A03038540) 이 논문은 2020 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020R1A6A1A03038540)

\*교신저자: 송형규

### 참 고 문 헌

- [1] E. Basar, M. Di Renzo, J. De Rosny, M. Debbah, M. -S. Alouini and R. Zhang, "Wireless Communications Through Reconfigurable Intelligent Surfaces," in IEEE Access, vol. 7, pp. 116753-116773, 2019, doi:10.1109/ACCESS.2019.2935192.
- [2] Z. Ding et al., "A State-of-the-Art Survey on Reconfigurable Intelligent Surface-Assisted Non-Orthogonal Multiple Access Networks," in Proceedings of the IEEE, vol. 110, no. 9, pp. 1358-1379, Sept. 2022, doi:10.1109/JPROC.2022.3174140.
- [3] X. Yu, V. Jamali, D. Xu, D. W. K. Ng and R. Schober, "Smart and Reconfigurable Wireless Communications: From IRS Modeling to Algorithm Design," in IEEE Wireless Communications, vol. 28, no. 6, pp. 118-125, December 2021, doi: 10.1109/MWC.001.2100145.