

# 증폭기가 포함된 RIS 기반의 다중 사용자 MIMO 시스템에서 위상 최적화 기법에 대한 연구

<sup>1,2</sup> 유승근, <sup>1,2</sup> 김민아, <sup>1,2</sup> 김진우, <sup>1,2</sup> 박상욱, <sup>1,2</sup> 송형규\*  
<sup>1</sup> 세종대학교 정보통신공학과, <sup>2</sup> 세종대학교 지능형드론융합전공

dbtmdrms96@naver.com, happy990927@naver.com, kjwccm@naver.com,  
 share1211@naver.com, \*songhk@sejong.ac.kr

## A Study on the phase optimization technique in RIS-based communication System with Amplifier

<sup>1,2</sup>Seung-Geun Yoo, <sup>1,2</sup>Min-A Kim, <sup>1,2</sup>Jin-Woo Kim, <sup>1,2</sup>Sang-Wook Park  
 and <sup>1,2</sup>Hyoung-Kyu Song\*

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

### 요 약

본 논문은 Reconfigurable Intelligent Surface(RIS) 기반의 통신 시스템에서 증폭기가 포함된 RIS 반사 소자의 위상을 최적화하는 기법을 제안하였다. 기존의 RIS 기반의 통신 시스템은 두개의 채널에 의한 이중 페이딩의 영향으로 인해 성능 저하가 발생하는 한계가 발생한다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 RIS 반사 소자의 증폭기를 연결하여 페이딩의 영향을 줄여주었다. 본 논문에서 제안한 증폭기가 포함된 RIS 를 적용하면 기존의 RIS 를 활용한 시스템에 비해 향상된 sum rate 성능을 얻을 수 있는 것을 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다.

### I. 서 론

Reconfigurable Intelligent Surface(RIS)는 무선 통신 시스템에서 spectral efficiency 를 향상시키는 기술로 각광받고 있다.[1] RIS 는 위상과 진폭을 조절할 수 있는 수동 반사 소자들로 구성된 하나의 평면으로 구성되어 있다. 기존의 통신 시스템은 송신단과 수신단 사이에 건물과 같은 장애물이 존재할 경우 제한된 성능을 보인다. 하지만 RIS 기반의 통신 시스템은 송신단에서 보내진 신호가 RIS 의 수동 반사 소자에 반사되어 수신단으로 들어오기 때문에 주변 지형지물로 인한 한계를 극복할 수 있다. RIS 기반의 통신 시스템은 Amplify and Forward 와 Decode and Forward 같은 협력통신과 구조는 비슷하지만 릴레이 부분에 RIS 를 활용하여 기존의 협력통신에서 필요했던 RF chain 의 수를 줄임으로써 비용이나 에너지 효율 측면에서 이점이 있다. 하지만 RIS 를 통해 반사되는 신호는 Base Station(BS)에서 RIS 를 통하는 채널과 RIS 에서 USER 를 통하는 채널, 총 두개의 채널을 통해 전송되기 때문에 페이딩을 두 번 겪는 문제점이 존재한다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 증폭기가 포함된 RIS 의 구조를 고려하였다. 증폭기가 포함된 RIS 의 에너지 소비량(6~20mW [2])은 기존의 RIS 의 에너지 소비량(5mW [3])에 비해 약간 높은 수준이지만 성능측면에서 더 좋은 성능을 얻을 수 있다. 이에 본 논문에서는 증폭기가 활용된 RIS 구조에서 각 반사 소자 별 위상 값을 최적화하는 기법을 제안한다.

### II. 본론

#### A. 시스템 모델

본 논문에서는 하나의 RIS 의 도움을 받는 통신 시스템을 고려하였다. BS 의 안테나 개수, 유저의 수는 각각 M 과 U 이고, RIS 의 수동 반사 소자의 개수는 N 으로 가정하였다.  $h_{BS} \in \mathbb{C}^{N \times M}$ ,  $h_{user} \in \mathbb{C}^{U \times N}$  는 각각 BS 과 RIS 사이의 채널, RIS 와 user 사이의 채널을 의미하고 RIS 의 수동 반사 소자의 계수는 아래와 같다.

$$\theta = [\theta_1, \dots, \theta_N] = [\beta_1 e^{j\phi_1}, \dots, \beta_N e^{j\phi_N}] \in \mathbb{C}^{N \times 1} \quad (1)$$

여기서  $\beta_n \in [0, 1]$ ,  $\phi_n \in [0, 2\pi)$  는 각각 RIS 의 수동 반사 소자 별 신호의 크기, 위상을 의미한다.

또한, RIS 를 통하지 않고 BS 에서 user 로 직접 신호가 전달되는 채널은 장애물에 의해 막혀 있다고 가정하였다.

따라서 user 가 수신한 신호는 다음과 같다.

$$y = h_{user} \Theta h_{BS} x + n \in \mathbb{C}^{U \times M} \quad (2)$$

여기서  $\Theta = \text{diag}(\theta) \in \mathbb{C}^{N \times N}$ ,  $n \in \mathbb{C}^{U \times M}$  는 각각 RIS 의 대각 반사 행렬, AWGN 을 의미하고 x 는

zero-forcing 프리코딩 된 송신신호에 해당한다. 위의 채널 중  $\Theta$  가 대각행렬이기 때문에 채널은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h_{user}\Theta h_{BS} = h_{user}diag(\theta)h_{BS} = \theta diag(h_{user})h_{BS} \quad (3)$$

따라서 식 (3)을 식 (2)에 대입하면 수신하는 신호는 아래와 같다.

$$y = \theta diag(h_{user})h_{BS}x + n \in \mathbb{C}^{U \times M} \quad (4)$$

#### B. 제안하는 기법

최적화된  $\theta$ 의 값을 찾기 위해 사용자마다 공분산 행렬을 구하고 이 행렬에 대한 특이 값 분해를 수행한다.

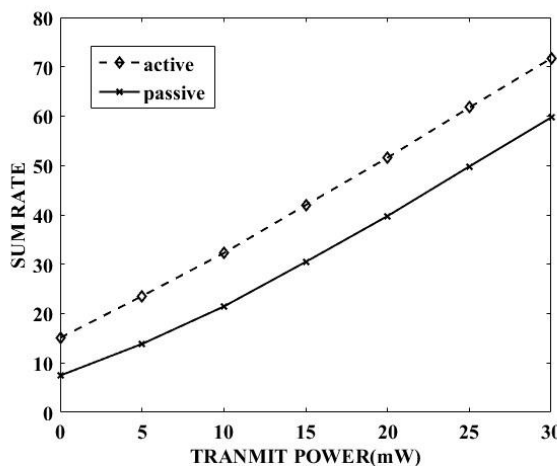
$$T = \text{svd}(h_{eff}h_{eff}^H) = U \sum V^H \quad (5)$$

여기서  $h_{eff}$ 는  $diag(h_{user})h_{BS}$ 으로  $h_{eff}h_{eff}^H$ 은 사용자 별 공분산의 합을 의미한다. RIS의 반사 소자를 제외한 채널을 의미한다. 식 (5)를 통해 얻은  $V$ 를 활용하여 RIS 반사 소자의 위상을 최적화한 후 기존의 RIS와는 달리 신호의 크기에 증폭하고자 하는 값인  $\eta$ 를 곱해주면 증폭기가 포함된 RIS 반사 소자의 최적화된 위상을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta = \eta \exp(j\angle V) \quad (6)$$

#### C. 시뮬레이션 및 분석

[그림 1]에서는 본 논문에서 제안한 증폭기가 포함되어 있는 RIS를 적용한 경우와 기존의 RIS를 적용한 두 경우에서 Transmit Power에 따른 각각의 Sum Rate 성능을 비교하였다. 증폭기가 포함된 RIS를 적용한 시뮬레이션은 'active'로 표현하였고 기존의 RIS를 적용한 시뮬레이션은 'passive'로 표현하였다. 해당 시뮬레이션에서 M, U는 각각 64, 6로 설정하였고 RIS의 반사 소자의 개수는 64로  $8 \times 8$ 을 가정하였다. 시뮬레이션 결과 본 논문에서 제안한 RIS가 기존의 RIS에 비해 더 좋은 성능을 내는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 1] 기존 RIS 시스템과 증폭기가 포함된 RIS 시스템의 시뮬레이션 결과

### III. 결론

본 논문에서는 RIS 기반의 통신 시스템에서 증폭기가 포함된 RIS 반사 소자의 위상을 최적화하는 기법을 제안하였다. 제안한 시스템이 기존의 수동 반사 소자를 가진 RIS 기반 시스템에 비해 우수한 성능을 내는 것이 시뮬레이션을 통해 확인되었다. 향후 연구에서는 perfect channel state information(CSI) 상황이 아닌 imperfect CSI 상황에서도 좋은 성능을 발휘하는 기법과 최근 많이 연구되고 있는 두 개 이상의 RIS를 동반한 시스템에도 적용 가능한 기법인지 연구해 볼 것이다.

### 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 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017-0-00217, 투명도와 레이어 가변형 실감 사인이지 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 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020R1A6A1A03038540)

\*교신저자: 송형규

### 참고 문헌

- [1] M. Di Renzo et al., "Smart Radio Environments Empowered by Reconfigurable Intelligent Surfaces: How It Works, State of Research, and The Road Ahead," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 38, no. 11, pp. 2450–2525, Nov. 2020, doi: 10.1109/JSAC.2020.3007211.
- [2] N. Landsberg and E. Socher, "A Low-Power 28-nm CMOS FD-SOI Reflection Amplifier for an Active F-Band Reflectarray," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 65, no. 10, pp. 3910–3921, Oct. 2017, doi: 10.1109/TMTT.2017.2695181.
- [3] E. Björnson, Ö. Özdogan and E. G. Larsson, "Intelligent Reflecting Surface Versus Decode-and-Forward: How Large Surfaces are Needed to Beat Relaying?," in IEEE Wireless Communications Letters, vol. 9, no. 2, pp. 244–248, Feb. 2020, doi: 10.1109/LWC.2019.2950624.