

# 차세대 무선 이동통신을 위한 STAR-RIS 지원 다중 접속 기술에 대한 조사

이동현, 오준석, 송치현, 허동현, 원동욱, 백정엽, 신용구\*, 조성래

중앙대학교, \*고려대학교

{dhlee, jsoh, chsong, dhur, dwwon}@uclab.re.kr, jpaek@cau.ac.kr \*ygshin92@korea.ac.kr, srcho@cau.ac.kr

## Investigation of STAR-RIS aided Multiple Access Technology for Next Generation Wireless Mobile Communications

Donghyun Lee, Junsuk Oh, Chihyun Song, Donghyeon Hur

Dongwook Won, Jeongyup Paek, Yonggoo Shin\*, and Sungrae Cho

Chung-Ang Univ., \*Korea Univ.

### 요약

동시 전송 및 반사(Simultaneously Transmitting and Reflecting, STAR) 재구성 가능 지능형 표면(Reconfigurable Intelligent Surfaces, RIS)은 메타표면 요소들을 어레이 배열한 것으로, STAR-RIS의 입사 무선 신호는 전송 신호와 반사 신호로 나누어 표면을 둘러싼 공간의 양쪽을 통과하여 전체 공간 조율을 용이하게 한다. STAR-RIS는 또 다른 차세대 이동통신을 위한 잠재적 후보들 중 비직교 다중 접속(Non-Orthogonal Multiple Access, NOMA)과 접목될 시 추가적인 자유도(Degree of Freedom, DoF)를 제공하는 혁신적인 기법으로 간주되고 있다. 따라서 본 논문에서는 차세대 네트워크의 핵심기술로 유망한 NOMA와 STAR-RIS를 시스템에 동시 적용한 연구에 대해 조사한다.

### I. 서론

동시 전송 및 반사(Simultaneously Transmitting and Reflecting) 재구성 가능 지능형 표면(Reconfigurable Intelligent Surfaces, RIS)은 메타표면 요소들을 어레이 배열한 것으로, STAR-RIS의 입사 무선 신호는 전송 신호와 반사 신호로 나누어 표면을 둘러싼 공간의 양쪽을 통과하여 전체 공간 조율을 용이하게 합니다 [1]. 도입된 STAR의 기본 신호 모델을 기반으로 STAR-RIS에 대한 세 가지 작동 브로토콜, 즉, 에너지 분할(Energy Splitting, ES), 모드 전환(MS) 및 시간 전환(TS)이 제안되었습니다 [1]. 따라서 STAR-RIS는 차세대 무선 이동 통신을 위한 잠재적 후보로 간주되고 있다. STAR-RIS의 주요 장점은 셀 외곽에 배치되어 기지국의 능동 빔형성과 STAR-RIS에서의 수동 송신 및 반사 빔형성의 공동 최적화를 통한 전력 소비 최소화 및 서비스 범위의 최대화에 있다. 또한, STAR-RIS는 또 다른 차세대 이동통신을 위한 잠재적 후보들 중 비직교 다중 접속(Non-Orthogonal Multiple Access, NOMA)과 접목될 시 추가적인 자유도(Degree of Freedom, DoF)를 제공하는 혁신적인 기법으로 간주되고 있다 [2], [3].

STAR-RIS에서 ES는 STAR-RIS의 각 요소에서 전송 및 반사 비율을 최적화하는 프로토콜이고 MS는 각 요소의 전송 및 반사 모드를 최적화하고 TS는 STAR-RIS의 전송 및 반사 시간을 최적화하는 프로토콜이다. 그러나 차세대 기술로 유망한 다중접속(Multiple Access, MA)과 STAR-RIS의 결합은 연구의 초기단계에 있으며 활발한 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 논문에서는 NOMA와 STAR-RIS가 결합된 최근 연구들에 대해 소개한다.

본 논문의 본문에서는 NOMA와 STAR-RIS의 결합을 소개하고, 결론

에서 미래의 연구방향을 토론하며 마무리한다.

### II. 본론

[4]의 저자들은 기지국에서 셀 경계 사용자까지의 직접 링크가 NLoS(Non-Line of Sight)인 STAR-RIS 보조 NOMA 시스템의 Ergodic Rate를 분석했다. 이 시스템에서 STAR-RIS는 장애물로 인한 NLoS를 겪는 셀 엣지 사용자에게 가시선 링크를 제공하는데 사용된다. 수치 결과는 STAR-RIS 요소의 수에 따라 Ergodic Rate가 증가하고 기존의 RIS 지원 NOMA 시스템보다 높은 Ergodic Rate를 달성한다. [5]의 저자들은 STAR-RIS 지원 하향링크 통신 시스템에 초점을 맞추고, [4]와 달리 직접 링크 또한 고려했다. 또한, M개의 균일 선형 배열(Uniform Linear Array, ULA)의 요소 안테나로 구성된 기지국과 채널의 통계적 특성을 이용하여 신호 대 잡음비(Signal-to-Interference-Noise Ratio, SINR) 통계 표현을 도출하고 이를 극대화하여 반사 및 전송을 위한 위상 변이 행렬을 설계했다. 이 연구는 Ergodic Rate의 대략적 분석식을 도출했다. 도출된 분석식을 통해 BS에서 ULA의 크기와 STAR-RIS 크기를 늘리면 시스템의 Ergodic Rate를 효율적으로 향상시킬 수 있음을 입증했다.

[6]의 저자들은 STAR-RIS 지원 NOMA 시스템에서 짧은 패킷(Short-Packet) 통신을 위한 시스템의 성능을 분석했다. 위 연구에서는 평균 블록 오류율(Average Block Error Rate, BLER)과 달성 가능한 속도에 대한 대략적으로 점근적인 닫힌 형식(Closed Form) 표현이 도출되며 코딩 이득, 전력 할당 요소, 패킷 길이 및 수와 같은 유용한 통찰력을 보여준다. 이 시스템은 기존 RIS 기반 NOMA보다 더 나은 BLER을 달성하고 RIS기반 시스템보다 더 높은 달성 가능한 합계 속도를 달성했다.

[7]의 저자들은 다수의 합법적인 사용자와 도청자로 구성된 STAR-RIS 지원 다운링크 다중 반송파 NOMA 네트워크를 위한 보안 성능을 조사했다. STAR-RIS의 송신 및 반사 빔포밍, 기지국의 송신 빔포밍, 전력 할당 계수 및 사용자 페어링 벡터를 공동으로 최적화하여 비밀성 성능을 조사했다. 기지국이 사용할 수 있는 전체 CSI에 대해 비밀 합률을 최대화하기 위한 빔포밍 알고리즘을 기반으로 사용자 채널 이득 차이를 기반으로 사용자 페어링 방식을 제안했다. 제안한 방식의 비밀 성능이 기존의 RIS-NOMA 방식과 RIS 보조 직교 다중 접속 방식(RIS-OMA)보다 우수하다는 것을 입증했다.

### III. 결론

본 논문에서는 차세대 네트워크 시스템의 핵심 기술로 간주되는 두 기술을 결합한 STAR-RIS 지원 NOMA 시스템 연구들을 조사했다. RIS 지원 NOMA에 대한 기술들은 활발히 진행되었으나 STAR-RIS 지원 NOMA 시스템의 연구는 아직 초기단계이다. STAR-RIS 지원 NOMA 시스템에서 주파수 효율 및 에너지 효율에 대한 연구가 지속적으로 필요해 보인다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터 육성지원사업 (IITP-2024-RS-2022-00156353) 및 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2022R1A4A5034130).

### 참고 문헌

- [1] X. Mu, Y. Liu, L. Guo, J. Lin and R. Schober, "Simultaneously Transmitting and Reflecting (STAR) RIS Aided Wireless Communications," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 21, no. 5, pp. 3083-3098, May 2022, doi: 10.1109/TWC.2021.3118225.
- [2] B. Zhao, C. Zhang, W. Yi and Y. Liu, "Ergodic Rate Analysis of STAR-RIS Aided NOMA Systems," in IEEE Communications Letters, vol. 26, no. 10, pp. 2297-2301, Oct. 2022, doi: 10.1109/LCOMM.2022.3194363.
- [3] O. Maraqa, S. Aboagye and T. M. N. Ngatched, "Optical STAR-RIS-Aided VLC Systems: RSMA Versus NOMA," in IEEE Open Journal of the Communications Society, doi: 10.1109/OJCOMS.2023.3347534.
- [4] B. Zhao, C. Zhang, W. Yi and Y. Liu, "Ergodic Rate Analysis of STAR-RIS Aided NOMA Systems," in IEEE Communications Letters, vol. 26, no. 10, pp. 2297-2301, Oct. 2022, doi: 10.1109/LCOMM.2022.3194363.
- [5] J. Chen and X. Yu, "Ergodic Rate Analysis and Phase Design of STAR-RIS Aided NOMA With Statistical CSI," in IEEE Communications Letters, vol. 26, no. 12, pp. 2889-2893, Dec. 2022, doi: 10.1109/LCOMM.2022.3202346.
- [6] T. -H. Vu, T. -V. Nguyen, Q. -V. Pham, D. Benevides da Costa

and S. Kim, "STAR-RIS-Enabled Short-Packet NOMA Systems," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 72, no. 10, pp. 13764-13769, Oct. 2023, doi: 10.1109/TVT.2023.3278737.

- [7] Y. Zhang et al., "STAR-RIS Assisted Secure Transmission for Downlink Multi-Carrier NOMA Networks," in IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 18, pp. 5788-5803, 2023, doi: 10.1109/TIFS.2023.3313353.