

불균등 분할을 이용한 RIS 인덱스 변조 기법

이혜영, 신수용*

금오공과대학교 ICT융합특성화연구센터, 금오공과대학교 IT융복합공학과*

lhy413@kumoh.ac.kr, wdragon@kumoh.ac.kr*

A Novel RIS based Index Modulation using Non-uniform Division

Hye Yeong Lee, Soo Young Shin*

Kumoh National Institute of Technology

요 약

본 논문에서는 B5G/6G의 차세대 무선 통신 시스템에서 불균등 분할을 이용한 지능형 반사 표면 (reconfigurable intelligent surface, RIS) 기반 새로운 인덱스 변조 (index modulation, IM) 기법을 제안한다. 제안하는 시스템은 균등 분할을 이용한 기존 RIS-IM 시스템과 비교하여 RIS의 서브 그룹 중심점을 기준으로 한 분할 방식과 인덱스 할당 방식에 대해 제안한다. 모의실험 결과로

I. 서 론

지능형 반사 표면(reconfigurable intelligent surface, RIS)은 차세대 무선 통신에서 높은 주파수 효율과 에너지 효율 달성을 위한 후보 기술로 주목받고 있다[1]. RIS는 다수의 반사 소자를 포함한 평면 형태로, 일반적으로 빌딩 벽이나 UAV 등과 결합하여 통신 거리의 제약을 해소시켜 통신 커버리지 증대에도 강인하다[2]. 이러한 이점을 이용해 RIS는 차세대 무선 통신 기술들과 결합 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히, 주파수 효율 증대를 위해 직교 주파수 분할 기법 (OFDM), 비직교 다중 접속 기법 (NOMA), 인덱스 변조 (index modulation, IM) 등과의 결합 기술이 다양하게 연구되고 있다[3].

RIS 기반 인덱스 변조 기법 (RIS-IM)은 단일 RIS 구조에서 두 개 이상의 그룹으로 나눈 후 그중 하나 이상의 반사 소자 그룹을 활성화해 신호를 반사하는 방식이 일반적이다[4, 5]. 대부분 단일 RIS 반사 소자를 그룹으로 나눌 때, 모든 그룹이 같은 반사 소자 수를 가질 수 있도록 균등 분할 방식을 이용한다. 이러한 경우 반사 소자의 개수에 따른 그룹 수의 제한과 상황에 따라 불필요한 자원을 낭비하는 한계를 지닌다.

본 논문에서는 RIS의 불균등한 분할 방식을 이용한 RIS-IM 기법을 제안한다. 불균등 분할 방식의 경우 각 사용자마다 분할된 RIS 그룹 (RIS group, RG)의 반사 소자 수를 다르게 할당할 수 있다. 채널 도출을 위해 제안하는 방식과 기존 균등 분할 방식을 비교하여 RG의 중심점 도출 방식에 대해 제시하고자 한다.

II. 시스템 모델

그림 1은 단일 RIS를 K 개의 그룹으로 나누는 예시로, $K=2$ 인 수직 2분할된 RIS 방식을 나타낸다. RIS가 x 축에 수직인 yz 평면에 존재한다고 가정할 때, RIS의 중심점을 $(x_0, 0, z_0)$ 으로 가정한다. 총 RIS의 반사 소자의 수는 $N = M_z M_y$ 으로 표현되며, 여기서 z 축 방향으로 M_z 개, y 축 방향으로 M_y 개를 가진다. 각 분할된 RIS를 이루는 소자의 수는 $N_{\text{sub},k} = N/K$ 으로, 분할된 RIS 소자 수의 합은 RIS의 총 소자 수와 같아 다음과 같은 조건을 만족한다.

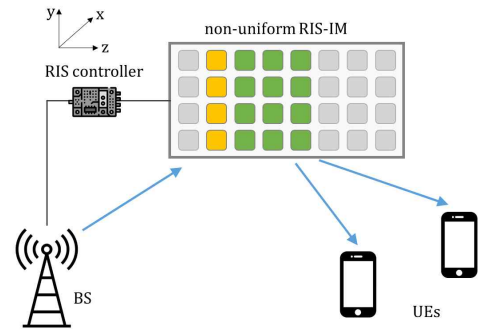


그림 1 제안하는 불균등 분할을 이용한 RIS-IM 시스템

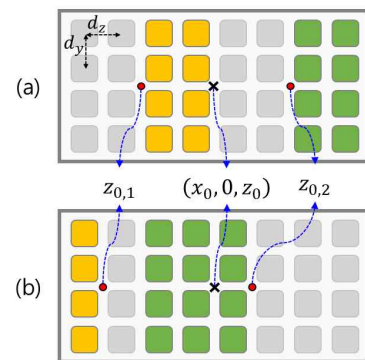


그림 2 RIS-IM의 그룹화 방식 (a)균등 분할 (b)비균등 분할

$$N = \sum_{k=1}^K N_{\text{sub},k} \quad (1)$$

본 논문에서는 총 RIS의 반사 소자의 수 $8 \times 4 = 32$ 개로 가정한다. 각 반사 소자간 거리는 z 축 기준으로 d_z 와 y 축 기준으로 d_y 이다. 먼저, 각 분할된 RIS가 같은 소자의 수를 가질 때, 그림 2.(a)와 같이 균등 수직 2분할로

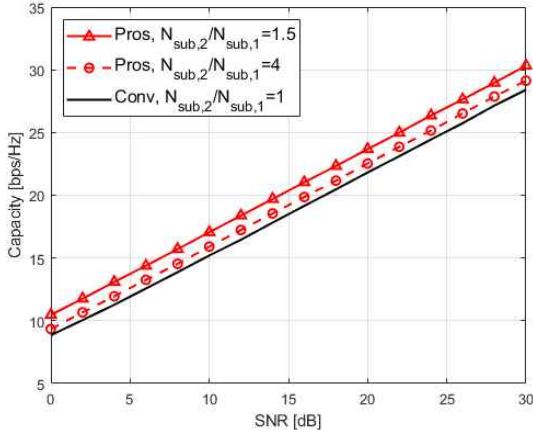


그림 3 채널 용량 비교 결과

표현할 수 있다. 이 때 그룹의 중심점은 $z_{0,k}$ 으로 표현 가능하며, RIS의 중심점으로부터 같은 거리만큼 떨어져 있다. 반사 소자 그룹의 중심점 $z_{0,k}$ 는 z 축을 기준으로 RIS의 소자간 거리 d_z 를 이용해 다음과 같은 식으로 표현 가능하다.

$$z_{0,1} = z_0 - d_z \frac{M_z}{2K}, z_{0,2} = z_0 + d_z \frac{M_z}{2K} \quad (2)$$

그림 2.(a)에서 RIS의 중심점과 각 분할 RIS의 중심점의 간격은 $|z_0 - z_{0,k}|$ 으로 간략화 되며, 계산 시 $2d_z$ 의 간격을 가진다. 반면에, 그림 2.(b)는 불균등 분할을 이용해 RIS가 다른 소자의 수를 가지는 경우로, 불균등 수직 2분할 예시를 나타낸다. 이 때 중심점은 각 분할 RIS 간 비율로 중심점이 도출되며, 이는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} z_{0,1} &= z_0 - d_z \frac{N_{sub,2}}{N_{sub,1}} \frac{N_{sub,1}}{M_y K} = z_0 - d_z \frac{N_{sub,2}}{M_y K}, \\ z_{0,2} &= z_0 + d_z \frac{N_{sub,1}}{N_{sub,2}} \frac{N_{sub,2}}{M_y K} = z_0 + d_z \frac{N_{sub,1}}{M_y K} \end{aligned} \quad (3)$$

그림 2.(b)와 같이 각 그룹의 소자 수 $N_{sub,1}, N_{sub,2}$ 를 8, 24개로 나눌 시, RIS의 중심점과 첫 번째 그룹의 RIS의 중심점의 간격은 식 (3)을 이용해 $|z_0 - z_{0,1}| = 3d_z$ 이다. 같은 방법으로, RIS의 중심점과 두 번째 그룹의 RIS의 중심점의 간격은 $|z_0 - z_{0,2}| = d_z$ 이다.

III. 모의실험 결과

제안하는 시스템을 적용한 모의실험 결과는 그림 3과 같다. 마커가 있는 빨간색 선은 제안하는 불균등 분할 기법을 이용한 제안하는 방식이고, 마커가 없는 검정색 선은 균등 분할 기법을 이용한 기존 방식을 나타낸다. 모의실험에서는 총 반사 소자 수가 $N = 20 \times 20 = 400$ 인 RIS를 이용하고, RIS의 중심점이 $(x_0, y_0, z_0) = (5, 0, 10)$ [m], 수신기인 사용자 1, 2가 $D_1, D_2 = 10, 15$ [m]에 위치할 때, 제안하는 방식이 기존 방식 대비 채널 용량이 증대됨을 확인하였다. 또한, 분할 비율에 따라 채널 용량이 달라짐을 확인하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 차세대 무선 통신 기술을 위한 불균등 분할을 이용한 RIS-IM 기법을 제안하였다. 제안한 시스템은 기존 균등 분할을 이용한 RIS-IM 시스템과 비교하여 각 사용자에게 다른 RIS 소자를 할당함으로써 자원 할당 효율을 증대할 수 있다. 모의실험을 통해 기존 시스템 대비 채널 용량 향상을 확인하였다. 추후 RG 그룹의 반사 소자 수와 RIS, 사용자의 위치에 따른 성능 검증 연구를 확장하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2022R111A1A01066178)

참 고 문 헌

- [1] ElMossallamy, M. A., Zhang, H., Song, L., Seddik, K. G., Han, Z., & Li, G. Y. "Reconfigurable intelligent surfaces for wireless communications: Principles, challenges, and opportunities," *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, vol. 6, no. 3, pp. 990-1002, 2020
- [2] Liu, Yuanwei, Xiao Liu, Xidong Mu, Tianwei Hou, Jiaqi Xu, Marco Di Renzo, and Naofal Al-Dhahir. "Reconfigurable intelligent surfaces: Principles and opportunities." *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 23, no. 3, pp. 1546-1577, 2021
- [3] Basharat, S., Hassan, S. A., Pervaiz, H., Mahmood, A., Ding, Z., & Gidlund, M., "Reconfigurable intelligent surfaces: Potentials, applications, and challenges for 6G wireless networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 28, no. 6, pp. 184-191, 2021
- [4] Basar, Ertugrul. "Reconfigurable intelligent surface-based index modulation: A new beyond MIMO paradigm for 6G," *IEEE Transactions on Communications* vol. 68, no. 5, pp. 3187-3196, 2020
- [5] Asmoro, Krisma, and Soo Young Shin. "RIS Grouping Based Index Modulation for 6G Telecommunications," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 11, no. 11, pp. 2410-2414, 2022