

인공 지능형 반사 표면 (AIRS: Artificial Intelligent Reflecting Surface) 연구

정민채
순천향대학교 전자공학과

hosaly@sch.ac.kr

Research on Artificial Intelligent Reflecting Surfaces (AIRSs)

Minchae Jung
Department of Electronic Engineering, Soonchunhyang University

요약

본 논문에서는 6세대 이동통신 시스템의 핵심 기술 중 하나인 지능형 반사 표면 (RIS: reconfigurable intelligent surface) 기술에 대해서 살펴본다. 특히, RIS 기반 6G 통신 시스템의 대표적인 문제점인 RIS 채널 추정 방안에 대한 근본적인 문제 해결을 수행하고, 나아가 파일럿 신호에 의존하는 현존 무선 통신 기술의 한계를 극복하는 것을 목표로 한다.

I. 서론

UC Berkeley에서 발표한 eWallpaper 프로젝트에 따르면, 미래의 모든 구조물들은 점점 전자기학적으로 활성화될 것이며 수많은 IoT 기기들이 무선 통신 시스템에 참여할 것으로 예상된다 [1]. 이러한 환경에서 무선 통신 시스템은 지능형 시스템으로 발전할 필요가 있으며, 지능형 반사 표면(RIS: reconfigurable intelligent surface)은 이러한 요구 조건을 만족시킬 수 있는 대안으로 떠오르고 있다 [1]-[6]. 본 논문에서는 이러한 지능형 반사 표면에 기계 학습으로 대표되는 인공 지능의 개념을 결합한 인공 지능형 반사 표면(AIRS: artificial intelligent reflecting surface)에 대한 개념을 소개하고 해결해야 할 문제점 및 해결 방안에 대해서 제시한다.

II. 인공 지능형 반사 표면 (AIRS)

지능형 반사 표면은 그림 1과 같이 기본적으로 다이오드, 저항, 인덕터, 캐패시터와 같은 수동 소자만을 기반으로 동작한다 [2]. 따라서 기존의 중계기에 비해 에너지 효율 측면에서 유리한 장점이 있으며, 성능 측면에서도 반사 표면 위 소자 수의 제곱에 비례한 수신 신호 전력을 보인다 [2-5]. 지능형 반사 표면은 그림 2와 같이 반사 표면에 입사한 신호를 수동 소자 값의 조절을 통해 원하는 채널의 방향으로 위상 전이를 유도하여 수신 신호를 최대화할 수 있다. 하지만 완전한 수동 소자 기반의 지능형 반사 표면은 자체적으로 신호의 검출이 불가능하기 때문에 인접 채널 정보(CSI: channel state information)에 대한 정보를 얻기 힘들다는 단점이 있다. 그림 2에서와 같이, 기지국의 신호가 지능형 반사 표면을 통해 사용자 k 에게 전달되지만, 인접 CSI인 G_k 와 f_k 에 대한 채널 정보는 현실적으로 얻기 힘들다.

메타러닝은 강화형 기계 학습의 일종으로, 학습 모델 파라미터의 초기값을 효율적으로 선택함으로써 제한된 수의 학습 예제들에서도 빠르고 정확하게 학습된 모델 파라미터를 제공해준다 [6]. 이러한 메타러닝의 특징을 기반으로, 일부의 파일럿 신호로 모델 파라미터 초기값을 선택하고 선택된 초기값을 기반으로 나머지 파일럿 신호를 통해 최적 신호 반사 경로를 찾아 지능형 표면이 동작한다면, 시간이 지남에 따라 제한된 파일럿으로도 최적 신호 반사를 수행할 수 있다.

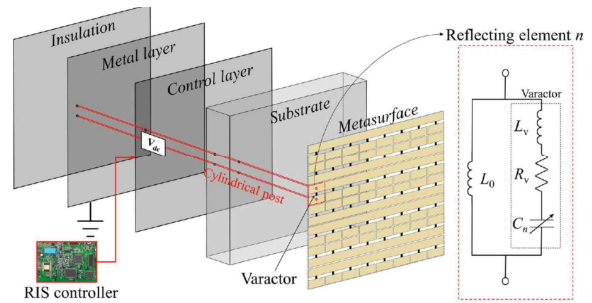


그림 1. 지능형 반사 표면의 구조

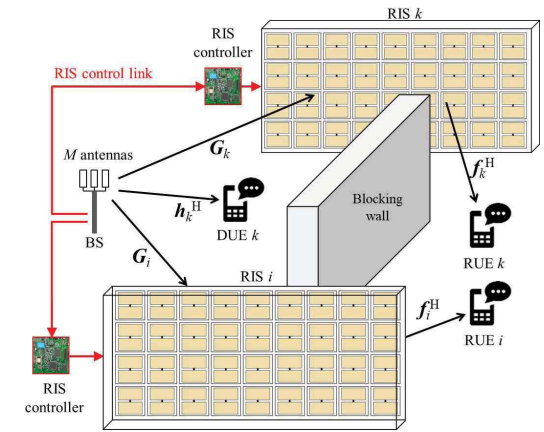


그림 2. 지능형 반사 표면이 적용된 통신 시스템 모델

III. 실험 결과 및 결론

그림 3은 기지국에서 t 개의 파일럿 신호를 전송하였을 때 메타러닝을 통한 학습 시 얻을 수 있는 성능을 보여준다. 그림 3은 6 bit 코드북에서 전수 조사 기반의 수신 전력 대비 제한된 t 개의 파일럿 수를 이용하였을 경우에 대한 수신 전력의 비율을 보여준다. 시간이 지남에 따라 적은 수의 파일럿에서도 최적 성능에 수렴함을 확인할 수 있으며, 이를 통해 메타러닝 기반의 학습이 성공적으로 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. 본 연구 결과를 기반으로 학습 수렴 속도를 증가시킬 수 있도록 알고리즘의 확장이 필요하며, 제안하는 메타러닝 기법의 수렴성에 대한 수학적 증명도 필요하다.

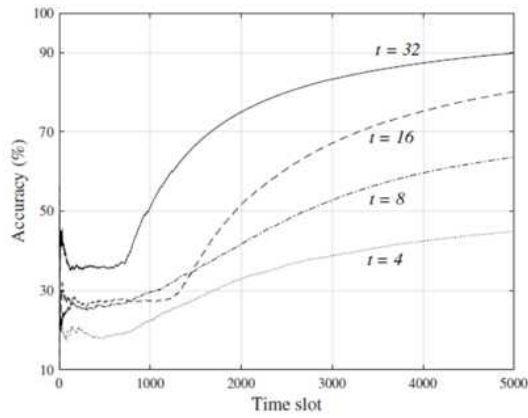


그림 3. t 개 파일럿 기반 메타러닝 적용 시 최적 성능 대비 신호 반사 정확도 [6]

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2021 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2021R1C1C1012950).

참 고 문 헌

- [1] S. Hu, F. Rusek, and O. Edfors, "Beyond massive MIMO: The potential of data transmission with large intelligent surfaces," IEEE Trans. Signal Process., vol. 66, no. 10, pp. 2746-2758, May 2018.
- [2] M. Jung, W. Saad, M. Debbah, and C. Hong, "On the Optimality of Reconfigurable Intelligent Surfaces (RISs): Passive Beamforming, Modulation, and Resource Allocation," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 69, no. 5, May 2021.
- [3] M. Jung, W. Saad, and G. Kong, "Performance Analysis of Active Large Intelligent Surfaces (LISs): Uplink Spectral Efficiency and Pilot Training," IEEE Transactions on Communications, to appear, 2021.
- [4] M. Jung, W. Saad, Y. Jang, G. Kong, and S. Choi, "Performance Analysis of Large Intelligent Surfaces (LISs): Asymptotic Data Rate and Channel Hardening Effects," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 19, no. 3, pp. 2052-2065, Mar. 2020.
- [5] M. Jung, W. Saad, Y. Jang, G. Kong, and S. Choi, "Reliability Analysis of Large Intelligent Surfaces (LISs): Rate Distribution and Outage Probability," IEEE Wireless Communications Letters, vol. 8, no. 6, pp. 1662-1666, Dec. 2019.
- [6] M. Jung and W. Saad, "Meta-learning for 6G communication networks with reconfigurable intelligent surfaces," submitted to IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), June 2021.