

실질적인 지능형 반사 표면 활용 통신 기법

이형택
이화여자대학교

htlee@ewha.ac.kr

Feasible Reconfigurable Intelligent Surface-Assisted Communication Systems

Lee Hyeongtaek
Ewha Womans University

요약

본 연구는 무선 통신 시스템에서 지능형 반사 표면을 활용하고자 할 때, 실질적인 고려 사항을 제시한다. 기존의 지능형 반사 표면을 활용하는 통신 시스템 연구는 이론적인 성능을 최대화하는데 집중했다. 하지만, 지능형 반사 표면을 실질적으로 활용하기 위해서는 서로 다른 서비스 사업자를 고려한 주파수 특성, 알고리즘 복잡도, 6G를 위한 센싱 및 통신 융합 시스템으로의 확장성 등을 고려해야 한다.

I. 서론

지능형 반사 표면(RIS, Reconfigurable Intelligent Surface)은 5G 이후 무선 통신 시스템의 핵심 기술로 부상하며, 무선 통신 채널을 능동적으로 조절하여 스펙트럼 및 에너지 효율을 증가시키거나 보안성을 향상시키는 등 다양한 분야에서의 잠재력으로 큰 주목을 받고 있다. 기존의 RIS 관련 연구들은 주로 이론적인 성능 최대화에 초점을 맞추어 기지국에서의 빔포밍과 RIS에서의 반사 계수를 적절히 조절하는 기법에 대해 연구하였다 [1]. 하지만, RIS를 실질적으로 활용하기 위해서는 실제적인 구현 환경 및 알고리즘의 실용성에 대한 깊이 있는 고려가 필요하다. 이에, 본 논문에서는 RIS를 무선 통신 시스템에 도입할 때 고려해야 할 두 가지 주요한 실질적 도전 과제를 제시하고, 이에 대한 해결책을 모색한다. 구체적으로, 1) 서로 다른 서비스 사업자가 존재하는 환경에서의 주파수 특성 관리와 2) 6G 핵심 요구 사항인 센싱 및 통신 융합 시스템으로의 효율적인 활용이라는 두 가지 측면을 다룬다.

II. 본론

현실적인 셀룰러(cellular) 시스템에서는 다수의 서비스 사업자(네트워크 사업자)가 서로 다른 주파수 대역에서 셀을 운영할 것이다. 일반적으로 이들 셀 간에는 주파수 직교성으로 인해 상호 간섭이 발생하지 않지만, 특정 셀을 지원하기 위해 RIS가 배치될 경우, RIS는 주파수와 무관하게 모든 입사 신호를 반사하므로 다른 주파수 대역을 사용하는 인접 셀에도 의도치 않은 성능 열화의 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, RIS가 cell 1의 성능 향상만을 목표로 설계될 경우, cell 2의 사용자들은 RIS를 통해 반사된 신호를 uncontrolled channel로 받게 되어 성능 저하를 겪을 수 있다. 특히, cell 2를

cover하는 기지국이 RIS 관련 채널 정보를 알지 못하고 빔포밍을 수행하는 경우 이 문제는 더욱 심각해 질 수 있다.

이를 해결하기 위해서 cell 1의 RIS를 통한 반사 채널의 이득은 최대화하면서도 동시에 cell 2에서 uncontrolled channel의 이득의 합은 최소화하는 balancing RIS design을 제안할 수 있다. 이 기법을 통해 적절한 balancing parameter를 설정함으로써 cell 2의 성능 저하를 무시할 수 있는 수준으로 최소화하면서도, cell 1의 높은 성능을 유지할 수 있다. 또한, 해당 문제는 복잡도가 높지 않은 Riemannian manifold optimization 기법을 활용해 solution을 구할 수 있어 알고리즘의 실용성 측면에서도 장점을 가진다.

한편, 6G 이동통신의 핵심 목표 중 하나는 센싱 기능과 통신 기능을 하나의 시스템으로 통합하는 ISAC(Integrated Sensing and Communication)이다 [2]. RIS는 ISAC 시스템에 새로운 전파 경로를 제공함으로써 센싱 및 통신 성능을 동시에 향상시키는데 기여할 수 있다. 그러나, 목표물의 위치에 대한 사전 정보가 없는 실제 환경에서 ISAC 기능을 효율적으로 통합하는 것이 매우 중요하다.

이때, 기존 통신 시스템에서 필수적인 beam training 과정에 센싱 기능을 통합하는 실용적인 framework을 고려할 수 있다. 기본적으로 현재 이동통신 표준인 5G 표준의 코드북(codebook) 구성 원칙을 따르면서도 training overhead를 줄일 수 있도록 부분 탐색 절차를 고려한다. 이를 통해 통신 사용자를 위한 최적의 빔 조합을 찾는 과정에서 목표물의 반사 신호를 동시에 분석한다. 특히, 센싱 정확도를 높이기 위해 ABP(Auxiliary Beam Pair) 기법을 활용해 기지국과 RIS 관점에서의 목표물 각도를 고해상도로 추정한다 [3]. RIS를 통해 반사된 경로를 활용함으로써 기지국-목표물 사이의 direct link만으로는 해결하기 어려운 목표물의 3 차원 위치 모호성 문제를 해소하고, 정확한 위치

정보를 얻을 수 있다. 최종적으로 이 추정된 각도 정보를 기반으로 폐쇄형 위치 추정 기법을 제안해, 기존 방법론 대비 월등히 높은 측위 정확도를 달성할 수 있다.

III. 결론

본논문에서는 6G 를 포함한 차세대 무선 통신 시스템의 핵심 구성 요소 중 하나인 RIS 를 활용하는데 있어 실질적인 장벽들을 효과적으로 해결하는 방안을 제시하였다. 서로 다른 주파수 대역을 사용하는 서비스 사업자 환경에서 RIS 가 발생시킬 수 있는 의도치 않은 간섭 문제에 대한 balancing design 을 통해 주파수 특성과 관련된 실용적인 RIS 운용 전략을 제시하였다. 나아가, beam training 기반의 RIS 를 활용한 ISAC framework 는 RIS 가 6G 의 핵심인 통신 및 센싱 융합 시스템에서 실용적으로 활용될 수 있는 구체적인 절차를 제시한다.

이러한 연구 결과들은 단순히 이론적 성능의 한계를 넘어, RIS 기술의 차세대 무선 통신 시스템으로의 실질적 적용 가능성을 높이고, 향후 시스템 간의 상호작용을 필수적인 고려 사항으로 포함해야 함을 시사한다. 또한, RIS 의 성공적인 미래 무선 통신 시스템 도입을 위한 중요한 이정표를 제공한다.

참 고 문 헌

- [1] Q. Wu and R. Zhang, "Towards Smart and Reconfigurable Environment: Intelligent Reflecting Surface Aided Wireless Network," IEEE Commun. Mag., vol. 58, no. 1, pp. 106– 112, Jan. 2020.
- [2] F. Liu, Y. Cui, C. Masouros, J. Xu, T. X. Han, Y. C. Eldar, and S. Buzzi, "Integrated Sensing and Communications: Toward Dual-Functional Wireless Networks for 6G and Beyond," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 40, no. 6, pp. 1728– 1767, Jun. 2022.
- [3] D. Zhu, J. Choi, and R. W. Heath, "Auxiliary Beam Pair Enabled AoD and AoA Estimation in Closed-Loop Large Scale Millimeter-Wave MIMO Systems," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 16, no. 7, pp. 4770– 4785, Jul. 2017.