

# 인공지능 기반 RIS 지원 UAV 통신 연구 동향

최희주, 신예진, 이충녕, 채승호\*

한국공학대학교

{babybird, syy4622, lc9902130509, shchae}@tukorea.ac.kr

## Research Trends on AI-Based RIS-Assisted UAV Communication

Heeju Choi, Yejin Shin, Chungnyeong Lee, Seong Ho Chae\*

Tech University of Korea

### 요약

UAV(Unmanned Aerial Vehicle)와 RIS(Reconfigurable Intelligent Surface)는 6세대 이동통신(6G)의 주요 구성 요소로 각광을 받고 있다. 본 논문은 인공지능 기반 RIS 지원 UAV 통신에 관한 최신 연구 결과들을 2가지 시나리오(건물 표면 부착 RIS를 활용한 UAV 통신, RIS-UAV를 활용한 UAV 통신)로 구분하여 분류하고 관련 연구 결과 및 연구 동향을 살펴본다.

### I. 서론

UAV(Unmanned Aerial Vehicle)는 저비용, 신속성, 고이동성, 유연한 배치 등의 다양한 이점을 가짐에 따라 6G 통신 시스템의 주요 구성 요소로서 많은 관심을 받고 있다. 최근, 데이터 수집, 에너지 전송, 공중 기지국 등 UAV를 활용한 다양한 통신 어플리케이션들이 활발히 연구되고 있다 [1],[2]. 한편, RIS(Reconfigurable Intelligent Surface)는 수동소자로서 기저대역 신호처리 과정과 RF(Radio Frequency) 체인을 별도로 필요하지 않아 크기가 작고 무게가 가벼우며 가격이 저렴하다는 이점을 가진다[3]. 최근, 이러한 RIS를 활용한 인공지능 기반 UAV 통신 성능 개선 연구가 활발히 수행되었다[4]-[9]. RIS를 활용한 UAV 통신은 그림 1과 같이 크게 2가지 시나리오로 구분 가능하다. 먼저, 그림 1(좌)와 같이 RIS가 고층 건물 등의 표면에 부착되어 릴레이(Relay) 채널로서 수신 신호를 지능적으로 반사시킴으로써 UAV-사용자 간 통신 품질을 향상시킬 수 있다. 다음으로, 그림 1(우)와 같이 RIS가 UAV에 탑재되어 수신 신호 반사로 ALoS(Aerial Line-of-Sight) 신호 링크를 형성함으로써 기지국-사용자 사이의 통신 품질을 개선할 수 있다. 본 논문에서는 인공지능 기반 RIS 지원 UAV 통신에 관한 최신 연구 결과들을 2가지 시나리오를 중심으로 구분하여 소개하고 장단점을 비교 분석한다.

### II. 인공지능 기반 RIS 지원 UAV 통신 연구 동향

본 장에서는 인공지능 기반 RIS 지원(RIS-assisted) UAV 통신과 관련한 최신 연구 결과들을 1) 건물 표면 부착 RIS를 활용한 UAV 통신과 2) RIS-UAV를 활용한 UAV 통신으로 구분하여 소개하고 비교 분석한다.

#### A. 건물 표면 부착 RIS를 활용한 UAV 통신 연구 [4]-[6]

최근, UAV-지상 사용자 간 통신 환경에서 UAV의 데이터 전송률 최대화와 추진 에너지 소비 동시 최소화를 위한 UAV의 3차원 이동 궤적 및 RIS 반사 계수 결합 최적화 연구가 수행되었다 [4]. 이에 대한 해결책으로 DQN(Double Deep Q-network)과 DDPG(Deep Deterministic Policy Gradient)를 활용하여 UAV 이동 궤적 최적화 문제를 이산 및 연속 학습 문제로 변환해 최적화하는 알고리즘이 제안되었다. RIS를 사용하지 않는 UAV와 수동 위상 변화가 없는 RIS를 사용하는 UAV와 비교했을 때, 이

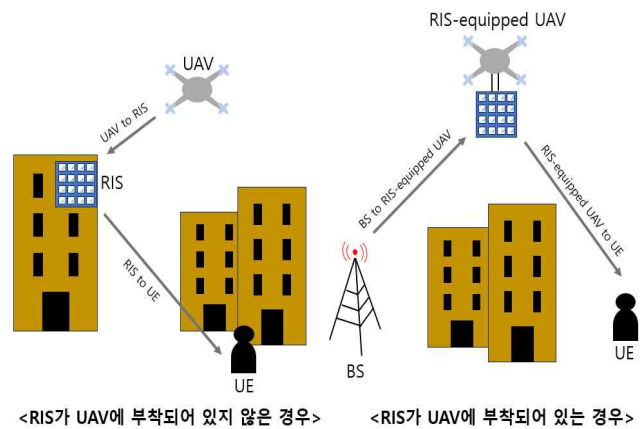


그림 1. RIS 지원 UAV 통신 시스템 구성

동 궤적과 RIS 반사 계수를 최적화한 UAV가 가장 적은 추진 에너지를 사용하면서 가장 높은 처리량과 에너지 효율성을 가짐을 보였다.

문헌 [5]는 UAV와 이동하는 지상 사용자 간 통신에서 매 시간 지상 사용자의 데이터 처리율 제약 조건하에, UAV 추진 에너지 소비 최소화를 위한 UAV 수평 상 이동 궤적, RIS의 반사 계수, UAV에서 각 지상 사용자로의 전력 할당 정책, NOMA(Non-orthogonal multiple access) 동적 디코딩 순서 결합 최적화 문제를 정의하고, 기존 DQN의 학습률을 점진적으로 감소시켜 학습을 효율적이고 안정적으로 가능하게 하는 D-DQN(Decaying DQN) 알고리즘을 제안하였다. 제안된 D-DQN 알고리즘은 복잡하고 동적인 환경에서 동일 학습률을 유지하는 DQN 대비 적은 평균 에너지 소비를 가짐을 보였다.

문헌 [6]는 다중 UAV 네트워크와 지상 사용자 간 통신에서, 네트워크의 에너지 효율을 최대화하기 위해 UAV의 전력 할당과 RIS 반사 계수를 동시 최적화를 위한 DDPG와 PPO(Proximal Policy Optimization) 기반 중앙 집중식 DRL(Deep Reinforcement Learning) 기술을 제안하였다. 네트워크의 지연 시간과 정보 교환을 위한 전력을 줄이기 위해 병렬 학습을 사용하였는데, 이는 즉각적인 의사 결정이 가능하므로 에너지 효율, 유연성, 처리 시간 측면에서 기존 방법들 대비 우수한 성능을 가짐을 보였다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 ICT혁신인재4.0사업(IITP-2024-RS-2022-00156326, 50%)과 지역지능화학 혁신인재양성사업(IITP-2024-2020-0-01741, 50%) 연구임

## 참고 문헌

- [1] C. Lee, S. Lee, T. Kim, I. Bang, J. H. Lee, and S. H. Chae, "Multi-agent deep reinforcement learning-based multi-UAV path planning for wireless data collection and energy transfer," in *Proc. the 15th Int. Conf. on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, Jul. 2024.
- [2] S. Lee, S. Lim, S. H. Chae, B. C. Jung, C. Y. Park, and H. Lee, "Optimal frequency reuse and power control in multi-UAV wireless networks: Hierarchical multi-agent reinforcement learning perspective," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 39555-39565, Apr. 2022.
- [3] G. Kwon, H. K. Choi, T. Kim, J. Park, and S. H. Chae, "Joint node association and beamforming for millimeter wave networks with multiple reconfigurable intelligent surfaces," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 72, no. 8, pp. 11012-11017, Aug. 2023.
- [4] H. Mei, K. Yang, Q. Liu and K. Wang, "3D-trajectory and phase-shift design for RIS-assisted UAV systems using deep reinforcement learning," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 71, no. 3, pp. 3020-3029, Mar. 2022.
- [5] X. Liu, Y. Liu and Y. Chen, "Machine learning empowered trajectory and passive beamforming design in UAV-RIS wireless networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 39, no. 7, pp. 2042-2055, Jul. 2021.
- [6] K. K. Nguyen, S. R. Khosravirad, D. B. da Costa, L. D. Nguyen and T. Q. Duong, "Reconfigurable intelligent surface-assisted multi-UAV networks: Efficient resource allocation with deep reinforcement learning," *IEEE J. Sel. Topics Signal Process.*, vol. 16, no. 3, pp. 358-368, Apr. 2022.
- [7] Y. Liu, C. Huang, G. Chen, R. Song, S. Song and P. Xiao, "Deep learning empowered trajectory and passive beamforming design in UAV-RIS enabled secure cognitive non-terrestrial networks," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 13, no. 1, pp. 188-192, Jan. 2024.
- [8] M. Eskandari and A. V. Savkin, "Deep-reinforcement-learning-based joint 3-D navigation and phase-shift control for mobile internet of vehicles assisted by RIS-equipped UAVs," *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 20, pp. 18054-18066, Oct. 2023.
- [9] H. Zhang, M. Huang, H. Zhou, X. Wang, N. Wang and K. Long, "Capacity maximization in RIS-UAV networks: A DDQN-based trajectory and phase shift optimization approach," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 22, no. 4, pp. 2583-2591, Apr. 2023.

건물 표면에 부착된 RIS를 활용한 UAV 통신은 다양한 이점에도 불구하고, RIS의 위치 제약으로 인해 LoS 링크의 유연한 설계가 어렵다. 이를 극복하기 위해, RIS를 UAV에 탑재하여 RIS 위치를 유동적으로 조절하여 ALoS 링크를 설계가 가능한 RIS가 UAV에 부착된 통신 시스템의 기술 연구 동향을 살펴본다.

### B. RIS-UAV를 활용한 UAV 통신 연구 [7]-[9]

최근, UAV에 RIS를 탑재한 RIS-UAV를 활용한 UAV 통신 연구가 수행되었다[7]-[9]. 문헌 [7]에서는 RIS 탑재 UAV를 활용한 비직상 네트워크에서의 비밀 보호 성능을 향상시키기 위한 UAV 수평 상 이동 궤적 및 RIS 반사 계수 동시 최적화 문제가 정의되었다. RIS 반사 계수 최적화시 채널 계수에 따른 최적 반사 계수를 라벨링 하는 것은 매우 어려운 문제로, 초기에 작은 네트워크로 시작하여 새로운 특징을 인식할 때마다 네트워크에 새로운 뉴런을 추가해 점진적으로 확장하는 DCCN(Double Cascade Correlation Network)을 제안하였다. 채널 계수와 DCCN의 결과로 나온 반사 계수를 입력으로 받아 Policy-based DRL의 일종인 PPO를 활용해 UAV의 이동 궤적을 최적화하였으며, 학습과정에서 과거 정책과 새로운 정책의 비율을 제한하는 클리핑(Clipping) 알고리즘을 사용하여 안정적 학습을 가능하게 하였다.

문헌 [8]은 장애물이 많아 LoS 신호가 약화된 도시 지역에서 이동하는 IoVs(Internet-of-Vehicles)에게 RIS-UAV를 활용하여 기지국의 신호를 전달하는 환경을 고려하였다. ALoS 채널 이득을 최대화하면서 UAV 추진 에너지 소비를 최소화하기 위한 UAV 3D 상 이동 궤적 및 RIS 반사 계수 동시 최적화 문제를 정의하고, 해결책으로 두 종류의 DRL 에이전트(Agent)를 제안하였다. 첫 번째 DRL 에이전트는 완전 연결된 DNN(Deep Neural Network) 기반의 Actor-critic인 RU-LoSNet이다. RU-LoSNet은 점유 지도, IoT(Internet of Things) 정보, 그리고 UAV의 위치와 이동하는 방향을 사용하여 훈련하였다. 두 번째 DRL 에이전트는 CNN(Convolutional Neural Network) 기반의 Actor-critic인 RU-PixelNet이다. RU-PixelNet은 UAV에 있는 오버헤드(Overhead) 카메라에서 찍힌 사진의 픽셀을 사용하여 훈련하였고, 이에 따라 이미지 안에서 IoVs 및 기지국 위치가 식별되어 따로 점유 지도와 IoT 정보를 필요로 하지 않는다.

문헌 [9]은 RIS-UAV를 활용한 NOMA 다운링크에서 UAV의 추진 에너지 소비 제약 조건하에서 시스템 용량 최대화를 위한 UAV 수평 상 이동 궤적과 RIS 반사 계수 동시 최적화 문제를 정의하고 이를 해결하기 위한 DQN 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 기존 RIS가 건물 표면에 부착된 경우 대비 RIS-UAV의 활용이 RIS의 장점을 더 잘 활용하여 성능을 향상시킬 수 있음을 보였다.

RIS-UAV는 다양한 이점을 제공할 수 있지만, UAV가 수용할 수 있는 RIS의 크기와 무게의 한계가 있고, 전송 도중 RIS 반사 요소의 추가나 삭제 어렵다는 제약을 가진다. 또한, UAV에 탑재되어 있는 RIS는 건물 표면에 붙어있는 RIS와는 달리 UAV의 흔들림, 공기 난류 효과와 같은 외부 요인으로 인해 영향을 받을 수 있다.

## III. 결론

본 논문에서는 RIS 지원 UAV 통신의 최신 연구들을 두 가지 시나리오(건물 표면에 RIS가 부착된 경우, RIS가 UAV에 탑재되어 있는 경우)로 구분하여 연구 동향을 살펴보았다. UAV-RIS는 건물 표면에 붙어있는 RIS와는 달리 UAV의 흔들림, 공기 난류 효과로 인해 반사 요소들을 정확하게 조정하기 어려우며, 이를 고려한 향후 연구가 필요하다.