

# Tethered UAV 네트워크에서 멀티 에이전트 큐리닝 기반 합-전송률 최대화 기법

임수현, 이호원

한경대학교 전자전기공학부

{03070226, hwlee}@hknu.ac.kr

## Multi-Agent Q-Learning Based Sum-Rate Maximization in Tethered UAV Network

Suhyeon Lim, Howon Lee

Hankyong National University

### 요약

본 논문에서는 tethered UAV (tUAV) network에서 합-전송률을 최대화하기 위하여 멀티 에이전트 큐리닝 기반 tUAV 제어 기법을 제안한다. 제안방안에서는 구 좌표계에서의 tUAV의 위치를 강화학습의 상태로 설정하고, 좌표계에서 tUAV의 이동을 그 행동으로 설정하였다. 또한, tUAV 네트워크의 합-전송률(sum-achievable data rate)을 보상으로 설정하였으며, 시뮬레이션을 통해 기존 방안 대비 제안 방안의 우수성을 검증한다.

### I. 서론

UAV는 유연한 이동성 및 고정형 기지국 대비 상대적으로 저렴한 설치 비용으로 인해 차세대 셀룰러 네트워크의 성능 향상을 위한 이동형 기지국(UAV-base station, UAV-BS)으로 그 사용이 증가할 것으로 예상된다 [1][2]. 하지만, UAV는 배터리 제약으로 인해 긴 비행이 불가능하다는 치명적인 단점을 가지고 있다. 이에 따라, 드론의 배터리 제약 문제를 해결하기 위한 에너지 효율 향상과 관련된 다양한 연구들이 진행되고 있다 [3]. 따라서, 본 논문에서는 UAV의 짧은 비행시간을 보완하기 위하여 드론과 ground 사이를 연결하여 지상으로부터 계속적으로 전력을 공급받는 Tethered-UAV (tUAV)를 활용하는 tUAV 네트워크에서 강화학습을 적용하여 합-전송률을 최대화하고자 한다. 멀티 에이전트 큐리닝을 기반으로 구좌표계를 기반으로 tUAV-BS의 이동을 제어하여 합-전송률을 최대화할 수 있는 tUAV-BS의 위치를 찾고자 한다.

### II. 합-전송률 최대화를 위한 멀티에이전트 큐리닝 기반 tUAV 제어 기법

본 논문에서 제안하는 합 전송률 최대화를 위한 멀티 에이전트 큐리닝 기법의 큐 함수는 다음과 같이 계산된다.

$Q(a_t, s_t) = (1 - \alpha) \times Q(a_t, s_t) + \alpha \times (r_{t+1} + \gamma \times \max_{a \in A} Q(a_{t+1}, s_{t+1}))$  (1)  
식 (1)에서  $a$ 는 tUAV가 선택한 행동이며,  $s$ 는 tUAV의 상태,  $t$ 는 현재 타임 스텝을 나타내며,  $\alpha$ 는 학습률,  $\gamma$ 는 감가율 그리고  $r$ 은 보상을 의미한다. 본 강화학습에서 에이전트는 각 tUAV이며, 상태는 각 tUAV의 3차원 공간에서의 좌표  $(r, \theta, \phi)$ 로 정의된다. 또한, 행동은  $r$ 증가,  $r$ 감소,  $\theta$ 증가,  $\theta$ 감소,  $\phi$ 증가,  $\phi$ 감소, 정지로 구성되어  $A = \{\Delta r, -\Delta r, \Delta \theta, -\Delta \theta, \Delta \phi, -\Delta \phi, 0\}$ 로 정의된다. 행동은  $decay$   $\epsilon$ -greedy 정책에 따라,  $a_j \in A$ 인 하나의 행동  $a_j$ 를 취할 수 있다. 에이전트가 받는 보상은 모든 셀의 achievable data rate(ADR)을 더하는 합-전송률과 각 셀의 ADR을 최대화하는 개별-전송률로 설정될 수 있다.

$$r = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} (B_i \times \log_2(1 + SINR_{ij}) \therefore \text{Sum rate}) \quad (2)$$

$$r_i = \sum_{j=1}^{M_i} B_i \times \log_2(1 + SINR_{ij}) \therefore \text{Individual rate}$$

식 (2)에서  $N$ 은 셀의 전체 개수를 의미하며,  $B_i$ 는  $i$ 번째 셀에서의 대역폭을,  $SINR_{ij}$ 는  $i$ 번째 tUAV-BS와  $j \in \{1, 2, \dots, M_i\}$ 번째 사용자 간의 SINR을,  $M_i$ 는  $i$ 번째 셀의 사용자 수를 의미한다.

### III. 시뮬레이션 결과 분석 및 결론

성능 평가를 위해 3셀 환경에서 셀 반경은 150m, 빌딩 간 간격은 100m, 빌딩 높이는 30m, tUAV-BS 개수는 3대, 총 사용자 수는 30명, 전체 대역폭은 200KHz, 감가율은 0.9, 학습률은 0.1로 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 1을 통해 제안 방안의 합-전송률 최대화 기법은 개별-전송률 최대화 기법과 비교하였을 때 9.25%의 이득을 가지는 것을 알 수 있다.

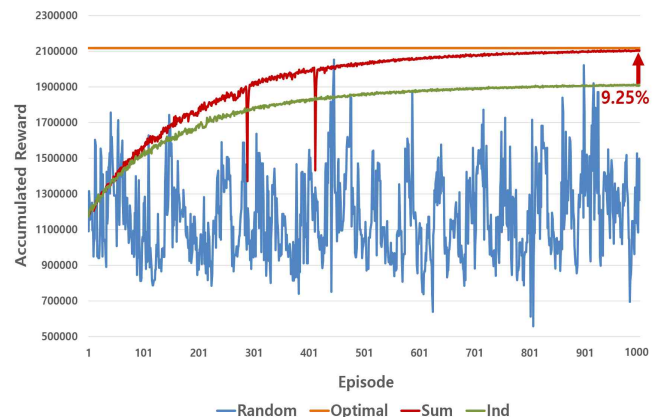


그림 1. 에피소드에 따른 Accumulated Reward 성능 결과

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1F1A1063606).

### 참고 문헌

- [1] Z. Xiao, H. Dong, L. Bai, D. O. Wu and X. Xia, "Unmanned Aerial Vehicle Base Station (UAV-BS) Deployment With Millimeter-Wave Beamforming," IEEE Internet of Things Journal, vol. 7, no. 2, pp. 1336-1349, Feb. 2020.
- [2] H. Yu, H. Lee, and H. Jeon, "What is 5G? emerging 5G mobile services and network requirements," MDPI Sustainability, vol. 9, pp. 1-22, Oct. 2017.
- [3] S. Lim, S. H. Chae and H. Lee, "RE-ORA: Residual Energy-Aware Online Random Access for Improving the Lifetime of Slotted ALOHA-Based Swarming Drone Networks," IEEE Access, vol. 9, pp. 45504-45511, 2021.
- [4] M. A. Kishk, A. Bader and M. -S. Alouini, "On the 3-D Placement of Airborne Base Stations Using Tethered UAVs," IEEE Transactions on Communications, vol. 68, no. 8, pp. 5202-5215, Aug. 2020.