

# 면허 대역과 비면허 대역을 고려한 심층강화학습 기반 UAV 지원 이기종 네트워크 에너지 효율 최대화 연구

김유빈, 김형섭\*, 나지현\*, 이호원

아주대학교, 한국전자통신연구원\*

youbin1323@ajou.ac.kr, {mobman, jhna}@etri.re.kr\*, howon@ajou.ac.kr

## DRL-Based Energy Efficiency Maximization in UAV-aided Heterogeneous Networks Considering Licensed and Unlicensed Bands

Youbin Kim, Hyungsub Kim\*, Jeehyeon Na\*, Howon Lee

Ajou Univ., Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI)\*

### 요약

본 논문은 면허 대역과 비면허 대역 동시 사용을 통해 주파수 부족 문제를 해결하는 5G New Radio-unlicensed(5G NR-U) 기술을 이용하여, 같은 비면허 대역을 사용하는 WiFi UAV가 존재하는 시나리오에서 에너지 효율성을 최대화하는 것을 목표로 한다. 이에 따라, 이기종 네트워크에서 UBS(Unmanned aerial vehicle-base stations)의 최적 이동경로, 전력 및 듀티 사이클 최적 제어를 위한 심층강화학습 기법을 제안한다.

### I. 서론

이동통신 기술이 발달함에 따라 단말의 개수와 모바일 데이터 트래픽이 기하급수적으로 증가하고 있다 [1-2]. 이에 따라 무선 스펙트럼 부족 문제가 발생하고 있고, 이를 해결하기 위한 다양한 연구들이 지속적으로 진행되고 있다. LTE-unlicensed(LTE-U), 5G New Radio-unlicensed(5G NR-U) 기술은 셀룰러 네트워크에서 비면허 대역을 추가적으로 사용하여 무선 스펙트럼 부족 문제 해결을 지원하는 기술이다 [2]. 한편, UBS(Unmanned aerial vehicle-base stations)는 기존의 지상 기지국과 달리 높은 이동성과 저렴한 비용으로 무선 통신 서비스를 효율적으로 제공할 수 있다 [3]. 하지만 UBS를 기반으로 효율적인 무선 서비스 제공을 위해서는 제한된 배터리 성능 문제에 따른 이동 경로 및 전력 제어 최적화와 무선 스펙트럼 부족 문제 해결이 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 심층강화학습 기반 UBS 최적 이동 경로, 전력 및 듀티 사이클 제어기법을 제안한다.

### II. 심층강화학습 기반 에너지 효율 최대화 기법

본 논문에서는 도심 지역에서  $K$ 개의 5G NR UBS와  $L$ 개의 WiFi UAV가 동시에 존재하는 이기종 네트워크를 고려한다. 고려하는 이기종 네트워크에서 사용자는 랜덤으로 배치되고, UBS는 3차원 이동제어를 통해 사용자에게 무선 통신 서비스를 제공해야 한다. 이때, WiFi UAV에게 간섭을 최소화하기 위해 이동경로, 전력 및 듀티 사이클을 최적화하여야 한다. 이를 최적화하기 위해 제안하는 심층강화학습 기법의 MDP(Markov Decision Process)는 다음과 같다. 에이전트는 UBS로 정의된다. 타임스텝  $t$ 에서 에이전트의 상태 정보는  $k$ 번째 UBS의 위치 좌표, 면허, 비면허 대역 송신 전력, 듀티 사이클 및 총  $M$ 개의 UAV로부터의 면허 대역 및 비면허 대역 RSSI의 합이다. UBS는 에너지 효율을 최대화하기 위해 위치 제어, 전력 제어 및 듀티 사이클 제어를 행동으로 결정할 수 있다. 각 네트워크의 에너지 효율성을 증가시키기 위해 UBS의 행동에 따른 보상은 전체 네트워크의 에너지 효율로 정의되며, 식 (1)과 같이 계산된다.

$$r(t) = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{u=1}^U \frac{BW}{U} ((\log_2(1 + \gamma_{ku}^{(LB)}) + \log_2(1 + \gamma_{ku}^{(UB)})) + \sum_{l=1}^L \sum_{u=1}^U \frac{BW}{U} \log_2(1 + \gamma_{ku}^{(WF)})}{\sum_{k=1}^K (P_k^{(TX, LB)} + \eta_k P_k^{(TX, UB)}) + \sum_{l=1}^L P_l^{(TX, WF)}} \quad (1)$$

여기서  $BW$ 는 신호 대역폭,  $\eta_k$ 는 듀티 사이클,  $\gamma_{ku}^{(LB)}$ ,  $\gamma_{ku}^{(UB)}$ 은 면허 대역과 비면허 대역을 이용하여 얻은 SINR(signal-to-interference-plus-noise ratio)이고,  $\gamma_{ku}^{(WF)}$ 은 비면허 대역을 이용하여 얻은 WiFi UAV의 SINR

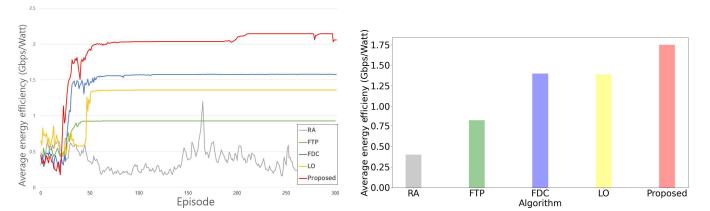


그림 1. Average energy efficiency vs. episode (training)

그림 2. Average energy efficiency vs. episode (test)

을 의미한다.

### III. 시뮬레이션 결과 및 결론

시뮬레이션 상 UBS는 최대 속력  $v_k^{max} = 3[m/iteration]$ , 전송 전력 0-2 [W], 듀티 사이클 0-1을 사용하고, WiFi UAV는 0.2[W]의 전송 전력을 사용한다. 고려하는 네트워크는 400m×400m 내의 30명의 유저와 2개의 UBS 및 2개의 WiFi UAV가 존재한다. 벤치마크 알고리즘으로는 고정 전송 전력 기반 FTP(fixed transmit power), 면허 대역만을 사용하는 LO(licensed only), 고정 듀티사이클 기반 FDC(fixed duty cycle), 모든 상황에서 랜덤 행동을 하는 RA(random action)를 고려하였다. 시뮬레이션 결과, 제안방안은 벤치마크 알고리즘 대비, 각각 337%, 113%, 25%, 25.8%만큼 에너지 효율 성능을 개선하였고, 이를 통해 제안방안이 벤치마크 알고리즘 대비 우수한 에너지 효율 성능을 가지는 것을 입증하였다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원(2018-0-01659, 5G Open Intelligence-Defined RAN (ID-RAN) Technique based on 5G New Radio, 50%)과 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(No. 2021-0-00794, 3차원 공간 이동통신 기술 개발, 50%)을 받아 수행된 연구임.

### 참고 문헌

- [1] H. Yu, et al., "What is 5G? Emerging 5G Mobile Services and Network Requirements," Sustainability, vol. 9, no. 10, pp. 1-22, Oct. 2017.
- [2] H. Lee et al., "Towards 6G hyper-connectivity: Vision, challenges, and key enabling technologies," in Journal of Communications and Networks, vol. 25, no. 3, pp. 344-354, June 2023.
- [3] Q. Ren, et al., "Performance Modeling of an NR-U and WiFi Coexistence System With NR-U Type B Multichannel Access Procedure," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 10, no. 5, pp. 4403-4419, Mar. 2023.
- [4] S. Lee, et al., "Multiagent Q-Learning-Based Multi-UAV Wireless Networks for Maximizing Energy Efficiency: Deployment and Power Control Strategy Design," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 9, no. 9, pp. 6434-6442, May. 2022.