

Air-to-Ground 통신 환경에서 네트워크 에너지 효율 극대화를 위한 분산 큐러닝 기반 UAV-BS 제어 기법

이승민 (한경대학교), 이호원 (한경대학교)

{julsin1, hwlee}@hknu.ac.kr

Distributed Q-Learning Based UAV-BS Control for Maximizing Network Energy Efficiency in Air-to-Ground Communications

Seungmin Lee (Hankyong National Univ.), Howon Lee (Hankyong National Univ.)

요약

본 논문은 Unmanned Aerial Vehicle-Base Station(UAV-BS) 기반 Air-to-Ground(A2G) 통신 환경에서, 드론의 배터리 제약으로 인한 한정된 시간의 드론 기지국 운영 문제를 해결하기 위하여 에너지 효율 극대화를 위한 분산 큐 러닝(distributed Q-Learning) 기반 UAV-BS 제어 기법을 제안한다. 제안 방안은 UAV-BS의 이동방향의 자유도와 전송전력 크기를 분산 큐 러닝의 액션(action)으로 하고, 사용자의 아웃티지를 고려한 UAV-BS의 에너지 효율(energy efficiency)을 보상(reward)으로 설정하여 네트워크 전체의 에너지 효율을 극대화하는 것을 그 목적으로 한다. UAV-BS의 에너지 효율에 대한 시뮬레이션 결과를 통해 제안 방안이 기존 방안 대비 우수한 성능을 가짐을 보인다.

I. 서론

최근 배치의 유연성 및 위험지역 접근의 용이성을 기반으로 도심 속 재난 상황 및 중요 상황에 적응적으로 활용될 수 있는 unmanned aerial vehicle-base station(UAV-BS)기반의 공중-지상(air-to-ground, A2G) 통신 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. [1]에서는 A2G 통신 환경에서 최대 통신 커버리지 보장을 위한 최적의 UAV 고도 제어 기법을 제안하였으며, [2]에서 재난 상황에서 최대의 지상 사용자 지원을 위하여 강화학습 기반 DSC(drone small cell) 최적 포지셔닝 기법에 대한 연구를 수행하였다. 또한, [3]에서는 공중-지상 채널 수율(throughput) 최대화를 위한 강화학습 기반 최적 고도 제어 기법에 대한 연구를 수행하였다. 본 논문에서는 UAV의 심각한 배터리 제약으로 인한 한정된 시간의 UAV-BS 운영 문제를 해결하기 위하여 강화학습을 활용하여 UAV-BS들의 에너지 효율(energy efficiency)를 극대화하고자 한다. 분산 큐 러닝(distributed Q-Learning)을 기반으로 UAV-BS의 이동방향 자유도와 전송전력 크기를 적응적으로 제어함으로써 UAV-BS의 한정된 운영시간 문제를 해결하고자 한다.

II. 분산 큐러닝 기반 UAV-BS 제어 기법

분산 큐 러닝은 중앙집중식(centralized) 큐 러닝보다 계산 복잡도가 상대적으로 작기 때문에 본 논문에서와 같이 에이전트의 수가 많고 상태와 행동의 자유도가 큰 문제에서 매우 효율적으로 사용될 수 있다. 본 논문에서, 분산 큐 러닝 정책의 가치를 평가해 주는 큐 함수는 다음과 같이 계산된다.

$$Q(s_\tau, a_\tau) = (1 - \ell) Q(s_\tau, a_\tau) + \ell(r_{\tau+1} + \mu \times \max_{a \in A} (Q(s_{\tau+1}, a_{\tau+1}))) \quad (1)$$

식 (1)에서 τ , s , a 그리고 r 은 각각 현재시간, UAV-BS 에이전트가 처한 상태, UAV-BS가 취한 행동 그리고 취한 행동으로 인하여 다음 상태에서 받는 보상을 의미한다. 상태는 각 UAV-BS의 3차원 공간에서의 좌표(x, y, z)와 전송 전력의 크기(P_t)가 된다. 이 때, UAV-BS의 상태(x, y, z, P_t)는 $(x, y) = \{-L, -L + \Delta R, -L + 2\Delta R, \dots, L\}$ ($\Delta R = \{\Delta R_x, \Delta R_y\}$), $(z) = \{-h_{\min}, -h_{\min} + \Delta h, -h_{\min} + 2\Delta h, \dots, h_{\max}\}$, $P_t = \{P_{t,\min}, P_{t,\min} + \Delta P_t, P_{t,\min} + 2\Delta P_t, \dots, P_{t,\max}\}$ 으로 표현될 수 있으며, 이를 이용하여 UAV-BS $\mathbb{V} = 1, 2, \dots, N_v$ (UAV-BS $i \in \mathbb{V}$)의 상태 $s_i \in S$ 는 $s_i = \{x, y, z, P_t\}$ 로 정의된다. 가능한 행동은 전, 후, 좌, 우, 상, 하, 전송전력 증대, 전송전력 감소, 전송전력 유지로 $A = \{\Delta R_x, -\Delta R_x, \Delta R_y, -\Delta R_y, \Delta h, -\Delta h, \Delta P_t, -\Delta P_t, 0\}$ 로 정의된다. 에이전트는 t 시간에, 감쇠(decay) $\epsilon - greedy$ 탐색 방법에 따라 이 중 하나의 행동 $a_j \in A$ 을 취할 수 있다. 에이전트가 받는 보상은 지상 사용자의 아웃티지를 고려하면서 에너지 효율을 최대화하도록 다음과 같이 정의한다.

$$x_i = \left(\frac{\sum_{l=1, l \neq j}^{N_u} \left(\frac{B}{N_{i,c}} \times \log_2(1 + SINR_{i,l}) \right)}{P_c + P_{t,i}} \right) \quad (2)$$

$$r = \sum_{k=1}^{N_u} x_k \times \left(1 - \frac{O_u \times \psi}{100} \right) \quad (3)$$

(2)에서 $N_{i,c}$ 는 UAV-BS i 에 할당된 모든 지상 사용자 $U = 1, 2, \dots, N_u$ (지상 사용자 $j \in U$)를 의미하고, $SINR_{k,l}$ 은 UAV-BS k 와 지상 사용자 l 사이의 SINR을, P_c 는 UAV-BS의 고정 소비 전력을, $P_{t,k}$ 는 UAV-BS k 의 전송 시 소비되는 전력을 의미한다. (3)에서 ψ 는 패널티 인자(penalty factor)를 의미하고, O_u 는 아웃티지 사용자의 수를 의미한다.

III. 시뮬레이션 결과 및 결론

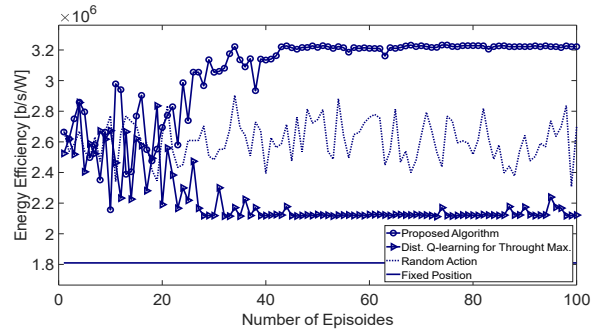


그림 1. 제안 방안의 에너지 효율 성능 결과

그림 1은 에피소드의 진행에 따른 제안 방안과 기존 방안의 에너지 효율에 대한 시뮬레이션 결과이다. 이 때, 100번의 에피소드와 매 에피소드마다 4000 번 이상의 반복이 수행되었다. 제안된 방안이 수율 최적화 기반 분산 큐 러닝 보다 에너지 효율이 평균적으로 27.2704% 더 높았고 무작위 행동 기법 보다 평균적으로 14.7283% 더 개선되었으며 고정적 배치 기법 보다 평균적으로 40.8377% 더 개선되었다. 또한, 수렴 후 제안된 알고리즘은 수율 최적화 기반 분산 큐 러닝보다 에너지 효율이 34.137%만큼 더 높았으며 고정적 배치 기법 보다 43.8271%만큼 더 개선되었음을 보여준다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참고 문헌

- [1] A. Al-Hourani, et al., "Optimal LAP Altitude for Maximum Coverage," IEEE Wireless Commun. Lett., vol. 3, no. 6, pp. 569-572, Dec. 2014
- [2] P. V. Klaine, et al., "Distributed Drone Base Station Positioning for Emergency Cellular Networks Using Reinforcement Learning," Cogn. Comput., No. 10, pp. 790-804, May. 2018.
- [3] S. Lee et al., "Air-to-Ground 통신에서 Throughput 향상을 위한 강화학습 기반 최적 고도 제어 기법," 한국통신학회 동계종합학술발표회 논문집, pp. 1365-1370, Feb. 2020.