

# 심층 Q-신경망을 활용한 비지상망에서의 무인 항공기 배치 및 신호대 잡음비 개선

권윤, 조호신\*

경북대학교

[vhapfks@knu.ac.kr](mailto:vhapfks@knu.ac.kr), [\\*hscho@ee.knu.ac.kr](mailto:*hscho@ee.knu.ac.kr)

## Improvement of UAV Deployment and Signal-to-Noise Ratio in Non-Terrestrial Networks Using DQN

Kwon Yoon, Cho Ho-Shin

Kyungpook National Univ.

요약

본 연구에서는 다중 에이전트 Deep Q-Network(DQN) 기반 강화 학습을 활용하여 무인 항공기(UAV) 기반 통신 네트워크의 성능을 향상시키는 방법을 제안한다. 강화학습 모델 구성을 위해서 가입자 단말기(UE)들로부터 수신 전력 합, UAV간 간섭 세기의 합을 포함하는 상태 변수를 정의한다. 각 UAV는 하나의 에이전트로 모델링되며 에이전트로서 UAV간 간섭을 최소화 하고 고정된 위치의 UE에게 최대 신호 대 간섭 · 잡음비(SINR)를 제공하기 위한 최적의 위치를 학습한다. 그 과정에서 UAV의 송신 전력과 최적 고도의 관계가 도출되며, Air-to-Ground(A2G)통신 시스템 성능이 최적화 되고 UAV의 SINR이 개선된다. 이러한 최적화 과정은 UAV 에이전트들이 독립적이며 상호 협력적으로 동작하여 시스템 전체의 성능을 향상시킨다. 수치 해석 결과 UAV가 최적의 위치를 찾아 감으로써 UE들로부터 최대 수신 전력합이 증가하고, UAV간 간섭 세기의 합이 감소하여 SINR이 개선되는 것을 확인할 수 있다. 본 연구는 UAV의 경로 설계와 비지상망(Non-terrestrial Network)의 통신 품질을 향상시키는 기술로 활용될 수 있다.

### I. 서론

최근 무선 통신 분야에서 무인 항공기(UAV), 특히 드론을 사용하여 성능을 향상시키는 시도가 활발해지고 있으며, 이는 전통적인 지상 기지국이 가진 여러 가지 제약 점을 드론을 이용하여 통신 커버리지와 품질 등 많은 부분을 극복할 수 있기 때문이다. 특히, 재난 지역에서의 긴급 통신이나 통신 서비스 접근이 어려운 지역에서 드론이 큰 도움이 될 수 있다 [1]. 따라서 본 논문에서는 Deep Q-Network(DQN)을 이용한 기계 학습 접근 방식을 통해 드론의 위치와 경로를 최적화 하여 사용자에게 고품질의 서비스를 제공하는 방법을 제안한다.

### II. 본론

본 연구에서는 [그림 1]과같이 가로, 세로가  $L[m]$ 인 정사각형 영역 내에서 일정한 고도의 UAV가 고르게 분포된 상황을 가정한다. 그리고 사용자 장비(UE)는 이는 실제 도심 지역이나 특정 지역에서 통신 수요를 반영하며, 일정 지역에 집중된 상황을 가정한다.

UAV는 DQN을 활용하여 각각의 위치, 수신 전력, 그리고 수신 간섭의 합을 고려해 이동한다. 목표는 UAV의 SINR을 최대화하는 것이며, UE가 서로 다른 핫스팟들을 향해 UAV들이 이동하게 된다. 이는 UAV 간의 간섭이 줄어들고 동시에 UAV와 UE 간 송수신 전력의 증가로 이어져 UE의 SNR이 증가하는 것으로도 이어진다.

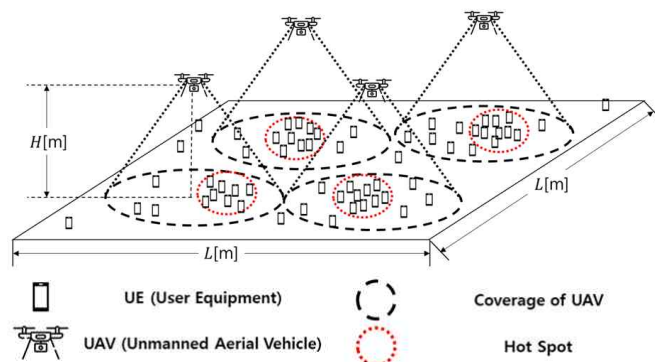


그림 2 UAV 기지국 네트워크 모델

UAV와 지상 사용자 간 통신 링크는 LOS(Line of sight)와 NLOS(Non-Line of Sight)로 구분되며, 각각 다른 경로 손실 모델이 적용된다[2]. 따라서 시간  $t$ 에서  $k$ 번째 UE와  $m$ 번째 UAV 사이의 경로 손실은

$$PL_{k,m}(t) = FSPL_{k,m}(t) + Pr_{k,m}^{LOS}(t) \times \eta_{LOS} + Pr_{k,m}^{NLOS}(t) \times \eta_{NLOS} \quad (1)$$

같이 표현된다. 여기서  $FSPL_{k,m}(t)$ 은 자유 공간에서의 경로 손실의 평균값이다.  $\eta_{LOS}$ 와  $\eta_{NLOS}$ 는 LOS 및 NLOS 상태에서의 경로 손실을 각각 나타낸다.  $Pr_{k,m}^{LOS}$ 와  $Pr_{k,m}^{NLOS}$ 는 각각 A2G 채널이 LOS와 NLOS가 될 확률을 나타낸다[3][4].

UAV들의 고도가 다른 경우, 지상 UE까지의 경로에 다른 UAV가 존재하여 NLOS를 야기할 수 있고[5], 동일 고도 UAV의 경우, 상호 간의 간섭을 최소화할 수 있으므로[6] 본연구에서는 UAV들의 고도를 동일하게 가정한다.

각각의 UAV를 독립된 에이전트로 간주하며, DQN으로 해결하기 위한 문제를 다음과 같이 정의하였다.

- 환경(Environment) : [그림 1]과같이 정사각 영역에서 동일 고도를 가진 UAV들이 고르게 분포되어 있고, UE는 일정 지역에 집중되었다.
- 에이전트(Agent) : 각 UAV 에이전트는 기지국 역할을 수행하며, 환경으로부터 상태를 입력받아 액션을 결정한다.
- 상태(State  $s$ ) :  $t$  번째 time step에서  $m$  번째 에이전트의 상태  $s_m(t)$ 는

$$s_m(t) = \{x_m, y_m, P_{m,t}, I_{m,t}\} \quad (4)$$

같이 표현된다. 에이전트의 상태는 에이전트의 위치( $x_m, y_m$ ), 수신 전력( $P_{m,t}$ ), 그리고 다른 에이전트로부터의 간섭 수준( $I_{m,t}$ )으로 정의된다.

- 행동(Action) : 에이전트의 행동은 이동할 방향을 포함한다. 행동의 종류로 상, 하, 좌, 우, 정지가 있다.
- 보상(Reward) : 보상 함수는 수신 전력의 증가와 간섭의 감소를 기반으로 계산된다.  $t$  번째 time step에서  $m$  번째 에이전트의 보상  $r_m(t)$ 은

$$r_m(t) = (P_{m,t} - P_{m,t-1}) + (I_{m,t-1} - I_{m,t}) + (P_{m,t}/I_{m,t} - P_{m,t-1}/I_{m,t-1}) \quad (5)$$

같이 표현된다. 여기서  $P_{m,t-1}$ 와  $I_{m,t-1}$ 은 이전 time step에서의  $m$  번째 에이전트의 수신 전력과 다른 에이전트로부터의 간섭 수준을 나타낸다.

[표 1]과 같이 시뮬레이션에 사용될 파라미터를 설정한 후, Q-학습 방식과 무작위 방향으로 이동했을 때의 결과를 비교하였다.

표 1 : 시뮬레이션에 사용되는 환경 파라미터.

Episode 별 최대 time step	1000
공간의 너비 및 길이	3 km
UE 수	200
UAV 수	4
UAV의 높이 ( $H$ )	300 m
UAV의 수신 전력 ( $P_{UAV}$ )	0.01 W
UE의 수신 전력 ( $P_{UE}$ )	0.03 W
반송파 주파수 ( $f_c$ )	2.4 GHz

[그림 2]는 UE의 수에 따른 수신 전력의 총합을 나타낸다. DQN 방식이 가장 높은 전력을 수신하고 있는 것을 보여주며, 이는 UE의 수가 증가함에 따라 각각의 핫스팟에 모이게 되는 UE 수도 따라서 증가하므로 서로 다른 핫스팟을 찾아가는 UAV들에게 있어 수신 전력이 비례해서 증가하게 된 것이다. 그렇기에 본 논문에서 제안하는 방식이 Q-학습 방식과 무작위 방식보다 더 높은 성과를 보여주고 있다.

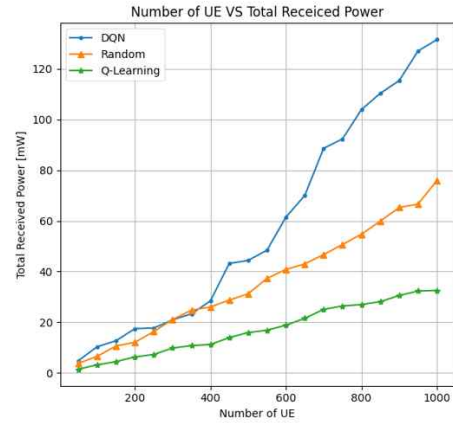


그림 2 UE 수 대비 수신 전력

### III. 결론

본 논문에서는 DQN 학습 모델을 사용하여 UAV 기반 통신 네트워크의 배치 및 경로 최적화 문제를 해결하였다. 이 논문의 핵심은 UAV의 배치와 운영을 최적화함으로써, 재난 지역 또는 일반적인 통신 방법이 적용되기 어려운 지역에서 통신 품질이 크게 향상될 수 있다. 본 논문에서 제시된 DQN 학습 모델은 다중 에이전트 강화학습 문제를 해결할 수 있음을 보인다. 향후 연구에서는 이러한 최적화 기법을 더 복잡하고 동적인 통신 환경, 예를 들어 도시 지역 또는 대규모 재난 상황에서의 응용 가능성을 탐구할 필요가 있다. 이러한 연구는 미래 통신 기술의 발전뿐만 아니라, 긴급 구조 및 재난 대응 분야에서도 큰 영향을 미칠 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] Zhiqiang Xu. "Application Research of Tethered UAV Platform in Marine Emergency Communication Network". In: Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications 12.1 (2021), pp. 38 - 52.
- [2] Daemen, J., and Rijmen, V. "AES Proposal: Rijndael, Version2,," Submission to NIST, March 1999.
- [3] Eran Greenberg, Amitay Bar, and Edmund Klodzh. "LOS Classification of UAV-to-Ground Links in Built-Up Areas". In: 2019 IEEE International Conference on Microwaves, Antennas, Communications and Electronic Systems (COMCAS). 2019, pp. 1 - 5.
- [4] M. Khan. "Mathematical framework for 5G-UAV relay". In: European Transactions on Telecommunications 32.1 (2021), e4173.
- [5] Mohammad Mahdi Azari et al. "Ultra Reliable UAV Communication Using Altitude and Cooperation Diversity". In: IEEE Transactions on Communications 66.1 (2018), pp. 330 - 344.
- [6] Zihe Zhang et al. "Downlink Interference Management in Dense Drone Small Cells Networks Using Mean-Field Game Theory". In: 2018 10th International Conference on Wireless