

Actor-Critic 알고리즘을 이용한 5G 네트워크 기반 UAV와 지상 기지국 간 최적 경로 설정 방안 연구

이민경⁰, 홍충선*
경희대학교 컴퓨터공학과
{minkyung0110, cshong}@khu.ac.kr

Optimal Path Planning between 5G-based UAV and Ground Base Station using Actor-Critic Algorithm

MinKyung Lee⁰, ChoongSeon Hong*
Department of Computer Science and Engineering, Kyung Hee University

요 약

5G 이동통신 네트워크가 구축되면서 massive type communication, mission-critical devices와 같이 저지연 통신 및 고신뢰를 요구하는 모바일 기기들의 사용이 용이해지는 추세이다. 고신뢰 및 저지연 서비스를 제공해주는 통신으로 5G URLLC 통신이 각광받기 시작하였고, 5G 기지국인 gNB가 등장했다. 그러나 스마트 시티, 스마트 공장 등 수많은 기기들이 동시 다발적으로 운영되어야 하는 시대가 도래 하면서, 지상의 기지국만으로는 저지연 및 고신뢰 통신을 지속하는 문제와 다량의 기지국을 건설하여야 하는 문제가 발생하게 됐다. 따라서 본 논문은 이를 해결하고자 Actor-Critic 강화학습 알고리즘을 적용하여, 기지국 역할을 수행하는 UAVs이 지상의 기지국과 함께 통신할 때 UAVs간 및 UAV와 BS 간 통신 지연을 최소화 하면서 최대 커버리지를 다룰 수 있는 최적의 경로 계획 방안을 제안하고자 한다.

1. 서론 및 관련 연구

5G 이동통신 네트워크가 상용화되면서 사물인터넷과 자율주행 자동차, 스마트 공장 등 mission-critical devices가 급증하면서 해당 기기들을 지원하기 위해 Ultra Reliable Low Latency Communication(URLLC)이 5G 통신의 핵심 기술로 각광받기 시작했고, 5 generation NodeB(gNB)가 함께 등장했다[1]. 그러나 gNB만으로 다량의 통신이 동시다발적으로 발생하는 환경에서 발생 가능한 저신뢰 고지연 통신 문제를 해결할 수 없다. 따라서 이러한 문제를 해결하는 방안으로 UAV-기지국(BS)과 gNB를 도와 통신 지연 문제 및 통신 누락 문제를 방지 역할로 대두되고 있다. 그러나 UAV-BSs와 gNB가 고신뢰 저지연 통신을 위해 가까운 거리를 유지하면서 동시에 UAV-BSs간의 상호 연결도 유지하기 위한 최적의 경로를 계획하는 것이 5G 기반 UAV-BSs의 주요이슈 중 하나이다[2][3]. 논문[4]은 이러한 이슈를 해결하는 방안으로 간섭을 인식하는 경로 계획을 위해 echo state network(ESN)기반 딥 강화학습을 적용하는 방안을 제안하였다. 그 결과 지상 네트워크 밀도에 따라 UAV가 최적의 고도를 찾을 수 있었다. 논문[5]은 공중 기지국 역할을 수행하는 UAVs가 지상의 여러 사용자 기기들을 지원하기 위한 다운링크 방안을 연구하였다. 고도 의존 경로 손실 지수 및 페이딩 함수를 통하여 기존의 Air-to-Ground(A2G) 채널 모델을 보완하는 방안을 제안하였다. 더불어 논문[6]은 군집을 이루는 UAV에 의한 검사를 위해 전체 에너지 소비를 최소화하는 경로 계획 알고리즘을 제안하였다. 이 때 [6]은 그래프 기반 모델을 사용하여 제한된 에너지를 고려하면서 자율 검사와 K-이동 수리공

문제를 활용하는 새로운 경로 계획 알고리즘을 제안하였다. 그 결과 에너지가 제한된 UAV의 궤도 최적화 결과를 야기했다.

본 논문은 이와 다르게 UAV-BSs를 통해, gNB 한 대가 다량의 통신을 담당할 때 보다 더 넓은 커버리지의 통신을 수행하는 방안을 Actor-Critic 강화학습 알고리즘을 적용한 모델을 통해 제안하고자 한다. 이를 통해 군집을 이루는 UAV-BSs가 gNB만 있는 경우보다 높은 처리량을 지니게 되며 최적 경로 계획 방안으로 인한 통신 지연 최소화 방안을 연구한다.

2. 제안 사항

2.1 시스템 모델 및 UAV 통신 모델

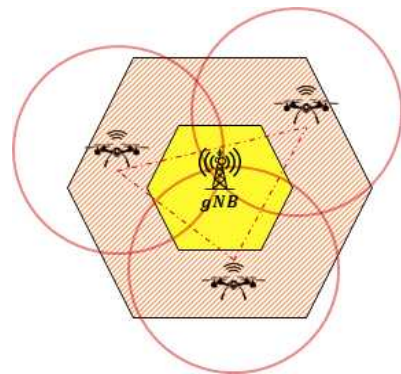


그림 1. UAV-BSs and gNB System Model

본 논문은 그림 1과 같이 기지국으로서의 역할을 수행하는 다수의 UAV와 하나의 gNB간 통신 지연을 최소화하면서 사용자 디바이스 커버리지를 최대화 할 수 있는 최적의 경로 계획 방안을 제안한다. 이 때 본 논문은 UAV-BSs와

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2019-0-01287, 분산 엣지를 위한 진화형 딥러닝 모델생성 플랫폼) Dr. CS Hong is the corresponding author.

gNB간 다운링크 통신을 고려하여 통신 지연 및 처리량 향상을 연구한다. 이를 위해 우선 UAV 통신 모델을 구하여 UAV와 gNB간 발생하는 경로 손실 및 통신 지연을 계산한다. UAV, $j \in J$,와 gNB의 위치, (α, β) 간의 경로 손실은 다음과 같다[6].

$$P_{LoS} = \frac{1}{1 + \epsilon \exp(-\beta[\theta - \epsilon])} \quad (1)$$

$$\theta = \frac{180}{\pi} * \sin^{-1}\left(\frac{a_j}{d_{ij}}\right) \quad (2)$$

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + a_j^2} \quad (3)$$

수식(1)은 air to ground 채널 모델로서 Line-of-Sight (LoS)를 고려한 값을 나타낸다. 표 1과 같이 ϵ 과 β 는 상수 값으로 도시, 시골, 복잡한 도시 등 환경에 의존된 값을 의미한다. 수식(1)을 구하기 위해 수식(2)에서 θ 는 elevation angle을 의미하며, a_j 는 UAV-BSs의 고도, d_{ij} 는 UAV-BSs와 gNB간의 거리를 나타낸다. 수식(1)의 모델을 바탕으로 2.2절의 Actor-Critic 모델 기반 경로 계획 방안에서 고정된 UAV-BSs와 gNB간의 다운링크 통신 상 저지연 및 높은 처리량 모델을 구할 수 있다.

표 1. Notion Definitions

Notion	Description
θ	elevation angle
a_j	altitude of UAV-BSs, j
d_{ij}	distance between UAV-BSs and gNB
ϵ, β	constant which represent environments
γ	discount factor which is a binary function
\bar{V}	value function approximator
$\beta_t^{\theta}, \beta_t^{\rho}$	the step-size

P_{LoS} 를 최소화 하는 모델을 Actor-Critic 알고리즘으로 구성하기 위해 필요한 cost function은 수식(4)와 같다.

$$f(cost) = P_{LoS} * \omega_j \quad (4)$$

여기서 $\omega_j, j \in J$ 는 UAV-BSs의 가중치를 의미하며 상수이다. 이를 토대로 본 논문은 다음 함수의 최대값을 구하는 것이 연구 목적이다.

$$\begin{aligned} & \text{maximize} \quad \sum_{j \in J} R_j x_j \\ & \text{subject to} \\ & R_j = \frac{1}{f(cost)} \\ & x_j \in \{0,1\}, \quad j \in J \end{aligned} \quad (5)$$

수식(5)에서 R_j 는 본 논문에서 구하고자 하는 목적 함수

로서, 수식(4)의 cost function, 즉 경로손실이 최소일 경우 최대가 되는 값을 의미한다. x_j 는 UAV-BSs의 여부를 나타내는 값으로 이진함수이며, $j \in J$ 는 UAV-BSs의 개수이다.

2.2 Actor-Critic 모델 기반 경로 계획 방안

2.1절의 수식(1)을 통해 구한 UAV-BSs와 gNB간 채널 모델을 바탕으로 공중에 움직임 없이 떠있는 UAV-BSs 군집과 gNB간의 통신을 연구한다. 이때 UAV-BSs가 고정되어 있다는 가정 하에 다운링크 커버리지를 최대화하는 방안을 Actor-Critic 모델을 기반으로 수식(5)에서 R_j 가 최대가 될 때의 최적의 policy를 구할 수 있다[7].

$$\theta_{\pi} \leftarrow \theta_{\pi} + \tau \nabla_{\theta_{\pi}} E[R_j] \quad (6)$$

$$\nabla_{\theta_{\pi}} E[R_j | \pi_{\theta_{\pi}}] = E[A(s, a) \nabla_{\theta_{\pi}} \log \pi(a | s; \theta_{\pi})] \quad (7)$$

수식(6)은 최적의 policy를 찾기 위해 gradient ascent 방식으로 가중치를 업데이트 하는 것을 의미한다. 이 때 $\nabla_{\theta_{\pi}} E[R_j]$ 는 이익함수와 함께 수식(7)로 표현이 된다. 이익함수는 Actor-Critic 함수 내 Q function과 Value function의 차이를 나타내는 값을 의미한다.

Algorithm: Process of proposed approach

- 1 Initialize θ and ρ . Set $x_{\rho}=0, x_{\theta}=0, t := 1$
- 2 Show the action, $a_t \sim \pi(\cdot | s_t, \theta)$
- 3 Execute a_t , evaluate the next state s_{t+1} and the reward, R_t
- 4 Calculate the temporal difference of,
- 5 $d_t(\rho) = r_t + \gamma \bar{V}(s_{t+1}; \rho) - \bar{V}(s_t; \rho)$
- 6 Redesign the actor,
- 7 $x_{\rho} := (\gamma \lambda) x_{\rho} + \beta_t^{\theta} \nabla_{\theta} \ln \pi(a_t; s_t, \theta)$
- 8 $\theta := \theta + x_{\theta} d_t(\rho)$
- 9 Redesign the critic model:
- 10 $x_{\rho} := (\gamma \lambda) x_{\rho} + \beta_t^{\rho} \nabla_{\rho} \bar{V}(s_t; \rho)$
- 11 $\rho := \rho + x_{\rho} d_t(\rho)$
- 12 Set $t := t + 1$ and Repeat it from Line 2

위의 알고리즘은 본 논문에서 제안하는 접근의 과정에 대해 알고리즘 시퀀스로서 나타낸 표이다. UAV-BSs와 gNB간의 통신 지연, 즉 경로 손실을 최소화할 때에 최대가 되는 Reward 함수 값을 가지고 Actor-Critic을 돌렸을 때에 얻을 수 있는 최적의 Reward 함수 값과 이를 통해 갖게 되는 action, 즉 최적의 커버리지 값을 구할 수 있다.

3. 성능평가

본 연구에서 제안한 방안의 성능은 통신 지연과 사용자 모바일 디바이스 처리량으로 구하였다. 이를 위해 구성된 환경은 1대의 gNB와 5대의 UAV-BSs이며 사용자 모바일 디바이스는 최소 500개로 전제하는 환경을 통해 성능평가를 진행하였다.

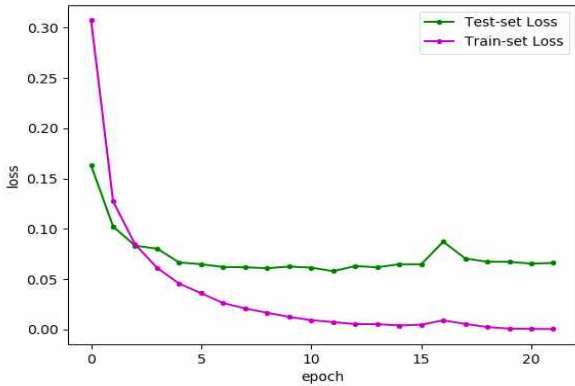


그림 2. loss function versus epoch

그림 2는 전체 학습을 진행한 횟수의 평균(epoch) 대비 actor-critic 알고리즘의 loss function이 train값과 test 값 사이에서 진행되는 점을 보여준다. 해당 그래프를 통해 Actor-Critic 알고리즘이 동작되었다는 것을 보여준다.

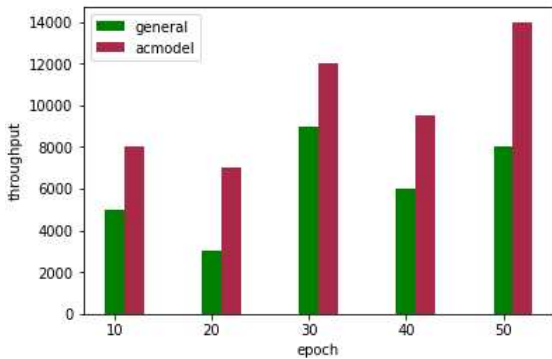


그림 3. Throughput

그림 3은 전체 학습을 진행한 횟수의 평균(epoch) 대비 처리량을 기준으로 Actor-Critic 알고리즘이 적용된 UAV-BSs 및 gNB 환경(acmodel)과 UAV-BS 위치 분류 학습 횟수 대비 최적 경로 계획을 구상하지 않은 UAV-BSs 및 gNB 환경(general)의 처리량을 나타낸다. Actor-Critic 알고리즘 기반, 최적의 경로 계획모델을 적용한 경우 커버리지가 증가하게 되어 처리량이 증가한다는 것을 알 수 있다.

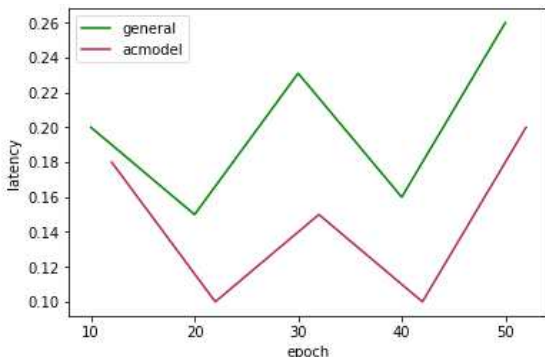


그림 4. Latency

그림 4는 전체 학습을 진행한 횟수의 평균(epoch) 대비 Actor-Critic 모델이 적용된 UAV-BSs 및 gNB환경(acmodel)과 UAV-BS 위치 분류 학습 횟수 대비 모델이 적용되지 않은 환경(general)의 통신 지연을 나타낸 그래프이다. epoch를 10세대부터 50세대까지 횟수를 늘렸을 때 UAV-BSs 및 gNB 다운링크의 통신지연을 나타내며, latency의 단위는 초(second)이다.

4. 결론 및 향후 연구

본 논문은 그림 1과 같이 기지국으로서의 역할을 수행하는 다수의 UAV와 하나의 gNB간 통신 지연을 최소화하면서 사용자 디바이스 커버리지를 최대로 할 수 있는 최적의 경로 계획 방안을 연구하였다. 그러나 제한 조건으로 다운링크만 고려한다는 점과 UAV-BSs와 gNB 간 직교성 통신을 하여 간섭이 없다는 전제를 통해 진행된 연구라는 점에서 한계가 존재한다. 이와 같은 한계를 보완하기 위해 향후 공중에서 이동하는 Non-orthogonal UAV-BSs 와 gNB 간 업링크 다운링크 통신을 진행할 때의 경로 계획 방안 연구를 진행하고자 한다.

참고 문헌

- [1] Shashi Raj Pandey, Madyan Alsenwi, Yan Kyaw Tun, and Choong Seon Hong, "A Downlink Resource Scheduling Strategy for URLLC Traffic", 2019 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing(BigComp), April 2019
- [2] Bin Li, Zesong Fei, and Yan Zhang, "UAV Communications for 5G and Beyond: Recent Advances and Future Trends", IEEE Internet of Things Journal, page.1, 17 December 2018
- [3] Yong Zeng, Rui Zhang and Teng Joon Lim, "Wireless Communications with Unmanned Aerial Vehicles: Opportunities and Challenges", IEEE Communications Magazine, Vol.54, Issue.5, page.36-42, May 2016
- [4] Ursula Challita, Walid Saad, and Christian Besttstetter, "Cellular-Connected UAVs over 5G: Deep Reinforcement Learning for Interference Management", arXiv:1801.05500v1[cs.IT], 16 Jan 2018
- [5] Mohammad Mahi Azari, Fernando Rosas, Kwang-Cheng Chen, and Sofie Pollin, "Ultra Reliable UAV Communication Using Altitude and Cooperation Diversity", IEEE Transaction on Communication, vol.66. No.1, January 2018
- [6] Momena Monwar, Omid Semiari, and Walid Saad, "Optimized Path Planning for Inspection by Unmanned Aerial Vehicles Swarm with Energy Constraints", 2018 IEEE Global Communications Conference(GLOBECOM), 21 February 2019
- [7] H.S Kim, Y.M Kim, and J.W Lee "Actor-Critic Method for Power Allocation Optimization in Energy Harvesting Systems", 2018 Annual Conference of the Korean Institute of Communication Sciences, page.1279-1280, June 2018