

# 저궤도 위성 기반 비-지상망 네트워크 최적화를 위한 심층 강화학습 방식에 관한 연구

이주형, 고영채  
고려대학교

leejuhyung@korea.ac.kr, koyc@korea.ac.kr

## A Study on the low-earth orbit satellite based non-terrestrial network systems via deep-reinforcement learning

Lee Ju Hyung, Ko Young Chai  
Korea Univ.

### 요 약

저궤도 (low earth orbit; LEO) 위성 네트워크는 장거리 통신에서 저-지연을 성능을 확보하여 주목받고 있다. 본 연구에서는 6 세대 셀룰러 통신 시나리오에서 주목받는 저궤도 위성 네트워크와 지상기지국을 통합하는 비지상망 네트워크 관련 연구를 수행한다. 더불어, 저궤도 위성 네트워크의 통신량 (Throughput) 성능 향상을 위하여, 지상중계기 (Ground relay terminal)를 위성 네트워크에 통합하는 기법을 제안한다. 비지상망 네트워크 관련 연구를 상당히 멀리 떨어진 두 지상기지국을 고고도 비행체와 위성망을 통해 중계하는 상황을 고려하여, 해당 통신 시나리오에서 종단 간 통신량 (End-to-end throughput; E2E)을 최대화하는 것을 목적으로, 다수의 저궤도 위성 중 어떤 위성으로 할 것인지에 관한 최적의 라우팅을 결정하기 위하여 연결 (association) 문제를 해결하였다. 문제해결을 위하여 심층 강화학습(deep reinforcement learning; DRL) 방식을 이용하였으며, 그 결과 저궤도 위성으로 얻을 수 있는 종단 간 통신량을 파악하였다. 더불어, 제안하는 위성과 지상중계기의 통합 방식이 위성 네트워크만을 사용하는 기존 방식에 비해 2.88 배의 통신량을 확보할 수 있음을 확인하였다.

### I. 서 론

저궤도 위성 네트워크는 장거리 통신에서 저-지연을 성능을 확보하여 주목받고 있다. 차세대 셀룰러 통신 시나리오로 주목받는 해당 저궤도 위성 기반 비-지상망 네트워크 (Non-terrestrial network; NTN)는, 최근 및 전 세계에 인터넷을 보급하는 것을 목적으로 진행되고 있는 미국의 Space X 사의 'Starlink'를 통해 더 큰 주목을 끌고 있다 [1]. 해당 'Starlink'는 21 년도 5 월기준 1600 여대의 저궤도 위성을 고도 550km 부근 설치에 성공하였으며, 실제로 미국, 캐나다, 프랑스를 포함한 9 개국에 베타서비스를 진행 중이다. 베타서비스임에도 불구하고 기존 통신방식 보다 더 낮은 지연시간 (latency)을 달성하고, 100Mbps 이상의 높은 데이터 전송률을 확보에 성공하는 등, 저궤도 위성 기반 비-지상망 네트워크의 가능성이 현재 실제 서비스를 통해 확인되고 있다.

학계에서는 저-궤도 위성의 배치 (Constellation)를 설계하는 문제 [2] 혹은 저-궤도 위성 네트워크의 자원할당 (Resource allocation)을 최적화하는 문제 [3,4] 등 다각도로 저궤도 위성 통신 망에 관한 연구를 진행 중이다.

### II. 본론

해당 논문에서는 저궤도 위성망이 장거리 통신에서 사용되는 경우를 연구한다. 대략 5500km 링크거리를 가지는 뉴욕과 런던 사이의 통신상황을 가정하였으며, 뉴욕에 위치한 Src (source terminal) 과 런던에 위치한 Dst (destination terminal) 사이에 22 대의 위성이 등간격으로 배치되어 등속도로 공전하는 위성 궤도면이 1~3 개 포함되는 상황을 각각 고려하였다.

이 시스템은 3 차원을 기반으로 문제를 설정한다.  $x$ ,  $y$ ,  $z$  축으로 이루어진 평면에서 지상에 위치한 터미널은  $(0,0,0)$ 에 위치한다. 저궤도 위성의 위치는 지상에 위치한 터미널을 기준으로, 위치 벡터  $\mathbf{q}_L^i[n]$  로 표현한다. 고려하는 네트워크 시나리오는 5500km 의 링크거리를 가지는 Src  $S$  와, Dst  $D$  사이에 저궤도 위성  $i$  이 중계기의 역할을 수행할 때, 지상중계기  $k$  가 위성  $i$  과 Dst 사이에서 추가적인 중계기 로 역할을 수행한다.

### III. 저궤도 위성 네트워크 통신량 최대화를 위한 최적 연결 (association) 및 라우팅 (routing)

본 논문에서는 해당 시스템 시나리오에서 저궤도 위성이 사용되었을 때, Dst 에서 확보할 수 있는 통신량을 파악함과 더불어, 저궤도 위성 네트워크 통신량 최대화를 위한 방식으로 지상중계기가 저궤도 위성 네트워크 사이에 추가로 위치하였을 때, 얼마만큼의 성능 보상을 얻을 수 있는지에 대해 연구한다.

이를 위하여 저궤도 위성이 운용되는 실제 상황을 고려하면서 Dst 의 통신량 최대화 문제를 다음과 같은 식 (1) 로 나타낸다.

$$\max_w \sum_{n=1, \dots, N} R_{s,D}[n]$$

$$\mathbf{q}_L^i[n+1] = \mathbf{q}_L^i[n] + \mathbf{v}_L \delta_i,$$

$$R_{s,i}[n] \leq C_{s,i}[n],$$

$$\text{Subject to, } R_{i,k}[n] \leq \min \{C_{i,k}[n], Q_i + R_{s,i}[n]\}, \quad (1)$$

$$R_{k,D}[n] \leq \min \{C_{k,D}[n], Q_k + R_{i,k}[n]\},$$

$$w_{i,k}[n] \in \{0,1\},$$

$$\sum_{i \in I} w_{i,k}[n] \in \{0,1\}, \forall n$$

위의 식에서  $w$  는 연결 (association)에 관련된 변수이다. 해당 변수  $w$  는 0 혹은 1 을 가지는 integer 형태의 변수이며, Dst 에서 통신량을 표현하는

목적함수  $R_{s,D}[n]$  의 분모와 분수에 해당 변수  $w[n]$  이 포함된다. 이 때문에, 해당 non-convex 식 (1)은 근사식을 취해 해결하는 기존의 수학적 기법 (예: Successive Convex Approximation 등) 은 사용할 수 없다.

### III. Actor-Critic 방식의 심층 강화학습 기반 최적화 기법

해결하려는 식(1)의 문제를 위해, 아래의 그림 (1)의 구조를 따르는 actor-critic 기법 기반 심층 강화학습 방식을 적용한다.

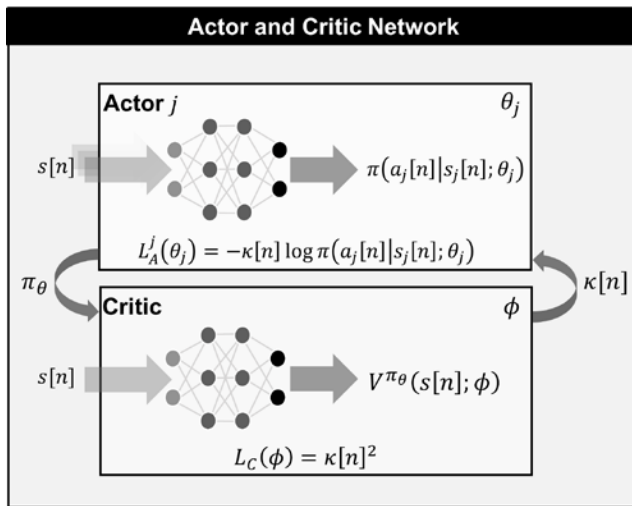


그림 1. Actor-Critic 기반 심층 강화학습 방식

### IV. 시뮬레이션 결과 및 결론

식 (1)에 기반해 state, action, reward 를 설계한 후 그림 1 의 Actor-Critic 기반 심층 강화학습 방식으로 지상 중계기  $k$  를 학습시킨 결과이다.

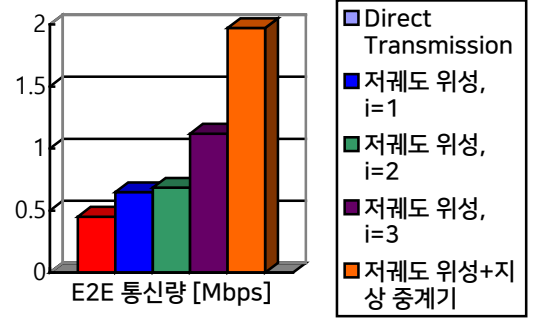


그림 2. 저궤도 위성 기반 통신 방식 성능 비교

그림 2 의 결과를 통하여, 해당 네트워크 시나리오에서, 위성의 갯수 ( $i=1 \sim 3$ )에 따라 획득 할 수 있는 종단 통신량을 확인하였다. 더불어, 제한하는 위성 망에 추가적인 지상 중계기를 사용하는 경우 는 같은 위성만 사용한 경우 대비 2.88 배의 성능을 획득할 수 있다는 것을 확인했다.

### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(NRF-2020R1A4A1019628)

### 참 고 문 헌

- [1] Starlink, Accessed: May- 2020. [Online]. Available: <https://www.starlink.com/>
- [2] Israel Leyva-Mayorga, et. Al., "Inter-Plane Inter-Satellite Connectivity in Dense LEO Constellations," arxiv: 2005.07965
- [3] B. Di, L. Song, Y. Li, and H. V. Poor, "Ultra-Dense LEO: Integration of satellite access networks into 5G and beyond," IEEE Wireless Commun., vol. 26, no. 2, pp. 62-69, 2019
- [5] J.-H. Lee, J. Park, M. Bennis, and Y.-C. Ko, "Integrating LEO satellite and UAV relaying via reinforcement learning for Non-Terrestrial networks," in Proc. IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM), Taipei, Taiwan, 2020, pp. 1- 6.