

대한민국 전역에 통신 서비스를 제공하기 위한 성층권 드론 개수 도출

이재열, 이원재*, 김태윤* 김재현**

아주대학교 우주전자정보공학과, *아주대학교 AI융합네트워크학과, **아주대학교 전자공학과
{jaeyel98, *ljmwon, *xodbsxogjs, **jkim}@ajou.ac.kr

Number of HAPS Required to Provide Communication Services Across South Korea

Jaeyeol Lee, Wonjae Lee*, Tae-Yoon Kim*, Jae-Hyun Kim**

Department of Space Survey Information Technology, Ajou University,
*Department of Artificial Intelligence Convergence Network, Ajou University,
**Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University

요약

성층권 드론은 고도 20 km에서 지상에 고정된 서비스를 제공한다. 또한, 서비스가 제공되지 않거나 부족한 지역에 5G 서비스를 제공하여 지상에 네트워크를 지원한다. 하지만, 시나리오를 구축해 성층권 드론의 개수를 도출하는 연구는 부족하다. 본 논문은 HAPSMobile의 안테나 패턴을 사용하여, signal-to-interference-plus-noise-ratio (SINR)을 계산하고 대한민국에 통신 서비스를 제공하기 위한 성층권 드론 개수를 분석하였다.

I. 서론

성층권 드론은 6G 통신의 목적인 초공간을 제공할 수 있는 잠재력을 가지고 있어 차세대 통신망으로 주목받고 있다. 성층권 드론은 고도 20 km인 성층권 환경에서 원형으로 비행을 하는 특징을 가지므로, line-of-sight (LoS) 확보가 용이하다. 따라서, 음영지역, 인구밀집도가 높은 지역, 재난 상황에서 효율적으로 통신 네트워크를 구축할 수 있다. 성층권 드론은 신속하고 유연한 통신망 설계가 가능하다는 장점을 기반으로 많은 연구가 진행 중이다 [1], [2]. 성층권 드론에 통신 방식은 중계기를 탑재하여 중계 역할을 하는 transparent 구조, 성층권 드론에 기지국을 탑재하여 통신을 제공하는 regenerative 구조로 2가지가 존재한다. 최근에는, 두 가지 구조에 따른 성능 분석 연구들도 진행 중이다 [3]. [4]에서는 HAPSMobile에서 개발한 성층권 드론 파라미터를 사용하여 통신 성능을 분석했다. 하지만, 실제 네트워크 환경에서 성층권 드론의 개수를 도출하는 연구는 부족하다. 본 논문에서는 HAPSMobile의 성층권 드론 파라미터를 사용하여 통신 성능을 분석하고, 대한민국을 서비스하는 데 필요한 성층권 드론의 개수를 도출한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 성층권 드론 h 가 7대 있고 7개의 셀 c 를 구성하고 셀 당 N 명의 user u 가 무작위로 배치된 상황을 가정한다. 또한, 성층권 드론의 커버리지를 도출하기 위해 다운링크만을 고려한다.

A. 안테나 패턴

성층권 드론의 커버리지를 계산하기 위해 성층권 드론을 개발하고 있는 HAPSMobile에서 정의한 안테나 패턴 [4]을 사용한다. Planar patch array 안테나를 사용하여 수직 θ , 수평 ϕ 방향의 빔 폭을 나누어서 계산할 수 있다.

$$G(\psi) = \begin{cases} -3\left(\frac{\psi}{\psi_b}\right)^2 & 0^\circ \leq \psi \leq \psi_1 \\ L_N & \psi_1 \leq \psi \leq \psi_2 \\ X - 20\log(\psi) & \psi_2 \leq \psi \leq \psi_3 \\ L_F & \psi_3 \leq \psi \leq 90^\circ \end{cases} dBi, \quad (1)$$

ψ 는 수직 및 수평 방향의 안테나 각도이다. L_N 은 near side lobe level, L_F 는 far side lobe level, $X = 7442/10^{0.1G_m}$, $\psi_1 = \psi_b\sqrt{-L_N/3}$, $\psi_2 = 3.745\psi_b$, $\psi_3 = 10^{(X-L_F)/60}$ 이다. $G(\psi)$ 를 활용하여 안테나 이득은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$G = \max(G_v + G_h, L_F) + G_p, \quad (2)$$

G_v 는 수직 방향의 안테나 이득, G_h 수평 방향의 안테나 이득이다. 최대 안테나 이득 수식은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$G_p = \log_{10}\left(\frac{80^2}{\theta_{3dB}\phi_{3dB}}\right) + 6, \quad (3)$$

G_p 는 최대 안테나 이득이다. θ_{3dB} 와 ϕ_{3dB} 는 3 dB 지점을 의미한다. 이때, 안테나 이득은 6 dBi와 빔 폭은 수직 수평 모두 80°를 기반으로 한다.

B. SINR 분석

표 1은 시스템 파라미터에 관한 표이다. User의 잡음 파워 σ^2 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\sigma^2 = -174 + 10*\log_{10}(BW) + NF, \quad (4)$$

BW 는 대역폭, NF 는 잡음 지수를 나타낸다. 성층권 드론 h 에 c 번째 셀 안에 있는 u 번째 user의 다운링크 수신 신호 수식은 다음과 같다.

$$R_{u,c,h} = P_t + G_{u,c,h} - L_{u,h} + G_{UE}, \quad (5)$$

표 1. 시스템 파라미터

Parameters	Values	Parameters	Values
주파수	2 GHz	안테나 이득	-3 dBi
대역폭	18 MHz	잡음 지수	5 dB
전파 모델	Free space loss	SINR 임계값	-7 dB
L_N	-20 dB	성층권 드론	43 dBm/cell
L_F	-30 dB	전송 파워	

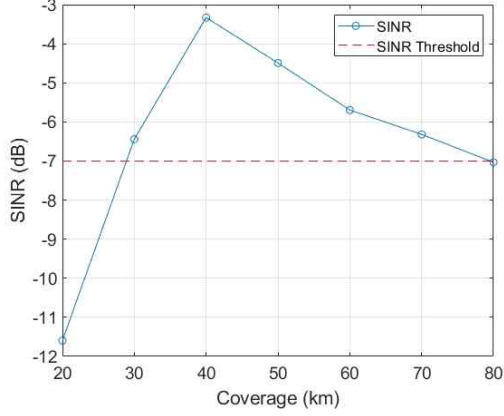


그림 1. 성층권 드론 커버리지에 따른 SINR

P_t 는 전송 파워이고, $G_{u,c,h}$ 는 h 번째 성층권 드론에 c 번째 셀 안에 있는 u 번째 user의 안테나 이득, $L_{u,h}$ 는 h 번째 성층권 드론과 u 번째 user 사이의 경로 손실이다. 간섭의 세기는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$I_u = 10 \log_{10} \left(\beta \sum_{j=1, j \neq C_u}^N 10^{\left(\frac{R_{u,j,h_u}}{10}\right)} + \sum_{i=1, i \neq h_u}^{N_{HAPS}} \sum_{j=1}^N 10^{\left(\frac{R_{u,j,i}}{10}\right)} \right), \quad (6)$$

성층권 드론의 SINR의 수식은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\gamma \text{SINR}_{u,h} = 10 \log_{10} \left(\frac{10^{\left(\frac{R_{u,j,h_u}}{10}\right)}}{\sigma^2 + 10^{\frac{I_u}{10}}} \right), \quad (7)$$

그림 2는 성층권 드론의 커버리지에 따른 SINR의 값을 보여준다. User들은 각 셀당 10명씩 균일하게 배치하여 총 490명의 user가 있다고 가정하였다. 다운링크 SINR 임계값은 HAPSMobile에서 실제로 측정된 값인 -7 dB로 정의한다. 성층권 드론의 커버리지가 20 km 일 때는 간섭이 높아 임계값 보다 낮지만 30 km 이상에서는 임계값 이상으로 올라가는 것을 알 수 있다. 최대 80 km에서 임계값을 넘지 않는 SINR을 확인할 수 있다.

C. 대한민국 전역을 서비스하기 위한 성층권 드론 개수

그림 3은 커버리지가 80 km인 성층권 드론을 활용하여 대한민국 전역을 서비스하기 위한 배치 시나리오이다. 다운링크 SINR을 기반으로 커버리지를 도출한다. 성층권 드론은 하나당 7개의 셀을 구성한다. 성층권 드론과 성층권 드론 사이의 거리는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$d_{HAPS} = \sqrt{21} r, \quad (8)$$

r 은 성층권 드론 셀 하나의 반지름을 나타낸다. 실험 결과 성층권 드론의

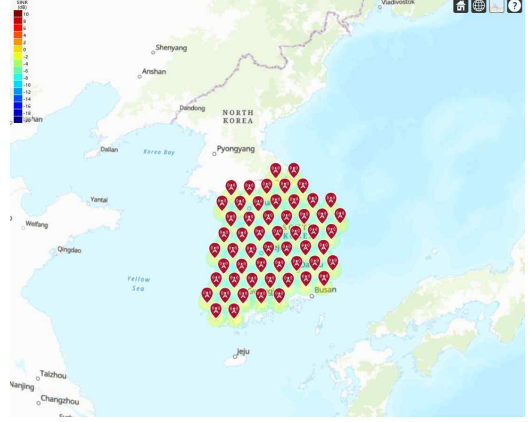


그림 2. 커버리지 80 km일 때 성층권 드론 배치 시나리오

커버리지가 60 km 일 때는 13대, 70 km 11대, 80 km 9대로 대한민국 전역에 통신 서비스를 제공할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 HAPSMobile의 안테나 패턴을 사용하여 SINR 임계 값에 따른 커버리지와 대한민국에 필요한 성층권 드론의 개수에 대해서 분석하였다. 성층권 드론의 커버리지를 80 km로 설정하면 성층권 드론 9개로 대한민국 전역을 서비스할 수 있다. 향후 연구에서는 같은 주파수로 지상 기지국 또는 위성이 통합된 네트워크에서 간섭 및 성층권 드론 배치에 관한 연구를 수행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 (No. 2021R1A4A103077513)과 2024년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022-0-00704, 초고속 이동체 지원을 위한 3D-NET 핵심 기술 개발)

참고 문헌

- [1] A. H. Arani, P. Hu, and Y. Zhu, "HAPS-UAV-Enabled Heterogeneous Networks: A Deep Reinforcement Learning Approach," *IEEE Open Journal of the Communications Society*, vol. 4, pp. 1745-1760, Jul. 2023.
- [2] S. C. Arum, D. Grace, P. D. Mitchell, M. D. Zakaria, and N. Morozs, "Energy Management of Solar-Powered Aircraft-Based High Altitude Platform for Wireless Communications," *Electronics*, Jan. 2020.
- [3] Y. Xing, F. Hsieh, A. Ghosh, and T. S. Rappaport, "High Altitude Platform Stations (HAPS): Architecture and System Performance," In proc. *IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring)*, pp. 1-6, Jun. 2021.
- [4] Y. Shibata, et al., "System Design of Gigabit HAPSMobile Communications," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 157995 - 158007, Aug. 2020.