

# 저궤도 군집 위성 구조에 따른 성층권 드론 연결 시간 및 고도 각 분석

이재열, 문태한\*, 추현우\*, 김재현\*\*

아주대학교 우주전자정보공학과, \*아주대학교 AI융합네트워크학과, \*\*아주대학교 전자공학과  
{jaeyel98, \*ansxogks3, \*back1ho, \*\*jkim}@ajou.ac.kr

## Analysis of Visible Time and Elevation Angle for HAPS in LEO Satellite Constellation Structures

Jaeyeol Lee, Taehan Moon\*, Heonwoo Chu\*, 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

현재 통신 기술이 발전하면서 위성과 성층권 드론을 같이 사용하는 이기종 네트워크가 차세대 통신망으로 주목받고 있다. 저궤도 군집 위성의 지상에 끊임없이 서비스를 제공할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 성층권 드론은 고도 20 km에서 지상에 원활한 서비스를 제공할 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 현재 저궤도 군집 위성과 성층권 드론을 결합한 연구 결과는 부족한 상황이다. 따라서, 본 논문은 군집 위성 구조에 따른 위성과 성층권 드론 사이의 line of sight (LoS) 위성 수를 분석하고, signal to interference plus noise ratio (SINR)에 따른 고도 각을 분석한다.

### I. 서론

최근 통신 기술이 발전하면서 6G의 요구사항인 초공간, 초저지연 등을 달성하기 위해 위성과 공중망, 지상망을 같이 사용하는 이기종 네트워크가 차세대 통신망으로 주목받고 있다. 저궤도 위성은 고도 250 ~ 2,000 km에서 넓은 커버리지로 지상에 서비스를 제공하고, 빠른 속도로 지구를 공전한다는 특징이 있다. 이러한 특징으로 다수의 저궤도 위성을 사용하여 지상에 끊임없이 서비스할 수 있는 저궤도 군집 위성을 활용하기 위한 연구가 지속되고 있다. 성층권 드론은 고도 20 km의 성층권 환경에서 원형으로 비행하고 날개에 태양열 패널을 부착하여 바람이 적은 성층권 환경에서 지상에 서비스를 제공한다. 이러한 장점으로 위성과 성층권 드론을 활용하여, 통신망을 융합한 이기종 네트워크에 관한 연구가 진행되고 있다 [1]. 하지만, 저궤도 군집 위성 구조에 따른 위성의 이동성을 고려하여 성층권 드론 간 연결에 관한 연구는 부족하다. 따라서, 본 논문은 저궤도 군집 위성의 구조에 따른 성층권 드론과의 line of sight (LoS) 위성 수를 분석하고, signal to interference plus noise ratio (SINR)에 따른 고도 각을 분석한다.

### II. 시스템 모델

저궤도 군집 위성은 Walker delta와 Walker star의 구조가 있다. Walker delta는 적도면을 일정한 간격으로 나뉘서 궤도가 배치되며, 궤도 경사각이 Walker star보다 작아서 중저위도 지역에 통신 서비스 제공이 용이하다. 하지만, 위성이 극지방을 지나지 않아서, 극지방에 서비스할 수 없다는 단점이 있다. Walker star는 적도 면의 절반을 일정한 간격으로 나뉘서 궤도가 배치되며, 궤도 경사각이 90°에 가까워 극지방까지 서비스할 수 있다. 하지만, 위성의 상대속도로 인해 궤도가 다른 위성 사이에 inter satellite link (ISL) 연결할 수 없는 polar region과 seam area가 발생하는

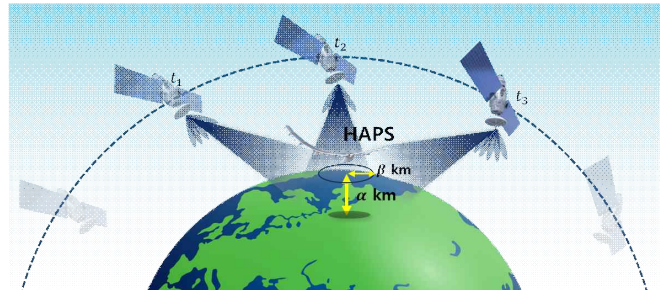


그림 1. 위성 및 성층권 드론 시스템 모델

단점이 있다. 저궤도 군집 위성 구조에 따라 연결 시간과 LoS 위성 수가 달라진다.

그림 1은 위성과 성층권 드론 사이에 시스템 모델을 나타낸다. 성층권 드론은 고도  $\alpha$  km에서 반지름  $\beta$  km인 원형으로 비행한다고 가정한다. 위성과 성층권 드론 사이에 거리와 각도를 계산하기 위해 지구의 중력 중심을 원점으로 하는 Earth centered Earth fixed (ECEF) 좌표계를 활용하여 계산했다. 위성과 성층권 드론 사이에 채널 모델은 3rd generation partnership project (3GPP) 문서를 참고했다 [2]. 위성과 성층권 드론 사이에는 LoS 환경으로 연결되는 상황을 가정했다. 각 위성은 하나의 빔으로 지상에 통신을 제공한다고 가정하였고, SINR은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$SINR = 10\log_{10}\left(\frac{10^{((G_{Tx} + P_{Tx} - PL(d) + G_{Rx})/10)}}{(10^{(I/10)} + N)}\right), \quad (1)$$

표 1. 저궤도 군집 위성 파라미터

Parameters	Value
위성 고도	600 km
궤도 경사각	Walker delta: 43° Walker star: 86.4°
궤도 평면 수	6개
궤도 당 위성 수	11개
성층권 드론의 위치	대한민국 경기도 수원시
송신 전력	50 dBm
대역폭	20 MHz
전파 모델	FSPL
중심 주파수	2 GHz
잡음 지수	5 dB
SINR 임계 값	-6 dB

$G_{Tx}$ 는 위성의 안테나 이득,  $P_{Tx}$ 는 위성의 송신 전력,  $G_{Rx}$ 는 성층권 드론의 안테나 이득,  $N$ 은 noise이고 mW로 변환하여 계산했다.  $PL(d)$ 는 거리  $d$ 에 따른 경로 손실,  $I$ 는 간섭의 세기를 의미한다.

### III. 실험 결과

성능평가를 위해 MATLAB으로 시뮬레이션을 진행했다. 성층권 드론은 고도 20 km에서, 반지름이 1 km인 원형으로 비행한다고 가정했다. 위성의 고도는 Walker delta와 Walker star 동일하게 600 km로 가정했다. Walker delta, Walker star 구조에 따른 성층권 드론의 LoS 평균 위성 수가 각각 5개, 3개이므로 간섭은 LoS 평균 위성 수만 계산했다. SINR 임계 값은 -6 dB로 가정했다 [3]. Walker star 구조의 Iridium 위성 궤도 정보와 Iridium 위성의 궤도 경사각을 수정하여 구성한 Walker delta 구조를 활용한다. 저궤도 군집 위성 구조에 따른 상세한 파라미터는 표 1과 같다.

그림 2는 visible time을 180°로 가정했을 때 저궤도 군집 위성 구조에 따른 LoS 위성 수를 나타낸다. Walker delta 구조는 Walker star보다 궤도 경사각이 작고, 성층권 드론이 중위도 지역에 위치해 LoS 위성 수가 많다. 그림 3은 군집 위성 구조에 따른 SINR -6 dB를 만족하는 위성의 고도 각을 의미한다. Walker delta 구조는 LoS 위성 수가 많지만, 궤도 경사각이 작아, 위성 사이에 거리가 가까워 간섭이 많이 발생해 고도 각이 약 10° ~ 20°, 40° ~ 60°, 80° 이상일 때 SINR 임계 값을 넘는 것을 확인했다. 하지만, 20° ~ 30°, 60° ~ 80° 사이에서는 위성 간 간섭이 많이 발생해 SINR 임계 값을 만족하지 못하는 것을 확인했다. 또한, Walker delta 구조는 LoS 위성 수가 많아 높은 간섭 때문에 짧은 시간 SINR 임계 값을 초과하는 것을 확인했다. Walker star 구조는 Walker delta 구조보다 LoS 위성 수가 비교적 적지만, 고도 각이 약 0° 일 때도 SINR 임계 값을 넘는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 궤도 평면 수가 적고, 지구의 자전 때문에 다른 위성 간의 간섭이 많이 발생하여 위성간 연결할 수 있는 고도 각이 점차 줄어드는 것을 확인했다. 표 2는 저궤도 군집 위성에 따른 처리량 및 연결시간을 나타낸다. Walker delta는 LoS 위성 수가 Walker star보다 많아 처리량이 약 10 Mbps 높은 것을 확인했다. 하지만, Walker delta가 궤도 경사각이 작아 Walker star 보다 약 4초 느린 것을 확인했다.

Walker delta와 Walker star 모두 지구의 자전과 위성의 공전으로 인해 위성 궤도가 계속해서 변해 SINR 임계 값을 넘는 고도 각이 일정하지 않다. 궤도에 따라 주변 위성의 간섭 영향으로 SINR이 임계 값을 만족했다가 특정 지점에서 SINR 임계 값을 만족하지 못하는 것을 확인할 수 있다.

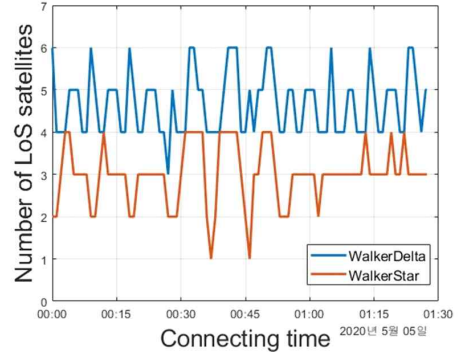


그림 2. 군집 위성 구조에 따른 LoS 위성 수

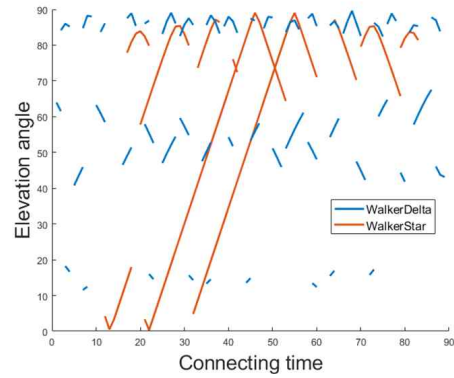


그림 3. 군집 위성 구조에 따른 고도 각

표 2. 저궤도 군집 위성에 따른 처리량 및 연결시간

	Walker delta	Walker star
처리량 (Mbps)	110.32	100.13
평균 연결시간 (초)	6.3030	10.6800

### IV. 결론

본 논문에서는 저궤도 군집 위성 구조에 따른 성층권 드론과의 연결시간과 고도 각을 분석하였다. Walker delta 구조는 궤도 경사각이 작아 LoS 위성 수가 많고 고도 각에 따라 짧은 시간 연결되는 것을 확인하였다. Walker star 구조는 고도 각이 약 0° 일 때 임계 값을 넘는 것을 확인하였지만, 궤도 평면 수가 적어 임계 값을 만족하는 고도 각이 점차 줄어드는 것을 확인했다. 위성간 성층권 드론 연결에서는 짧은 시간 연결 가능한 Walker delta 구조보다 긴 시간 연결 가능한 Walker star 구조가 적합하다. 추후에는 위성의 빔 개수를 늘리고 지상국을 배치하여 위성-성층권 드론-지상망인 통합망에 관해서 연구할 예정이다.

### 참고 문헌

- [1] E. Cianca et al., "Integrated satellite-HAP systems," *IEEE Communications Magazine*, vol. 43, no. 12, pp. 33-39, Dec. 2005.
- [2] 3GPP TR 38.811 v15.4.0, "Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks (Release 15)," Sep. 2019.
- [3] E. Juan, M. Lauridsen, J. Wigard, and P. Mogensen, "Performance Evaluation of the 5G NR Conditional Handover in LEO-based Non-Terrestrial Networks," *2022 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 2488-2493, May, 2022.