

차세대 네트워크 서비스를 위한 성층권통신시스템(HAPS) 기술 동향

이현수, 정소이, 김중헌

고려대학교

hyunsoo@korea.ac.kr, jungsoyi@korea.ac.kr, joongheon@korea.ac.kr

Trends in HAPS Technology for Next Generation Network Services

Hyunsoo Lee, Soyi Jung, Joongheon Kim

Korea University

요 약

본 논문은 성층권에서 비행하는 비행선, 무인기 등을 이용하여, 넓은 지역에 무선인터넷 등의 무선통신 커버리지를 지원하는 성층권통신시스템(HAPS)에 대한 기술 동향과 연구 이슈에 대해 다룬다. 또한, 저궤도 위성을 보완하기 위한 HAPS 네트워크 시스템의 장점 및 최신 활용 사례에 관해 연구하였다.

I. 서론

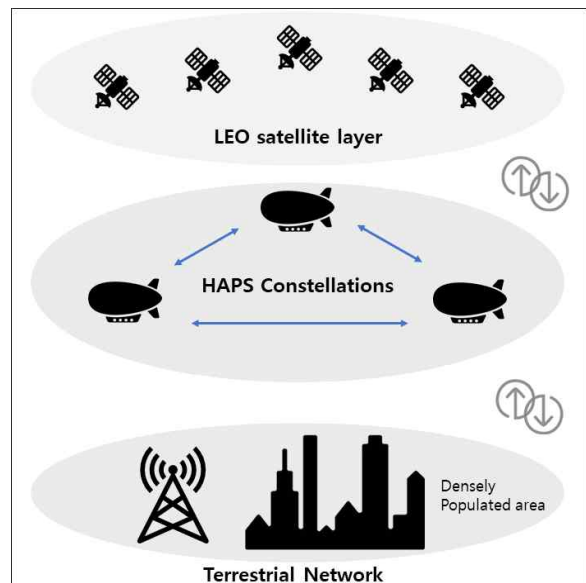
High Altitude Platform Station (HAPS)은 지상으로부터 약 20-50 km 상공에 위치하여, 비행선이나 무인기 등을 이용해 지상 사용자들을 위한 각종 무선통신 서비스를 지원하는 시스템을 말한다. HAPS 기술은 전송 지연이 짧고, Line-of-Sight (LOS) 성질을 갖는 장점이 있다. HAPS는 [그림 1]에서 볼 수 있듯이, 3계층의 6G 네트워크 구조에서 위성 및 지상 사이의 통신을 중계하는 데 필수적인 요소이다. 특히 최근 통신 기술과 태양광 패널 효율, 항공 및 안테나 공학의 발전으로 인해, HAPS는 미래의 무선 통신 네트워크를 위한 기술로 크게 각광받고 있다 [1]. 본 논문에서는 HAPS 네트워크의 최신 기술 동향 및 기술 이슈를 다양한 측면에서 설명한다.

II. 본론

HAPS 네트워크는 특히 저궤도 위성 네트워크와 지상 네트워크와 통합된 다계층 시스템 구조에서 효과적이다. 저궤도 위성 대비, HAPS 네트워크가 가지는 여러 가지 장점이 있다 [2]. 우선, HAPS는 지상으로부터 350-2,000 km 상공에 위치하는 저궤도 위성 대비 훨씬 낮은 궤도에서 활동하기 때문에, link budget에 있어서 저궤도 위성보다 유리하다. 또한 coverage에서 이득을 갖기 때문에, 상대적으로 높은 Signal-to-Noise Ratio (SNR)을 갖는다. 또한 저궤도 위성보다 리스크와 비용이 낮고, 임무를 다한 후에 지상으로 복귀하기도 쉽다. 그리고 저궤도 위성은 속도가 아주 빨라 수 분 만에 서비스 지역을 이탈하여 통신 capacity가 낭비될 수 있지만, HAPS는 quasi-static한 특성을 가지기 때문에 Round Trip Time (RTT)이 매우 낮아 Ultra-Reliable and Low Latency Communications (URLLC) 같은 초저지연 통신을 구현하는 데에 적합하다.

i. HAPS 네트워크의 통신 응용

HAPS 네트워크는 대개 공중에서 지상을 지원하는 Base Station (BS)의 역할을 하는 경우가 많다. Long-Term Evolution (LTE) 및 5G 네트워



[그림 1] 3계층 위성-HAPS-지상 네트워크 구조

크에서는 small cell을 다수 배치하여 지상 네트워크의 커버리지와 통신 용량 문제를 해결하고 있지만, 인구가 많은 대도시 지역의 통신 부하를 해소하기 위해 HAPS 네트워크를 사용할 수 있다. HAPS 네트워크가 지상 네트워크를 완벽하게 대체할 수는 없지만, 기존의 네트워크를 관리 및 제어하는 데에 큰 도움을 줄 수 있다.

HAPS 네트워크는 지상 및 공중의 IoT 장치를 지원하는 데 중요한 역할을 하기도 한다 [3]. HAPS 네트워크는 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)이 BS 역할을 하는 것에 비해 footprint가 넓어서 low rate를 요구하는 IoT 장치를 지원하는 데 적합하다. HAPS 네트워크와 IoT 장치와의 거리가 적어도 20km 이상 떨어져 있어 전송 전력이 떨어진다는 우려가 있을 수 있지만, IoT 장치는 켜져 있을 때도 매우 낮은 전송 속도로 데이터를 보내기 때문에 낮은 전송 전력으로도 HAPS와의 직접 통신이 가능하다 [4].

Small cell간의 연결을 위해 광섬유를 사용하는 것 대신, HAPS 네트워크에서 mmWave 대역 통신을 이용해 백홀 연결을 할 수도 있다 [5]. HAPS와 지상의 small cell과의 거리는 20-200 km 정도로 멀지만, 통신 링크는 대부분 Line-of-Sight (LOS) 형태이다. 그래서 HAPS와 200 km 거리에 떨어진 small cell의 경우, 지상 기지국과 1 km 떨어진 macro cell과 거의 동일한 평균 전력 이득을 갖기 때문에, 원활한 백홀 연결이 가능하다. 또한 지상의 small cell들은 위치가 고정되어 있고, HAPS 시스템 역시 정적이기 때문에, 링크의 설정 및 유지 관리가 용이하다.

ii. HAPS의 성능 향상을 위한 기술 응용

HAPS를 이용하면 지상의 통신 부하를 줄이거나, 원활한 통신을 지원하는 데 도움을 줄 수 있다. 하지만, 태양 에너지를 사용하는 기존 HAPS 기술의 한계로, 잦은 에너지 공급을 필요로 하거나 지상국과의 통신 과정에서 응답 지연이 발생하는 문제가 있다. 최근에 이러한 한계를 극복하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

HAPS의 에너지 공급의 경우, 공중에서 에너지를 직접 충전하거나 원자력 등의 에너지를 이용하여 HAPS의 에너지원을 공급할 수 있다 [6]. HAPS의 외부 표면에 Reconfigurable Intelligent Surface (RIS)를 부착하여, SNR을 증가시켜서 소비하는 에너지를 절약하는 방법도 있다. RIS는 HAPS 표면을 코팅하기 위해 부착하는 얇은 필름 형태로 설계하여, 신호를 원하는 방향으로 반사하고 굴절시켜 SNR과 데이터 전송률을 향상시킬 수 있다. [7] RIS를 이용하면, relay된 시스템에 비해 에너지 측면에서 40%정도 더 효율적이다. 하지만 그만큼 HAPS의 표면에 태양광 패널을 부착할 공간이 줄어들기 때문에, tradeoff를 세심하게 고려하여 HAPS를 설계해야 한다.

HAPS 시스템은 이동이 용이하여 지상 네트워크를 구축하는 것과 비교하여 빠르게 배치될 수 있고, 그에 따라 기존의 HAPS에 대한 기능 변경 역시 신속하게 이루어질 수 있다. 뿐만 아니라 HAPS를 어떤 유형으로 사용하는지에 따라 각 HAPS에 탑재할 수 있는 장비의 무게나 에너지 소비량 등이 다르므로, 각 플랫폼의 유형에 따른 성능, 비행 가능 시간 등에 대한 옵션을 고려하는 것이 중요하다. 예를 들면, 처음에는 HAPS가 중계 노드 혹은 공중에서의 BS 역할만을 하는 통신 목적으로 배치될 수 있지만, 이후 업그레이드를 통해 계산이 가능한 플랫폼으로 이용할 수도 있다. 이때, 인공지능을 HAPS에 적용해 네트워크의 구조, 프로토콜, 운영 방식을 설계하고 최적화하는 경우 효율적으로 네트워크를 관리할 수 있다 [8]. 지상국에서 HAPS를 컨트롤하는 것은 응답 지연 문제가 있으므로, 하나의 관리자 HAPS가 다른 HAPS들을 통제하는 방식이나, 여러 HAPS 노드 간의 협상 및 조정을 통해 간섭, 자원 분배 및 빔포밍을 설정하는 연구가 필요하다.

III. 결론

본 논문에서는 미래 통신 네트워크에서 필수적인 역할을 하는 HAPS의 기술 동향에 관해 연구하였다. 특히 HAPS 네트워크가 갖는 장점, HAPS의 적용 분야 및 발전 방향에 대해 논의하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (IITP-2021-2017-0-01637)

- [1] J. Qiu, D. Grace, G. Ding, M. D. Zakaria, and Q. Wu, "Air-ground heterogeneous networks for 5G and beyond via integrating high and low altitude platforms," *IEEE Wireless Communications*, vol. 26, no. 6, pp. 140 - 148, Dec. 2019.
- [2] G. K. Kurt, M. G. Khoshkholgh, S. Alfattani, A. Ibrahim, T. S. J. Darwish, M. S. Alam, H. Yanikomeroglu, A. Yongacoglu, "A Vision and Framework for the High Altitude Platform Station (HAPS) Networks of the Future," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 2, pp. 729-779, Secondquarter 2021
- [3] M. Gineste, T. Deleu, M. Cohen, N. Chuberre, V. Saravanan, V. Frascolla, M. Mueck, E. C. Strinati, and E. Dutkiewicz, "Narrowband IoT service provision to 5G user equipment via a satellite component," *IEEE Globecom Workshops*, Singapore, pp. 1 - 4, Dec. 2017.
- [4] S. Sibiya and O. O. Olugbara, "Reliable internet of things network architecture based on high altitude platforms," *IEEE Conference on Information Communications Technology and Society (ICTAS)*, Durban, South Africa, pp. 1 - 4, Mar. 2019.
- [5] R. Taori and A. Sridharan, "Point-to-multipoint in-band mmWave backhaul for 5G networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 1, pp. 195 - 201, Jan. 2015.
- [6] Y. Han, W. Tang, S. Jin, C.-K. Wen, and X. Ma, "Large intelligent surface-assisted wireless communication exploiting statistical CSI," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 8, pp. 8238 - 8242, Aug. 2019.
- [7] C. Huang, G. C. Alexandropoulos, A. Zappone, M. Debbah, and C. Yuen, "Energy efficient multi-user MISO communication using low resolution large intelligent surfaces," *IEEE Globecom Workshops*, Abu Dhabi, UAE, pp. 1 - 6, Dec. 2018.
- [8] M. Guan, Z. Wu, Y. Cui, X. Cao, L. Wang, J. Ye, B. Peng "Efficiency Evaluations Based on Artificial Intelligence for 5G Massive MIMO Communication Systems on High-Altitude Platform Stations," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 16, no. 10, pp. 6632-6640, Oct. 2020.