

공중 데이터 센터로서  
High Altitude Platform Stations (HAPS) 연구 동향

이병헌, 고영채  
고려대학교

tbio@korea.ac.kr, koyc@korea.ac.kr

A Study on Trends in High Altitude  
Platform Stations (HAPS) as an Airborne Data Center

Lee Byeong Heon, Ko Young Chai  
Korea Univ.

요 약

본 논문은 기하 급수적으로 증가하는 데이터 센터의 에너지 소모량을 효과적으로 해결하고자 공중 데이터 센터로서 HAPS에 대한 연구 동향을 다룬다. 데이터 센터는 냉각 시스템에 대부분의 에너지가 소모되고 이는 성층권의 낮은 온도에 존재하는 HAPS를 활용한 공중 데이터 센터로 해결이 가능하다. 이를 통해 공중 데이터 센터로서 HAPS에 관한 연구가 활발하게 진행되었고, 몇 논문을 통해 에너지 효율이 실질적으로 증가하는 것을 입증하였다. 그럼에도 불구하고 공중 데이터 센터로 작동하기 위해 안정적이고 광대역폭의 무선 전송 방식에 대한 연구가 필요하다.

I. 서 론

인공지능의 발달과 함께 기하 급수적으로 증가하는 데이터 처리 및 관리에 대한 수요는 초거대 데이터 센터의 등장을 초래하였다. 데이터 센터들은 대량의 데이터를 처리하면서 발생하는 발열을 해결하고자 이에 걸맞은 냉각시스템을 함께 보유한다. 데이터 센터의 에너지 소모량의 상당 부분(30-40%)은 이 냉각 시스템에 사용된다 [1]. 감당할 수 없는 데이터 센터의 전기 소모량에 대안으로 떠오른 것이 공중 데이터 센터로서의 High Altitude Platform Stations (HAPS)이다. 첫째로, HAPS는 지상으로부터 17-20km의 고도에 위치하여 성층권에 존재한다. 성층권의 온도는  $-15^{\circ}\text{C}$ 에서  $-50^{\circ}\text{C}$  사이로 매우 낮은 온도이기에 자연적으로 더 효율적인 냉각 효과를 가짐으로 지상에 비해 높은 에너지 효율을 가진다 [2]. 두 번째로 높은 고도를 통한 넓은 coverage이다. 기존 지상 데이터 센터의 경우 유선 광 케이블을 통해 다른 기지국이나 네트워크에 연결되어야 하지만 HAPS의 경우에는 넓은 coverage를 통해 지상 네트워크가 취약한 곳에도 위치하여 여러 장비들로부터 데이터를 수집하여 처리하는 것이 가능하다. 그리고 높은 고도로 인해 가시거리가 쉽게 확보되어 기존의 지상에서의 무선통신과 다르게 더 나은 채널 환경에서 통신이 가능하다. 세 번째로, HAPS의 큰 크기로 인해 많은 장치를 소지할 수 있다. 드론의 경우 에너지 효율 문제로 인해 작은 크기와 무게를 유지하는 것이 중요하고, 위성은 비용 문제로 인해 최소한의 장치를 사용하는 것이 필요하다. HAPS의 경우 수백 kg에 해당하는

장치를 수용할 수 있기에 다수의 태양광 패널을 활용 가능하고 이는 기상 영향을 받지 않는 성층권에서 효과적으로 운영되어 지속적인 HAPS 유지에 도움이 될 것이다. 여러 이유를 통해 HAPS가 공중 데이터 센터로서 각광받는 사실을 확인할 수 있다.

II. 본론

본론에서는 공중 데이터 센터로서 HAPS의 활용 방안들과 연구되어 입증된 에너지 효율과 추가로 연구가 필요한 보안점에 대해 밝히고자 한다.

공중 데이터 센터로서 HAPS는 크게 3가지 활용 분야가 존재한다. 첫 번째는 도심 상황 속 지상 데이터 센터 보조 역할의 HAPS이다 [3]. 최근 늘어나는 데이터 수요와 함께 도심지에 존재하는 데이터 센터들이 감당할 수 있는 양을 초과하는 일이 발생하고 있다. 이에 맞추어 도심에서 벗어난 지역에 데이터 센터를 대량으로 구축하고 있다. 지상 데이터 센터를 추가로 짓는 것은 안정적인 서비스에 큰 도움이 되지만 유선 광 케이블을 설치하면서 지상망을 추가하는 것은 비용적으로 큰 부담이 된다. 또한 일시적으로 늘어나는 수요에 대응하기 위해 지상 데이터 센터를 추가로 구축하는 것은 비용적으로 큰 손실을 가진다. 이에 일시적인 데이터 수요를 대응하기 위해 HAPS는 효과적인 해결책이 될 수 있다. HAPS는 넓은 coverage를 통해 지상망으로 보내지 않아도 괜찮은 여러 데이터 트래픽을 수용하여 처리할 수 있고 지상 데이터 센터에서 용량 초과로 처리하지 못하는 데이터를 넘겨 받는 offloading을 통해

대신 처리하는 것이 가능하다. 이를 통해 지상 데이터 센터의 처리할 데이터의 부하를 낮출 수 있고 또한 지상 데이터 센터의 막대한 양의 전력 소모를 감소시키는 것이 가능하다.

두번째는 지상망이 충분히 공급되지 못한 지역에서의 HAPS 이다. 시골, 산악, 사막, 바다 등 지상망이 효과적으로 작동하지 못하는 구역에서는 추가로 지상망을 설치하는 것은 매우 비효율적이다. 사람의 밀도가 매우 적기 때문에 대부분은 해당 구역에서 IoT (Internet of Things)등의 장비에게서 수집된 데이터를 처리하는 것도 열악한 환경이다. HAPS 는 높은 고도를 통해 가시거리를 확보하고 넓은 coverage 를 통해 많은 IoT 장비 및 기기를 처리할 수 있다. 기존 드론의 경우 높은 활용성으로 다수를 운용하여 넓은 지역의 장치와 통신이 가능하지만 드론의 물리적 한계로 드론에서 대용량의 데이터를 처리를 하는 것은 힘들다. 또한 최근 주목받기 시작하는 저궤도 위성의 경우 군집을 통해 지상망이 확보되지 않은 지역에도 서비스가 가능한 큰 이점을 가지지만 물리적인 거리의 제약으로 송신 출력이 낮은 IoT 기기 및 여러 장비들은 통신에 제약을 가지게 된다. 이 둘의 장점이 섞인 집합체로서 HAPS 는 위성의 넓은 coverage 와 위성보다 낮은 고도를 통해 더 나은 지연시간과 채널환경을 가지기에 이런 특수 상황에서 가장 효율적인 해결책으로 평가된다.

마지막은 지상 통신망과 위성 통신망 사이의 매개체 역할로서 HAPS 이다. 저궤도 위성 통신망의 경우 이미 수천대의 위성이 저궤도에 존재하고 활용되고 있지만, 지상망과의 연결은 필연적이다. 지상망과 연결이 잘 작동되어야지 위성을 통한 서비스 및 활용이 효과적으로 사용될 수 있다. 위성과 지상 기지국간의 통신의 경우 높은 대역폭의 통신을 위해 밀리미터파와 무선 광통신 두가지 선택지가 존재한다. 대용량의 데이터를 처리하기 위해 선택하는 두 선택지 모두 직진성이 강하고 기상 상태에 영향을 크게 받는다. 저궤도 위성의 높은 이동성으로 생기는 도플러 효과는 밀리미터파 통신에 치명적 일 수 있다. 상대적으로 빛의 유무로 통신하는 무선 광통신의 경우, 도플러 효과의 영향은 거의 받지 않으나 밀리미터파 보다 기상환경에 큰 영향을 받는다. 이런 상황속에서 기상환경에 따라 선택하는 하이브리드 방식 등이 연구되고 있으나 최적의 해결책이 되지는 못한다. 저궤도 위성과 지상망을 연결하는 통신 허브로 HAPS 가 위성과는 무선 광통신을 그리고 지상과는 기존 무선 통신을 활용한다면, 해당문제는 보다 쉽게 해결이 가능하다. HAPS 가 위치한 성층권은 기상의 영향이 없고 구름이 없기에 HAPS 으로부터 위성까지 무선 광통신을 사용하는 것이 매우 용이하다. 또한 HAPS 가 위성에서 받은 데이터를 미리 처리하고 지상 데이터센터로 전송하면 더 효율적으로 데이터를 활용 가능할 것이다.

공중 데이터 센터로서 HAPS 의 가능성은 여러 연구를 통해 입증되었다 [3],[4]. [4]에서는 에너지 효율에 대한 실질적인 수치를 밝힌 첫 연구로서 HAPS 를 사용하는 것이 얼마나 에너지 효율을 높일 수 있는지에 대해 입증하였다. 그리고 [3]에서는 이를 수직적으로 정리하고 추가로 중요하게 고려되어야 할 요소인 지연도 추가로 다루었다. 데이터를 HAPS 로 옮기고 처리하기에 RTT(round trip time)을 고려하여 그렇지 않았을 때 발생하는 Queueing delay 와 비교해야 한다. 해당 논문은 시뮬레이션을 통해 큰 지연이 발생하지 않으면서 HAPS 를 사용하여 에너지 효율을 높일 수 있다는 사실을 보였다.

하지만, 공중 데이터 센터로서 HAPS 를 사용하기 위해 연구되어야 할 요소들은 아직도 많이 남은 상태이다.

위성과 HAPS 간의 무선 통신의 경우 기상 환경의 영향을 받지 않지만 긴 통신거리를 효과적으로 해결할 무선 광통신이 적용되기 위해 포인팅 에러의 문제를 고려해야 한다. HAPS 에서 지상망과의 통신에서 공중 데이터 센터로서 안정적인 대용량 대역폭의 통신이 가능해야 한다. 기상 환경의 영향을 받지 않으면서 무선 통신은 불가능하기에 HAPS 군집을 통해 기상환경이 더 나은 곳에서부터 우회하여 통신하는 등의 여러 해결책에 대한 연구가 필연적이다.

## III. 결론

본 논문에서는 공중 데이터 센터로서 HAPS 에 대한 연구 동향을 다루었다. HAPS 는 공중 데이터 센터로서 높은 가능성을 가지고 일시적인 데이터 수요, 지상망의 공급이 적은 지역, 위성과 지상망의 매개체 등의 여러 활용 방안이 존재한다. 에너지 효율 및 지연에 관한 연구를 통해 HAPS 의 활용성에 대한 입증이 존재했으나 공중 데이터 센터로서 활용되기 위해서는 지상망과의 안정적인 대용량 통신을 위한 방법에 대한 연구가 필요하다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로

정보통신기획평가원-대학 ICT 연구센터(ITRC)의 지원을 받아

수행된 연구임(RS-2021-II211810)

## 참 고 문 헌

- [1] W. Abderrahim, O. Amin and B. Shihada, "Data Center-Enabled High Altitude Platforms: A Green Computing Alternative," in *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 23, no. 5, pp. 6149-6162, May 2024
- [2] K. Mershad, H. Dahrouj, H. Sameddeen, B. Shihada T. Al-Naffouri & M. Alouini, "Cloud-Enabled High-Altitude Platform Systems: Challenges and Opportunities", *Front. Comms. Net.*, 16 July 2021
- [3] G. Karabulut Kurt et al., "A Vision and Framework for the High Altitude Platform Station (HAPS) Networks of the Future," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 2, pp. 729-779, Second quarter 2021
- [4] W. Abderrahim, O. Amin and B. Shihada, "How to Leverage High Altitude Platforms in Green Computing?," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 61, no. 7, pp. 134-140, July 2023