

위성 및 지상 통합 네트워크 시스템 연구 동향

송치현, 이동현, 오준석, 허동현, 조성래

중앙대학교

{chsong, dhlee, jsch, dhur}@uclab.re.kr, srcho@cau.ac.kr

A Survey on Satellite and Ground Integrated Network Systems

Chihyun Song, Donghyun Lee, Junsuk Oh, Donghyeon Hur, Sungrae Cho

Chung-Ang Univ.

요약

저궤도 위성 네트워크는 지상 기지국의 커버리지 이외 지역에도 통신 서비스 제공을 가능케하며, 정지 궤도 위성보다 낮은 지연시간 및 적은 신호 감쇄 등의 특징을 가지며 높은 처리량을 달성할 수 있어 6G 통신의 핵심 기술 고려되고 있음. 이러한 위성 네트워크와 지상 기지국을 통합한 네트워크 구조는 위성의 넓은 커버리지와 지상 기지국의 데이터 처리 성능을 결합하여, 보다 신뢰성 있고 유연한 통신 환경을 제공할 수 있음. 따라서 점점 증가하는 연결 기기 수와 IoT의 증가에 따른 네트워크 밀도 증가에 대응하기 위해 최근 위성, 지상 통합 네트워크 시스템 연구가 활발히 진행되고 있으며 본 논문에서는 최근 연구 동향에 대해 조사하였음.

I. 서론

위성 네트워크는 글로벌 커버리지 달성을 위해 위성을 이용한 통신 시스템을 말하며, 특히 지상 기지국 커버리지 이외의 지역에서 중요한 역할을 함. 위성 네트워크는 위성의 궤도에 따라 다양한 방식으로 분류되며, 저궤도(LEO) 위성 네트워크와 정지 궤도(GEO) 위성 네트워크로 나눌 수 있음. 저궤도 위성 네트워크는 지표면으로부터 약 500km에서 1,000km 사이의 낮은 고도에 배치된 위성으로 구성되며, 짧은 지연시간과 높은 데이터 전송 속도를 제공함. 그러나 하나의 위성이 특정 영역을 지속적으로 서비스하지 못하기 때문에 위성 군집이 필수적임. 대표적인 예로는 Starlink, OneWeb 등이 존재함. 정지 궤도 위성 네트워크는 지구 적도 상공 약 35,786km의 고도에서 지구와 같은 속도로 회전하는 위성으로 구성되며, 한 지점을 지속적으로 서비스를 제공할 수 있어 비교적 적은 수의 위성으로도 글로벌 커버리지 달성이 가능함. 그러나 지구와의 거리가 멀기 때문에 전파 지연시간이 길며, 신호 감쇄가 커 지상 기지국의 비용 문제가 존재함[1].

위성 네트워크와 지상 기지국의 통합 시스템은 글로벌 서비스의 제공을 위한 차세대 기술로 주목받고 있음[2]. 이는 지상 네트워크의 성능과 위성 통신의 광범위한 커버리지를 결합하여, 지리적으로 고립된 지역에서도 빠르고 신뢰할 수 있는 서비스 제공을 가능하게 함. 이러한 통합 네트워크는 위성과 지상 기지국 간의 협력을 원활하게 하기 위해 백홀(Backhaul) 연결이 존재하며, 이는 위성을 통해 전송된 데이터를 지상 기지국으로 보내는 역할을 함. 또한, 하이브리드 연결 방식을 통해 사용자의 위치나 네트워크 상황에 따라 위성이나 지상 기지국 간의 전환이 자동으로 이루어짐. 하지만 통합 네트워크에서 지상 기지국과 정지궤도 위성의 서로 다른 지연시간과 저궤도 위성의 이동에 따른 도플러 효과는 안정적인 연결을 유지하는데 문제가 되고 있음. 이외에도 다양한 기술적인 문제가 남아있으며, 따라서 본 논문에서는 위성, 지상 통합 네트워크의 최근 연구 동향에

대해서 조사하였음.

II. 본론

현재 5G 네트워크가 전 세계적으로 서비스되고 있지만, 여전히 커버리지, 위치 추적 정확성, 통신 성능 등에서 여러 한계가 존재함. 이러한 한계를 해결하기 위해 6G 네트워크는 글로벌 커버리지와 더 높은 위치 추적 정밀도를 제공하도록 설계되고 있음. 특히 사물인터넷 기술의 발전에 따라 통신과 위치 추적, 센싱 기능이 통합된 시스템을 요구하고 있음. 그러나 지상 네트워크는 인프라가 부족한 지역이나 장애물에 의해 신호가 차단되는 곳에서는 커버리지 한계를 가짐. 따라서 [3]에서는 massive MIMO 네트워크와 저궤도 위성 시스템을 통합하여 통신 효율성과 위치 추적 정확도를 동시에 지원하는 시스템을 제안함. 이때 위성의 이동에 의한 도플러 효과와 전파 지연에 따른 채널 상태 정보의 부정확성을 고려하여 통계적 채널 상태 정보에 따른 채널 용량의 하한값을 도출했으며, 이를 활용하여 처리량과 위치 추적 간의 트레이드 오프를 고려하여 공동 최적화 기법을 제안함.

건물에 의해 지상 기지국 신호가 차단된 도시 환경에서 통신 성능이 저하되는 문제를 해결하기 위해 [4]에서는 재구성 가능한 반사 표면(RIS) 기술을 적용한 Satellite-RIS 통합 시스템을 제안함. RIS 기술은 입사하는 신호의 위상을 적절히 제어하여 신호 수신 성능을 향상시키기 위한 기술로 위성 신호가 장애물에 의해 차단되었을 때, 이를 통해 신호를 재구성함으로써 안정적인 통신이 가능함. 이를 위해 위성 and 기지국 간 소모 전력을 최소화하면서 사용자의 QoS를 만족시키는 빔포밍 및 RIS 위상 제어 알고리즘을 제안함. 또한 사물인터넷 기기의 증가하는 통신 수요를 지원하기 위해 [5]에서는 위성 및 항공 통합 네트워크에서 비열 분할 다중 접속(RSMA) 기술을 활용한 간섭 관리 및 스펙트럼 효율 최대화 기법을 제안함. RSMA는 전송 신호를 공통 신호와 개별 신호로 나누어, 간섭을 억제하고 스펙트럼 효율의 향상이 가능하며 이를 통해 UAV 네트워크에서 사용자 간 간섭의 제어가 가능해짐. 이러한 시스템의 스펙트럼 효율 최대화

를 위해 SCA 기반 최적화 알고리즘을 제안했으며, 실험 결과는 제안 기법이 기존 기법에 비해 간섭을 효과적으로 제거하고 시스템 처리량을 향상 시킴을 보여줌. 그러나 사물인터넷(IoT) 장치의 증가로 인해 도청의 대상이 되는 통신 장치가 기하급수적으로 늘어나고 있으며 이러한 기기들은 계산 능력 한계 및 전력 제한으로 인해 중단 간 암호화 기술 적용이 어렵다는 단점이 존재함. 또한, 위성에 의한 장거리 전송도 신호가 도청되기 쉬우며 보안 취약점이 되고 있음. 따라서 [6]에서는 도청자가 수신하는 신호를 채널 상태에 따라 물리 계층에서 약화시키는 기술을 제안함. 위성과 기지국에서의 하이브리드 빔포밍을 통해 보안-에너지 효율성(SEE) 최대화 문제를 SCA 기법을 통해 해결하였으며, 특히 다중 빔 위성 시스템에서 불완전 채널 상태 정보를 고려하여, 위성과 지상 간 간섭을 억제하면서 보안 성능을 강화하였음.

III. 결론

본 논문에서는 위성 및 지상 통합 네트워크를 실현하기 위한 기술인 통신과 센싱 통합 시스템, 위성-RIS 통합 시스템, 위성-UAV 통합 시스템 및 해당 시스템의 보안 문제에 대한 최신 동향을 조사하였음.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터육성지원사업(IITP-2024-RS-2022-00156353) 및 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단(RS-2023-00209125)의 지원을 받아 수행된 연구임

참 고 문 헌

- [1] F. S. Prol et al., "Position, Navigation, and Timing (PNT) Through Low Earth Orbit (LEO) Satellites: A Survey on Current Status, Challenges, and Opportunities," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 83971-84002, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3194050.
- [2] H. Guo, J. Li, J. Liu, N. Tian and N. Kato, "A Survey on Space-Air-Ground-Sea Integrated Network Security in 6G," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 24, no. 1, pp. 53-87, Firstquarter 2022, doi: 10.1109/COMST.2021.3131332.
- [3] L. You et al., "Integrated Communications and Localization for Massive MIMO LEO Satellite Systems," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 23, no. 9, pp. 11061-11075, Sept. 2024, doi: 10.1109/TWC.2024.3378305.
- [4] Z. Lin et al., "Refracting RIS-Aided Hybrid Satellite-Terrestrial Relay Networks: Joint Beamforming Design and Optimization," in *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 58, no. 4, pp. 3717-3724, Aug. 2022, doi: 10.1109/TAES.2022.3155711.
- [5] Z. Lin, M. Lin, T. de Cola, J. -B. Wang, W. -P. Zhu and J. Cheng, "Supporting IoT With Rate-Splitting Multiple Access in Satellite and Aerial-Integrated Networks," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 14, pp. 11123-11134, 15 July 2021, doi: 10.1109/JIOT.2021.3051603.
- [6] Z. Lin, M. Lin, B. Champagne, W. -P. Zhu and N. Al-Dhahir, "Secrecy-Energy Efficient Hybrid Beamforming for Satellite-Terrestrial Integrated Networks," in *IEEE Transactions*

on Communications, vol. 69, no. 9, pp. 6345-6360, Sept. 2021, doi: 10.1109/TCOMM.2021.3088898.