

6G 환경에서 LEO 위성 네트워크를 위한 라우팅 기법 동향 조사

허동현, 이동현, 송치현, 오준석, 원동욱, 홍성훈, 서정택*, 박수현**, 조성래

중앙대학교

{dhhur, dhlee, chsong, jsch, dwwon, shhong}@uclab.re.kr, seojt@gachon.ac.kr,
soohyun.park@sookmyung.ac.kr, srcho@cau.ac.kr

Survey of Routing Technique Trends for LEO satellite Networks in 6G Environment

Donghyeon Hur, Donghyun Lee, Chihyun Song, Junsuk Oh, Dongwook Won, Seonghun

Hong, Jungtaek Seo*, Soohyun Park**, and Sungrae Cho

Department of Computer Science and Engineering, Chung-Ang University

*Department of Computer Engineering, Gachon University

**Department of Data Science Engineering, Sookmyung Women's University

요약

글로벌 통신에 대한 수요가 증가함에 따라 low-earth-orbit (LEO) 위성 네트워크를 기존 지상 네트워크와 통합하면 6G 네트워크의 무선 범위를 크게 확장할 수 있다. LEO 위성의 배치 비용은 매우 높으므로 LEO 위성의 수명을 연장하는 동시에 각 데이터 흐름의 중단 간 지연 제약 조건을 충족할 수 있도록 에너지 효율적인 라우팅 방식을 설계해야 한다. 본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하기 위해 6G 환경에서 LEO 위성 네트워크를 위한 라우팅 기법 동향을 조사한다.

I. 서론

라우팅은 소스에서 대상 노드까지 패킷이 이동하는 경로를 결정한다. 기존 라우팅 프로토콜은 수십 년 동안 최선형 트래픽을 성공적으로 전달해 왔지만 트래픽의 증가와 품질의 다양화로 인해 새로운 인터넷 애플리케이션의 서비스 요구사항은 이러한 애플리케이션에서 생성된 패킷 흐름의 전송에 새로운 문제를 제기한다[1]. 더욱이 기존 라우팅 프로토콜은 제한된 정보를 사용하여 라우팅 결정을 내리기 때문에 동적 트래픽 변화에 적응하는 속도가 느려지고 다양한 서비스 요구사항에 대한 제한이 될 수 있다 [2].

또한, 기존 지상파망은 주로 인구밀도가 높은 지역을 대상으로 무선망 연결을 제공하고 있다. 고지대, 해양, 공중 등 원격지에 무선 네트워크 연결을 제공하기 위해 low-earth-orbit (LEO) 위성 네트워크를 기존 네트워크와 통합하여 지상 위성을 구성한다[3]. 6G의 네트워크는 유망한 솔루션으로 간주된다. 위성 네트워크에서는 근적외선 대역에서 작동하는 자유 공간 광통신 링크로 알려진 레이저 통신 링크가 LEO 위성 간의 고속 데이터 전송을 지원할 수 있다. 위성 네트워크는 전 세계 분산된 사용자 장비로부터 전송 요청 이벤트가 동적으로 도착하는 다중 홉 중계 네트워크이고 LEO 위성의 배치 비용이 매우 높기 때문에 에너지 효율적인 라우팅 방식을 설계해야 한다. 각 사용자 장비 데이터 흐름의 중단 간 제약을 충족하면서 LEO 위성의 수명을 연장해야 한다.

본 논문에서는 위의 문제들을 해결하기 위해 6G 환경에서 LEO 위성 네트워크를 위한 라우팅 기법 동향을 조사한다.

II. 본론

시간 슬롯 내 모든 LEO 위성의 라우팅 경로를 결정하기 위해 [4]는

water-filling 기반 알고리즘과 구성 행렬 생성 방법을 제안했다. 모든 LEO 위성에 대한 라우팅 결정을 기반으로 LEO 위성의 에너지 소비를 최소화하기 위해 활성 레이저의 평균 수와 두 전송 사이에서 LEO 위성이 지구 위를 공전하는 원 수를 결정하는 볼록 최적화 방법을 채택했다. 시간 슬롯 내 각 데이터 흐름의 중단 지연 제약을 보장한다. 또한 여기서는 특정 슬롯 내 모든 사용자 장비로부터의 전송 요청 이벤트의 분포와 개수를 미리 알 수 있다고 가정하였다. 공동 자원 할당 문제를 해결하기 위해 Taylor 시리즈 근사를 사용한 기하학적 프로그래밍으로 모델링되고 해결된다.

[6]에서는 심층 강화 학습을 활용한 Deep Q-Network (DQN) 기반 LEO 위성의 로드 밸런싱 라우팅 알고리즘을 제안했다. DQN 훈련을 통해 얻은 모델을 활용하여 위성 노드는 주변 위성 노드의 지연, 대역폭 및 대기열 활용에 따라 최상의 라우팅 결과를 선택할 수 있다. 시뮬레이션과 분석을 통해 제안한 알고리즘으로 얻은 경로 부하가 낮다는 것을 알 수 있다. Q-learning 기반 알고리즘과 비교하여, 이 알고리즘은 라우팅 경로의 최대 큐 활용률을 5% 감소시키고, 라우팅 경로의 평균 큐 활용률을 13% 감소시키며, 네트워크의 부하 균형을 효과적으로 조정했다.

또한, 기존 위성 네트워크에서 사용되는 기존 라우팅 프로토콜을 개선하기 위해 [7]에서는 동적 LEO-위성 네트워크의 위성 노드를 위한 지능형 분산 라우팅 알고리즘을 제안한다. 노드는 DQN 학습을 통해 얻은 모델을 기반으로 주변 위성 노드의 공간 위치, 상호 거리, 대기 지연 및 사용 가능한 대역폭에 따라 복귀 링크를 적응적으로 선택할 수 있다. 시뮬레이션과 분석을 통해 제안한 지능형 라우팅 방법은 우수한 융합 특성과 일반화 능력을 보유하고 있으며 다양한 라우팅 방법에 비해 지연 시간 성능이 더

우수하다는 것을 보여준다.

분산 라우팅 결정 환경에서 각 LEO 위성은 라우팅 결정이 필요할 때 위성 상태 정보를 이웃 위성 간에 정보 교환을 해야 하는데 이는 에너지를 많이 소모하게 된다. [8]에서는 중궤도(MEO) 위성의 라우팅 관리자를 활용하여 LEO 위성의 상태를 모니터링하고 LEO 위성의 각 라우팅 요청 이벤트에 대한 라우팅 경로를 지능적으로 결정하는 중앙 집중식 위성 네트워크 아키텍처를 제안한다. 제안된 아키텍처에서 중앙 집중식 위성 네트워크 라우팅 의사 결정은 분산 라우팅 의사 결정에 비해 제어 메시지 수를 크게 줄이고 LEO 위성의 에너지 소비를 더욱 절약할 수 있다. 이는 LEO 위성이 라우팅 요청을 보내고 제안된 중앙 집중식 위성 네트워크 아키텍처의 라우팅 관리자에게 데이터 흐름의 전송이 완료되었음을 알리기만 하면 되기 때문이다. 제안된 중앙 집중식 위성 네트워크 아키텍처에서는 확률론적 라우팅 요청을 처리하기 위해 라우팅 관리자에서 에너지 효율적인 이벤트 기반 심층 강화 학습, 심층 결정적 정책 경사법 (Deep Deterministic Policy Gradient, DDPG), 향상된 Dijkstra 알고리즘을 제안하였다.

III. 결론

본 논문에서는 기존 라우팅 프로토콜에서 라우팅 결정을 내리는 데 제한된 정보를 사용으로 인해 발생하는 트래픽 가변성에 대한 적응이 느려지고 애플리케이션의 서비스 품질 요구 사항에 대한 지원이 제한될 수 있는 문제를 해결하기 위해 6G 환경에서 LEO 위성 네트워크를 위한 라우팅 기법 동향 조사하였다. 향후 연구로는 LEO 위성의 개수가 증가하는 추세에 대응하여 방대한 양의 라우팅을 처리하는 기술을 고도화하고 많아진 개수만큼 필요로 하는 보안 문제를 동시에 해결하는 동시 최적화 문제가 추가 연구로 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 연구결과와 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행되었음”(IITP-2024-RS-2022-00156353, No. 2021-0-00493, 5G Massive 차세대 사이버공격 기반기술 개발)

참 고 문 헌

[1] D. M. Casas-Velasco, O. M. C. Rendon and N. L. S. da Fonseca, “Intelligent Routing Based on Reinforcement Learning for Software-Defined Networking,” in *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 18, no. 1, pp. 870-881, March 2021, doi: 10.1109/TNSM.2020.3036911.

[2] B. Mao et al., “A tensor based deep learning technique for intelligent packet routing,” *Proc. IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM)*, pp. 1-6, 2017.

[3] O. Kotheli et al., “Satellite Communications in the New Space Era: A Survey and Future Challenges,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 1, pp. 70-109, 2021.

[4] S. Fu, J. Gao and L. Zhao, “Collaborative Multi-Resource Allocation in Terrestrial-Satellite Network Towards 6G,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 20, no. 11, pp. 7057-7071, Nov. 2021.

[5] W. Liu, Y. Tao and L. Liu, “Load-Balancing Routing Algorithm Based on Segment Routing for Traffic Return in LEO Satellite Networks,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 112044-112053, Aug. 2019.

[6] Dong, F.; Song, J.; Zhang, Y.; Wang, Y.; Huang, T. DRL-Based Load-Balancing Routing Scheme for 6G Space - Air - Ground Integrated Networks. *Remote Sens.* 2023, 15, 2801. <https://doi.org/10.3390/rs15112801>

[7] P. Zuo, C. Wang, Z. Yao, S. Hou and H. Jiang, “An Intelligent Routing Algorithm for LEO Satellites Based on Deep Reinforcement Learning,” 2021 IEEE 94th Vehicular Technology Conference (VTC2021-Fall), Norman, OK, USA, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/VTC2021-Fall52928.2021.9625325.