

반복 지상 궤적을 이용한 트래픽 인지형 저궤도 위성 군집 설계

이용, 조준형, 이제민*
전기전자공학과, 연세대학교

{l, jojunhyeong, jemin.lee}@yonsei.ac.kr

Traffic-Aware LEO Satellite Constellation Design with Repeat Ground Tracks

Yong Lee, Junhyeong Jo, Jemin Lee*
School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei Univ.

요약

본 논문은 불균일한 지상 트래픽을 효율적으로 수용하기 위해 반복 지상 궤적(RGT) 기반의 저궤도 위성 군집 설계 기법을 제안한다. 실제 통신 품질을 고려한 사용자 수 최대화를 목표로 하며, 궤적 선정과 위성 배치를 분리한 2 단계 알고리즘을 통해 기존 방식 대비 높은 수용 용량과 낮은 계산 복잡도를 달성하였다.

I. 서론

전 세계 트래픽의 공간적 불균형에도 불구하고 기존의 Walker 위성 군집은 지구 전체에 균일한 커버리지를 제공하도록 설계되어 비효율적이다. 본 논문은 위성 궤적이 특정 지역을 주기적으로 재방문하는 RGT 궤도를 활용하여 트래픽 밀집 지역에 자원을 집중시키는 트래픽 인지형 군집 설계 기법을 제안한다. 이를 위해 위성 간 간섭을 고려한 체계적인 2 단계 최적화 알고리즘(RGT-SCD)을 제시한다.

II. 시스템 모델 및 성능 지표

본 연구는 지구 자전과 공전 주기를 동기화하여 지상의 동일 경로를 반복하는 RGT 궤도를 채택한다. 성능 지표로는 단순 커버리지 면적이 아닌, 위성 링크의 가용성(고도각)과 최소 전송 속도(QoS) 요건을 모두 만족하는 '성공적으로 서비스를 받는 사용자 수'를 정의하여 사용한다. 목표는 운용 기간 동안 이 지표를 최대화하는 군집 파라미터를 찾는 것이다.

III. 제안하는 2 단계 군집 설계 기법

복잡한 설계 문제를 효율적으로 해결하기 위해 과정을 두 단계로 분리한다. 1 단계 (최적 궤적 선정): 트래픽 분포 데이터와 궤도 역학을 분석하여, 위성 배치 위상과 무관하게 궤적 자체가 트래픽 밀집 지역을 가장 많이 통과하는 최적의 궤도 경사각과 파라미터를 도출한다. 2 단계 (위성 배치): 선정된 궤적 위에서 위성 간 물리적 충돌과 신호 간섭을 방지할 수 있는 최소 이격 거리를 계산한다. 이를 바탕으로 가상의 균일 슬롯을 활용해 가장 조밀하면서도 안전한 위성 배치 간격을 결정한다.

IV. 모의실험 결과

실제 트래픽 분포(GeoLite2)를 기반으로 실험한 결과, 제안 기법은 기존 Walker 군집 및 메타휴리스틱(GA, PSO) 알고리즘 대비 월등히 많은 사용자에게 서비스를 제공함을 확인했다. 특히 위성 수가 제한적일 때 트래픽 집중 효과가 두드러졌으며, 단계별 최적화를 통해 설계에 소요되는 계산 시간을 기존 대비 수천 배 이상 단축시켰다.

V. 결론

본 논문은 RGT 궤도를 활용하여 트래픽 불균형 환경에 최적화된 저궤도 위성 군집 설계 알고리즘을 제안하였다. 제안 기법은 트래픽 수요 중심의 궤적 설계와 간섭을 고려한 배치를 통해 위성 자원 효율성을 극대화함을 입증하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 6G-클라우드 리더십구축을 위한 교육 연구 오픈 허브 연구 결과로 수행되었음 (IITP-2025-RS-2024-00428780)

참고 문헌

- [1] Y. Lee, Y. Yang, and J. Lee, "LEO satellite constellation design for uneven traffic distribution," in *Proc. IEEE Global Commun. Conf. (Globecom)*, Taipei, Taiwan, Dec. 2025, pp. 1-6.