

LEO 위성 네트워크를 위한 위성 선택에 관한 연구

이원호¹ 방인규² 김태훈¹

국립한밭대학교 컴퓨터공학과¹ 국립한밭대학교 지능미디어공학과²

wonholee@edu.hanbat.ac.kr, {ikbang, thkim}@hanbat.ac.kr

A Study on Satellite Selection for LEO Satellite Networks

Wonho Lee¹ Inkyu Bang^{2*} Taehoon Kim^{1*}

Dept. of Computer Engineering, Hanbat National University¹

Dept. of Intelligence Media Engineering, Hanbat National University²

요 약

본 연구는 저궤도(LEO) 위성 네트워크에서 낮은 고도각 영역의 신호 열화 현상을 분석하였다. LEO 위성은 빠르게 지구를 공전하여 지상국과의 통신 시간이 제한적이며, 특히 고도각 10° 이하에서는 경사거리 증가와 대기 간섭으로 인해 신호 강도가 크게 감소한다. 구면기하학적 접근과 MATLAB 시뮬레이션을 통해 분석한 결과, 위성 고도가 600 km 일 때 고도각이 10° 로 낮아지면 천정 대비 경사거리가 약 8588 km 로 증가하고, 수신 신호 강도(RSRP)는 약 20 dB 이상 감소하였다. 따라서 LEO 위성 네트워크의 설계 및 운용 시 낮은 고도각에서의 신호 열화를 고려한 전략이 필수적임을 제시한다. 향후 연구로는 빔포밍 기술 및 적응형 자원 할당 기법 등을 결합하여 신호 품질과 네트워크 성능을 더욱 향상시키는 방안을 모색할 예정이다.

I. 서 론

전 세계적으로 증가하는 광대역 통신 수요를 충족하기 위해 수천 기의 저궤도(LEO) 위성을 활용한 위성 통신망이 구축되고 있다 [1]. LEO 위성은 낮은 고도에서 빠르게 지구를 공전하여 지상국과의 가시 시간이 짧으며, 특히 낮은 고도각에서 신호의 급격한 열화가 발생한다 [2]. 일반적으로 안정적인 통신을 위해 최소 고도각을 약 10° 로 설정하지만, 이보다 낮은 각도에서는 경사거리 증가, 대기 및 간섭 요인으로 인해 신호 강도가 현저히 저하된다. 특히 10° 고도각 근처의 위성 커버리지 경계 영역에서는 신호 경로가 지표면과 낮은 각도로 교차하여 수신 신호 세기가 크게 감소하고, 통신 성능이 급격히 떨어진다 [3]. 본 연구는 이러한 저고도각에서의 신호 열화 문제를 분석하여 LEO 위성 네트워크 설계 및 운용 시 고려할 점을 제시하고자 한다.

II. 본 론

LEO 위성 통신 링크의 신호 강도는 고도각이 높을수록 위성과 지상국 사이의 거리가 짧아져 수신 신호 강도가 우수하며, 반대로 고도각이 낮아질수록 경사거리가 길어져 신호 세기가 급격히 감소한다 [2],[3]. 본 연구에서는 MATLAB 시뮬레이션을 통해 실제 위성 통신 환경을 재현하여, 시간에 따른 위성 연결 변화와 그에 따른 신호 세기 저하 현상을 분석하였다.

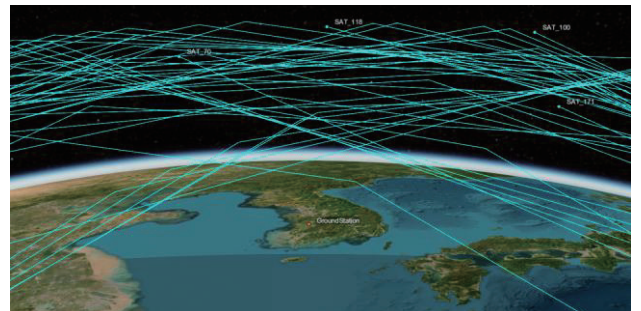


그림 1. Starlink TLE 를 이용한 시뮬레이션 구현

* 교신저자: 방인규, 김태훈

실험 결과, 고도각이 90° 에 가까운 천정 부근에서는 최적의 신호 세기가 유지되었지만, 고도각이 10° 근처로 낮아질수록 신호 강도가 급격히 감소하였다. 이는 위성과 지상국 간의 거리가 증가함에 따른 자유 공간 경로 손실의 증가로 설명할 수 있다 [3].

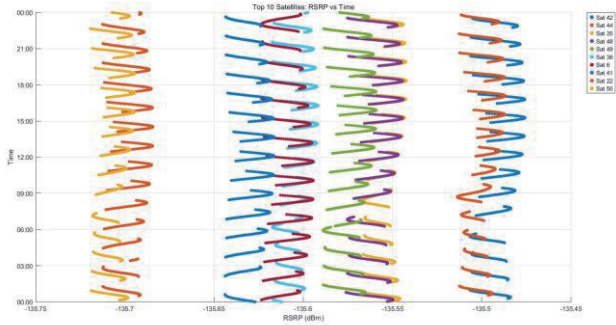


그림 2. 시간에 따른 RSRP

본 연구의 실험 결과는 개별 위성과의 평균 연결 시간이 약 10 분 내외이며, 위성이 가시권 가장자리에 도달할 때 연결이 빈번히 끊기고 새로운 위성으로 핸드오버가 이루어짐을 확인하였다 [4].

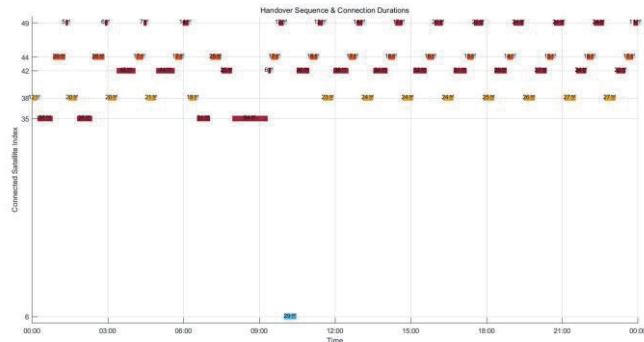


그림 3. 시간에 따른 위성 선택 결과

III. 결 론

본 연구에서는 저궤도 위성 통신에서 커버리지 가장자리 구간의 신호 열화 문제를 다루었다. 이론 분석을 통해 고도각이 약 90° 에서 10° 로 감소함에 따라 경사거리가 수 배 증가하고 자유 공간 경로 손실이 커지는 것을 보였다. 또한 시뮬레이션을 통해, 하나의 LEO 위성과의 링크 지속 시간은 평균 10 분 내외로 제한되며 고도각 10° 부근에서는 수신 신호 세기가 천정부근 대비 급격히 낮아져 링크_margin 이 매우 감소함을 RSRP 통계로 검증하였다.

향후 연구과제로는 빔포밍 기법과 지능형 자원 할당의 결합을 들 수 있다. 예를 들어 위성에 탑재된 적응형

빔패턴 및 출력 제어를 통해 저고도각 사용자에게 동적으로 더 많은 자원과 빔 이득을 배분하는 최적화 기법을 개발할 수 있다. 이러한 방향의 연구를 통하여, 저궤도 위성 통신망의 연속성과 품질 보장을 한층 높이고 지상망을 보완하는 미래 6G/위성 융합망 구현에 기여할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원 ICT 혁신인재 4.0 사업과 대학 ICT 연구센터(ITRC)의 지원을 받아 수행된 연구임(IITP-2025-RS-2022-00156212, 50%, IITP-2025-RS-2024-00437886, 50%). 이 연구는 2025학년도 국립한밭대학교 학술문화연구재단에서 지원을 받았음.

참 고 문 헌

- [1] 3GPP, "Study on solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN)," 3GPP TR 38.821, Release 16, Dec. 2020.
- [2] E. Kim, I. P. Roberts, and J. G. Andrews, "Downlink Analysis and Evaluation of Multi-Beam LEO Satellite Communication in Shadowed Rician Channels," arXiv preprint arXiv:2207.06663, Jul. 2022.
- [3] 3GPP, "Study on channel model for frequency spectrum above 6 GHz," 3GPP TR 38.901, Release 16, Dec. 2020.
- [4] 3GPP, "Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks," 3GPP TR 38.811, Release 15, Sept. 2018