

O-ISL 성능향상을 위한 Multi-PAT 기법 연구

황재성, 이지용*, 박상진, 백지연, 전현채
인천대학교

imjiyung@inu.ac.kr

Multi-PAT modulization for the O-ISL performance enhancement

Jae Seong Hwang, Ji-Yung Lee*, Sangjin Park, Ji Yeon Baek, Hyunchoe Chun

Incheon National Univ.

요약

본 논문은 단방향의 송수신이 가능한 Single-PAT 기법과 다방향의 송수신이 가능한 Multi-PAT 기법 간 O-ISL 경로의 차이 및 원인을 분석하고, 이러한 차이가 통신 성능에 미치는 영향을 관측함으로써 Multi-PAT 기법의 향후 방향성을 제시한다.

I. 서론

6G의 로드맵이 현실화되면서 데이터 전송률은 스트리밍 서비스, 모바일 증강 및 가상현실(AR/VR) 등을 소화해야 하므로 Tbits/sec를 넘는 수준의 통신 방식이 요구되고 있고, 이에 따라 넓은 주파수 대역이 필요하다. 또한 V2X(Vehicle to Everything) 네트워크와 같이 QoS(Quality of Service)를 높이는 방식이 등장함에 따라 km 당 연결이 5G의 10배에 달하는 10^7 개를 1초 안에 소화해낼 수 있어야 하며, 그리고 이러한 서비스가 0.1ms 이하의 저지연 통신으로 이뤄져야 한다[1]. 이에 지연시간을 획기적으로 줄일 수 있는 LEO 군집 위성 통신망 구축을 위한 회사들 간의 경쟁이 활발히 일어나고 있다.

위성간 통신에서, 광통신은 6G를 위해 함께 연구되고 있는 위성통신 즉, O-ISL(Optical-Inter Satellite Link)에서도 유리하게 작용할 수 있다. RF 대역폭에서 쓰이는 안테나에 비해 더 작은 크기의 송수신기를 갖고 있어 공간과 무게의 제약으로부터 자유롭다. 그리고 신호의 빔 폭이 확연히 좁기 때문에 수신기에서 받을 수 있는 파워가 더 강하고, 링크 구축 과정에서 발생하는 신호누락이 최소화될 수 있다[2].

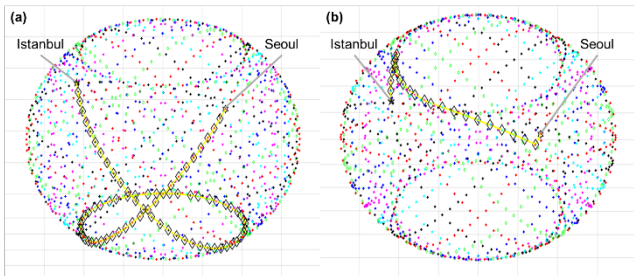
다만, O-ISL을 위해 해결해야 하는 과제 중 하나로 PAT(Pointing, Acquisition, and Tracking) 기법이 있다. 첫

번째 과정인 Pointing은 다른 위성과 송수신기를 정렬하는 과정이고, Acquisition은 광학적 빔의 도착 방향으로 송수신기를 정렬하는 과정이다. 마지막 Tracking은 두 통신 단말기 간의 통신 링크를 유지하는 것이다. 일반적으로 O-ISL 중 광신호를 안정적으로 확보하려면 광통신 단말기의 위치를 지속적으로 조정해야 하므로 O-ISL 구축 시간이 길어지게 되는 주요 영향 요인으로 작용한다. 그리고 수십 초 안에 소비되는 이러한 프로세스는 전체 네트워크의 지속 시간과 비교하여 무시할 수 없는 수준이고, 결과적으로 토폴로지 전환 과정에서는 PAT로 인한 O-ISL의 긴 설정 시간이 O-ISL 성능 저하를 야기할 수 있다[3]. 실제로 6G를 소화해낼 수 있는 통신 성능을 위해 레이저 터미널의 작용범위가 좁다는 것까지 감안할 때, 단일 송수신기로 이뤄진 PAT는 링크 구축율이 현저히 떨어진다. 이를 보다 자세히 분석하기 위해 Single-PAT 기법과 Multi-PAT 기법을 위성의 송수신기 방향 및 개수에 따른 통신 성능을 기준으로 분석한다.

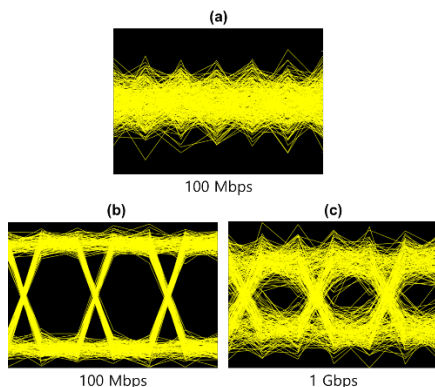
II. 본론

본 논문에서는 Starlink Phase I을 기준으로 위성의 위도와 경도를 계산하고[4], 이에 따른 위성들의 좌표를 확립한다. 또한 각 위성의 FoV(Field of View)를 고려하여

O-ISL 구축에 제약을 두고, Dijkstra's Algorithm을 통해 최종 형성된 최단 경로의 링크에 대하여 PAT 방식 별 통신 성능을 분석한다. [그림 1]은 시뮬레이션 중 Multi-PAT의 차이를 명백히 보여준 시나리오의 하나인 이스탄불-서울의 대륙간 통신에 대하여 형성된 O-ISL의 모습을 보여준다. [그림 1]-(a)는 Single-PAT 기법으로 전방의 송신기와 후방의 수신기만 부착된 경우의 경로다. [그림 1]-(b)는 Multi-PAT 기법의 예시로 동서남북 4방향 모두 송수신이 가능한 위성들의 링크다. 현재 두 상황 모두 송수신기의 조향 각도는 10° 로 설정되어 있고, Half-Beam Angle은 $10\mu rad$ 이다. Single-PAT 기법은 위성 특성 상 소속된 Plane의 일직선 상으로만 시야가 확보되므로 비교적 누워있는 극지방까지 링크가 연결되어야만 다른 plane을 거쳐 서울에 도달할 수 있어 경로가 크게 돌아간 모습을 보이는 것으로 분석된다. 반면 [그림 1]-(b)에 경우, 다음 위성으로 넘어가는 시야에 특별한 제약이 없으므로 비교적 이상적인 경로를 형성한다.



[그림 1] PAT 기법 종류에 따른 O-ISL 최단 경로



[그림 2] Eye-diagram

[그림 2]는 [그림 1]의 각각의 상황에서 OOK 기법을 적용한 결과를 나타낸 Eye-diagram이다. [그림 2]-(a), (b)는 [그림 1]-(a), (b) 상황에서 데이터 전송률을 100Mbps로 상정하였을 때의 결과이고, [그림 2]-(c)는 [그림 2]-(b)의 상황에서 전송률을 1Gbps로 올렸을 때의 결과를 나타낸다. Single-PAT 기법의 경우, 링크가 길어 전파 거리가 멀어짐에 따라 높은 전송 손실로 인하여 Multi-PAT 기법에 비하여 좋지 못한 성능을 보였다.

하지만 Multi-PAT 기법 경우, 보다 높은 1Gbps에서도 안정적 통신이 가능한 것으로 분석된다.

III. 결론

더 낮은 지연시간 달성을 위한 LEO 군집 위성 통신망 구축에 있어서, 높은 데이터 전송률과 대역폭을 가진 O-ISL 기술은 RF 대역의 스펙트럼 포화문제에 대한 가능성이 있는 해결책이다. 그러나 레이저 통신의 특성 상 신호의 빔 폭이 좁고, LEO 위성의 빠른 공전 속도로 인해 안정적인 위성 통신을 위해서는 정교하고 빠른 PAT 기술이 요구된다.

본 연구에서는 차세대 6G 통신을 위한 O-ISL 구축의 핵심적인 요소인 PAT 기술에 있어서, 방식에 따른 링크 경로의 특성을 고려한 통신 성능을 시뮬레이션 하였다.

이를 통해 안정적인 O-ISL 링크 유지를 위해, Multi-PAT의 사용이 요구됨을 보여주었고, PAT 모듈의 스펙에 따라, 최적화된 분배가 필요함을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program(IITP-2024-RS-2023-00259061) supervised by the IITP(Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation)

참 고 문 헌

- [1] H. -B. Jeon et al., "Free-Space Optical Communications for 6G Wireless Networks: Challenges, Opportunities, and Prototype Validation," in IEEE Communications Magazine, vol. 61, no. 4, pp. 116-121, April 2023.
- [2] Choudhary, Abhilasha and Agrawal, Navneet Kumar. "Inter-satellite optical wireless communication (IsOWC) systems challenges and applications: a comprehensive review" Journal of Optical Communications, 2022. (<https://doi.org/10.1515/joc-2022-0075>)
- [3] K. Lee, V. Mai and H. Kim, "Acquisition Time in Laser Inter-Satellite Link Under Satellite Vibrations," in IEEE Photonics Journal, vol. 15, no. 4, pp. 1-9, Aug. 2023.
- [4] Q. Chen, G. Giambene, L. Yang, C. Fan and X. Chen, "Analysis of Inter-Satellite Link Paths for LEO Mega-Constellation Networks," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 70, no. 3, pp. 2743-2755, March 2021.