

# O-ISL 기술의 산업계 동향 및 LEO 위성용 광학 RIS기술 고찰

황재성, 이지용\*, 박상진, 전현채

인천대학교

imjiyung@inu.ac.kr

## Industry trends of O-ISL and insights into optical RIS for LEO satellites

Jae Seong Hwang, Ji-Yung Lee\*, Sang-Jin Park, Hyunchoe Chun

imjiyung@inu.ac.kr

### 요약

본 논문은 O-ISL 네트워크의 필요성과 잠재력을 분석하고, 최근 학계와 산업계의 연구개발 동향을 정리한다. 이를 통해, 기존 위성 광통신 시스템과의 융합 및 보조시스템으로서의 기반 위성통신 기술의 도전과제들을 도출한다.

### I. 서론

6G는 100Gbps 이상, 최고 1Tbps 전송속도로 최고 20Gbps인 5G보다 50배 이상 전송속도가 빠른 차세대 통신 기술이다. 6G 기술의 가장 큰 특징은 공간의 제약을 넘어선다는 것이다. 수십 km 떨어진 위치에도 통신 서비스를 이용할 수 있다는 것이다. 이러한 서비스가 가능하게 된 배경은 저궤도(LEO) 위성 광통신이 기반이 된다는 점에서 나타난다. 기존 위성 통신은 지상과 위성 간의 상호 통신인 반면에 위성 광통신, 즉, O-ISL(Optical inter-satellite links)은 적외선 레이저를 이용해 위성끼리 위성 사이에 데이터를 상호 통신할 수 있도록 한다.

O-ISL은 신뢰성과 비용 측면에서 기존 위성 통신과 비교해 더욱 뛰어난 성능을 확인할 수 있다. 처리량을 향상시키고 지연을 줄였다. 또한, 데이터 속도 측면에서도 광섬유 케이블 통신 서비스보다 30% 더 향상된 성과를 보인다 [1]. 이를 바탕으로 6G 시대에는 저궤도 위성통신 기술이 더욱 강화될 것으로 전망되며, 국내에서는 6G 통신을 선도하기 위한 연구와 협력이 진행되고 있다.

본 논문에서는 최근 O-ISL을 이용한 산업계의 사례(LCRD, Project Kuiper, SpaceX)를 소개하고, 현 시점에서의 도전과제와 함께 이에 따른 미래 학계의 연구 방향을 제시한다.

### II. 최신 산업계 동향

Amazon의 Project Kuiper [2]는 최근 ('23년.12월) 프로토타입 위성 간 100 Gbps의 데이터 전송 속도를 달성하는 광학 링크를 성공적으로 시연했다고 발표했다. 이는 우주에서 메시 네트워크를 구축하는 데 있어 중요한 단계로, 10월에 발사된 Proto-tupe 위성들을 이용하여 광범위한 테스트가 진행되었다. 사용되어진 O-ISL 기술은 최근까지 기밀로 유지되고 있고, 고급 무선광통신 모듈을 포함하고 있는 KuiperSat-1과 KuiperSat-2로 명명된 Proto-tupe 위성들을 이용하여 ~1,000 km의 거리에서 100 Gbps 통신성능을 갖는 링크를 테스트했다.

Kuiper 프로젝트는 궁극적으로 저궤도 레이저 메시 네트워크를 구축하여, 지상의 광섬유 케이블을 통해 이동하는 것보다 약 30% 개선된 성능을 보장한다고 밝혔다.

SpaceX의 Starlink는 최근 ('23년 9월) Starlink V2 Mini 위성에 설치

된 'Space Laser' 하드웨어의 사진을 공개했다 [3]. 현재 SpaceX는 약 5000개의 Starlink 위성을 운영하고 있으며, 60개국에서 200만 명 이상의 가입자에게 서비스를 제공하고 있으며, 매주 위성을 발사하여 신뢰성을 향상을 위한 광대역 위성 네트워크를 구축하고 있다. 이러한 Mega-constellation을 기반으로 8,000개 이상의 O-ISL 네트워크를 구축하여, Base-station의 field-of-view (FoV)를 넘어 수천 킬로미터 떨어진 곳에서도 연결될 수 있으며, 각 링크에서 최대 100 Gbps의 데이터 전송을 가능하게 하는 정밀한 빔 지향성을 유지할 것이라고 보고하였다.

NASA는 최근 ('23년.12월), Laser Communications Relay Demonstration (LCRD)과 International Space Station (ISS)에 탑재된 통합 LCRD 저궤도 사용자 모뎀 및 증폭기 터미널, Integrated LCRD Low Earth Orbit User Modem and Amplifier Terminal (ILLUMA-T) 간의 첫 양방향 레이저 통신 연결에 성공했다 [4]. ILLUMA-T와 LCRD는 NASA의 Space Communication and Navigation (SCaN) 프로그램의 일부로, 레이저 통신 기술이 과학 및 탐사 임무에 크게 기여할 수 있음을 입증하는 데 중점을 두고 있다. ILLUMA-T와 LCRD 간 1.2 Gbps의 통신 링크를 시연하였으며, 이러한 레이저 통신의 발전은 과학 임무에서의 데이터 수집을 향상시킬 뿐만 아니라 달/화성 등의 탐사 시, 지구와의 중요한 양방향 연결을 유지하는 데에도 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

### III. 연구동향 및 RIS기술

FSOSN(Free Space Optical Satellite Networks)은 크게 Permanent O-ISL(PL)와 Temporary O-ISL(TL)로 구분된다 [5]. PL는 항상 O-ISL 범위에 속해있는 링크를 의미하고, TL은 궤도 상 짧은 시간 동안 겹치는 링크를 의미한다. PL과 비교하였을 때, TL이 갖는 장점은 같은 레이저 링크 범위를 가질 때, 더 많은 노드를 가질 수 있다는 점인데, 특히 위성이 고위도에 위치할수록 다른 궤도와와의 거리가 가까워지기 때문에 특성상 노드의 개수가 고정되어있는 PL과 다르게 TL은 위도에 따라 더 많은 노드 수를 가질 수 있다. 그러나 현재 위성 간 레이저 터미널을 정렬하는 Pointing - Acquisition - Tracking(PAT) 프로세스에서 현재의 PL은 최초 설정 시 수십 초의 정렬 시간이 소요되며, 네트워크를 생성 후 위성의 고

도와 위치 정보가 교환되더라도 획득 과정에서 2초가량 소요된다. 또한 위성 간 상대 속도가 매우 빠르기 때문에 TL을 연결하고 유지하기 위한 정교한 PAT 시스템이 필요하다. 해당 시스템은 기술적 어려움으로 인해 현행 O-ISL은 물론, 2020년대 후반까지 도입될 2세대 FSOSN에도 적용이 어려운 것으로 전망되며, 2030년대 초중반에 도입될 3세대 FSOSN부터 TL이 적용 가능할 것으로 전망된다.

데이터를 정확하게 보내기 위한 PAT 프로세스와 더불어 정렬된 링크를 통해 데이터가 이동하는 데 걸리는 총 시간 (Latency) 역시 중요하다. 참고문헌 [5]에서 국가 간 장거리 통신을 위한 모의실험을 진행하였다. 무선 <표 1>은 광 위성 네트워크(Optical Wireless Satellite Network)에 관하여 Starlink's Phase I의 조건을 가정하여 각기 다른 굴절률과 고도 별로 가상의 경로를 설정 후, 대륙별 장거리 통신 시나리오를 광섬유 지상 통신과 위성통신 지연시간의 계산 결과를 보여준다. 뉴욕-더블린, 상파울로-런던, 토론토-시드니 각 시나리오의 최단 거리는 5,121km, 9,514km, 15,585km로 설정되어있으며, 고도별 위성의 속도는 7.7 km/s, 7.6km/s, 7.3km/s로 계산되어 있다. 전반적으로 지상 통신보다 위성통신에서 좋은 수치를 보인다. 특히 낮은 고도의 위성들을 사용할 때 up/down link와 위성 사이의 거리가 상대적으로 짧아, 더 낮은 지연시간을 보인다 [5]. 향후 연구 방향으로 가상의 최적 경로가 아닌 위성의 상대 속도, 위성의 레이저가 바라보는 방향, 위성 상태 등을 고려하여 실시간으로 반영 가능한 최적의 경로 탐색 방법을 모색하는 것이 될 수 있다.

<표 1> 지연시간 비교 [5]

국가 간 연결	지연시간(ms)					
	굴절률			고도		
	1.1	1.3	1.4675	300km	550km	1,100 km
뉴욕-더블린	18.79	22.21	25.07	18.84	19.58	21.62
상파울로-런던	34.91	41.26	46.57	34.13	35.31	37.84
토론토-시드니	57.18	67.58	76.29	55.34	56.71	60.62

특히, 광학 RIS (Reconfigurable Intelligent Surface)를 기반으로 하는 O-ISL기술은 통신 속도 향상 뿐 아니라 지연시간 단축에도 효과적인 것으로 예상된다. 참고문헌 [6]에서, 53.42km 거리에서 Tb/s 단위의 전송률을 달성하는 무선광학 링크를 위해, adaptive optics (AO)기술을 사용하여 고대역폭의 송/수신 모듈을 통해, 위성통신 환경에서 발생하는 열화 현상들을 완화시키는 데 성공했다. 광학 RIS는 이러한 AO 기술을 smart retro-reflector등의 지향성 반사체와의 접목으로부터, 광학 PAT의 핵심 요소인 beam-steering과 virtual wide-FoV의 구성을 가능하게 하여, O-ISL PAT에 필수적인 안정적 beam-steering과 tracking을 가능하게 하는 연구가 진행중에 있다.

#### IV. 결론

O-ISL은 저지구궤도(LEO)에 있는 위성들이 통신을 하는 ISL에 광학 기술을 추가한 통신 기법으로, 기존의 RF 대역의 링크에 비해 고주파 대역을 사용해 고주파 대역의 사용이 제한되는 지상에서의 통신보다 고용량, 고속 통신이 가능하다. 이러한 장점을 이용해 위성통신을 통해 차세대 6G 기술이 기업들 간의 치열한 경쟁을 통해 개발이 진행되고 있다. 하지만, LEO에 있는 위성은 더 높은 고도의 궤도에 위치한 위성보다 빠른 속도로 공전하는 특징이 있어 정교하고 빠른 조향 및 정렬 기법이 필요시 되고, 그로 인해 발생하는 PAT 과정의 광학 RIS기법을 통한 최적화 등 다양한 도전과제들이 있다.

#### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.RS-2023-00253346).

#### 참고 문헌

- [1] 홍대식, "6G 이동통신은 위성통신과 함께", etnews, <https://news.heraldcorp.com/view.php?ud=20231204000302> [accessed Dec. 30, 2023].
- [2] "Amazon's Project Kuiper completes successful tests of optical mesh network in low Earth orbit," Amazon. <https://www.aboutamazon.com/news/innovation-at-amazon/amazon-project-kuiper-oisl-space-laser-december-2023-update> [accessed Dec. 30, 2023]
- [3] E. J. Arevalo, "SpaceX Reveals Operation of Over 8,000 'Space Lasers' Across Starlink Satellite Constellation - Enabling Faster Internet," Tesmanian. <https://www.tesmanian.com/blogs/tesmanian-blog/starlink-video> [accessed Dec. 30, 2023].
- [4] K. Murphy and K. Schauer, "NASA's First Two-way End-to-End Laser Communications Relay System," NASA. <https://www.nasa.gov/technology/space-comms/nasas-first-two-way-end-to-end-laser-communications-system> [accessed Dec. 30, 2023].
- [5] A. U. Chaudhry, H. Yanikomeroğlu, "When to Crossover from Earth to Space for Lower Latency Data Communications?," in IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, arXiv:2203.00154v1, 2022.
- [6] Horst, Y., Bitachon, B.I., Kulmer, L. et al. Tbit/s line-rate satellite feeder links enabled by coherent modulation and full-adaptive optics. Light Sci Appl 12, 153 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41377-023-01201-7>