

5G 및 6G 네트워크를 위한 광무선통신 시스템의 EDFA 기반 손실 보상 연구

허영순, 여찬일, 박시웅, 박형준

한국전자통신연구원

ysheo@etri.re.kr, chyeo@etri.re.kr, swpark@etri.re.kr, spacegon@etri.re.kr

A Study on Loss Compensation Using EDFA in Optical Wireless Communication Systems for 5G and 6G Networks

Youngsoon Heo, Chan Il Yeo, Siwoong Park, Hyoungh-Jun Park

Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

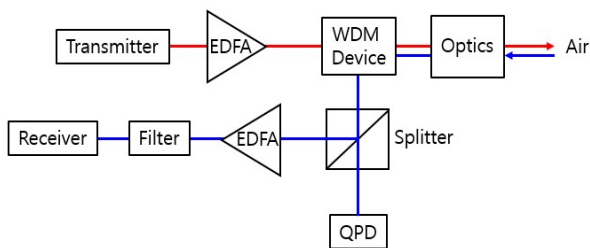
본 논문은 대용량의 데이터 전송, 저지연 및 고속 인터넷 통신을 위한 저궤도 군집간 광무선 통신 시스템에서 채널환경, 대기효과 등의 의존성에 의한 광손실을 보상하기 위해 광수신부 전단에 EDFA를 배치하여 구현하였으며, 수신단에 수신감도 특성이 우수한 APD뿐만 아니라 PIN-PD를 사용할 경우 EDFA 및 필터를 적용하면 두 경우 모두 수신감도가 약 $-38\text{dBm@BER } 10^{-6}$ 까지 향상되어 광손실을 보상할 수 있음을 확인하였다.

I. 서론

초고속 전송, 초저지연, 초연결성을 요구되는 5G 및 6G와 같은 이동통신 네트워크와의 통합을 위한 저궤도 군집 위성간 광무선 통신(Optical Wireless Communication, OWC)의 중요성이 증대되고 있다[1], [2]. 그러나 광무선 통신은 채널 환경 변화에 따른 신호 감쇠, 대기효과, LOS(Line of Sight) 경로 의존성과 같은 제약으로 인해 안정적인 전송 성능을 보장하는데 한계가 있다[2]. 따라서 대용량 데이터를 손실 없이 장거리 전송하기 위해서는 수신부의 감도를 개선하고 신호대 잡음비를 높일 수 있는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 광무선 통신 시스템의 수신부에 충분한 입사 광파워를 확보하기 위해 어븀 첨가 광섬유 증폭기(EDFA) 및 필터를 적용하였으며, 그 결과 수신부의 수신감도가 개선된 성능을 확인하였다.

II. 본론

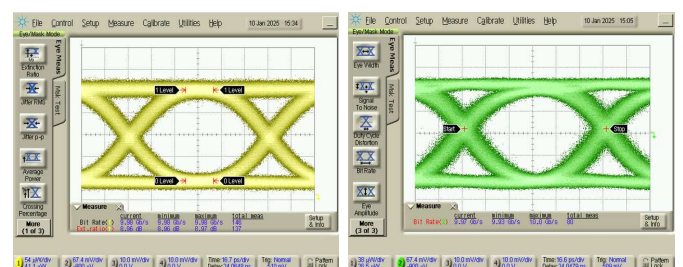
본 논문에서는 그림 1과 같이 저궤도 군집 위성간 광무선 통신 시스템과 같이 구현하였으며 SDA(Standard Development Agency) 표준에 따라 파장 1536.61nm와 1553.33nm를 사용하였다.



[그림 1] 저궤도 군집위성간 광무선 통신 시스템 개념도

위성-지상 및 위성-위성 간 통신의 경우 10 Gbps 이상 전송 속도가 요구되므로 그림 2와 같이 10Gbps 전송 속도를 갖는 광 송수신 모듈을 구성하여 실험을 진행하였다. 장거리 전송을 위해 송신단에 고출력 광 증폭을

위한 EDFA를 사용하였으며 수신단에 전송 과정에서 발생하는 광 손실을 보상하기 위해 수신부 전단에 optical pre-amplifier를 배치하였다. 광무선 통신 시스템에서 수신부는 PIN 포토다이오드(PIN PD)와 애벌랜치 포토다이오드(APD)가 널리 사용된다. PIN PD는 구조가 단순하고 잡음이 적으나 내부이득이 없어 광세기가 낮을 경우 수신 감도가 제한된다. 반면 APD는 PIN PD보다 낮은 광세기에서도 신호 검출이 가능한 장점이 있지만 광 손실을 보상하기 위해서는 BER 개선이 필요하다. 이러한 한계를 극복하기 위해 수신단 전단에 EDFA 기반 optical pre-amplifier를 적용하였으며, optical pre-amplifier만을 사용할 경우 EDFA의 ASE(Amplified Spontaneous Emission) 잡음으로 인해 BER 특성이 개선되지 않으므로 narrow bandpass filter를 함께 사용하여 10Gbps NRZ-OOK 신호를 전송하여 두 종류의 PIN PD, APD에 대해 BER 성능을 평가하였다. 그림 3 결과에 따르면, 기존 광무선 통신 시스템은 약 $-28\text{ dBm} \sim -30\text{ dBm@BER } 10^{-6}$ 으로 수신감도가 우수한 APD를 많이 사용하고 있지만 optical pre-amplifier를 적용한 경우 PIN-PD의 경우에 수신감도가 약 $-21\text{ dBm} \sim -23\text{ dBm@BER } 10^{-6}$ 에서 약 $-38\text{ dBm@BER } 10^{-6}$ 으로 개선됨을 확인하였다.

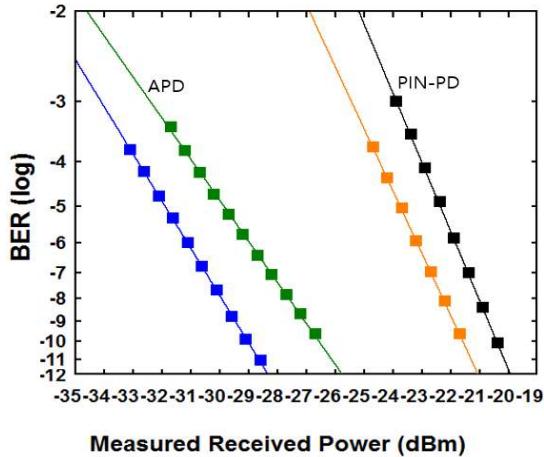


[그림 2] 저궤도 군집위성간 광무선 통신 시스템 10Gbps 광송수신모듈

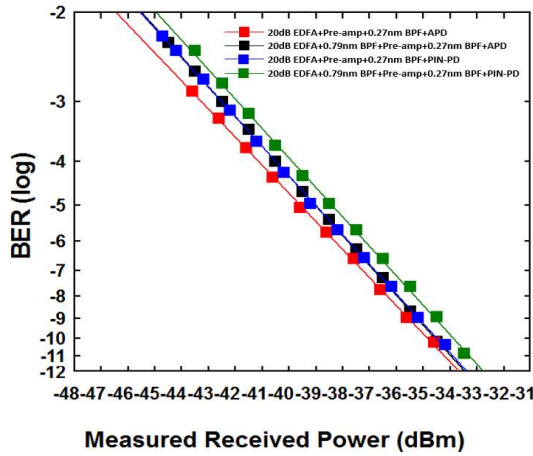
optical pre-amplifier와 narrow bandpass filter를 적용할 경우 기존 APD 중심의 수신부 설계뿐 아니라 PIN PD 기반 수신부에서도 충분한 성능 확보가 가능함을 보여준다.

참 고 문 헌

- [1] Rui Li, "A Survey on Laser Space Network: Terminals, Links, and Architectures," IEEE Access, Volume 10, pp. 34815-34834, 2022
- [2] Siwoong Park, "Measurement-Based Evaluation of a Mobile Free-Space Optical Communication System Under Controlled Severe Weather Condition," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, VOL.74, pp. 5507016-5507016, 2025



(a) Optical pre-amplifier 사용 전 수신감도



(b) Optical pre-amplifier+BPF 사용 후 수신감도

[그림 3] Optical pre-amplifier 사용 전 후 수신감도 결과

III. 결론

본 논문에서는 저궤도 군집 위성 간 광무선 통신 시스템에서 수신부 감도 성능을 분석하였다. 광무선 통신 시스템 내부 및 장거리 전송을 통해 손실된 광량을 보상하기 위해 수신부 전단에 EDFA 기반 optical pre-amplifier를 적용하고, narrow bandpass filter를 결합함으로써 ASE 잡음을 억제하고 개선된 BER 특성을 확보하였다.

실험 결과, optical pre-amplifier를 적용한 경우 PIN PD 수신감도는 약 15 dB, APD 수신감도는 약 8 dB 성능이 개선됨을 확인하였다. 이러한 결과는 기존 APD 뿐만 아니라 PIN PD도 장거리 및 고속 데이터 전송 환경에서 충분히 활용 가능성을 보여준다. 따라서 5G/6G를 지원하기 위한 저궤도 위성 통신 네트워크에서 대용량·초고속 데이터 전송을 구현하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2024-00398409, 차세대 저궤도 군집 위성 간 광통신 기술 개발)