

레이저 통신장치의 정밀 빔제어 기술에 관한 연구

김덕래, 허준영, 신지환, 김민아, 하남구
LIG 넥스원

kimducklae@lignex1.com

A study on the acquisition, pointing, and tracking technology of laser communication systems

DuckLae Kim, JunYoung Heo, JiHwan Shin, MinAh Kim, NamKoo Ha
LIG Nex1

요 약

본 논문에서는 레이저 통신장치의 정밀 빔제어 기술 개발을 위한 모의기 및 지향 및 획득 시험 결과에 대하여 기술하였다. 정밀 빔제어 모의기의 FSM 을 이용하여 spiral, step spiral 및 raster 스캔 패턴을 구현하였다. 김발에 장착된 카메라로 레이저 스캔 패턴을 획득하였으며, 획득된 스캔 패턴을 신호처리하여 지향 기술을 구현하였다.

I. 서 론

우주에서 활용되는 광통신 장치는 레이저 빔을 이용하여 위성 간 또는 위성과 지상국 간 광대역 데이터를 주고받을 수 있는 초고속 통신장치이다. 광통신은 기존 RF 통신 방식에 비해 이론적으로 100 배 빠른 통신을 제공할 수 있기 때문에 대용량의 데이터 전송이 필요한 차세대 통신 분야에서 각광을 받고 있다. 레이저 통신장치는 일반적으로 광학헤드유닛(Optical Head Unit, OHU)과 전자제어유닛(Electronic Control Unit, ECU)으로 구성된다. 광학헤드유닛은 터미널 간 광통신 링크를 구성하기 위해 지향(Pointing), 획득(Acquisition) 및 추적(Tracking) 기능을 수행하며, 전자제어유닛은 위성 플랫폼과의 정보 송·수신 기능, 광모뎀, 데이터 프로세싱 및 전원을 공급한다.[1,2]

무선 광통신 기술에서 레이저는 높은 직진성과 낮은 빔 발산 특성을 가지고 있기 때문에 우주 환경에서 높은 통신 안정성을 기대할 수 있다. 특히 저궤도 위성은 약 7 km/s 이상의 빠른 속도로 이동하고, 위성 위치가 지속적으로 변하기 때문에 안정적으로 광통신 링크를 형성 및 유지하기 위해서는 상대 운동을 정확히 예측할 뿐만 아니라 정밀한 빔제어 기술이 필요하다. 레이저 통신장치에서 정밀 빔제어를 위해서는 시스템 단위의 추적오차를 고려해야 한다. 시스템 추적오차는 기준 프레임 오차, 궤도 예측 오차, 센서 오차 등에 의한 지향오차 및 검출기 잡음, 위성 플랫폼 진동 등에 의한 추적오차로 구분할 수 있다. 추적오차는 시스템 성능을 나타내는 주요 파라미터인 비트 오류율(Bit Error Rate, BER)에 영향을 준다.[3,4]

본 논문에서는 레이저 통신장치의 핵심기술인 정밀 빔제어 기술을 개발하기 위한 모의기 및 시험 결과에 대하여 기술한다.

II. 본론

그림 1 은 레이저 통신 링크 구축을 위한 PAT 프로세스이다. SDA OCT 표준의 위치 정보 획득 시스템은 우주 광통신 네트워크의 핵심요소로 두 레이저 통신 터미널 간 광학 정렬을 가능하게 한다. 터미널 간의 약속된 임무를 원활하게 수행하기 위해서는 터미널 간 시각 동기화가 매우 중요하다. 두 위성은 자체 시계를 기반으로 하며, 각각 할당된 시간 스롯에서 거리 측정 신호를 상대 위성에게 전송하여 시각 동기화를 수행한다. SDA OCT 표준의 PAT 방식은 통신 빔 자체를 비콘 레이저로 사용하여 신호 획득을 수행한다. 이 방식은 통신용 광원을 사용하기 때문에 별도의 비콘 레이저를 사용하는 장치보다 광학 시스템을 소형화 시킬 수 있다. PAT 프로세스는 초기에 상대 터미널 방향으로 개방 루프의 포인팅 수행 후, 나선형 스캔을 통하여 레이저 신호를 송신한다. 상대 터미널은 dwell 시간 동안 송신 레이저 신호를 수신하여 포인팅 방향을 조정한다. 터미널 간 시선(Line-of-Sight)이 유지되어 안정적으로 상대 터미널을 추적하면 형성된 링크를 통해 광통신을 수행한다.[4,5]

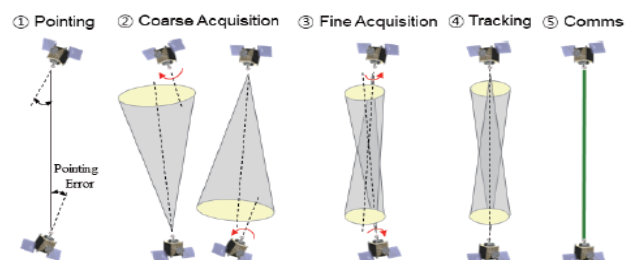


그림 1. PAT 프로세스

그림 2 는 정밀 빔제어 모의기 구성도이다. 모의기에서 레이저 광원으로 He-Ne 레이저를 이용하였으며, telescope 로 레이저 빔 직경을 확대 시켰다. 레이저 빔 경로는 고속조향거울(Fast Steering Mirror, FSM)인 FSM#1 으로 제어하였으며, 빔살가르개(Beam Splitter, BS)를 이용하여 반사빔은 EO 카메라로 투과빔은 위치센서인 QPD#1 로 전달하였다. FSM#1 은 광통신터미널 PC 에서 전달된 스캔 패턴에 따라 동작되며, EO 카메라는 스캔 패턴을 획득하여 김발로 자세를 제어하고, QPD#1 은 FSM#1 로 제어된 레이저 빔의 위치를 획득하여 광통신 터미널 PC 에 전시하였다.

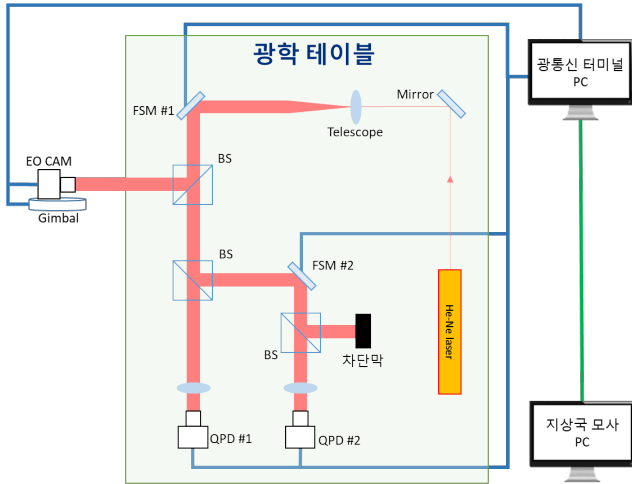


그림 2. 정밀 빔제어 모의기

그림 3 은 카메라로 획득한 Step Spiral 패턴, Raster 패턴 및 Spiral 패턴이다. 초기 Coarse Acquisition 1 단계에서 레이저 스캔 신호를 획득하여 김발의 지향(Pointing) 방향을 조정하고, Coarse Acquisition 2 단계에서 레이저 스캔 신호를 다시 획득하여 김발을 재조정하고, 최종적으로 Fine Acquisition 단계에서 김발의 지향 방향을 카메라의 중심으로 제어한 결과이다. 이와 같은 결과는 PAT 프로세스에서 송신 레이저 빔 획득 및 상대 터미널로 자세를 지향하는 기술로 활용할 수 있다.

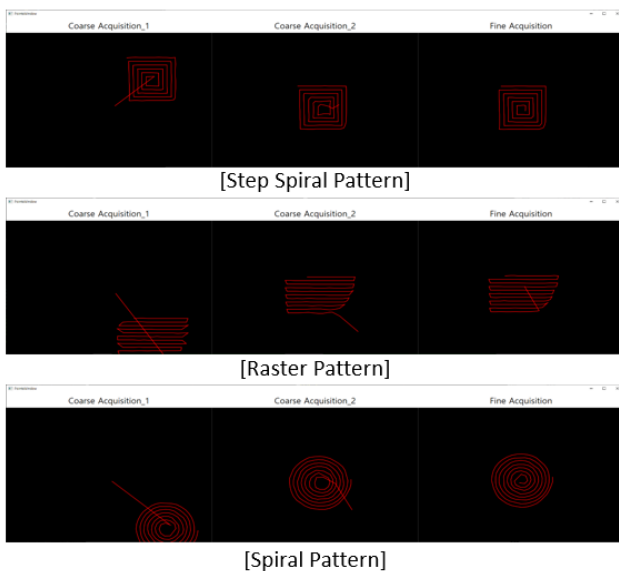


그림 3. Scan patterns

III. 결론

본 논문에서는 정밀 빔제어 모의기를 이용하여 레이저 스캔 패턴 구현하고, 획득된 스캔 패턴을 신호처리하여 지향 기술을 구현하였다. 고속조향거울(FSM)을 이용하여 레이저 빔의 경로를 제어하였으며, Step Spiral 패턴, Raster 패턴 및 Spiral 스캔 패턴을 구현하였다. PAT 프로세스를 기반으로 획득 및 지향 시험을 수행하였다. 향후 모의기를 고도화 하여 PAT 핵심기술을 확보하기 위한 연구를 수행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참 고 문 헌

- [1] D. Wayne, et. al., "Connecting the Warfighter with Lasers in Space: The Space Development Agency and the Optical Communications Terminal Standard," SPIE, Vol. 12877, 2024.
- [2] S. Seungwoo, N. Junghoon, "SDA Optical Communications Terminal Standard," KICS Information and Communications Magazine, Vol. 41, pp. 56-63, 2024.
- [3] William L. Casey, Stephen G. Lambert, "Laser Commation in Space," Artech House Publishers, 1995.
- [4] JIANJUN ZHANG, JING LI "Laser Inter-Satellite Links Technology," WILEY, 2023.
- [5] Space Development Agency, "Optical Communications Terminal (OCT) Standard Version 3.1.0," Space Development Agency (SDA), March, 2023.