

이중 FSM 기반 삼중 반사 구조를 이용한 장애물 회피형 무선 광통신 테스트베드 구현

김종민, 차홍설, 오태인, 박기홍*, Mohamed-Slim Alouini*, 고영채

고려대학교, *King Abdullah University of Science and Technology

{botboy0441, chahongseol, logan10, koyc}@korea.ac.kr, *{kihong.park, slim.alouini}@kaust.edu.sa

Obstacle-Avoiding FSO Link Design Using Dual FSMs and Triple Mirror Reflections

Jong-Min Kim, Hong-Seol Cha, Tae-In Oh, Ki-Hong Park*, Mohamed-Slim Alouini*, Young-Chai Ko

Korea Univ., *King Abdullah University of Science and Technology

요약

본 연구에서는 장애물로 인해 직진 경로가 차단된 환경에서도 통신이 가능한 장애물 회피형 무선 광통신 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 이중 FSM과 저가형 거울을 이용한 삼중 반사 구조를 기반으로 하며, 테스트베드 실험을 통해 HD 영상 전송이 안정적으로 유지됨을 확인하였다. 이를 통해 제안된 방식의 비직진 환경에서의 실용적 통신 가능성을 검증하였다.

I. 서론

무선 광통신 기술은 1,550nm 적외선 레이저를 이용한 통신 기술로, 수 cm의 좁은 빔 너비를 가지며 수 km 이상의 장거리 통신에 적합하다. 또한 일반적인 RF(Radio Frequency) 통신과 달리 주파수 사용권 지불이 필요 없는 자유 대역을 사용하므로 무료로 넓은 대역폭을 확보하여 초고속 저비용 통신을 지원할 수 있다. 이러한 무선 광통신은 광케이블을 대체하여 무선 백홀로 활용될 수 있으며, 실내외 환경에서 건물 간 통신, 비행체와 위성 간의 비직상망 연결 등 다양한 응용이 가능한 유망한 미래 기술로 주목받고 있다[1].

그러나 무선 광통신은 레이저 빔의 특성상 직진 채널(Line of Sight, LOS)이 확보된 경우에만 안정적인 통신이 가능하다는 제약이 있다[2]. 본 연구에서는 이러한 비직진 채널 환경에서 장애물에 의해 통신 경로가 차단되더라도, 두 개의 고속 조정 거울(Fast Steering Mirror, FSM)과 저가의 가정용 거울을 이용하여 반사 경로를 형성함으로써 장애물 회피형 무선 광통신이 가능함을 보인다. 제안된 방법의 타당성은 테스트베드 기반의 실제 시연을 통해 실험적으로 검증하였다.

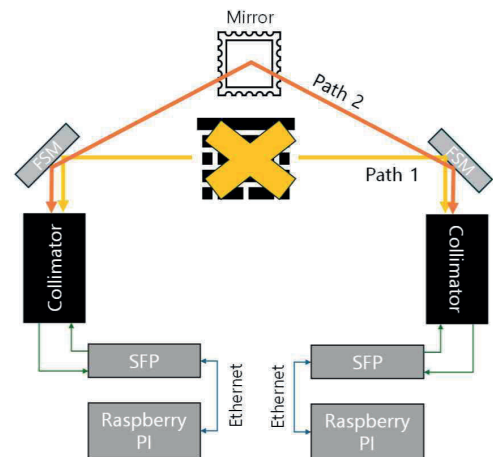


그림 1 장애물 회피형 무선 광통신 실험 설계

가능성을 검증한다.

2. 실험 장치 구성

본 실험에서는 통신 성공 여부를 확인하기 위해 HD(High Definition) 화질의 카메라 영상을 실시간 스트리밍하였다. 이를 위해 송신단과 수신단에는 각각 라즈베리 파이(Raspberry Pi) 두 대가 사용되었다. 라즈베리 파이의 출력 신호는 이더넷(RJ-45) 케이블을 통해 전송되며, 이를 광 신호로 변환하기 위해 이더넷 - SFP(Small Form-factor Pluggable) 변환기가 사용되었다. SFP 모듈은 유선 광케이블 통신에서 사용되는 저가형 고속 광 트랜시버로, 본 연구에서는 이를 이용해 실험의 경제성과 실용성을 동시에 확보하였다. SFP 모듈의 광 출력은 광 시준기(Thorlabs F810APC-1550)를 통해 무선 레이저 빔으로 변환되며, 송출된 빔은 FSM(Optotune MR-E-3)을 이용해 조준 및 방향 제어가 이루어진다. 해당 FSM은 $\pm 25^\circ$ 범위 내에서 빔의 각도를 조절할 수 있는 모델이다.

II. 본론

1. 제안하는 시스템 모델

본 연구에서는 그림 1과 같이 두 개의 송수신기가 각각 하나의 FSM을 향하고 있는 구성을 가정한다. 경로 1은 FSM을 통해 송수신기가 직접 연결되는 경우를 의미하며, 경로 2는 경로 1이 장애물에 의해 차단되었을 때 이를 회피하기 위해 외부 거울을 이용하여 통신 경로를 우회하는 상황을 나타낸다. 이때 본 시스템 모델에서는 외부 거울을 저가형 가정용 거울로 가정하여, 실제 환경에서 건물 외벽이나 임의의 물체에 부착된 거울을 반사체로 활용할 수 있는 실용적인 설정을 적용하였다. 제안된 삼중 반사 구조 기반 장애물 회피형 시스템 모델을 실험적으로 구현함으로써 그 실현

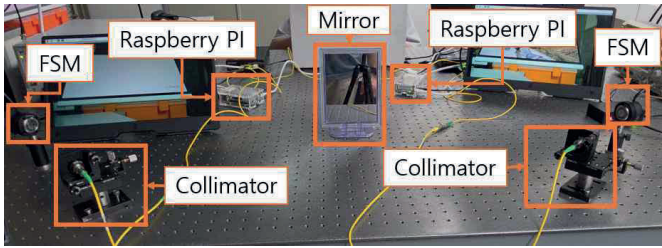


그림 2 장애물 회피형 무선 광통신 구현

3. 장애물 회피형 무선 광통신 구현

그림 2는 이중 FSM 기반의 삼중 반사 구조를 이용한 장애물 회피형 무선 광통신 실험을 시연한 모습을 보여준다. 중앙에 배치된 거울은 일반 가정에서 사용하는 1만 원 이하의 저가형 화장용 탁상 거울이다. 왼쪽 상단의 화면은 송신 중인 HD 영상, 오른쪽 상단의 화면은 수신된 영상을 각각 나타낸다. 그림 1에 제시한 바와 같이, 경로 1과 경로 2를 교차적으로 변경하며 장애물이 존재하는 상황에서도 통신이 지속적으로 유지됨을 실험적으로 확인하였다. 통신 성공 여부는 라이브 영상이 끊김 없이 재생되는지 여부를 통해 판단하였다. 구현 결과, 제안된 삼중 반사 기반 장애물 회피 방식이 성공적으로 동작함을 실험적으로 확인하였다.

III. 결론

본 연구에서는 장애물로 인해 직진 경로가 차단된 환경에서도 통신이 가능한 장애물 회피형 무선 광통신 시스템을 제안하고, 이를 실제 실험 환경에서 구현하였다. 제안된 시스템은 이중 FSM과 저가형 외부 거울을 이용한 삼중 반사 구조를 기반으로 하며, 가정용 거울과 같은 저비용 반사체를 활용하여 현실적인 구현 가능성을 높였다. 테스트베드 실험을 통해 경로 1과 경로 2를 전환하더라도 HD 영상 전송이 안정적으로 유지됨을 확인하였다. 이를 통해 제안된 방식이 비직진 환경에서도 실용적인 장애물 회피 통신 솔루션으로 활용될 수 있음을 검증하였다. 향후 연구에서는 FSM의 자동 추적 알고리즘 및 다중 반사 경로 제어 기법을 적용하여 시스템의 자율성과 신뢰성을 향상시키는 방향으로 확장할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (2021-0-00260, 저궤도 군집 소형 위성 간 통신 기술 개발).

참 고 문 헌

- [1] M. A. Khalighi and M. Uysal, "Survey on free space optical communication: A communication theory perspective," IEEE Commun. Surv. Tutor., vol. 16, no. 4, pp. 2231-2258, Jun 2014.
- [2] Y. Kaymak, R. Rojas-Cessa, J. Feng, N. Ansari, M. Zhou and T. Zhang, "A Survey on Acquisition, Tracking, and Pointing Mechanisms for Mobile Free-Space Optical Communications," IEEE Commun. Surv. Tutor., vol. 20, no. 2, pp. 1104-1123, 2018.