

실외 400m 환경에서 다중렌즈 기반 무선 광통신 테스트 베드 구축

김종민, 고영채

고려대학교

<botboy0441, koyc>@korea.ac.kr

Free Space Optical Communication Based on Multi-Lenses over 400m Outdoor Environment

Jong-Min Kim and Young-Chai Ko

Korea Univ.

요약

본 논문은 다중렌즈를 이용하여 실외 400m 채널 환경에서 무선광통신 테스트베드를 구축한다. 3x3 다중입출력 시스템을 구축하기 위하여 3쌍의 렌즈가 사용되었으며, 수신기에서는 EGC 기법을 적용해 수신신호를 복원한다. 또한 각 렌즈에 수신된 신호를 기반으로 각 채널의 분포를 분석한다. 본 연구를 통하여 장거리 무선광통신이 안정적인 무선 백홀로서 운용되기 위해서 다중렌즈를 사용한 성능 개선 가능성을 확인하였다.

I. 서론

무선광통신은 RF 통신과 다르게 넓은 대역폭을 사용할 수 있고 좁은 빔 너비로 인하여 수천 킬로미터를 지원하는 초장거리 통신에 적합하다. 따라서 대륙 간 통신, 위성 간 통신, 행성 간 통신을 위한 무선 백홀로서 무선광통신이 적용될 것으로 기대되고 있다 [1], [2].

무선광통신 시스템에서 다중렌즈를 이용한 시스템 성능 개선 연구가 최근에 다수 진행되었다. 특히 미국 MIT 대학 연구인 [3]에서는 1x4 단일입력-다중출력 무선광통신 실험을 3.2km 거리에서 진행하였고 포르투갈의 한 연구진인 [4]에서는 2x2 다중입출력 무선광통신 실험을 3m 거리에서 수행하였다. 본 연구들은 RF 통신에서 널리 사용되는 다중안테나 기법의 장점을 무선광통신에서도 적용하여 그 효용성을 검증하였다.

이처럼 무선 광통신과 다중렌즈 간 융합 시스템에 관한 관심이 높아지는 가운데, 본 연구에서는 국내의 무선광통신 실험 연구 중 최장 거리에 해당하는 400m 야외 채널에서 무선광통신 테스트베드를 구축한다. 또한 3쌍의 다중렌즈를 설치하여 3x3 다중입력-다중출력 (Multi Input Multi Output, MIMO) 기반 무선광통신 실험을 진행한다. 수신기에서는 세 개의 렌즈에서 수신된 신호를 EGC (Equal Gain Combining) 기법을 적용하여 하나의 신호로 합하고 각 렌즈 신호대비 증가된 수신 신호 세기를 확인한다. 또한 각 렌즈에서 채널의 확률 분포를 실험적으로 모델링한다.

II. 본론

1. 송수신기 설계

그림 1은 본 연구의 무선광통신 테스트베드를 블록 다이어그램으로 나타내었다. 본 연구에서는 3x3 다중입출력 무선광통신 시스템을 구축하고, 그 성능을 분석하기 위한 구현 실험을 진행한다. 본 무선광통신 시스템 구현을 위하여 고려대학교 신공학관에 송수신기를 함께 설치하도록 공간을 마련하고, 반대편 환경실험관 옥상에 역반사 거울 (Thorlabs PS976M-C)

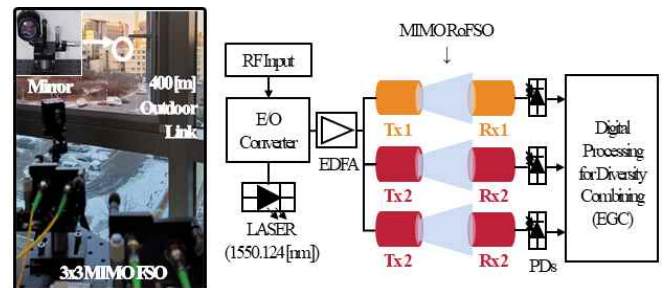


그림 1 다중렌즈를 이용한 무선광통신 테스트베드.

을 설치하여 왕복 400m의 야외 채널 환경을 구축하였다.

송신기에서는 1,550nm 대역의 파장 빛을 생성하는 레이저가 있으며 RF 신호를 광신호로 변환하는 Mach-Zehnder 모듈레이터 (E/O Converter)가 설치되었다. 송신기에서 송출되는 빛은 일정한 세기를 가지며 본 연구에서는 이것을 '1'의 비트만 지속적으로 전송하는 상황으로 가정하였다. 출력된 레이저 신호는 광증폭기 (Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA)를 거쳐 3개의 광 시준기 (Thorlabs F810APC-1550)로 입력되고 각 시준기는 유선 광신호를 무선 레이저 광신호로 변환하여 수신기를 향해 빔을 송출한다. 송수신기 사이 정밀한 빔 정렬을 위하여 근적외선 카메라 (Ozray PAS320F100NCL)와 4축 스테이지가 사용되었다.

수신기에서는 3개의 시준기가 각각 레이저 빔을 수신받고 해당 신호들은 광 검출기 (PD, Photodetector: Thorlabs DET01-CFC)로 입력되어 전기 신호로 변환된다. 이후 3개의 광 검출기를 동시에 연결하는 다채널 하이-임피던스 오실로스코프를 이용해 동시에 수신신호를 확인하였다. 해당 신호들은 1.6μs마다 값이 저장되며, 100ms 당 62,500개 샘플씩 총 20번, 즉 총 2초 분량의 샘플값을 저장한다. 이는 총 125만 개의 샘플 개수에 해당한다.

표 1 반사 거울을 이용한 무선광통신 실험 조건

Experiment parameters	
Wavelength of laser	1550.124nm
Tx laser power	13dBm
EDFA output power	22dBm
Transmitted bit	Only '1'
Modulation type	On-off keying (OOK)
Number of Tx-Rx Lenses	3 pairs of lenses
Diversity scheme	EGC
Sampling speed	62,5000 samples/s
Sampling period	1.6 μ s
Total number of samples	1,250,000
Channel conditions	
Link distance	400m
Link condition	Outdoor link
Temperature	-5 $^{\circ}$ C

2. 다중렌즈 기반 무선광통신 실험 결과

본 세션에서는 구축한 다중렌즈 무선광통신 테스트베드를 기반으로 각 렌즈에서 수신되는 전기 신호를 이용한 성능 분석을 진행한다. 첫 번째로 각 렌즈에서 수신된 전기 신호를 EGC 기법을 적용하여 함께 나타내고 수신 세기에서의 성능 개선을 확인한다. 두 번째로 각 렌즈에서 수신된 채널을 히스토그램을 그려 확률 분포함수와 평균 및 분산 값을 얻어낸다. 표 1에는 실험과 관련된 주요 변수를 정하였다.

그림 2는 100ms 시간 동안 62,500개의 샘플을 저장하여 시간에 따라 나타난 결과이다. EGC 다중화 기법을 적용한 결과 EGC 신호의 (평균, 분산)은 (679mV, (222mV)²)으로 3개 각 렌즈의 신호의 평균 분산이 각각 (200mV, (69mV)²), (264mV, (105mV)²), (214mV, (103mV)²)으로 얻어졌음을 고려할 때 약 3배의 높은 평균 세기가 얻어졌다. 특히, 그림 2에서 약 40ms 부근에서 각 렌즈의 신호가 아웃지시 상황에 가까워졌음에도 EGC 기법을 적용을 적용한 신호는 충분한 다중화 이득을 얻어 아웃지시로부터 자유로운 것을 실험적으로 확인할 수 있다. 본 실험 결과에서 각 신호는 완전한 독립적인 채널 분포를 가지는 것이 아니라 건물의 진동과 바람에 의해 대규모 페이딩은 연동되어 있지만 대기 난류에 의한 채널 감쇠 효과는 독립적으로 발생하여 소규모 페이딩은 렌즈마다 차이가 발생하는 것을 추측해 볼 수 있다. 추가적으로 그림 3에서는 앞선 측정 결과를 바탕으로 히스토그램을 그려 각 렌즈에서의 채널 이득 분포를 약식으로 구하였다. 본 실험을 통해 얻은 확률 분포 함수는 추후 연구에서 실측기반 성능분석에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

결과적으로, 본 구현 연구를 바탕으로 다중렌즈 기반 무선광통신 시스템에서 다중화 결합 기법을 이용한 성능 개선의 가능성을 실험적으로 확인하였으며, 각 채널 확률 분포를 획득하여 추후 실측 기반 무선광통신 시스템 성능 분석에 이용할 수 있는 자료를 제시하였다. 본 연구 결과는 향후 장거리 대용량 무선 백홀로 사용될 무선광통신 시스템에서 실험적 결과를 바탕으로 한 분석 연구에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

III. 결론

본 논문에서는 3x3 다중렌즈 기반 무선광통신 시스템의 하드웨어 테스트베드를 구축했다. 총 400m 거리에서 다중화 결합 기법을 이용한 성능 분석 및 각 렌즈에서 수신된 신호에 대한 채널 모델링을 진행하였다. 특

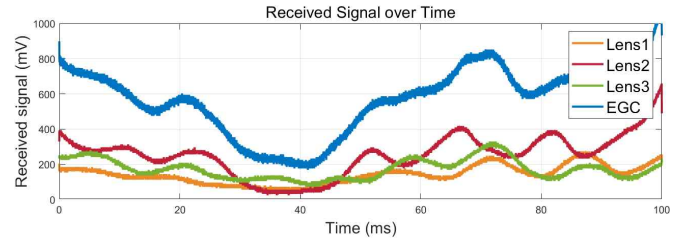


그림 2 100ms의 시간동안 각 렌즈에서 수신된 전기 신호 예시.

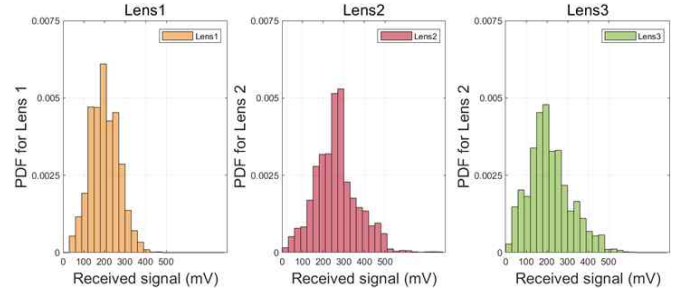


그림 3 각 렌즈에 수신된 전기 신호를 통해 획득된 채널 확률 분포 함수.

히, EGC 기법을 이용하면 신호 이득 측면에서 단일 렌즈를 사용할 때 비하여 약 3배의 수신 세기 개선점이 있음이 실험적으로 확인되었으며, 각 채널은 각기 다른 평균과 분산을 가진 랜덤 분포로 추정됨을 채널 확률 밀도 함수 모델링을 통하여 확인되었다. 본 연구 결과는 미래에 안정적인 장거리 무선광통신 시스템을 구축하기 위한 방향성을 제시하고, 실측 기반 결과를 획득하여 무선광통신 기반 무선 백홀 시스템 발전에 도움을 줄 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (2021-0-00161, 초연결 초대역 MIMO 송수신 기술 연구)

참 고 문 헌

- [1] A. U. Chaudhry and H. Yanikomeroglu, "Free Space Optics for Next-Generation Satellite Networks," *IEEE Consum. Electron. Mag.*, vol. 10, no. 6, pp. 21-31, 1 Nov. 2021.
- [2] S. A. Al-Gailani et al., "A Survey of Free Space Optics (FSO) Communication Systems, Links, and Networks," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 7353-7373, 2021.
- [3] D. J. Geisler, T. M. Yarnall, C. M. Schieler, M. L. Stevens, B. S. Robinson, and S. A. Hamilton, "Experimental demonstration of multiaperture digital coherent combining over a 3.2-km free-space link," in *Proc. SPIE 10096*, p. 100960C, 2017.
- [4] M. A. Fernandes, P. P. Monteiro and F. P. Guiomar, "400G MIMO-FSO Transmission with Enhanced Reliability Enabled by Joint LDPC Coding," in *Proc. ECOC*, 2021.