

무선 광통신 시스템에서 빔 포인팅 오류에 따른 성능 분석

차홍철, 고영채

고려대학교

<chahongseol, koyc>@korea.ac.kr

Effects of Beam Pointing Error in Free Space Optical Communication Systems

Hong-Seol Cha and Young-Chai Ko

Korea University

요약

본 논문은 무선 광통신 시스템의 송신기와 수신기 사이에서 발생하는 포인팅 에러의 분포를 다양한 관점에서 정리하였으며, 이들이 통신 성능에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통한 평균 비트 오류율 계산으로 분석한다. 송신 단에서 좁은 빔 크기를 사용할수록 송신기와 수신기 사이의 포인팅 에러가 유발하는 통신 성능 저하의 정도가 증가한다는 사실을 확인하였고, 중심점 사이의 변위뿐만 아니라 송신 단과 수신 단 각각에서 발생하는 미세 진동 역시 통신 성능 저하를 초래한다는 점을 확인하였다. 이번 연구를 통해 무선 광통신 구현을 위한 송신기와 수신기 사이의 정확한 포인팅이 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

I. 서론

현대의 인터넷 통신량은 폭발적인 증가세를 보인다. 사용권의 제한 없이 높은 광학적 대역폭을 사용하는 무선 광통신은 기존 라디오 주파수를 이용한 통신에 비해 빠른 데이터 전송 속도, 넓은 대역폭 사용이라는 장점을 가지며 차세대 통신으로 주목받고 있다.

무선 광통신은 수신기의 조리개에서 송신기로부터 전송되어 수신된 빔의 전력 값을 전류로 변환함으로써 통신이 이루어진다. 수신기에 들어오는 이외의 빛은 잡음으로 처리되기 때문에 통신의 성능 저하를 막기 위해 수신기의 조리개는 좁게 형성된다. 또한, 무선 광통신에 사용되는 레이저는 좁은 빔 크기와 직진성이 강하다는 성질을 가지고 있다 [1]. 이러한 특성으로 성공적인 통신을 위해 송신기와 수신기의 중심을 정확하게 정렬시키는 것은 매우 중요하다.

본 논문에서는 송신기와 수신기 사이의 빔 포인팅 에러에 대한 영향 및 다양한 모델링에 대해 소개한다. 또한, 시뮬레이션을 통해 각 모델링의 평균 비트 오류율 (BER)을 계산하여 통신 성능을 분석한다.

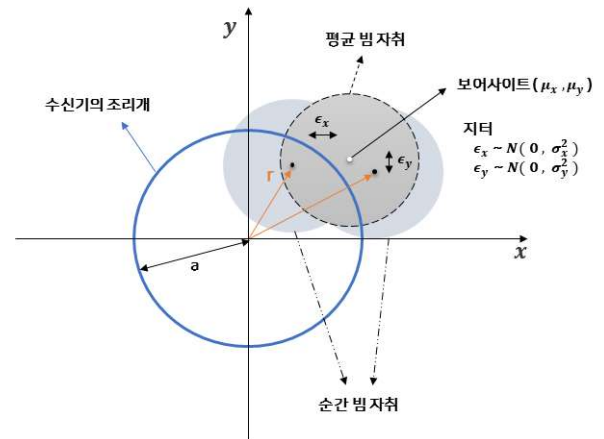


그림 1 송신기와 수신기 사이의 포인팅 에러

식 (1)의 보어사이트와 미세 진동의 종류에 따라 포인팅 에러(r) 모델의 분포를 다음과 같이 정리할 수 있다. [3].

II. 빔 포인팅 에러를 고려한 채널 모델

그림 1은 송신기와 수신기 사이의 포인팅 에러를 간략히 표현하고 있다. 수신된 평균 빔 자취의 중심과 수신기 조리개의 중심 사이의 변위를 보어사이트(boresight)로 표현하며, 순간 빔 자취의 중심(r)은 보어사이트와 미세 진동(jitter)을 사용하여 표현한다.

가우시안 빔을 사용하는 환경에서 포인팅 에러의 정도에 의한 채널 모델은 아래와 같다 [2].

$$h_p(r; z) \approx A_0 \exp\left(-\frac{2r^2}{w_{eq}^2}\right). \quad (1)$$

(1) 보어사이트가 없고 다중 미세 진동

순간 빔 자취의 중심(r)은 평균이 0이고 x 축과 y 축 양방향으로 미세 진동이 일어나는 경우이다. 이때, r 은 레일리(Rayleigh) 분포의 확률 변수로 나타난다.

(2) 보어사이트가 없고 단일 미세 진동

순간 빔 자취의 중심(r)은 평균이 0이고 x 축과 y 축 방향 중 단일 방향으로의 미세 진동만 일어나는 경우이다. 이때, r 은 라이시안(Rician) 분포의 확률 변수로 나타난다.

(3) 보어사이트가 있고 다중 미세 진동

순간 빔 자취의 중심(r)은 0이 아닌 평균값을 가지며, x 축과 y 축 양방향으로 미세 진동이 일어나는 경우이다. 이때, r 은 카이(central-chi) 분포의 확률 변수로 나타난다.

(4) 보어사이트가 있고 단일 미세 진동

순간 빔 자취의 중심(r)은 x 축과 y 축 중 단일 방향으로만 0이 아닌 평균값과 미세 진동이 일어나는 경우이다. 이때, r 은 비 중심 카이(non-central-chi) 분포의 확률 변수로 나타난다.

III. 시뮬레이션 결과

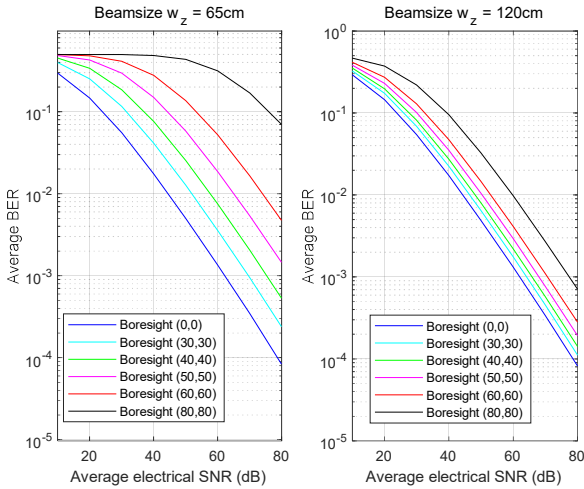


그림 2 포인팅 에러 크기에 따른 평균 비트 오류율

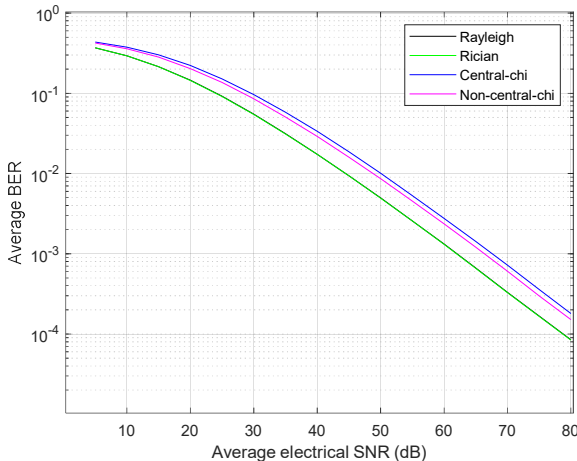


그림 3 포인팅 에러에 대한 다양한 모델에 따른 평균 비트 오류율

그림2와 그림3은 표1에 표현된 변수들의 값을 가진 환경의 통신 상황을 가정하여 시뮬레이션을 진행하였다. 추가로, 그림3은 표2에 나타난 변수를 사용하여 결과값을 비교하였다.

그림2는 평균 전기적 신호 대 잡음 비 따른 비트 오류율을 보어사이트의 크기에 따른 결과를 나타내며, 송신된 빔 크기에 따른 차이를 보여준다. 먼저, 포인팅 에러의 정도가 커질수록, 다시 말해 보어사이트의 크기가 커질수록 통신 성능이 저하된다는 결과를 얻었다. 또한, 빔 크기가 줄어들수록 중심 사이 거리에 따른 성능 차이가 증가하는 것을 확인하였으며, 이를 통해 같은 포인팅 에러를 가지더라도 빔 크기가 줄다면 통신 성능에 미치는 영향이 증가한다는 것을 확인할 수 있다.

그림3은 앞에서 정리한 다양한 상황에 따른 모델링에 대한 통신 성능을 역시 신호 대 잡음비에 따른 평균 비트 오류율로 나타낸다. 먼저, 보어사이트 뿐만 아니라 송신 단과 수신 단의 미세 진동 역시 통신 성능 저하에 영향을 미친다는 점을 확인하였다. 또한, 그 정도의 차이를 비교해보면 보어사이트의 영향이 미세 진동의 영향보다 크다는 사실을 확인했다.

Parameter	Symbol	Value
Receiver radius	a	10cm
Attenuation coefficient	σ	1.1
Distance between Tx and Rx	z	1km
Turbulence strength	σ_R^2	6
Jitter	σ_x, σ_y	5

표 1 시뮬레이션 조건

		data 1	data 2	data 3	data 4
Boresight (cm)	μ_x	0	0	40	0
	μ_y	0	0	40	50
Jitter	σ_x	5	0	5	0
	σ_y	5	5	5	5

표 2 포인팅 에러별 조건

IV. 결론

본 논문에서는 송신기와 수신기의 포인팅 에러의 분포를 다양한 관점에서 정리하였으며, 각각의 모델링이 통신 성능에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 빔 크기와 포인팅 에러 거리별 비트 오류율을 계산으로 분석했다. 그 결과, 송신 단에서 좁은 빔 크기를 사용할수록 포인팅 에러가 유발하는 통신 성능 저하의 정도가 증가한다는 사실을 확인했으며 중심점 사이의 변위인 보어사이트 뿐만 아니라 송신 단과 수신 단 각각의 미세 진동 역시 통신 성능 저하를 초래한다는 점을 확인하였다. 따라서 본 연구를 통해 무선 광통신을 구현하기 위해 송신기와 수신기 사이의 포인팅 에러는 통신 성능 개선을 위해 반드시 고려되어야 하는 주요 요소임을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(NRF-2020R1A4A1019628)

참고 문헌

- [1] Khalighi, Mohammad Ali, and Murat Uysal. "Survey on free space optical communication: A communication theory perspective." IEEE communications surveys & tutorials 16.4 (2014): 2231-2258.
- [2] Fan, Yang, Julian Cheng, and Theodoros A. Tsiftsis. "Free-space optical communication with nonzero boresight pointing errors." IEEE Transactions on Communications 62.2 (2014): 713-725.
- [3] Kug-Jin, Jung, et al. "Unified Finite Series Approximation of FSO Performance over Strong Turbulence Combined with Various Pointing Error Conditions." IEEE Transactions on Communications 68.10 (2020): 6413-6425.