

광무선 통신을 위한 자승 결합기 법을 적용한 SIM/SM

이 정 호*, 황 승 훈^o

Square-Law Combining-Aided SIM/SM for Optical Wireless Communication

Jeong-Ho Lee*, Seung-Hoon Hwang^o

요 약

본 논문은 SIM/SM에 자승 결합기법을 적용한 시스템을 제안한다. 실외 환경에서 SIM/SM은 대기의 격변에 의한 성능 저하가 발생한다. 자승 결합기법은 수신부에서 다수의 광검출기를 배치하고, 수신된 각 신호를 제공하여 합성함으로써 격변에 의한 성능 저하를 감소시킬 수 있다. 다양한 주파수 효율에서 광검출기의 수를 증가시킬수록 성능 이득이 커지며, 격변의 세기가 강할수록 더욱 효과적인 성능 개선이 가능함을 확인하였다.

Key Words : subcarrier intensity modulation, spatial modulation, square-law combining

ABSTRACT

In this paper, we propose an SIM/SM system with a square-law combining. In an outdoor environment, the performance of SIM/SM deteriorates due to an atmospheric turbulence. The square-law combining technique can enhance the performance of the SIM/SM by employing square-and-integrate operation at the receiver side. For various spectral efficiencies, the performance gain increases as the number of photodetectors increases. Furthermore, as

the turbulence strength increases, the performance gain also increases.

I. 서 론

광 무선통신은 광원을 정보원으로 이용하는 기술로, Gbps급의 높은 전송속도를 갖으며 대역폭 관리가 수월하고 주파수 라이선스를 취득할 필요가 없다. SIM기법은 다수의 부반송파를 이용하여 변조한 신호를 세기변조하여 광원으로 전송하는 기법으로, 타 기법보다 상대적으로 적은 대역폭만을 사용하면서 대기의 격변에 강하여 실외 환경에서 뛰어난 성능을 보인다^{1,2}. 하지만 고속 전송을 위해 부반송파의 수를 증가시키는 경우, 세기변조에 필요한 DC바이어스 또한 증가하여 전력 저효율 문제가 발생한다. SIM/SM(Subcarrier Intensity Modulation/Spatial Modulation)은 SIM이 가졌던 전력 저효율 문제를 공간변조 기법을 사용하여 해결한 기법으로, 부반송파 인덱스를 정보원으로 활용하여, 하나의 부반송파만을 데이터 전송에 이용함으로써 DC바이어스를 고정시킬 수 있다². 하지만 실외 환경에서 대기의 격변에 의한 성능 저하가 발생함으로써 이를 개선시키기 위한 기법이 요구된다. 자승 결합기법은 수신부에 다수의 광 검출기를 배치하는 기법 중 하나로, 수신된 각 신호를 제공하여 콤비이너(combiner)를 통해 합성 과정을 거침으로써 다이버시티 효과를 얻어 격변에 의한 신호 왜곡을 효과적으로 개선할 수 있다. 이에 본 논문에서는 SIM/SM에 자승 결합기법을 적용한 시스템을 제안하고, 다양한 환경에서 시뮬레이션을 통해 제안한 시스템의 성능을 확인하였다.

II. 제안된 시스템과 채널 모델

2.1 시스템 모델

그림 1은 SIM/SM에 자승 결합기법을 적용한 시스템의 블록 다이어그램이다. 전송될 비트는 SM매핑에 의해 부반송파 인덱스 블록과 심볼 블록으로 나뉜다. 인덱스 블록의 비트와 동일한 인덱스를 가진 하나의 부반송파가 선택이 되고, 심볼 블록의 비트는 선택된 부반송파를 이용하는 변조기에 의해 전기적 신호로 변조된다. 전기적 신호를 광원으로 세기변조하기 위해

* First Author : Division of Electronics and Electrical Engineering, Dongguk University-Seoul, dwgtofv@naver.com, 학생회원

^o Corresponding Author : Division of Electronics and Electrical Engineering, Dongguk University-Seoul, shwang@dongguk.edu, 종신회원

논문번호 : KICS2015-01-016, Received January 31, 2015; Revised February 16, 2015; Accepted February 16, 2015

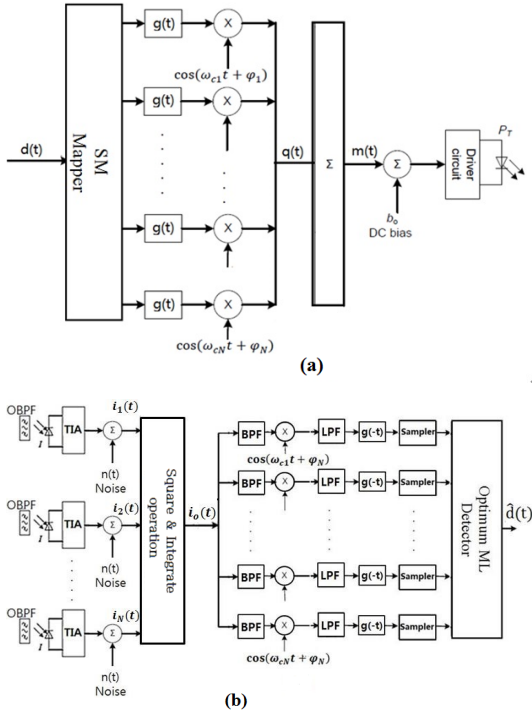


그림 1. 제안된 시스템 모델 (a)송신기 (b)수신기
Fig. 1. Proposed system model (a)transmitter (b)receiver.

DC바이어스가 가해지는데, 오직 하나의 부반송파만 데이터 전송에 관여하므로 부반송파 수에 관계없이 일정한 DC바이어스를 가할 수 있다. 세기변조된 광 신호는 대기를 통해 전송되며 다수의 광검출기를 가진 수신기에 도달한다. 이때 각 광검출기는 광원의 코히어런스 (coherence) 거리보다 멀리 이격되어 충분한 다이버시티 이득을 얻을 수 있다고 가정한다³⁾. 수신된 광 신호들은 직접검파 과정을 거쳐 전기적 신호로 바뀌고 컴바이너의 입력으로 들어온다. 각 신호들은 제공되고 합성 과정을 거쳐 하나의 통합된 신호를 얻는다. 이후 전기적 신호는 동기검파 과정을 거치고 ML 검출기에서 송신에 사용된 부반송파 인덱스에 따라 비트를 추가로 복원함으로, 최종적으로 송신된 정보를 복원한다. 부반송파의 인덱스를 정보원으로 이용함으로 SIM이 갖던 고속의 전송 속도를 유지할 수 있다.

2.2 채널 모델

실외 환경에서 대기를 통해 전송되는 광원은 대기의 흡수, 산란, 안개 등 다양한 영향을 받는다. 대기의 격변은 대기의 온도와 압력의 불균형에 의해 발생하는 현상으로, 전송되는 광 신호의 크기와 위상에 큰 왜곡을 발생시킨다. 일반적으로 1km 이하의 거리를

갖는 대기의 격변 채널은 식 (1)과 같이 로그노말 분포를 갖는 것으로 알려져 있다.

$$P(I) = \frac{1}{I\sqrt{2\pi}\sigma_I} \exp \left\{ -\frac{[\ln(I/I_0) + \sigma_I^2/2]^2}{2\sigma_I^2} \right\} \quad (1)$$

I_0 는 격변을 겪지 않은 수신신호의 세기를, σ_I^2 는 로그를 취한 신호 세기의 분산을 나타내며 1보다 작다. 그림 2는 격변 채널을 통과한 신호의 로그노말 분포를 도시한 것이다. σ_I^2 이 증가함에 따라 분포도의 꼬리 길이가 증가함을 알 수 있다.

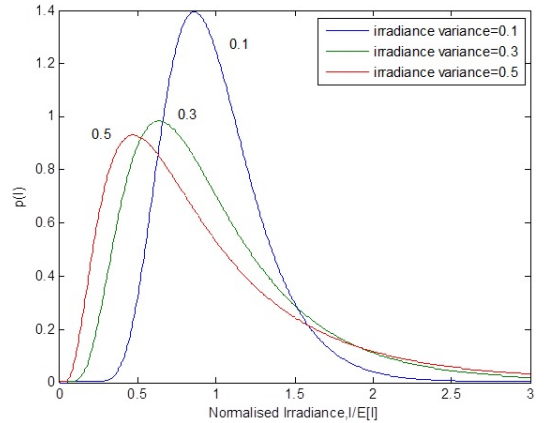


그림 2. σ_I^2 의 분산을 갖는 격변 채널의 로그노말 분포
Fig. 2. Log-normal pdf for a range of log irradiance variance σ_I^2 .

III. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 시뮬레이션 환경을 제시하고 제안된 시스템의 성능을 확인한다. 다양한 주파수 효율에서 광검출기 수를 증가시키면서 성능의 변화를 확인하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다. 그림 3은 2bits/s/Hz의 주파수 효율을 갖는 시스템의 광검출기 수에 따른 BER 성능을 나타낸다. 0.1의 σ_I^2 를 갖는 환경에서 자승 결합기법을 적용하지 않은 시스템과 제안한 시스템을 비교하였을 때, 10^{-3} 의 BER을 얻고자 하는 경우, 광검출기 수가 2일 때 약 4.5dB의 성능 이득을 얻으며 4일 때는 약 8.5dB의 성능 이득을 얻는다. 0.5의 σ_I^2 를 갖는 격변 환경에서 10^{-3} 의 BER 성능을 얻는 경우, 광검출기 수의 증가에 따른 성능 이득은 각각 약 8dB와 14.5dB이다. 또한 σ_I^2 이 0.1일 때

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters.

Parameters	Values
Data rate (Rb)	1Mbps
Subcarrier frequency	14MHz-28MHz
Photodetector responsivity (R)	1
Constellation size (M)	2 (BPSK)
Spectral efficiency	2, 4bits/s/Hz
Number of receivers	1, 2, 4
Channel	Log-normal channel ($\sigma_l^2=0.1, 0.5$)

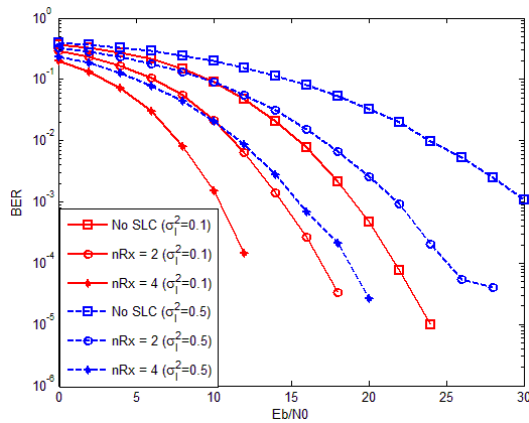


그림 3. 2bits/s/Hz의 주파수 효율을 갖는 제안한 시스템의 비트 오류율 성능
Fig. 3. BER performance of the proposed scheme for the spectral efficiency of 2bits/s/Hz.

보다 0.5일 때의 성능 이득이 더욱 큼으로, 격변의 세기가 강할수록 제안한 시스템의 성능 개선 효과가 더욱 뛰어남을 알 수 있다.

그림 4는 4bits/s/Hz의 주파수 효율을 갖는 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 0.1의 σ_l^2 를 갖는 환경에서 10^{-3} 의 BER을 얻는 경우 광검출기 수에 따른 성능 이득은 차례로 약 5dB와 9.5dB이며, 0.5의 σ_l^2 를 갖는 환경에서는 약 7dB와 14.5dB의 성능 이득을 얻는다. 또한 격변의 세기가 강한 환경에서 그렇지 않은 환경보다 더 많은 성능 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

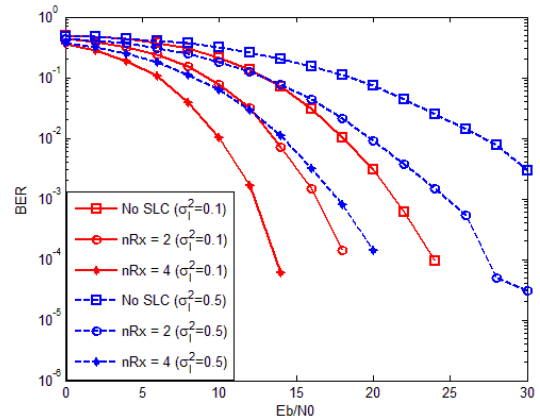


그림 4. 4bits/s/Hz의 주파수 효율을 갖는 제안한 시스템의 비트 오류율 성능
Fig. 4. BER performance of the proposed scheme for the spectral efficiency of 4bits/s/Hz.

IV. 결론

본 논문에서는 SIM/SM기반 광무선통신 시스템에서 대기의 격변에 의한 성능 저하를 개선하기 위해 자승 결합기법을 제안하고 그 성능을 확인하였다. 다양한 주파수 효율에서 광검출기 수가 증가할수록 성능 이득이 증가하며, 격변의 세기가 강한 환경에서 제안한 시스템이 더욱 효과적임을 알 수 있다. 따라서 대기의 격변 환경에서 자승 결합기법이 SIM/SM의 성능을 효과적으로 개선 가능하다.

References

- [1] Z. Ghassemlooy, et al., *Optical wireless communications system and channel modelling with matlab*, 1st Ed., CRC Press, 2012.
- [2] Y. Cheng and S. H. Hwang, "Subcarrier intensity modulation / spatial modulation for optical wireless communications," *J. KICS*, vol. 38A, no. 12, pp. 1086-1093, Dec. 2013.
- [3] W. O. Popoola, et al., "Free-space optical communication employing subcarrier modulation and spatial diversity in atmospheric turbulence channel," *IET Optoelectronics*, vol. 2, no. 1, pp. 16-23, Feb. 2008.