

스펙트럼 분할 시스템의 비구형 스펙트럼 효과에 관한 연구

김선열*, 박형근**, 나유찬*
*남서울대학교 정보통신공학과
**남서울대학교 전자공학과
e-mail:sykim0599@nsu.ac.kr

A Study on a Non-rectangular Effect in a Spectrum-Sliced System

Sun-Youb Kim*, Hyung-Geun Park**, Yu-Chan Ra*
*Dept of Information Communication, Namseoul University
**Dept of Electronics, Namseoul University

요 약

스펙트럼 분할 시스템에서 사용되는 광수신기의 수신감도의 해석을 위해 시스템에서 필터의 실제적인 스펙트럼 폭의 효과가 수신기의 감도에 미치는 영향에 대해 평가하였다. 전송기법으로 일반적인 디지털전송기법인 OOK와 FSK를 이용하였고, 해석방법으로는 가우시안 근사법과 κ -자승법으로 이용하였다. 결과로써, 필터의 차수가 증가할수록 수신기의 감도가 줄어들었고, 필터로 인한 시스템의 페널티는 필터의 차수의 N이 3보다 큰 경우에는 1dB이하로 감소됨을 확인하였다. 이를 통해 필터의 차수 N이 3이상이면 시스템의 페널티가 1dB이하로 줄어들기 때문에 시스템의 성능에 큰 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

스펙트럼이 분할된 WDM시스템의 성능해석은 수신부에 광전치증폭기를 포함시켜 수신된 신호 비트에 대한 에러한계 즉, 비트에러율(BER : Bit Error Rate)을 유지하기 위해 필요한 광전력을 비트당 포함되는 광자수로 나타내는 방법을 통하여 수신기의 감도를 해석한다. 그리고 이 때 사용하는 해석방법은 가우시안 근사법이나 보다 정확한 해석법으로 κ -자승법을 이용하여 스펙트럼분할 시스템의 수신기 감도를 해석하였다. [1]-[4]

1.1. 광수신기의 잡음해석

스펙트럼 분할된 신호가 분산이 0인 이상적인 광섬유 링크를 통해 통과된 후, 전치증폭되고 수신기에서 자연증폭방출기 또는 WDM 선택 필터를 통해 통과된다고 가정하면 신호채널은 두 개의 광필터의 직렬연결을 통해 얻을 수 있고, 필터가 동일하게 동작한다고 가정하면 광검출기에서 광 전력스펙트럼은 랜덤 프로세스의 출력 전력 스펙트럼 밀도가 입력

스펙트럼 밀도와 채널의 전송함수의 크기의 자승으로 주어지므로 식 (1)과 같이 주어진다.

$$P_s(f) = P_o G H_o(f)^2 H_o(f)^2 \quad (1)$$

식 (1)에서 G 는 광전치증폭기의 전력이득의 양을 나타내므로 광검출기에서의 평균전력은 식 (2)와 같이 주어진다.

$$P_s = 2\sigma_{sN}^2 = 2 \int_{-\infty}^{\infty} P_s(f) df \quad (2)$$

여기서,

σ_{sN}^2 : 1이 전송되는 동안 신호 전력

일반적인 Butterworth 전송함수를 이용하여 식 (2)를 풀면 식 (3)을 얻을 수 있다.

$$P_s = 4P_o G \int_0^\infty \frac{1}{1 + \left(\frac{2f}{B_o}\right)^{2N}} df \quad (3)$$

$$= 2P_o G C_{sN} B_o$$

여기서, C_{sN} 는 신호전력에 관한 필터차수의 효과이며, 식 (4)와 같다.[5]-[7]

$$C_{sN} = \frac{(2N-1)\pi}{4N^2 \sin\left(\frac{\pi}{2N}\right)} \quad (4)$$

최종적으로 위 식을 이용하여 식 (5)를 얻을 수 있다.

$$\sigma_{sN}^2 = P_o G C_{sN} B_o \quad (5)$$

전치증폭기의 출력에서 단일 편광 ASE 잡음의 전력스펙트럼밀도는 식 (6)과 같이 주어진다.

$$N_o = n_{sp} h\nu (G-1) \quad (6)$$

여기서, n_{sp} 는 전치증폭기의 잡음 동작을 나타내는 자연방출파라미터이다. 광검출기에서의 잡음전력스펙트럼은 식 (7)과 같고, 모든 편광을 포함하는 전체 잡음전력은 식 (8)와 같이 주어진다.

$$P_n(f) = N_o H_o(f)^2 \quad (7)$$

$$P_n = 2\sigma_{nN}^2 = 2 \int_{-\infty}^{\infty} P_n(f) df \quad (8)$$

여기서, σ_{nN}^2 는 하나의 편광에서의 잡음전력이다. 식 (8)는 Butterworth의 통과대역을 통해 잡음이 통과됨을 나타낸다. 그러므로 잡음전력은 식 (9)와 같이 계산할 수 있다.

$$P_n = 4N_o \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^\infty \frac{1}{1 + \left(\frac{2f}{B_o}\right)^{2N}} df \quad (9)$$

$$= 2N_o C_{nN} B_o$$

여기서, C_{nN} 는 N 차 필터의 효과로서 식 (10)과 같다.[8]

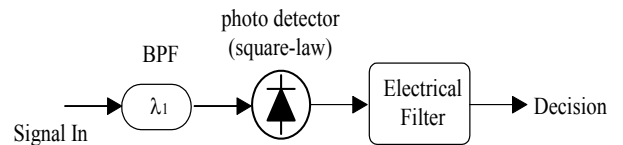
$$C_{nN} = \frac{\pi}{2N \sin\left(\frac{\pi}{2N}\right)} \quad (10)$$

그러므로 위 식을 이용하면 최종적으로 식 (11)을 얻을 수 있다.

$$\sigma_{nN}^2 = N_o C_{nN} B_o \quad (11)$$

2. Simulation

그림 1에 본 논문에서 고려한 스펙트럼 분할 시스템용 광수신기의 개략도를 나타내었다.



이러한 스펙트럼분할 시스템용 수신기에서 비구형 스펙트럼효과에 대해 고찰하기 위해 본 연구에서 사용한 N 차 Butterworth 필터의 다양한 규격화 주파수응답을 그림 2에 나타내었다.

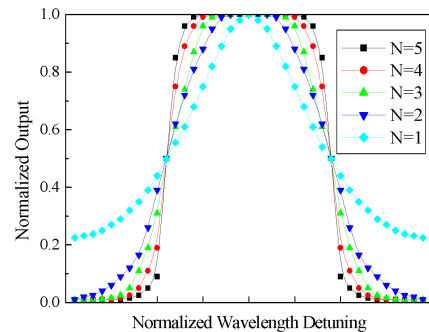


그림 2. N 차 Butterworth 필터의 규격화 응답

3. 결 론

스펙트럼분할 시스템의 성능평가의 가장 중요한 요소는 시스템의 수신기 감도인데 본 논문에서는 시스템에 스펙트럼효과가 수신기의 감도에 미치는 영향에 대해 평가하였다. 스펙트럼분할 시스템은 날카로운 컷오프(cut-off)특성을 갖는 필터를 필요로 하지만 이를 구현할 수 있는 필터의 구성은 불가능하므로 필터의 차수를 증가시켜 원하는 특성을 얻는 방법에 대해 고찰하여 필터의 차수 N 이 3이상인 경우 시스템의 페널티가 1dB이하로 감소되어 시스템의 성능에 큰 영향을 미치지 않음을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

- [1] G. P. Agrawal, *Fiber-Optic Communication Systems*. Wiley Interscience : New York, 1992.
- [2] W. B. Carter, President AT&T Submarine Systems Inc., "Global undersea fiber optic network: trends and implications," *Plenary address at the Optical Fiber Communications Conference, San Jose (CA)*, Feb. 1996.
- [3] K. C. Kao and G. A. Hockham, "Dielectric fiber surface waveguides for optical frequencies," *Proceedings of the IEEE*, vol. 133, pp. 1151-1158, July. 1966.
- [5] F.P. Kapron, D.B. Keck and R.D. Maurer, "Radiation losses in glass optical waveguides," *Applied Physics Letters*, vol. 17, pp. 423-425, Nov. 1980.
- [6] E. Desurvire, *Erbium-Doped Fiber Amplifiers*. Wiley Interscience: New York, 1994.
- [7] D.M. Spirit and M.J. O'Mahony, *High Capacity Optical Transmission Explained*. The Wiley-BT Series: England, 1995.
- [8] D.M. Spirit, A.D. Ellis and P.E. Barnsley, "Optical time division multiplexing: systems and networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 32, no. 12, pp. 56-62, Dec. 1994.

그림 2에서 보이는 것처럼 필터의 차수가 증가할수록 구형스펙트럼에 가까워짐을 알 수 있다.

그림 3은 필터의 차수에 대한 FSK와 OOK의 수신기 감도를 보이고 있다. OOK의 침두 수신 감도가 나뭇을 확인할 수 있다. 그리고 가우시안근사와 κ -자승분포근사를 통해 예상한 바와 같이 필터의 차수가 줄어들면 수신기의 감도가 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 이러한 현상이 발생하는 이유는 OOK에서는 신호가 '1'인 경우에만 신호의 변동이 발생하지만 FSK의 경우에는 '1'과 '0' 모두에 신호의 변동 즉, 잡음이 존재하기 때문이다. 그리고 필터의 차수가 증가하면 광전류의 평균치는 증가하고 분산은 감소하게 됨을 확인할 수 있다.

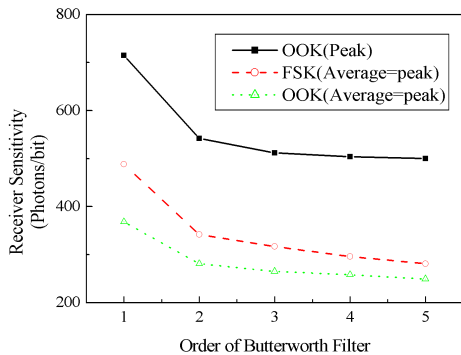


그림 3. OOK와 FSK전송의 Butterworth필터의 차수에 대한 수신기감도

그림 4에 스펙트럼분할시스템의 성능을 결정하는 필터의 이상적인 통과대역의 형태인 구형파스펙트럼에 대한 필터의 페널티를 보이고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 전체시스템의 페널티는 N 이 2이상인 경우에 대략 1dB이하로 줄어든다.

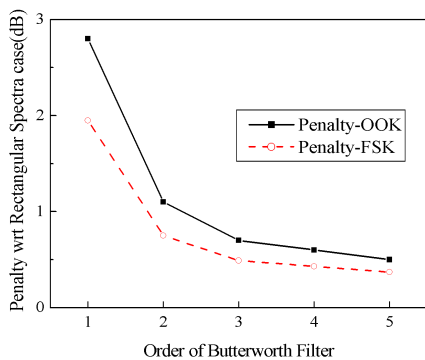


그림 4. OOK와 FSK전송의 스펙트럼에 관한 페널티