

전치증폭시스템에서 에러확률에 따른 광 필터의 대역폭에 관한 연구

김선엽^{1*}

¹남서울대학교 정보통신공학과

A Study on the Optical Filters Bandwidth with Error Probability in Preamplifier System

Sun-Yeob Kim^{1*}

¹Department of Information Communication, Namseoul University

요 약 본 논문에서는 광통신시스템에서 사용되는 필터의 대역폭과 시스템의 에러 확률과의 상관관계에 대해 연구를 수행하였다. 이를 위하여 전치증폭시스템에서 발생하는 에러확률을 수신기의 감도에 관한 함수로 나타내었으며 수신기 감도를 다양한 에러 확률에 대해 계산을 수행하였다. 또한 다양한 에러확률에 대한 채널당 데이터 전송률의 함수의 변화에 대한 수신기 필터의 최적의 대역폭을 계산하였는데, 같이 최적 상태에서 동작하기 위해 필요한 필터의 대역폭 범위는 채널당 데이터 전송율이 1에서 10Gb/s의 범위일 때, 0.2에서 3.5nm 사이이다.

Abstract In this paper, the bandwidth of the filters used in optical communication systems and systems for the correlation between the error probability has been studied. Preamplifier that occurs in the system error probability as a function of the sensitivity of the receiver on the receiver sensitivity was shown for the various error probability calculation is performed.

In addition, the channel data rate on the probability of various errors, changes in the function of the optimal bandwidth for the receiver filter was calculated, as required to operate at optimal range of the filter bandwidth, data rate per channel in a 10Gb/s the range of when is between 0.2 and 3.5nm

Key Words : Preamplifier, Error, Probability, Bandwidth

1. 서론

유비쿼터스 사회로 진입한 현재 정보에 관한 사용자들의 욕구는 나날히 증가되고 있다. 특히 광전자공학, 소프트웨어기술 그리고 네트워킹(networking) 등의 영역에서 급격한 기술의 진보는 정보고속도로에 의한 글로벌 지구촌 생성의 중요한 요소인 광통신시스템과 네트워크의 폭발적인 성장을 이끌었다. 이러한 광통신시스템네트워크는 지구촌의 곳곳에 음성, 영상과 데이터 정보 등을 실시간으로 정보의 왜곡이 없이 송·수신 할 수 있게 되었다.[1,2]

이러한 광시스템에서 광신호는 양방향의 멀티미디어와 영상회의의 같은 큰 대역폭을 요구하는 현재의 사용자 서비스들은 보다 더 큰 대역폭을 필요로 하므로 광통신시스템의 용량의 증가가 필연적이다. 이따라서 광통신시스템의 용량을 증가시키는 다양한 방법이 연구되고 있다.

이에 본 논문에서는 광통신시스템의 용량을 증가시키기 위한 방법으로 시스템의 에러확률과 시스템의 대역폭의 상관관계에 대하여 연구를 수행하였다.

시스템의 대역폭은 시스템의 설계 시 매우 중요한 요소이므로 대역폭을 확대시키기 위한 다양한 방안이 연구되고 있다.[3]

이 논문은 2012년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음

*Corresponding Author : Sun-Yeob Kim

Tel: +82-01-6788-9377 email: sykim0599@nsu.ac.kr

접수일 12년 07월 23일

수정일 12년 08월 08일

게재확정일 12년 08월 09일

전치증폭시스템에서 발생하는 에러확률을 수신기의 감도에 관한 함수로 나타내었으며 수신기 감도를 다양한 에러 확률에 대해 계산을 수행하였다. 또한 다양한 에러 확률에 대한 채널당 데이터 전송률의 함수의 변화에 대한 수신기 필터의 최적의 대역폭을 계산하였고, 또한 최적 상태에서 동작하기 위해 필요한 필터의 대역폭 범위는 채널당 데이터 전송율에 대한 값을 계산하였다.

2. 전치증폭시스템에서 에러확률

광전치증폭수신기의 경우에서 수신된 광전류는 증폭기의 이득이 충분히 클 경우에는 열잡음을 무시할 수 있으므로 수신된 광전류는 수신기에 '1'이 수신되는 경우에는 식 (1)과 같은 열잡음항을 갖는다.[4,5]

$$\sigma^2 = \sigma_s^2 + \sigma_n^2 \quad (1)$$

수신기에 '0'이 수신되는 경우에는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\sigma^2 = \sigma_n^2 \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)에서 σ_s 와 σ_n 은 각각 신호와 잡음에 대한 열잡음항으로 식 (3)과 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\sigma_s^2 = \bar{N}_p \eta q R_b G \quad (3)$$

$$\sigma_n^2 = n_{sp} \eta q (G-1) B_o \quad (4)$$

여기서, n_{sp} 는 자연방출 인자이고 G 는 광전치증폭기의 이득이다. $G \gg 1$ 이라면 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2} = \frac{\bar{N}_p R_b}{n_{sp} B_o} = \frac{\bar{N}_p}{m n_{sp}} \quad (5)$$

광전류의 평균치와 분산치는 식 (6)과 (7)과 같이 표현된다.

$$\mu_1 = 2(\sigma_s^2 + \sigma_n^2), \quad \mu_0 = 2\sigma_n^2 \quad (6)$$

$$\sigma_1^2 = \frac{2}{m}(\sigma_s^2 + \sigma_n^2)^2, \quad \sigma_0^2 = \frac{2}{m}(\sigma_n^2)^2 \quad (7)$$

식 (5), (6) 그리고 (7)로부터식 (8)와 같은 식을 도출할 수 있다.

$$\bar{N}_p = \frac{2n_{sp}m}{\left(\frac{\sqrt{2m}}{Q} - 1\right)} \quad (8)$$

그러므로 가우시안 근사의 경우에는 m 의 최소치가 $Q^2/2$ 로 의해 주어지므로 Q 가 6인 경우에는 m_{\min} 이 18로 된다.

에러확률이 1비트를 전송하는 경우와 0비트를 전송하는 경우에 동등한 값을 갖는다고 가정하면, 식 (9)와 같이 쓸 수 있다.

$$P_e = 0.5[\Pr x > x_{th}|0 + \Pr x < x_{th}|1] \quad (9)$$

여기서, x_{th} 는 확률 밀도 함수를 인식하는데 이용되는 결정 한계치인데, x_{th} 는 식 (10)과 같은 형태로 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} & \left(\frac{m}{\sigma_1^2}\right)^{2m} \\ & \frac{(2m-1)! x_{th}^{2m-1} \exp\left(-\frac{m x_{th}}{\sigma_1^2}\right)}{\left(\frac{m}{\sigma_0^2}\right)^{2m}} \\ & = \frac{(2m-1)! x_{th}^{2m-1} \exp\left(-\frac{m x_{th}}{\sigma_0^2}\right)}{\left(\frac{m}{\sigma_0^2}\right)^{2m}} \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, $\sigma_{1(0)}^2$ 는 1(0) 비트동안의 광전류의 평균치이다. 이를 통해 신호 한계레벨은 식 (11)과 같이 쓸 수 있다.[6,7,8]

$$x_{th} = \frac{4\sigma_1^2\sigma_0^2}{\sigma_1^2 - \sigma_0^2} \ln\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_0}\right) \quad (11)$$

식 (5)와 (7)을 이용하여 에러확률을 다시 쓰면 식 (12)와 같이 쓸 수 있다.

$$P_e = \frac{0.5m^{2m}}{(2m-1)!} \quad (12)$$

$$* \left[\int_{K_1\sigma_0^2}^{\infty} \frac{x^{2m-1}}{\sigma_0^{4m}} \exp\left(-\frac{mx}{\sigma_0^2}\right) dx + \int_0^{K_2\sigma_1^2} \frac{x^{2m-1}}{\sigma_1^{4m}} \exp\left(-\frac{mx}{\sigma_1^2}\right) dx \right]$$

여기서,

$$K_1 = \frac{2}{u} (1+u) \ln(1+u) \quad (13)$$

$$K_2 = \frac{2}{u} (1+u) \ln(1+u) \quad (14)$$

$$u = \left[\left(\frac{\sigma_1^2}{\sigma_0^2} \right) - 1 \right] \quad (15)$$

식 (2)의 첫 번째 적분항의 적분변수를 $p = x/\sigma_0^2 z$ 로 바꾸고, 두 번째 적분항의 적분변수를 $p = x/\sigma_1^2$ 로 바꾸면, 확률밀도함수의 성질을 이용하면 식 (16)과 같은 식을 얻을 수 있다.[9-15]

$$P_e = \frac{0.5}{(2m-1)!} \quad (16)$$

$$\times \left[\int_0^{\infty} p^{2m-1} \exp(-p) dp - \int_0^{mK_1} p^{2m-1} \exp(-p) dp + \int_0^{mK_2} p^{2m-1} \exp(-p) dp \right]$$

이 적분식은 다음과 같은 gamma 함수를 이용하여 쉽게 계산할 수 있다.^[55]

$$\Phi(K,p) = \frac{1}{\Gamma(p)} \int_0^K t^{p-1} \exp(-t) dt \quad (17)$$

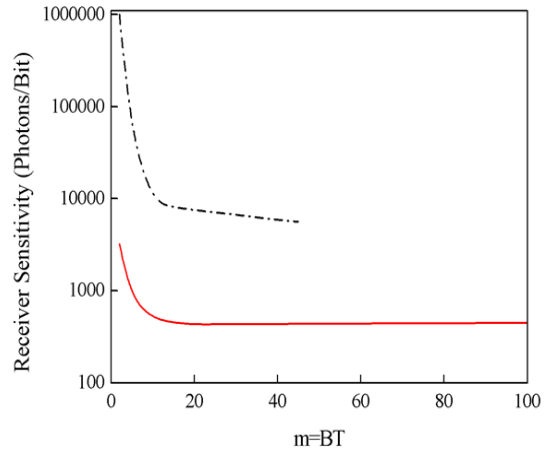
윗 식을 이용하여, 에러확률 식은 다음 식과 같이 간략화 할 수 있다.

$$P_e = 0.5 \left[1 - \Phi(mK(1,2m)) + \Phi(mK(2,2m)) \right] \quad (18)$$

식 (4), (6)에서 식 (19)의 관계를 확인할 수 있다.

$$u = \frac{\overline{N_p}}{n_{sp}m} \quad (19)$$

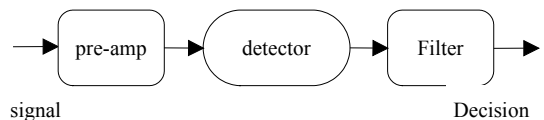
그리고 K_1 과 K_2 가 $\overline{N_p}$ 와 m 의 함수임도 확인 할 수 있는데, $\overline{N_p}$ 와 m 사이의 함축적인 관계는 그림 1과 같다.



[그림 1] 전치증폭 수신기의 수신기 감도
[Fig. 1] Receiver sensitivity a preamplifier receiver

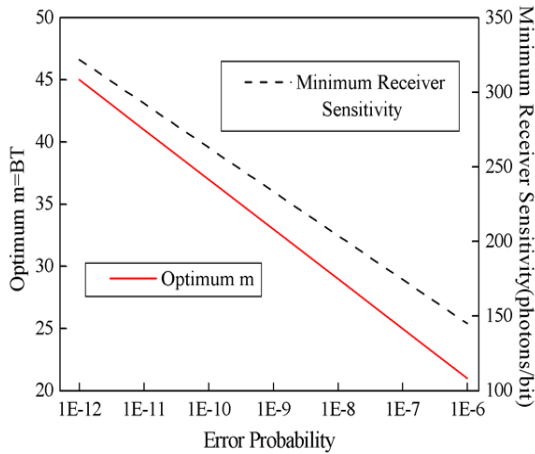
3. 시뮬레이션

본 논문에서 고려한 전치 증폭 시스템의 전송 시스템에 이용되는 수신단의 블록도는 그림 2과 같다.



[그림 2] 수신단의 블록도
[Fig. 2] Block-diagram of the receive part

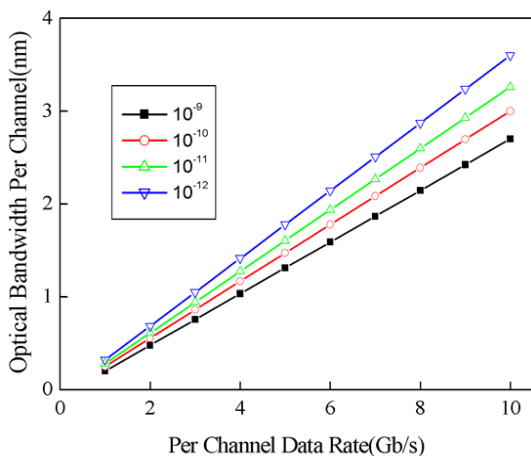
m 의 최적값과 이에 일치하는 수신기감도를 다른 에러확률에 대해 계산한 결과는 그림 1과 같다. 최적의 m 과 수신기의 최저감도는 $\log P_e$ 에 따라 선형적으로 변화할 수 있다.



[그림 3] 다른 에러 확률에 대해 계산된 최적의 m 과 평균 수신기 감도의 최소값

[Fig. 3] Optimum m and the corresponding minimum average receiver sensitivity evaluated at different error probabilities.

이러한 결과를 데이터율과 광대역폭으로 나타낸 것이 그림 2로서 다양한 에러확률에 대해서 채널당 데이터 전송율의 함수의 변화에 대한 수신기 필터의 최적의 대역폭을 보이고 있다. 그림 2 나타난 바와 같이 최적 상태에서 동작하기 위해 필요한 필터의 대역폭 범위는 채널당 데이터 전송율이 1에서 10Gb/s의 범위일 때, 0.2에서 3.5nm 사이이다. 전치증폭기가 이용될 때, 최적의 시스템 파라미터는 실제의 제한 내에 존재한다.



[그림 4] 채널당 데이터 속도에 대해 계산된 광 필터의 대역폭

[Fig. 4] Optical filters bandwidth evaluated as a function of per channel data rates.

4. 결론

본 논문에서는 광통신시스템에서 사용되는 필터의 대역폭과 시스템의 에러 확률과의 상관관계에 대해 연구를 수행하였다.

시스템의 대역폭은 시스템의 설계시 매우 중요한 요소이므로 대역폭을 확대시키기 위한 다양한 방안이 연구되고 있다. 이에 본 논문에서는 시스템의 대역폭을 확대시키기 위한 여러 방안 중 하나인 시스템의 에러확률을 다양하게 구성하여 시스템의 대역폭을 계산하였다.

이를 위하여 전치증폭시스템에서 발생하는 에러확률을 수신기의 감도에 관한 함수로 나타내었으며 수신기 감도를 다양한 에러 확률에 대해 계산을 수행하였다. 또한 다양한 에러확률에 대한 채널당 데이터 전송률의 함수의 변화에 대한 수신기 필터의 최적의 대역폭을 계산하였는데, 같이 최적 상태에서 동작하기 위해 필요한 필터의 대역폭 범위는 채널당 데이터 전송율이 1에서 10Gb/s의 범위일 때, 0.2에서 3.5nm 사이이다.

따라서 표준 에러확률을 적용하는 전치증폭시스템에서는 본 논문의 결과를 사용해도 무방하다는 결론을 얻을 수 있었다.

References

- [1] H. A. Haus and J. A. Mullen, "Quantum noise in linear amplifiers," *Physical Review*, vol. 128, no. 5, pp. 2407-2412, 1962.
- [2] P. Trischitta, M. Colas, M. Green, G. Wuzniak and J. Arena, "The TAT-12/13 cable network," *IEEE Communications Magazine*, vol. 34, no. 2, pp. 24-29, Feb. 1996.
- [3] N. J. Frigo, K. C. Reichmann, P.P. Iannone, J.L. Zyskind, J.W. Sulhoff and C. Wolf, "A WDM PON architecture delivering point-to-point and multiple broadcast services using periodic properties of a WDM router," *Optical Fiber Communications Conference*, paper PD-24, Dallas (TX), Feb. 1997.
- [4] Paul E. Green, *Fiber Optic Networks*. Prentice Hall: New Jersey, 1993.
- [5] I. Jacobs, "Optical fiber communications technology and system overview," *Trends in Optical Fibre Metrology and Standards*, O.D.D. Soares Ed., NATO ASI Series, Series E-Vol. 285, pp. 567-591, Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [6] N. A. Olsson, "Lightwave systems with optical amplifiers," *J.Lightwave Technology*, vol. 7, no. 7,

- July. 1989.
- [7] B. E. Saleh and M.C. Teich, *Fundamentals of Photonics*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1991.
- [8] Y. Lacroix and P. Vella, "How to optimize the performance of fiber-optic amplifiers," *Laser Focus World*, pp. 97-100, Jan. 1995.
- [9] I. Jacobs, "Dependence of optical amplifier noise figure on relative intensity noise," *J. Lightwave Technology*, vol. 13, no. 7, pp.232-245 July. 1995.
- [10] N. A. Olsson, "Lightwave systems with optical amplifiers," *J. Lightwave Technology*, vol. 7, no. 7, July. 1989.
- [11] D. S. Lee, "Dispersion Tolerance for Optical Duobinary Transmitters based on a Mach-Zehnder Modulator and an Optical Filter", *Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication*, VOL.11, No.4, pp.141-145, August 2011.
- [12] W. H. Lee, T. J. Chung, "Implementation of Ultra-Wideband Microstrip Bandpass Filter for 10 Gb/s Wireless Transmission THz Transmitter and Receiver", *Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication*, VOL.11, No.4, pp.1-8, August 2011.
- [13] D. W. Woo, D. R. Shin, J. P. Kim, G. H. Kim, J. K. Ji, W. M. Seong, W. S. Park, "Bandwidth Analysis of a Jerusalem AMC Based on Equivalent Circuit Model", *Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication*, VOL.10, No.5, pp.7-12, October 2010.
- [14] Y. G. Jung, B. J. Lee, "Features Reduction using Logistic Regression for Spam Filtering", *Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication*, VOL.10, No.2, pp.13-18, April 2010.
- [15] S. k. Shin, W. h. Jeong, D. W. Jang, K. S. Kim, "Implementation of a Dynamic High-performance Notch Filter applying CIC Filter Scheme", *Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication*, VOL. 11, No. 6, pp.1-8, December 2011.

김 선 엽(Sun-Youb Kim)

[정회원]



- 1993년 2월 : 원광대학교 전자공학과(공학사)
- 1995년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2001년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 남서울대학교 정보통신공학과 조교수

<관심분야>

초고주파 통신용 회로, 광통신응용