

# On-Off Keying 전송 시스템의 에러 확률 유지를 위한 조건에 관한 연구

나유찬<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>남서울대학교 정보통신공학과

## A Study on the Condition for Error Probability Maintenance in On-Off Keying Transmission System

Yoo-chan Ra<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Information Communication Engineering, Namseoul University

**요 약** 본 논문에서는 신호에 따라 신호의 크기를 변조시키는 온-오프 키잉(on-off keying) 전송을 방식에 적용한 광 전송시스템에서의 표준에러확률을 유지하기 위한 조건에 대하여 고찰하였다. 광전송시스템에서 광검출기가 1 이하의 양자효율을 갖는 경우를 고려하여 온-오프 키잉 전송시에 수신기의 수신 감도를 계산하였다.  $BT$ 가 30이상인 경우 표준에러확률을 유지하기 위한 광자수가 10000이하로 계산되어  $BT$ 가 적은 경우에 비해서 저출력 시스템을 구성할 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 수신단에 전치증폭기를 설치한 경우에 대해서도 고려하여 적은 출력을 갖는 광원을 사용해도 무방하다는 결과를 얻을 수 있었다.

**Abstract** In this paper we considered condition for keep standard error probability in optical transmission system that applied on-off keying transmission which are modulated amplitude along the signal. we calculated received sensitivity of receiver in on-off keying transmission for optical detector have quantum efficiency belong 1 in optical transmission system. For  $BT$  is over 30, the number of photon is belong 10000 for maintain standard error probability. also we considered Also, we install a preamplifier to the receiver for considering the low output may be used with a light that was able to get results.

**Key Words** : OOK, optical, Transmission system, Error probability

### 1. 서론

현대 각종 정보기기 및 모바일 기기의 등장으로 인해 인간의 정보에 대한 욕구가 나날이 증대되고 있으며 사회의 흐름은 인간 중심의 컴퓨팅 서비스에 대한 요구가 증대되고 있다.[1] 이러한 요구에 부응하기 위해서 사용자가 언제 어디서나 원하는 정보를 얻을 수 있는 유비쿼터스 사회로 진입한 요즘 엄청난 양의 모바일 데이터를 처리하기 위한 백본 네트워크의 중요성이 더욱 더 증대되고 있다.

1970년 20dB/km의 손실을 갖는 광섬유가 처음으로

개발된 후 광통신 시스템은 대용량의 정보를 전송하기 위한 백본 네트워크로 성장하였다. 이러한 광통신시스템에서 광섬유를 통해 전송되는 광 신호는 수신기에서 직접 검출 방식을 통해 광 신호를 검출하는데 이런 직접적인 검출방식을 이용하는 경우 낮은 대역폭으로 인해 대용량의 정보를 전송할 수 없어 여러 가지 다중화방식을 이용한다. 이러한 다중화방식을 사용할 경우 수신단에서 사용하는 광 증폭기로부터 발생하는 자연 증폭 방출로 인한 신호의 왜곡을 피하기 위해 전송하고자 하는 신호에 따라 신호의 크기를 변조시키는 온-오프 키잉(on-off keying) 전송을 이용하고 있다.

이 논문은 2011년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

\*Corresponding Author : Yoo-chan Ra

Tel: +82-10-4180-5693 email: ycra@nsu.ac.kr

접수일 12년 02월 06일

수정일 12년 03월 13일

게재확정일 12년 04월 12일

이러한 온-오프 키잉 전송 방식을 사용하기 위한 다양한 조건 중 가장 중요한 요소는 표준에러확률을 유지할 수 있는냐에 관한 것이다.

표준 에러 확률을 유지할 수 없는 시스템은 전송 방식으로서 무의미하므로 온-오프 키잉 전송시 표준 에러 확률을 유지하기 위한 필요한 광자수를 계산하는 것이 필요하다.

이에 본 논문에서는 광전송시스템에서 광검출기가 1 이하의 양자효율을 갖는 경우를 고려하여 온-오프 키잉 전송시에 수신기의 수신 감도를 계산하였고, 주어진 수신 감도에서 표준에러확률을 유지하기 위한 bit 당 필요한 광자수의 계산을 하였고, 이를 통해 온-오프 키잉 전송 시스템의 성능 평가를 위한 수신감도를 계산하였다.

## 2. On-Off Keying 전송 시스템

### 2.1 기본시스템의 필요 광자 수

시스템의 최적 성능에 대한 기초적인 한계는 시스템을 개발 하는데 필요한 요소이다. 이러한 한계치는 시스템 설계자가 이상적인 한계치로 시스템의 성능을 비교하는데 쓰이기도 하지만, 시스템의 성능을 개선하기 위한 적당한 한계치를 설정하는데 도움을 준다.[2]

On-Off Keying 전송의 경우 수신단에서 광자는 식 (1)과 같은 비율로 수신기에 검출된다.

$$p = S_{av} T_{bit} \quad (1)$$

여기서,

- $p$  : 광자의 수신율
- $S_{av}$  : 수신감도 평균치
- $T_{bit}$  : bit 전송율

이러한 광자들의 도착시간에서 무질서도를 가정한다면, 이러한 평균 비율은 식 (2)에 나타난 것처럼 포와송 분포를 이용하여 특성화할 수 있다.[3]

$$P(n) = \frac{(pt)^n \exp(-pt)}{n!} \quad (2)$$

여기서,

- $t$  : 수신기의 검출시간
- $n$  : 수신된 광자의 수

식 (2)는 시간  $t$  동안 수신기에서 검출될 수 있는 광자

들의 수에 대한 확률로 On-Off 전송의 기본 원리를 나타낸다. 즉, On-Off 전송은 신호의 비트 값이 '1'인 상태 동안에는 광신호가 전송되지만, 신호의 비트 값이 '0'인 상태 동안에는 광신호가 전달되지 않기 때문에, 확률밀도는 신호의 비트 값이 '0'인 신호와 첫 번째 임펄스 사이의 한계 레벨을 결정을 갖는 임펄스의 이산 값이 된다. 이러한 광자의 수를 집계하는 수신기는 신호의 비트 값이 1인 상태에 해당하는 동안 도착하는 광자 하나 하나의 계산에 의존한다. 그러나 광자가 검출되지 않을 경우는 신호의 비트 값이 '0'인 신호의 전송으로 인한 것뿐만 아니라, 어떠한 양자의 분포의 가능성이 없을 정도로 약하게 존재하는 광신호가 수신되는 신호의 비트 값이 '1'인 상태의 전송이 잘못된 상황도 포함한다. 그러므로 광자 검출 동안에는 에러가 없게 되나, 광자가 검출되지 않는 경우에도 유한 에러확률이 존재하게 된다. 그러므로 에러확률은 식 (3)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} \exp(-pt) \\ &= \frac{1}{2} \exp\left(\frac{-p}{T_{bit}}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)에 식 (1)을 대입하면 에러확률을 식 (4)와 같이 수신감도의 평균치로 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{1}{2} S_{av} \quad (4)$$

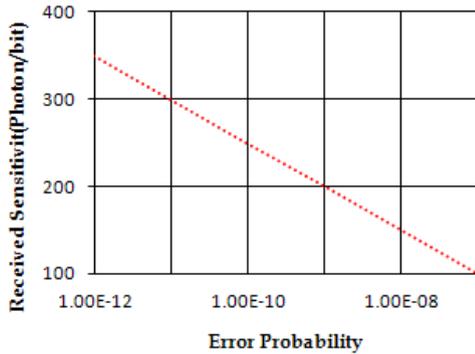
식 (4)는 신호 '1'과 '0'이 동등하게 전송되는 경우로  $10^{-9}$  정도의 에러확률을 유지하기 위해서는 평균적으로 200개의 광자가 필요하다는 것을 의미하는데 이것은 현실적인 값이 아니다. 이에 대한 수치해석 결과가 그림 1에 보이고 있다.

### 2.2 가우시안 분포를 적용한 필요 광자 수

앞 절에서 일반적인 경우에 대한  $10^{-9}$ 의 에러확률을 유지하기 위한 필요 광자수를 계산하였다. 이는 실제의 전송시스템에서 발생하는 여러 가지 잡음요소 특히 열잡음요소를 고려하지 않은 결과이다.[4][5]

전송시스템의 수신단의 결정회로에서 수신된 신호의 해석적인 수학적인 편리성을 위해 에러확률 분포를 가우시안 분포로 가정한다. 에러확률을 가우시안 분포를 사용하면 결과가 근사값으로 표현되지만 실제 시스템과 같이 잡음이 급격하게 증가하는 시스템에서도 필요 광자 수를

계산 가능하다는 장점이 있다.



[그림 1] 에러확률에 대한 필요 광자 수  
[Fig. 1] Required Photon number at different error probability

On-Off Keying 전송에서 산탄잡음을 적용하여 신호가 전송되는 모멘텀을 표현하면 식 (5)와 (6)과 같이 쓸 수 있다.[6][7]

$$\zeta_{I(1)} = I_s \quad , \quad \zeta_{I(0)} = 0 \quad (5)$$

$$\psi_{I(1)}^2 = 2qI_s B_e \quad , \quad \psi_{I(0)} = 0 \quad (6)$$

여기서,

$\zeta$  : 광전류

$\psi$  : 잡음의 분산

식 (5)와 (6)에서  $A_{I(1)}$ 은 전송된 1인 비트 신호가 수신되는 경우이고,  $A_{I(0)}$ 은 비트 0인 신호가 수신되는 것을 의미한다.

양자효율이 균일한 것으로 가정하여 수신기감도를 표현하면 식 (7)과 식(8)과 같이 된다.

$$\zeta_{1/0} = \zeta_{I(1/0)} \quad (7)$$

$$\psi_{1/0} = \psi_{I(1/0)} \quad (8)$$

양자효율을 1로 가정하여 수신기감도의 평균치를 나타내면 식 (9)와 같이 표현된다.

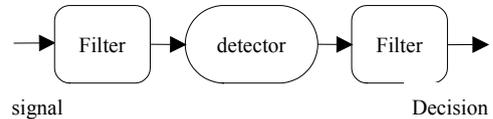
$$S_{av} = Q^2 \frac{B_e}{T_{bit}} \quad (9)$$

광검출기가 1이하의 양자효율을 갖는다는 가정하면,

위에서 평가된 수신기의 감도가 유사한 팩터(factor)에 의해 보정된다. 온-오프 키잉 전송의 경우  $S_{av}$ 는  $10/\eta$ 가 되는데 결정회로에서는 전기신호로 변환되기 때문이다.

### 3. 시뮬레이션

본 논문에서 고려한 온-오프 키잉 전송 시스템에 이용되는 수신단의 블록도는 그림 2과 같다.



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

이러한 시스템의 출력단에서 식 (6)으로 표현되는 잡음의 분산을 고려한 열잡음의 분산은 식 (10)과 같이 된다.[8]

$$\psi^2 = \frac{\psi_g Q}{1 - \frac{Q^2}{2m}} \quad (10)$$

여기서  $\psi$ 는 잡음이 포함된 평균 신호의 광전류를 나타낸다.

On-Off keying 전송 시스템에서 비트 값이 '1'인 신호는 검출후의 열잡음이 더해지는 형태이므로, 소스로부터 잡음의 버스트(burst)로 표현되고, 비트 값이 '0'인 신호는 오직 열잡음으로만 나타난다. 열잡음 성분의 확률밀도함수는 식 (11)과 같이 주어진다.

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\psi_g^2}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\psi_g^2}\right) \quad (11)$$

신호와 열잡음을 더하면 결정회로에서 신호와 열잡음의 컨벌루션으로 나타나므로 식 (12)와 같이 쓸 수 있다.[9][10]

$$P_g(x) = P(x) * P_g(x) = \frac{K}{(2m-1)!} \alpha^m \int_0^\infty \exp-(a\xi^2 + b\xi + c) d\xi \quad (12)$$

여기서,

$$K = \frac{1}{\sqrt{2\pi\psi}}$$

$$a = \frac{1}{2\psi^2}$$

$$b = m\alpha - 2\alpha x$$

$$\alpha = \frac{1}{\psi^2}$$

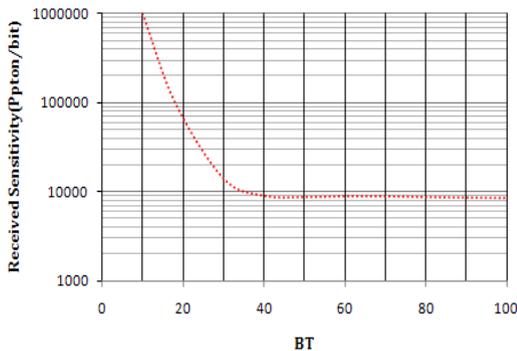
$$c = ax^2$$

위 식을 근사식으로 표현하면 식 (13)과 같이 쓸 수 있다.

$$P_r(x) = \frac{K}{(2m-1)!} (m\alpha)^{2m} \frac{a^{-(1+2m)/2}}{2\exp(c)} * \left[ \begin{matrix} \sqrt{a} \Gamma(m) Hyg(m, 0.5, b^2/4a) \\ -b\Gamma(0.5+m) Hyg(0.5+m, 1.5, b^2/4a) \end{matrix} \right] \quad (13)$$

여기서  $H_{yg}$ 는 Kummer confluent hypergeometric 함수이고  $\Gamma$ 는 Gamma 함수이다. 식 (13)은 신호에 잡음이 더해진 분포에 대해 고려한 결과이다.[6] 본 논문에서는 결정회로에서 광전류에 더 정확한 분포를 사용하므로, 최적의 근사가 이루어 질것이라 생각된다.

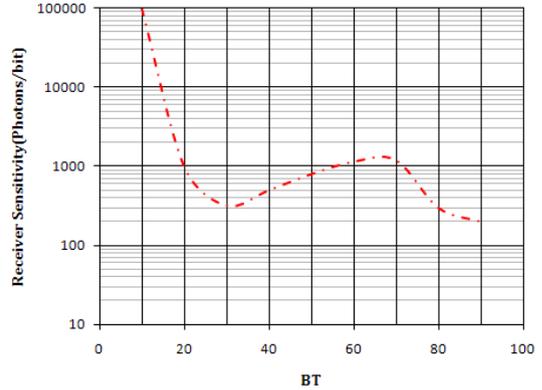
이에 대한 수치해석 결과가 그림 3에 보이고 있다. 수신기 감도의 변화가 정확한 해석법과 가우시안 근사  $BT$ 의 함수로 나타나는데 이는 다음과 같은 의미를 지니고 있다. 첫째로 큰 수의 비트당 광자의 수로 인한 고풍력의 광전력이  $BT$ 가 10보다 작은 경우에는  $10^{-9}$ 의 에러확률을 위해 필요로 한다. 이것은 장거리전송 광시스템이나 근거리 접속용 스펙트럼 분할 다중화 시스템 모두의 경우에서 사용가능한 전력의 제한이 된다.



[그림 3]  $BT$ 에 따른 수신기의 감도  
[Fig. 3] Receiver sensitivity along the  $BT$

따라서  $BT$ 의 값을 30 이상으로 유지되면  $10^{-9}$ 의 에러확률을 유지하기 위한 광전력이 적게 소모되는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 수신단에 전치증폭기를 설치한 경우에 대한  $10^{-9}$ 의 에러확률을 유지하기 위해 필요한  $BT$ 에 따른 수신감도의 변화를 보이고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 필요 광전력이 적어짐을 확인할 수 있다.



[그림 4] 전치증폭기가 포함된  $BT$ 에 따른 수신기의 감도  
[Fig. 4] Receiver sensitivity along the  $BT$  with preamplifier

## 4. 결론

본 논문에서는 광 증폭기로부터 발생하는 자연 증폭 방출로 인한 신호의 왜곡을 피하기 위해 전송하고자 하는 신호에 따라 신호의 크기를 변조시키는 온-오프 키잉 (on-off keying) 전송을 방식을 적용한 광전송시스템에서의 표준에러확률을 유지하기 위한 조건에 대하여 고찰하였다.

표준 에러 확률을 유지할 수 없는 시스템은 전송 방식으로서 무의미하므로 온-오프 키잉 전송시 표준 에러 확률을 유지하기 위한 필요한 광자수를 계산하는 것이 필요하다.

이에 본 논문에서는 광전송시스템에서 광검출기가 1 이하의 양자효율을 갖는 경우를 고려하여 온-오프 키잉 전송시에 수신기의 수신 감도를 계산하였다.  $BT$ 가 30 이상인 경우 표준에러확률을 유지하기 위한 광자수가 10000이하로 계산되어  $BT$ 가 적은 경우에 비해서 저출력 시스템을 구성할 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 이러한 값도 실제 시스템에서는 큰 부담이 되는 값이므로 보다 저출력 광원을 사용하는 경우를 고려하여 수신단에 전치증폭기를 설치한 경우에 대해서도 고려하였는

데, 그림 4에서 보이는 바와 같이 보다 적은 출력을 갖는 광원을 사용해도 무방하다는 결과를 얻을 수 있었다.

## References

- [1] National Information Society Agency Information Strategy Planning Division, "Paradigm shift in the era of smart vision and ICT strategy", National Information Society Agency, 2010.
- [2] M. Zirngibl, C. H. Joyner, L. W. Stulz, C. Dragone, H.M. Presby and I. P. Kaminow, "LARNet, a local access router network," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 7, no. 2, pp. 215-217, 1995.
- [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] S. D. Personick, "Receiver design for digital fiber-optic communication systems" *Bell Systems Technical Journal*, vol. 52, no. 6, pp. 843-874, 1973.
- [7] B. E. Saleh and M.C. Teich, *Fundamentals of Photonics*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1991.
- [8] <http://www.lfw.com>
- [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.

나 유 찬(Yoo-Chan RaHong)

[정회원]



- 1994년 2월 : 원광대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 원광대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1995년 8월 ~ 1998년 2월 : 정보통신부 전파연구소 공업연구사
- 2010년 3월 ~ 2011년 2월 : 칼슘대학교 교환교수
- 1998년 3월 ~ 현재 : 남서울대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야>

이동통신, 전자통신회로