

## 순방향 에러 교정 기법을 이용한 광통신 채널에 관한 연구

강영진<sup>1\*</sup>, 김선엽<sup>2</sup>

<sup>1</sup>원광대학교 전자공학과, <sup>2</sup>남서울대학교 정보통신학과

## A Study on the Optical Communication Channel using Forward Error Correcting Technique

Young-Jin Kang<sup>1\*</sup> and Sun-Yeob Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronics, Wonkwang University

<sup>2</sup>Department of Information Communication, Namseoul University

**요 약** 본 논문에서는 상대적으로 낮은 BER에서 동작시키거나 순방향에러제어코딩기법을 이용하여 광통신 시스템의 용량을 증가시키는 방안에 대하여 연구를 수행하였다. 코딩이득은 코딩된 신호와 코딩이 안 된 신호의 에러확률의 비로 정의된다. 코딩 이득이 증가하면, 코딩이 안 된 신호의 에러확률이 감소하기 때문에 의 최적의 값이 감소하는데 이것은 유효비트기간이 이진기호지속기간보다 길기 때문에 부분적으로 무시할 수 있다. 여러 가지의 코드율에 대해, 코딩이득에 대한 전송용량을 보이고 있는데, 최대 75Gb/s 정도의 전송용량은 이러한 코딩기법을 통해 얻을 수 있음을 확인하였다.

**Abstract** In this paper, We operate at a relatively low BER or using forward error control coding techniques on ways to increase the capacity of optical communication systems research. Coding gain is defined as the ratio of the probability of the coded signal and coding of error signal. Coding gain is increased, partly because of the period, to reduce the value of the optimal coding of the signal error probability decreases because of the effective bit binary symbol duration is longer than can be ignored. Transmission capacity on the coding gain for various code rates, which show the extent of up to 75Gb/s transmission capacity to get through it was confirmed that these coding techniques.

**Key Words** : Forward Error Correcting, Coding gain, Optical power

### 1. 서론

유비쿼터스 사회로 진입한 현재 정보에 관한 사용자들의 욕구는 나날히 증가되고 있다. 특히 광전자공학, 소프트웨어기술 그리고 네트워크 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 되었으며, 현재

각종 정보기기 및 모바일 기기의 등장으로 인해 인간의 정보에 대한 욕구가 나날히 증대되고 있으며 사회의 흐름은 인간 중심의 컴퓨팅 서비스에 대한 요구가 증대되고 있다. 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.[1,2]

이러한 광시스템에서 광신호는 양방향의 멀티미디어와 영상회의의 같은 큰 대역폭을 요구하는 현재의 사용자

본 논문은 2010년 원광대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.

\*Corresponding Author : Young-Jin Kang (Wonkwang University)

Tel: +82-63-850-6743 email: yjkang@wonkwang.ac.kr

Received January 21, 2013

Revised February 4, 2013

Accepted February 6, 2013

서비스들은 보다 더 큰 대역폭을 필요로 하므로 광통신 시스템의 용량의 증가가 필연적이다. 이에 따라 광통신 시스템의 용량을 증가시키는 다양한 방법이 연구되고 있다.[3]

광통신시스템의 용량을 증가시키기 위한 방법으로 시스템의 에러확률과 시스템의 대역폭의 상관관계에 대하여 연구가 많이 진행되고 있는데, 특히 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 신호수신에 필요한 광신호의 대역폭과 광전력이 서로 밀접한 관계가 있다. 전체 시스템의 전송용량은 채널에러율의 함수이다. 이를 통해 상대적으로 낮은 BER에서 동작시키거나 순방향에러제어코딩기법을 이용하여 시스템의 용량을 증가시켜서 더 큰 필요 광전력을 얻을 수 있음을 예상할 수 있다.

## 2. 광통신시스템의 채널

광통신시스템의 채널 환경에서 코히어런트 광섬유시스템은 직접검출법이나 인코히어런트수신기에 비해 높은 수신기감도를 갖게 되는데, 이것은 다음의 두 요소 즉, 수신기의 열잡음을 무시할 수 있을 정도로 큰 고출력 국부 발진기로부터의 산탄잡음과 매우 높은 주파수 선택도를 갖는 필터에 의한 것이다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 현재의 수많은 시스템들은 이론적인 검출 감도가 우수하지 못하고, 코히어런트 광원이 필요하지 않는 직접 검출방식을 이용한다. 또한 수신기의 전치증폭기로 이용되는 EDFA의 등장은 코히어런트 수신기가 갖는 산탄 잡음의 잇점을 감소시켰다.[4]

$m$ 이 무한대로 가면 수신기의 감도는  $\sqrt{m}$ 에 대해 비례적으로 증가한다.

가우시안근사를 이용한 광통신시스템의 수신기감도는 식 (1) 그리고 (2)와 같이 주어진다.

$$\overline{N}_{p,OOK} = \frac{2732}{1 - \frac{18}{m}} \quad (1)$$

$$\overline{N}_{p,FSK} = \frac{3864}{\sqrt{1 - \frac{18}{m}}} \quad (2)$$

윗 식에서 상대전력페널티는 식 (3)과 같이 주어진다.

$$\alpha(m) = 1.5 + 5 \log \left( 1 - \frac{18}{m} \right) \quad (3)$$

또한 수신기 감도  $\overline{N}_p$ 는 FSK의 경우  $1/\sqrt{1 - Q^2/2m}$ 으로 변화되고, OOK의 경우에는  $1/(1 - Q^2/2)$ 로 변화된다. 이러한 변화가 의미하는 것은  $m$ 이 감소되면 FSK 전송의 성능이 저하되지만, 저하되는 변이량은 OOK에 비해 적음을 의미한다.

이러한 해석을 통해 가우시안 근사는  $m$ 값이 큰 경우에 수신기의 감도의 계산에 적합함을 의미한다. 또한 PIN 수신기를 이용하는데 필요한 수신기의 감도는 적어도 수 천 광자/비트가 됨을 알 수 있다.[5]

반면에 광전치증폭 수신기를 이용하여 신호를 검출할 때의 수신기의 감도는 Fig. 3-13과 같은데, 광전류의 평균치와 첨두치에 대한 결과를 보이고 있다. 이를 통해 FSK 전송이 OOK 전송보다 더 높은 평균 광전력을 요구하지만 피크치의 경우에는 OOK에 비해 낮은 것을 확인할 수 있는데, 이러한 장점은 실제의 광대역 잡음원을 통해 시스템을 구현할 때 중요하게 대두된다. 왜냐하면 광대역 잡음원으로 이용되는 반도체소자나 EDFA는 높은 ASE 전력을 만들지 못하기 때문이다. 동일한 에러확률에 대해 FSK이 OOK에 비해 더 낮은  $m$ 을 갖게 된다. 그러나 FSK는 WDM 채널당 밴드의 수가 OOK에 비해 두 배로 필요하게 되므로 이것은 식 (4)와 같이 쓸 수 있다.

$$(2m_{opt,FSK}) > (m_{opt,OOK}) \quad (4)$$

## 3. 채널대역폭과 FEC

주어진 소스잡음대역폭의 경우,  $m$ 이 최적인 경우 전체 전송 용량과 광전치 증폭기 수신기가 이용될 때 필요한 광전력을 계산할 수 있음을 보였다.

스펙트럼이 분할된 WDM 시스템의 전송용량  $T_{osp}$ 는 식 (5)와 같이 정의 할 수 있다.[6]

$$\begin{aligned} T_{osp} &= DR_b \\ &= \frac{B_{ss}}{MB_o} \\ &= \frac{B_{ss}}{mM} \end{aligned} \quad (5)$$

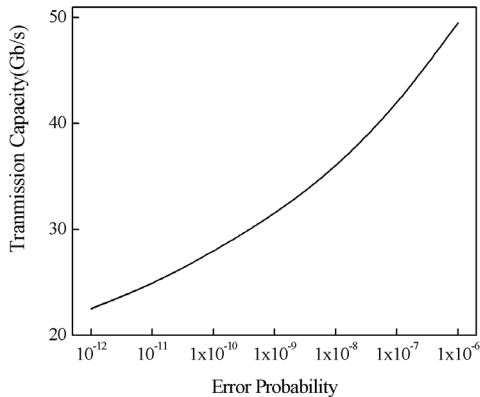
여기서,  $D$ 는 시스템에서 채널의 전체수이고,  $B_{ss}$ 는

스펙트럼분할소스의 가용 이득대역폭이다. 그리고  $M$ 은 광신호의 대역폭  $B_o$ 에 대한 채널 간격의 비이다. 최적의  $m$ 값을 이용하고  $B_{ss}$ 가 25nm이고  $M$ 이 3이라 가정하면 식 (5)는 에러확률을 위한 평가식으로 이용할 수 있으므로 Fig. 3-15에 이러한 결과를 보였다. Fig. 1에서 보이는 것처럼 광전지 증폭기를 갖는 광통신시스템의 전송용량은 에러확률  $P_e$ 가  $10^{-9}$ 일 때 약 32Gb/s이 된다.  $M$ 이 3이라 임의적으로 가정한 것은 결정신호의 경우보다 더 낮은 SNR에서 동작하기 때문이다. 그러므로 스펙트럼분할시스템이 협대역광신호의 대역폭을 갖는 일반적인 시스템에 비해 상호 채널 간섭에 대해 더 낮은 감도를 갖음을 예상할 수 있다. 또한 시스템의 사용가능한 광전력이 전송전력과 필요한 수신기감도의 차에 의해 주어진다. 시스템의 설계시에 가장 중요한 점은 데이터 전송율을 선택한 후, 수신된 전력을 최소로 하기위한 수신기의 광대역폭을 조절해야만 한다. 그러므로 예상전력은 수신기 광신호의 대역폭의 향으로 정의할 수 있다.

채널당 데이터 전송율이 2.5Gb/s이고 스펙트럼분할된 소스의 경우 전력스펙트럼밀도가 4mW/nm라 가정하면, 채널당 전송전력은 에러확률밀도와 채널광대역폭의 곱으로 주어지는데 이를 로그향으로 표현하면 식 (6)처럼 주어진다.

$$P_{Tr}(\text{dBm}) = 10 \log_{10}(4) + \log(B_{o,nm}) \quad (6)$$

여기서,  $B_{o,nm}$ 는 nm대역으로 표현되는 수신기의 광신호의 대역폭이다. 그리고 수신기의 수신감도는 식 (7)처럼 주어진다.



[Fig. 1] Predicted transmission capacity in Gb/s for an optical preamplifier receiver, at optimum state

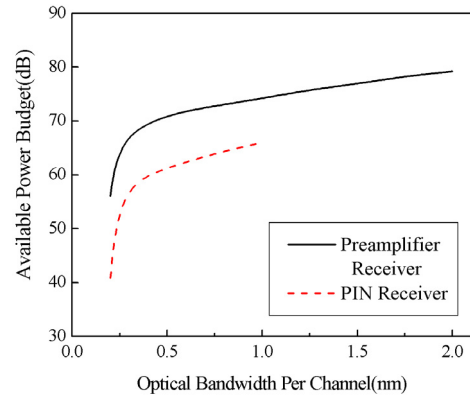
$$\begin{aligned} Se_{re}(\text{dBm}) &= \overline{N_p} h \nu R_b \\ &= 10 \log_{10}(\overline{N_p}) - 94.45 \end{aligned} \quad (7)$$

그러므로 위의 식들을 이용하면 사용가능한 광전력이 식 (8)처럼 쉽게 계산 될 수 있다.

$$PB(\text{dB}) = 100.97 + 10 \log_{10} \left( \frac{B_{o,nm}}{\overline{N_p}} \right) \quad (8)$$

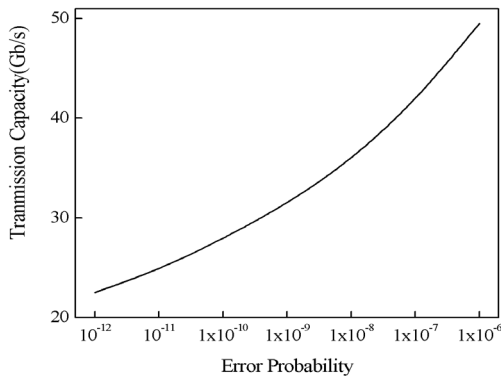
Fig. 2에 PIN 수신기와 전치증폭수신기의 필요한 광전력의 비교를 보였다. 그림에서 보인 것처럼 전치증폭기수신기는 시스템전력효율이 PIN 수신기에 비해 최소 10dB 정도 개선이 된다. 또한 필요한 광전력 증가에 따라 채널의 광대역폭이 증가되어짐을 그림에서 확인할 수 있는데, 이것은 앞에서 논의한 바와 같이 광신호의 대역폭은 전송전력의 증가에 따라 증가되기 때문이다.[6,7]

Fig. 2에 나타난 바와 같이 최적의  $m$  과 수신기의 평균수신감도  $\overline{N_p}$  모두가 에러 확률  $P_e$ 의 증가에 따라 감소한다. 즉, 전체시스템의 전송용량은 채널에러율의 함수이다.

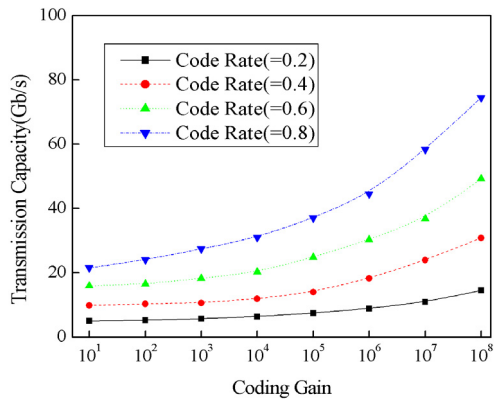


[Fig. 2] Available power budget as a function of the optical bandpass filter bandwidth for the optical preamplifier receiver

이를 통해 상대적으로 낮은 BER에서 동작시키거나 순방향에러제어코딩기법을 이용하여 시스템의 용량을 증가시켜서 더 큰 필요 광전력을 얻을 수 있음을 예상할 수 있다. 이러한 내용이 Fig. 3에 개념적으로 보였다. 즉, 필요한 광전력을 줄이는 것은 전송대역폭의 조절을 통해 얻을 수 있다는 것을 나타내는 것으로서 이것이 스펙트럼 분할 전송의 핵심개념이다.



[Fig. 3] Motivation for Forward Error Control coding



[Fig. 4] Transmission capacity versus coding gain for different code rates

Fig. 4는 서로 다른 코드율에 대한 코딩이득의 함수에 대해 전송용량이 개선되는 것을 보이고 있다. 코딩이득은 코딩된 신호와 코딩이 안 된 신호의 에러확률의 비로 정의된다. 코딩 이득이 증가하면, 코딩이 안 된 신호의 에러확률이 감소하기 때문에  $m$ 의 최적의 값이 감소하는데 이것은 유효비트기간이 이진기호지속기간보다 길기 때문에 부분적으로 무시할 수 있다.

여러 가지의 코드율에 대해서, 코딩이득에 대한 전송용량이 Fig. 4에 보이고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 75Gb/s 정도의 전송용량은 이러한 코딩기법을 통해 얻을 수 있다.

수신기감도 또한 FEC의 채용을 통해 변화된다. 그러나 수신기감도에 대한 필터의 대역폭의 비가 상대적으로 상수로 유지되는데, 식 (8)에 의하면 이러한 내용은 수신기 필요 광전력의 변화에 대해 중요한 요소가 아니다. 따라서 FEC는 필요 광전력의 저하 또는 주어진 용량에서 협대역 시스템의 대역폭의 효율화에 의해 얻어지는 상대

적으로 큰 광전력을 제외하면, 시스템의 용량의 증대에 중요한 요소임을 확인할 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 광통신시스템에서 사용되는 수신기의 필요 광전력과 시스템 채널의 대역폭에 관한 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. 본 논문에서는 광통신시스템에서 신호수신에 필요한 광전력을 개선하여 광신호의 대역폭과 광전력이 서로 밀접한 관계가 있음을 확인하였다. 전체시스템의 전송용량은 채널에러율의 함수이다. 이를 통해 상대적으로 낮은 BER에서 동작시키거나 순방향에러제어코딩기법을 이용하여 시스템의 용량을 증가시켜서 더 큰 필요 광전력을 얻을 수 있음을 예상할 수 있다. 또한 코딩이득은 코딩된 신호와 코딩이 안 된 신호의 에러확률의 비로 정의된다. 코딩 이득이 증가하면, 코딩이 안 된 신호의 에러확률이 감소하기 때문에  $m$ 의 최적의 값이 감소하는데 이것은 유효비트기간이 이진기호지속기간보다 길기 때문에 부분적으로 무시할 수 있다. 여러 가지의 코드율에 대해, 코딩이득에 대한 전송용량을 보이고 있는데, 최대 75Gb/s 정도의 전송용량은 이러한 코딩기법을 통해 얻을 수 있음을 확인하였다.

## References

- [1] D.M. Spirit, A.D. Ellis and P.E. Barnsley, "Optical time division multiplexing: systems and networks," *IEEE Communicatio Magazine*, vol. 32, no. 12, pp. 56-62, Dec. 1994.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/35.336012>
- [2] National Information Society Agency Information Strategy Planning Division, "Paradigm shift in the era of smart vision and ICT strategy", National Information Society Agency, 2010.
- [3] Brochure of the Broadband Information Technology Program, Information Technology Office, ARPA, US-DoD.
- [4] B. Clesca, J. F. Kerdiles and M. Semenkoff, "Gain

flatness comparison between erbium-doped fluoride and silica fiber amplifiers with wavelength multiplexed signals," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 6, no. 4, pp. 509-511, Apr. 1994.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/68.281811>

- [5] A. M. Vengsarkar, J. R. Pedrazzani, and C. R. Davidson, "Long-period fiber-grating based gain equalizers," *Optics Letters*, vol. 21, no. 5, pp. 336-338, Mar. 1996.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1364/OL.21.000336>

- [6] H. Onaka et al. "1.1 Tb/s WDM transmission over a 150 km 1.3  $\mu$ m zero-dispersion single mode fiber," *Optical Fiber Communications Conference*, paper PD-19, San Jose (CA), Feb. 1996.
- [7] L. T. Blair and S. A. Cassidy, "Impact of new optical technology on spectrally-sliced access and data networks," *BT Technology Jnl.*, vol.11, no. 2, pp. 46-55, Apr. 1993.

## 강 영 진(Young-Jin Kang)

[정회원]



- 1989년 2월 : 건국대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1981년 2월 ~ 현재 : 원광대학교 전자공학과 교수

<관심분야>  
통신회로 응용

## 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>  
초고속과 통신용 회로, 광통신응용