

Optical Interconnection의 Transmitter Power와 BER의
최적화에 관한 연구

Optimization of Transmitter Power and BER for Optical Interconnection

이 승 우*, 최 은 창**, 최 우 영
연세대학교 전자공학과
*한국전자통신연구원 ATM교환연구실

Abstract

Numerical analysis for optical interconnection system is performed in time-domain using simplified models. Simulation results are compared with respect to transmitter power and BER.

고성능 시스템에서 요구되는 데이터 전송 속도가 증가함에 따라서 광소자를 이용하여 전기적 시스템을 연결하는 광연결(optical interconnection)의 중요성이 커지고 있다.[1] 광연결은 ATM과 같은 고속의 시스템에서 board-to-board의 데이터 전송에 응용될 수 있다. 이러한 광연결 시스템의 성능을 좌우하는 중요한 요소가 power와 BER이다. 그러므로, 본 연구에서는 차세대 초고속 ATM 교환기에 사용될 수 있는 광연결 시스템 설계의 첫 번째 단계로 광연결 시스템의 transmitter power와 BER의 관계를 살펴보고 광연결 시스템의 사용에 적합한 파라미터들을 예측하고 시스템의 설계를 최적화하는 것이 중요하다.

본 연구에서 고려한 광연결 시스템의 구조는 그림 1과 같다. 그림 1은 레이저 다이오드(LD), 구동회로, 광검출기(PD), 수신단 회로 등으로 구성된 구조로서 수신단에서의 power 소모를 최소화하기 위해 증폭기, data regeneration 회로등은 사용되지 않는다.[2] 그림 1에 나타난 구성성분의 파라미터를 이용하여 구하고자 하는 BER을 얻기 위한 식은 다음과 같다.[2]

$$P\left(\frac{V_1 - V_0 - V_{sm}}{\sigma_{n1} + \sigma_{n0}}\right) \geq \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(Q/\sqrt{2}) \quad (1)$$

$$V_1 = \eta_1 R I_{LD} - \sigma_{V1} \quad (2)$$

$$V_0 = \eta_1 R (\Delta I_{th} + I_{LD}) + \sigma_{V0} \quad (3)$$

여기서, V_1 과 V_0 은 각각 1과 0에 해당하는 decision 회로의 입력으로 들어오는 유효 신호값을 나타낸다. 그리고, σ_{ref} , σ_{n1} , σ_{n0} , σ_{V1} , σ_{V0} 은 잡음의 표준편차를 나타낸다. η_1 는 전체효율을 나타내고 R 은 PD의 부하저항이다. 마지막으로 Q 는 BER과 SNR비의 관계를 나타내는 값이다. 위의 (1)~(3)의 식을 이용하여 주어진 R 값에 대해서 LD를 구동하는 전류(I_{LD})의 최소값을 구하면 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 비트율(bit rate)은 $(4C_{PD}R)^{-1}$ 로 나타내

고, C_{PD} 는 광검출기의 캐패시턴스로 본 연구에서는 0.1pf의 값이 사용되었고, BER은 10^{-15} 의 값을 갖도록 하였다. 또한, 일반적인 LD와 PD의 특성으로부터 추출한 값인 η_1 는 0.124, 0.309, 0.433의 값을 사용하였다. 그러나, 이러한 계산의 결과는 시간영역에서 고려해야 하는 신호 의존성 잡음(signal dependent noise)을 포함할 수 없으므로 다음과 같은 시간영역에서의 수치적 해석이 필요하다.

먼저, LD의 시간영역의 모델링은 다음과 같이 캐리어 밀도와 광자의 밀도의 관계를 나타내는 비율방정식을 이용한다.[3]

$$\frac{dN_s}{dt} = \frac{I}{qV_{SCH}} - \frac{N_s}{\tau_r} + \frac{M(V_W/V_{SCH})}{\tau_s} \quad (4)$$

$$\frac{dN}{dt} = \frac{N_s(V_{SCH}/V_W)}{\tau_r} - \frac{N}{\tau_n} - \frac{N}{\tau_e} - \frac{G(N)S}{1+\epsilon S} \quad (5)$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\Gamma G(N)S}{(1+\epsilon S)} - \frac{S}{\tau_p} + \Gamma \beta \frac{N}{\tau_n} \quad (6)$$

여기서, $G(N)$ 은 LD의 차동이득을 나타내고, S 는 광자밀도를 나타낸다. 또한, 광자밀도와 광출력은 $S = P_f \cdot \theta$ 의 관계를 갖고 있다. LD로부터 나온 광출력은 [4]의 회로모델을 이용하여 얻을 수 있고, 이는 fiber를 지나 광검출기에서 전류로 변환된다. 시간영역에서 광검출기의 응답(= $\delta(t)$)은 이상적으로 간주하고, fiber의 경우는 Gaussian특성을 갖는다고 가정한다. 이들 응답 특성을 아래의 식과 같이 LD의 출력 파형과 콘벌루션을 취하면 그림 3과 같은 파형을 얻을 수 있다.

$$i_{PD}(t) = P_f(t) * h_{FB}(t) * h_{PD}(t) \quad (7)$$

이 전류식을 이용하여 시간영역에서의 BER과 송신단의 power는 다음의 관계식을 이용하여 구한다.

$$BER = \frac{1}{N} \sum \left[P\left(\frac{i_1 - i_t}{\delta_1}\right) + P\left(\frac{-i_t - i_0}{\delta_0}\right) \right] \quad (8)$$

$$P_\alpha = 0.5 (I_{LD} + I_{LD0} + 2I_{th}) V_{dr} \quad (9)$$

여기서, i_1, i_0 는 1과 0에 해당하는 광검출기의 전류를 나타내고, i_t 는 decision 회로에서 threshold 전류이고, δ_1, δ_0 은 시간에 따라 변화하는 잡음과 신호에 무관한 잡음을 나타낸다. BER을 얻기 위해서 i_1 과 i_0 는 최대값을 갖을 때 샘플링하고, i_t 는 둘의 가운데 값을 취한다. 위의 관계식을 동일한 파라미터를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. BER과 송신단 power의 관계를 살펴보면 그림 1과 같다. 바이어스 전류가 문턱 전류(I_{th})의 1.0, 1.2배에 해당하는 값을 갖는 경우에 대해 식(1)~(3)을 이용한 결과와 식(8), (9)를 이용한 결과를 비교하였다. 동일한 BER을 얻기 위하여 시간영역의 모델을 이용하여 시뮬레이션한 결과와 식(1)~(3)의 계산 결과보다 더 큰 power가 필요하다. 이는 시간영역에서 고려한 시간 의존성 잡음이 참가되어 발생하는 오차이다. 비트율이 커질수록 시간 의존성 잡음의 영향력이 커지므로 이와 같은 시간영역의 모델을 이용하여야 한다. 또한, 주어진 BER을 얻기 위해 LD 구동전류, 송신단의 power 값, LD 또는 PD의 양자효율(efficiency)의 최적의 값을 쉽게 구할 수 있다.

참고문헌

- [1] R. A. Nordin, et al., IEEE JLT, Vol. 10, No. 6, pp. 811-827, 1992.
- [2] M. Yoneyama, et al., IEEE JLT, Vol. 14, No. 1, pp. 13-21, 1996.
- [3] R. Nagarajan, et al., IEEE PTL, Vol. 4, No. 2, pp. 121-124, 1992.
- [4] 이승우, 김대욱, 최우영, 전자공학회의논문지, 35권-D편, 1호, pp. 49-58, 1998.

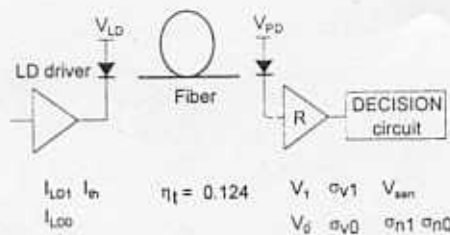


그림 1. 광연결시스템의 블록다이어그램

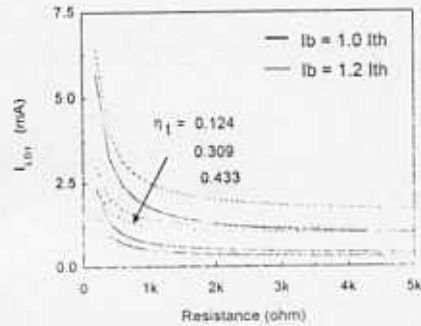


그림 2. BER=10⁻¹²일때의 η_t의 변화에 따른 최소 전류(I_{L1})

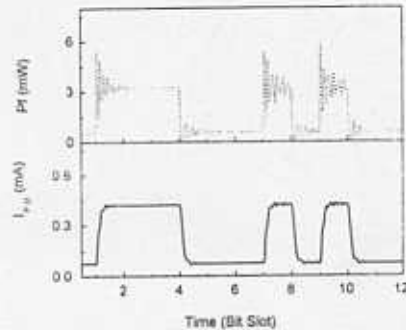


그림 3 LD의 출력 파형과 PD에서 흐르는 전류

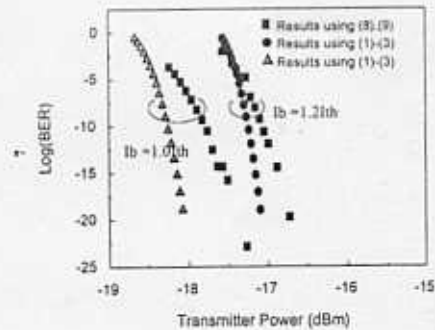


그림 4 Transmitter power와 BER의 관계