

# 완전 광 패킷 헤더 처리기에서 광 펄스 형태가 지터 잡음 전력에 미치는 영향

## Effect of Optical Pulse Shapes on the Jitter Noise Power at the All Optical Packet Header Processor

오정배\*, 신종덕, 김부균  
 숭실대학교 정보통신전자공학부  
 oh1102@sunbee.soongsil.ac.kr

### Abstract

Jitter noise power at the all optical packet header processor, which uses a fiber-optic delay-line matched filter, has been calculated for various optical pulse shapes.

광통신 시스템의 수신단에서 발생하는 잡음의 종류로는 산탄 잡음, 열 잡음, 그리고 타이밍 지터 잡음이 있다. 디지털 광통신 시스템에서, 수신기내 클럭 재생 회로에 들어오는 입력 신호가 잡음을 포함하고있기 때문에 sampling time이 bit마다 달라지게 된다. 이러한 타이밍 지터 현상 때문에 수신단에서 입력 펄스의 최대값에 못 미치는 값을 표본화하게 된다. 따라서 타이밍 지터에 의해 감소되는 표본화 전류값은 광통신 시스템의 성능을 저하시키게 되므로 타이밍 지터에 대한 연구가 필요하다.

이전의 연구에서는 Raised Cosine 형태를 가지는 펄스의 타이밍 지터 해석이 대부분이었으나<sup>(1)</sup> 광섬유 지연선로 정합 여과기를 이용한 광 패킷 어드레스 처리기<sup>(2)</sup>의 클럭 재생회로에 들어오는 입력 신호의 형태는 RZ 구형파, 가우시언 펄스, 2차 초가우시언 펄스의 상관 펄스 형태를 가지므로 이러한 경우 타이밍 지터의 영향을 전산 실험을 통하여 비교하였다.

수신하는 파형의 식이  $S(t)$ 라면,  $t=n/B$  ( $B$ 는 전송속도,  $n$ 은 정수)의 시간에서 표본화 회로는  $S(t)$ 를 표본화한다. 타이밍 지터의 영향에 의해 감소되는 표본화 전류의 크기를  $s$ 라고 하면  $s$ 는 타이밍 지터  $\Delta t$ 의 함수가 된다. 이때  $\Delta t$ 는 불규칙성 때문에 일반적으로 랜덤 변수로 표현되며, 타이밍 지터에 의한 표본화 전류는  $s \equiv s(\Delta t) = S(0) - S(\Delta t)$ 이다. 타이밍 지터  $\Delta t$ 가 불규칙한 특성을 갖는 랜덤 변수이므로 표본화 전류  $s$ 도 랜덤변수가 되며, 함수관계를 갖는 두 개의 랜덤 변수들과 이들의 확률 밀도 함수에 대한 함수 변환식은 다음과 같다.

$$p(s) = \frac{\bar{p}(s^{-1}(\Delta t))}{\left| \frac{ds}{d\Delta t} \right|}$$

이때,  $s^{-1}(\Delta t)$ 는  $s(\Delta t)$ 의  $s$ 에 대한 역함수이며,  $\bar{p}(\Delta t)$ 는 랜덤 변수  $\Delta t$ 에 대한 타이밍 지터의 확률 밀도 함수이다. 타이밍 지터의 확률 밀도 함수  $\bar{p}(\Delta t)$ 는 uniform 분포와 Gaussian 분포를 가지는 두 개의 함수형태로 나눌 수 있으며, uniform 분포의 식은  $\bar{p}(\Delta t) = \begin{cases} 1/\tau_0 & \text{if } |\Delta t| \leq \tau_0/2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$ 이고 Gaussian 분포의

식은  $\bar{p}(\Delta t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{2}{\tau} \exp[-2(\Delta t)^2/\tau^2]$ 와 같다. 이때, uniform 분포와 Gaussian 분포가 같은 표준편차를 갖기 위해서는  $\tau_0 = \sqrt{3}\tau$ 이 되어야 한다. 지터에 의해 생성되는 잡음전력은  $\sigma^2 = \langle s^2 \rangle - \langle s \rangle^2$ 이며,  $\langle s^m \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} s^m p(s) ds$ 이다.

광섬유 지연선로 정합 여파기를 이용한 광 패킷 어드레스 처리기에서 어드레스 펄드에 1의 bit수가 2개일 경우의 RZ 구형파, Gaussian 펄스, Super Gaussian 펄스의 출력에 대한 지터의 영향을 각 펄스의 상관펄스에 대해 그 식을 구해 지터의 잡음을 구하였다. 지터에 의한 잡음의 파워를 구하는데 필요한 각 펄스 형태에 따른 수식은 표 1과 같으며, 펄스의 형태는 그림 1과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 상관펄스의 폭이 제일 넓은 펄스는 Gaussian 펄스이며 다음이 Super Gaussian 펄스, RZ 구형파 순임을 알 수 있다. 확률 밀도 함수가 uniform 분포일 경우 펄스 형태에 따른 지터의 잡음 전력은 그림 2와 같으며 그림에서 알 수 있듯이 Gaussian 펄스 Super Gaussian 펄스, RZ 구형파 펄스 순으로 더 많은 잡음이 발생함을 알 수 있다. 이는 펄스 폭의 순서와 같음을 알 수 있다. 확률 밀도 함수가 Gaussian 분포인 경우 펄스 형태에 따른 지터 잡음 전력의 결과는 학회에서 발표할 예정이다.

표 1 펄스와 상관펄스의 식

	펄스의 식	상관함수의 식
RZ rectangular pulse	$\Pi(2Bt) = u(t+1/4B) - u(t-1/4B)$	$\Pi(2Bt) * \Pi(2Bt) = \int_{-\infty}^{\infty} \Pi(2B\tau) \Pi(2B(t-\tau)) d\tau = \Lambda(2Bt)$
Gaussian pulse	$e^{-\frac{t^2 B^2}{2}}$	$e^{-\frac{t^2 B^2}{2}} * e^{-\frac{t^2 B^2}{2}} = \sqrt{\frac{\pi}{16B^2}} e^{-4B^2 t^2}$
Super-Gaussian pulse	$e^{-\frac{t^2 B^2}{2}}$	$e^{-\frac{t^2 B^2}{2}} * e^{-\frac{t^2 B^2}{2}}$

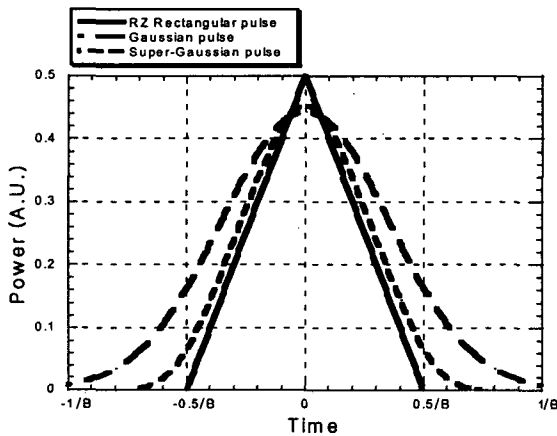


그림 1 펄스의 형태

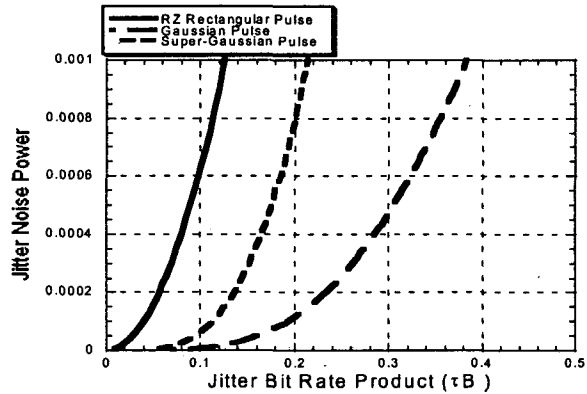


그림 2 확률 밀도 함수가 uniform 분포일 경우 펄스 형태에 따른 지터 잡음 전력

본 연구는 광주과학기술원 초고속광네트워크연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고논문

1. G. P. Agrawal, T. M. Shen, "Power Penalty Due to Decision-Time Jitter in Optical Communication Systems," *Electron Lett.*, vol. 22, no.9, pp. 450-451, 1986.
2. 오정배, 신종덕, 김부균, "슬러티드 링 통신망에서 입력 광 펄스 형태에 따른 완전 광 패킷 교환 노드의 패킷 오율," *한국통신학회*, Vol.26, No.5B, pp.529-536, 2001년 5월