

# 임펄스 라디오 기반 UWB 시스템에서 새로운 템플릿을 이용한 타이밍 지터 억제 방법

정회원 이형기\*, 강문규\*\*, 송운원\*\*\*, 윤현민\*\*\*\*, 윤경배\*\*\*\*\*

## Timing Jitter Suppression Methods Using Novel Template in Impulse Radio based UWB Systems

Hyung-Ki Lee\*, Moon-Kyoo Kang\*\*, Yun-Won Song\*\*\*, Hyun-min Yun\*\*\*\*,  
Kyung-Bae Yoon\*\*\*\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 기저대역 임펄스 라디오 기반 UWB 시스템에서 수신기 템플릿 펄스 파형을 개선함으로써 타이밍 지터에 강한 시스템을 구성하여 시스템의 성능 저하를 방지하고자 한다. 타이밍 지터는 수신된 파형과 수신기에서 생성된 UWB 기준 템플릿 모노사이클 파형 사이의 타이밍 오차로, ns의 매우 짧은 지속시간을 갖는 전송 파형에서는 수십 ps이하의 매우 짧은 타이밍 지터도 시스템의 성능저하를 초래할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 타이밍 지터에 강한 새로운 수신기 템플릿을 제안하고 타이밍 지터의 특성과 영향을 분석하였다. 제안된 지터에 강한 템플릿은 지터를 갖고 수신된 파형과 높은 상관성을 가지며 새로운 템플릿에 의하여 양호한 시스템 성능을 확보할 수 있다. 시뮬레이션 결과, BPSK 및 PPM 시스템에서 BER 대비  $E_b/N_0$ 가 각각 약 0.5dB 우수한 성능을 보였다.

**Key Words** : IR-UWB, Timing Jitter, Jitter Compression, Jitter Distribution Function

### ABSTRACT

In this paper, we design the robust system in the timing jitter that prevents performance degradation by improving template pulse waveforms in the baseband IR based UWB system.

Timing jitter is timing error between the received and the reference template UWB monocycle waveforms generated in receiver. For the extreme short duration of the baseband UWB transmission waveforms, even small amounts of timing jitter can still bring out an evaluable performance degradation of the system. Thus, this paper propose a novel receiver template to resist the influence of timing jitter. We analysis the characteristic of the timing jitter and the impact of the timing jitter. When the timing jitter distribution is evaluated, a corresponding modified jitter robust template is proposed to correlate with the received signals. The proposed jitter robust template has a higher correlation with the jittered received waveforms and thus a better system performance can be achieved by this novel template. Simulation results, about 0.5dB  $E_b/N_0$  were improved from BPSK and PPM systems.

\* 재능대학 정보통신과(leehk@mail.jnc.ac.kr), \*\*재능대학 컴퓨터정보계열(kmk555@mail.jeu.ac.kr)

\*\*\* 재능대학 정보통신계열 (kmk555@mail.jeu.ac.kr), \*\*\*\*재능대학 정보통신계열 (syw527@mail.jeu.ac.kr)

\*\*\*\*\* 김포대학 경영정보과(kbyoon@kimpo.ac.kr)

논문번호 : 09063-1118, 접수일자 : 2009년 11월 18일

## I. 서 론

FCC (Federal Communications Commission)는 2002년 UWB (Ultra Wideband) 기술을 차세대 WPAN (wireless personal area network)용 고속 단거리 무선통신의 물리 계층을 위한 주요한 후보 중 하나로 제안하였다<sup>[1][2]</sup>.

UWB IR (Impulse Radio)은 극히 짧은 모노사이클 지속시간을 이용하므로 수신된 신호의 정확한 복조를 위하여 수신된 신호와 수신기에서 생성된 템플릿 사이의 타이밍 오차, 즉 타이밍 지터에 대해 높은 민감도가 요구된다.

임펄스의 본질은 동기오차(또는 지터)가 수신기에서 수신된 파형과 생성된 템플릿 파형 사이의 상관성에 영향을 준다는 것을 의미하며 이 문제에 관해 과거에 몇 가지 연구가 제안되었으며, UWB의 BER (Bit Error Rate)에 대한 타이밍 지터의 효과가 분석되었다<sup>[3][4]</sup>. 이러한 성능저하를 억제하기 위해서는 높은 안정도를 갖는 시스템 클럭이 제안되었으며, 이것은 10ps의 RMS (Root Mean Square) 지터를 갖는 50ns 시간 창 이내의 ns 이하의 펄스를 정밀하게 조정할 수 있다<sup>[5]</sup>. 그러나 시스템 클럭이 매우 안정되고 아주 작은 지터를 갖는 경우에도 송수신기 사이의 상대속도와 같은 다른 문제들이 추가적인 저하를 초래한다<sup>[6]</sup>. 따라서 본 논문에서는 타이밍 지터를 억제하여 시스템의 BER 성능을 개선할 수 있는 방법을 제안한다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서의 시스템 모델은 IR 기반 UWB 시스템에서의 다중접속 방식을 고려하지 않고 일반적인 2가지 변조방식으로 PAM (Pulse Amplitude Modulation)과 PPM (Pulse Position Modulation) 방식을 고려하였다. PAM 변조는 UWB 시스템의 분석과 구현에 있어 BPSK (Binary Phase Shift Keying) 변조방식이라고도 한다.

### 2.1 송수신 신호모델

n-번째 비트에 대한 BPSK 및 PPM 시스템의 일반적인 전송 신호 s(t)는 다음 식(1)과 같이 표현할 수 있다<sup>[4]</sup>.

BPSK :

$$s(t) = \sqrt{\frac{E_b}{N_s}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} b_n w_t(t-nT_f-jT_h)$$

직교 PPM :

$$s(t) = \sqrt{\frac{E_b}{N_s}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} w_t \left( t-nT_f-jT_h - \frac{\delta}{2}(1-b_n) \right) \quad (1)$$

여기서  $b_n \in \{-1, +1\}$ 는 n-번째 전송된 이진 데이터 비트,  $E_b$ 는 비트당 에너지,  $w_t(t)$ 는 단위 에너지로 전송된 파형,  $N_s$ 는 심볼당 펄스의 개수,  $T_f$ 는 비트 1개의 지속시간이며,  $T_h$ 는 2개의 비트 사이의 공칭 간격이다.  $T_f = N_s T_h$ 로 하나의 전송 부호의 평균 지속시간이며,  $\delta$ 는 변조방식이 PPM인 경우의 변조지수이다. 수신된 신호는 다음 식(2)와 같다.

BPSK :

$$s(t) = \alpha \sqrt{\frac{E_b}{N_s}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} b_n w_r(t-nT_f-jT_h-\tau_j(n)) + n(t)$$

직교 PPM :

$$s(t) = \alpha \sqrt{\frac{E_b}{N_s}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} w_r \left( t-nT_f-jT_h - \frac{\delta}{2}(1-b_n) - \tau_j(n) \right) + n(t) \quad (2)$$

여기서 n과 j는 각각 비트순서와 프레임 순서의 번호이며,  $\alpha$ 는 전송 경로의 감쇠 진폭이고,  $n(t)$ 는  $N_0/2$ 의 양측파 스펙트럼을 갖는 AWGN (Additive White Gaussian Noise)이다.  $w_r(t)$ 는  $w_t(t)$ 에 해당하는 단위에너지를 갖는 수신된 신호이고,  $\tau_j(n)$ 은 n-번째 비트의 j-번째 펄스에 대한 전송지연이다.

### 2.2 타이밍 지터

AWGN 채널용 최적 수신기는 상관(즉, 정합필터) 수신기이며, 여기서 수신기가 국지적으로 생성하는 소위 템플릿이라는 신호  $v(t)$ 가 수신 펄스열과 동기화되고 수신된 펄스  $r(t)$ 와 상관된다. 지터는 사전 설정된 이벤트가 발생해야 하는 시기와 실제 이벤트가 발생한 시기 사이의 시간차이며, UWB 상관 수신기에서 템플릿 신호는 다음 식(3)과 같이 표현할 수 있다<sup>[7]</sup>.

$$v(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} w_r(t-nT_f-jT_h-\hat{\tau}_j(n)) + n(t) \quad (3)$$

여기서  $\hat{\tau}_j(n)$ 은  $\tau_j(n)$ 의 추정값이며, 수신된 파형과 수신기에서 생성된 템플릿 파형 사이의 타이

밍 편차는 다음 식(4)와 같다<sup>7)</sup>.

$$\epsilon_j(n) = \hat{\tau}_j(n) - \tau_j(n) \quad (4)$$

타이밍 편차를 타이밍 지터라 부르며, 이것은 추정된 시간지연과 송수신기 사이의 실제 시간지연 사이의 타이밍 차이가 된다. 타이밍 지터의 첫 번째 발생 원인은 송수신기의 모든 전기회로에 존재하는 열잡음으로서 이는 시스템의 클럭 안정성에 영향을 미친다. 열잡음이 있는 대부분의 클럭 회로에서 클럭 지터 분포는 가우시안 분포를 갖는다. UWB 시스템에서는 모노사이클의 짧은 지속시간이 고속의 낮은 지터 클럭 설계를 더욱 까다롭게 만든다. UWB 시스템에 적합한 적절한 안정성과 낮은 전력소비를 갖는 클럭은 [8]에 소개되어 있으며, 여기에는 클럭의 지터가 10ps로 소개되어 있다.

두 번째 발생원인은 송수신기 사이의 상대속도를 추적하여 고정시키는 회로인 추적 지연 고정루프(Delay Locked Loop, DLL)에 의해 발생되는 지터이다. 추적 DLL은 수신기가 동기를 유지하는데 필요하며, DLL에 발생된 잡음은 샘플링 시간을 편이시키게 되어 수신된 파형과 추정된 파형 사이의 상관성이 감소된다. 그림 1에는 UWB에 있는 early-late 상관기 DLL의 S-curve의 한 예를 보이는 것이다. 오프셋은 각각 0.5ns, 0.6ns 및 0.7ns를 고려하였다. 설계가 잘 된 DLL의 S-curve는 지터 “0” 근처에서 선형적으로 작동한다. 입력 잡음의 가우시안 분포와 DLL의 선형적 특성으로 인해 출력 추적 지터는 가우시안 분포를 갖는 임의의 변수가 된다.

$\epsilon_j(n)$ 의 정확한 값은 쉽게 평가할 수 없는데 반

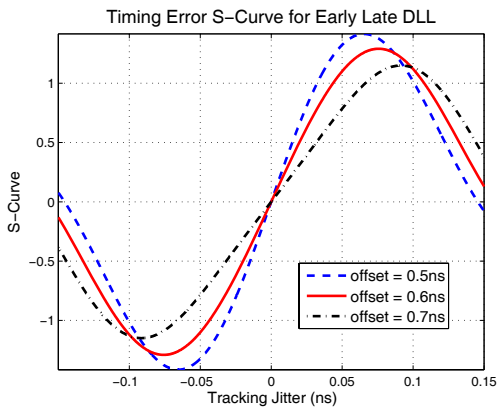


그림 1. UWB 시스템에서의 추적 DLL의 S-곡선  
Fig. 1. S-curve of tracking DLL in UWB system

하여 그 분포함수는 평가가 가능하다. 타이밍 지터 분포 특성은 타이밍 지터  $\epsilon_j(n)$ 을 평균 0과 표준편차  $\sigma$ 를 갖는 일련의 가우시안 랜덤 변수로 모형화하며, 이때의 확률밀도함수는 다음 식(5)와 같이 표현할 수 있다.

$$f_e(\sigma, \tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{\tau^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

여기서,  $\sigma$ 는 분포의 표준편차이며, 제곱평균제곱근지터(Root Mean Square Jitter, RMSJ)라고도 한다. RMSJ는 이상적인 템플릿 타이밍 위치로부터 지터의 평균 타이밍 편차이며, 지터분포를 정의하는 유일한 매개변수가 된다.

### 2.3 시스템 성능에 대한 타이밍 지터의 영향

본 논문의 분석에는 단순화를 위하여 AWGN 채널만을 고려하였으며, 지터가 없는 이상적인 2진 시스템에서 BER은 다음 식(6)과 같이 주어지는 이상적인 값이다<sup>3)</sup>.

$$P_b = Q\left(\sqrt{(1-\rho)\frac{N_s E_p}{N_o}}\right) \quad (6)$$

여기서,  $E_p$ 는 각 펄스 파형의 에너지,  $N_s$ 는 비트당 펄스 개수이다.  $\rho$ 는 상이한 비트 파형 사이의 상관계수이다. BPSK 시스템에서 상관계수는  $\rho = -1$ 인 반면 직교 PPM 시스템에서는  $\rho = 0$ 이 된다. 이것은 BPSK 시스템의 BER이 PPM 시스템의 BER보다 작다는 것을 의미한다.

정적 타이밍 오차 존재시 상이한 변조방식의 상세한 BER 특성은 표 1에 주어져 있다.

여기서  $R(\tau)$ 는  $w_r(t)$ 의 자동상관으로 다음 식(7)과 같다.

$$R(\tau) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} w_r(t+\tau) dt}{\int_{-\infty}^{\infty} w_r^2(t) dt} \quad (7)$$

표 1로부터 타이밍 오차 존재시 BER은 대부분 수신된 파형의 자동상관 함수에 의해 영향을 받을 수 있다. 그림 2는  $E_b/N_o$  값을 5, 7, 10dB로 달리했을 때의 BPSK UWB 시스템에서 평가한 BER 대비 타이밍 오차 관계의 한 예를 보인 것이다.

표 1. 타이밍 오차 존재시 UWB BER 성능  
Table 1. UWB BER performance in the presence of timing error

$P_b(\tau)$	BPSK	직교 PPM
BER (AWGN, 지터 없음)	$Q\left(\sqrt{\frac{2N_s E_p}{N_0}}\right)$	$Q\left(\sqrt{\frac{N_s E_p}{N_0}}\right)$
기존 방식의 BER (정적 지터)	$Q\left(\sqrt{\frac{2N_s E_p}{N_0}} R(\tau)\right)$	$Q\left(\sqrt{\frac{N_s E_p}{N_0}} R(\tau)\right)$

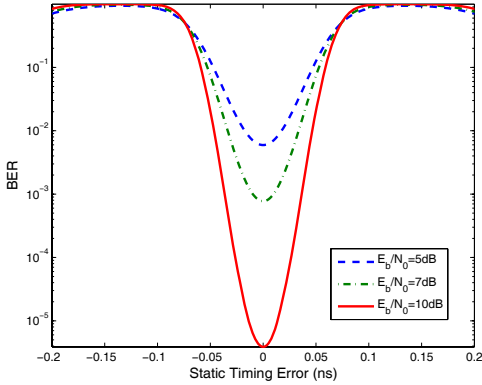


그림 2. 타이밍 편차 존재시 BER 특성  
Fig. 2. BER of BPSK UWB in the presence of timing error

BER은 타이밍 편차가  $\pm 0.05\text{ns}$  이상일 때 심하게 저하됨을 알 수 있다. 이는 BER 성능이 타이밍 지터에 아주 민감하게 됨으로 시스템 설계에 있어 지터 억제 방법이 고려되어야 한다는 것을 의미한다. 평균 BER 성능은 다음 식(8)과 같이 평가할 수 있다.

$$P_{avg}(\sigma) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{\epsilon}(\sigma, \tau) P_b(\tau) d\tau \quad (8)$$

식 (8)은  $P_b(\tau)$ 와 지터 분포함수  $f_{\epsilon}(\sigma, \tau)$ 의 곱을 적분한 것이다.

### III. 제안된 템플릿 펄스 파형

#### 3.1 제안된 템플릿 펄스 파형

타이밍 지터는 실제 지연과 추정 지연 사이의 상대적인 타이밍 차이이므로, 템플릿이 지터가 없고 모든 지터는 수신된 파형에만 존재한다고 가정할 수 있으며, 이는 시스템 성능 분석과 모의실험 결과에 영향을 주지 않을 것이다.

타이밍이 천이되어 수신된 파형과 지터가 없는 템플릿 파형 사이의 상관성은 다음 식(9)와 같이 표현된다.

$$R_w(\tau) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} w_r(t-\tau)w_r(t)dt}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} w_r^2(t-\tau)dt}\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} w_r^2(t)dt}} \quad (9)$$

$$= \frac{\int_{-\infty}^{\infty} w_r(t-\tau)w_r(t)dt}{\int_{-\infty}^{\infty} w_r^2(t)dt}$$

따라서 지터가 없는 템플릿 파형과 지터를 포함하여 수신된 파형 사이의 적분 상관계수는 식(10)과 같이 주어진다.

$$\rho = \int_{-\infty}^{\infty} f_{\epsilon}(\sigma, \tau)R_w(\tau) d\tau$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} f_{\epsilon}(\sigma, \tau) \frac{\int_{-\infty}^{\infty} w_r(t-\tau)w_r(t)dt}{\int_{-\infty}^{\infty} w_r^2(t)dt} d\tau \quad (10)$$

$$= \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{\epsilon}(\sigma, \tau)w_r(t-\tau)w_r(t)dt d\tau}{\int_{-\infty}^{\infty} w_r^2(t)dt}$$

시스템 성능을 개선하려면 높은 상관계수가 요구된다. 따라서 새로운 템플릿을 제안하여 본래의 템플릿 파형  $w_r(t)$ 를 교체하였으며 다음 식(11)과 같이 정의하였다.

$$\hat{w}_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{\epsilon}(\sigma, \tau)w_r(t-\tau)d\tau \quad (11)$$

타이밍 편차를 갖고 수신된 파형과 제안된 템플릿 사이의 상관계수는 다음의 식(12)와 같다.

$$\hat{R}_{w_y}(\tau) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} w_r(t-\tau)\hat{w}_r(t)dt}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} w_r^2(t-\tau)dt}\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \hat{w}_r^2(t)dt}} \quad (12)$$

$$= \frac{\int_{-\infty}^{\infty} w_r(t)(t-\tau)\hat{w}_r(t)dt}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \hat{w}_r^2(t)dt}}$$

지터가 없는 템플릿 파형과 지터를 포함하여 수

신된 파형 사이의 적분 상관계수는 식(13)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \rho &= \int_{-\infty}^{\infty} f_c(\sigma, \tau) R(\tau) d\tau \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} f_c(\sigma, \tau) \int_{-\infty}^{\infty} w_r(t-\tau) w_r(t) dt d\tau \quad (13) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \hat{w}_r(t) w_r(t) dt \end{aligned}$$

여기서,  $R(\tau)$ 는 타이밍 편차를 갖고 수신된 파형과 지터가 없는 템플릿 파형 사이의 상관이다. 지터가 없는 제안된 템플릿 파형과 지터를 갖고 수신된 파형 사이의 통합 상관계수는 식(14)와 같다.

$$\hat{\rho} = \int_{-\infty}^{\infty} f_c(\sigma, \tau) \hat{R}(\tau) d\tau = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \hat{w}_r^2(t) dt} \quad (14)$$

본 논문에서는 상관계수  $\rho$ 와  $\hat{\rho}$ 는 가우시안 지터 분포함수  $f_c(\sigma, \tau)$ 가 대부분 "0" 근처에 있고 수신된 파형과 템플릿이 양의 상관성을 갖고 있으므로 모두 양수값이라고 가정하였다. 제안된 파형이 기존의 파형보다 우수함을 보이기 위해 원래의 상관계수  $\rho$ 와 제안된 템플릿의 상관계수  $\hat{\rho}$ 를 비교한다. 식(14)에서  $\hat{\rho} \geq 0$ 의 값을 갖고 있다.  $\hat{\rho} < 0$ 이면,  $\hat{\rho} \geq \rho$ 이다.  $\hat{\rho} \geq 0$ 이면, 식(15)와 같은 방법을 사용하여 2개의 상관계수를 비교한다.

$$\left(\frac{\rho}{\hat{\rho}}\right)^2 = \frac{\left(\int_{-\infty}^{\infty} \hat{w}_r(t) w_r(t) dt\right)^2}{\int_{-\infty}^{\infty} \hat{w}_r^2(t) dt} \quad (15)$$

Schwartz 부등식을 식(15)에 적용하여 식(16)을 얻는다.

$$\begin{aligned} \left(\int_{-\infty}^{\infty} \hat{w}_r(t) w_r(t) dt\right)^2 &\leq \int_{-\infty}^{\infty} \hat{w}_r^2(t) dt \cdot \int_{-\infty}^{\infty} w_r^2(t) dt \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \hat{w}_r^2(t) dt \quad (16) \end{aligned}$$

따라서 결과적으로  $\hat{\rho} \geq \rho$ 을 얻는다.  $\hat{w}_r(t) = Aw_r(t)$ 인 경우에만 동일성이 발생하게 되며, 여기서  $A$ 는 "0"이 아닌 수로, 이는 시스템에 지터가 존재하지 않는다는 것을 의미한다. 결론적으로 제안된 템플릿

파형이 임의의 지터분포 방식에 있어서 원래의 템플릿 파형보다 지터를 갖고 수신된 신호 파형과의 높은 상관값을 갖는다는 것이다.

### 3.2 수신기 구조 및 새로운 템플릿 파형 함수

그림 3에는 제안된 지터억제 IR 기반 UWB 상관 수신기의 구조를 보인다. 제안된 템플릿을 실행하기 위해 템플릿 파형발생기에 타이밍 지터 평가기와 적분기가 추가되었다. 타이밍 지터분포 평가기는 지터 분포함수  $f_c(\sigma, \tau)$ 를 평가하기 위한 것이며, 적분기는 지터 분포함수  $f_c(\sigma, \tau)$ 와 원래 수신된 파형  $w_r(t)$ 을 기반으로 제안된 파형을 얻기 위해 사용된다.

새로운 수신 파형  $\hat{w}_r(t)$ 을 기반으로 하는 BPSK 방식에 사용된 상관기 템플릿 파형은  $v_{BPSK}(t) = \hat{w}_r(t)$ 로 수정되며, PPM에 사용된 템플릿은 다음 식(17)과 같이 수정된다.

$$v_{PPM}(t) = \hat{w}_r(t) - \hat{w}_r(t - \delta) \quad (17)$$

여기서,  $\delta$ 는 +1과 -1의 송신 펄스 사이의 타이밍 편차이다.

수신된 파형은 Ramirez-Mireles가 제안한 지터가 없는 UWB 펄스로 간주되며<sup>[9]</sup> 다음 식(18)과 같이 주어진다.

$$w_r(t) = \left(1 - 4\pi\left(\frac{t}{\tau_m}\right)^2\right) \exp\left(-2\pi\left(\frac{t}{\tau_m}\right)\right) \quad (18)$$

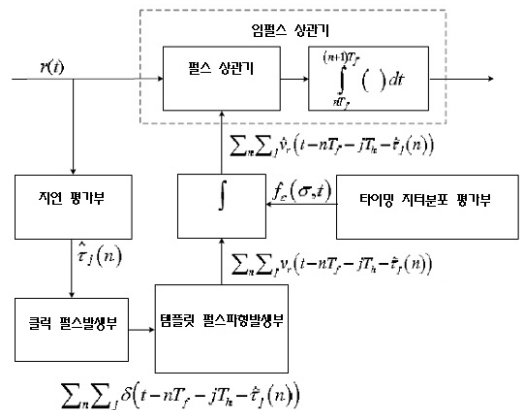


그림 3. 제안된 지터억제 UWB 상관 수신기  
Fig. 3. Proposed jitter compression UWB correlator receiver

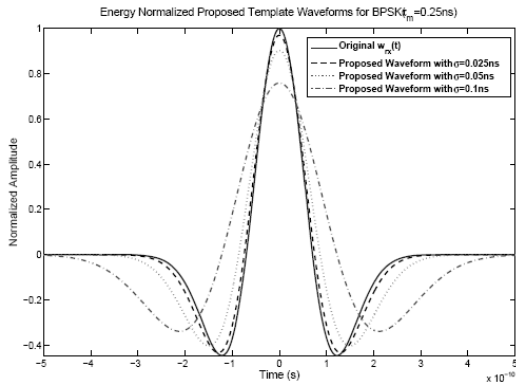
여기서,  $\tau_m$ 은 시간기준으로 펄스의 폭을 조정하고 이에 따라 동시에 주파수 기준으로 펄스의 주파수 스펙트럼을 조정하는 매개변수이다. 제안된 템플릿 파형은 식(19)과 같이 추론된다.

$$\hat{w}_r(t) = \int f_e(\sigma, \tau)w_r(t-\tau)d\tau = \mu(\tau_m^2 + 4\pi\sigma^2 - 4\pi t^2)\exp\left(\frac{-2\pi t^2}{\tau_m^2 + 4\pi\sigma^2}\right) \quad (19)$$

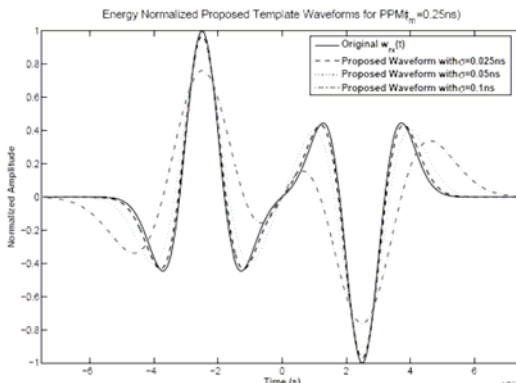
여기서  $\mu$ 는 템플릿 파형을 조정하는데 사용 가능한 진폭 매개변수이다.

그림 4에는 본 논문에서 제안하는 지터에 강한 템플릿 파형의 예를 보이고 있다.

여기에는 원래의 지터가 없는 파형은 식(18)과 동일하며 상이한 지터분포 매개변수( $\sigma = 0.025ns$ ,  $\sigma = 0.05ns$  및  $\sigma = 0.1ns$ )에 해당하는 제안된 파형들이 각각 제공되어 있다. 그림 4(a)에는 UWB



(a) BPSK 시스템



(b) 직교 PPM 시스템

그림 4. 제안된 템플릿 적용 파형  
Fig. 4. Waveform using the proposed templates

BPSK 시스템에 사용되는 템플릿 파형을, 그림 4(b)에는 UWB 직교 PPM 시스템에 사용되는 템플릿 파형을 보인다.

#### IV. 모의실험 및 결과분석

본 논문에서는 제안된 상기의 기반구조를 근거로 시스템 성능을 평가하였으며 컴퓨터 모의실험을 통하여 비교 및 분석하였다. 표 2에는 모의실험에 사용된 매개변수를 나타내었다. Matlab 7.0을 이용하여 모의실험을 하였으며, 제안된 펄스들은 분석과 모의실험에서 단순화를 위해 AWGN 채널을 통하여 전송되는 것으로 간주되며, 다수 사용자와 다중경로는 고려하지 않는다.

표 2의 매개변수를 이용하여 기존의 시스템과 제안된 시스템에서의 BER 대비  $E_b/N_0$  및 RMSJ 특성을 모의실험 하였으며, 그 결과는 각각 그림 5 ~ 그림 8에 나타내었다.

그림 5와 그림 6은 상이한 지터분포에서 기존의 시스템과 제안된 시스템의 BER 대비  $E_b/N_0$  성능을 비교하였다. 첫째, 모든 시나리오들은 본 논문에서 제안한 지터에 강한 템플릿 파형이 원래의 파형보다 우수한 특성을 보임을 알 수 있다. 둘째,  $E_b/N_0$ 가 증가하면, BER은 정적인 값에 도달하게 되며 이는 높은  $E_b/N_0$ 에서는 잡음이 아닌 지터가 BER을 감쇠시키기 때문임을 알 수 있다.

그림 7과 그림 8은 상이한  $E_b/N_0$ (-5dB, 0dB, 5dB)에서 기존 시스템과 제안된 시스템의 BER 대비 RMSJ의 특성을 비교하였다. RMSJ가 증가하는 경우 모든 방식의 BER이 한계에 도달하게 되지만

표 2. 모의실험 매개변수  
Table 2. Simulation parameters

매개변수	값
변조방식	BPSK / 직교 PPM
파형의 지속시간, $T_c$	0.5ns
파형계수, $\tau_m$	0.25ns
두 펄스간 공칭간격, $T_h$	2ns
부호당 펄스개수, $N_s$	10
타이밍 편차, $\delta$	0.5ns
지터 분포, $\sigma$	0.025, 0.05, 0.1
채널환경	AWGN 채널
모의실험 도구	Matlab 7.0

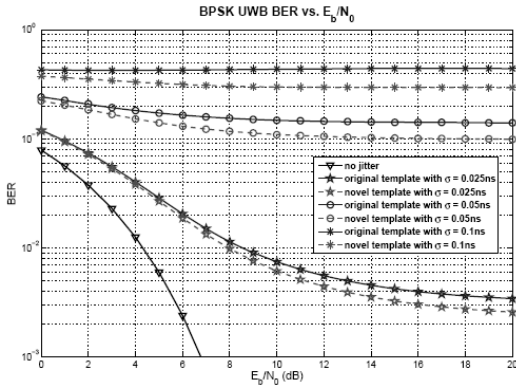


그림 5. BPSK 시스템의 BER 대비  $E_b/N_0$   
 Fig. 5. BER vs.  $E_b/N_0$  of BPSK systems

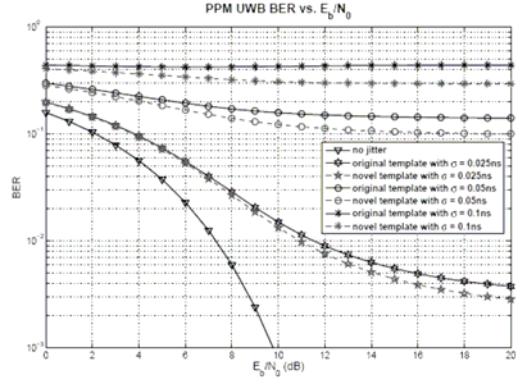


그림 6. PPM 시스템의 BER 대비  $E_b/N_0$   
 Fig. 6. BER vs.  $E_b/N_0$  of PPM systems

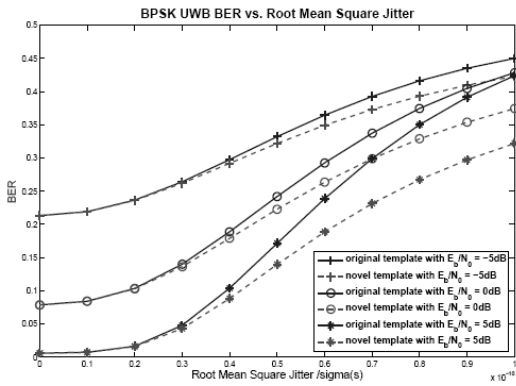


그림 7. BPSK 시스템의 BER 대비 RMSJ  
 Fig. 7. BER vs. RMSJ of BPSK systems

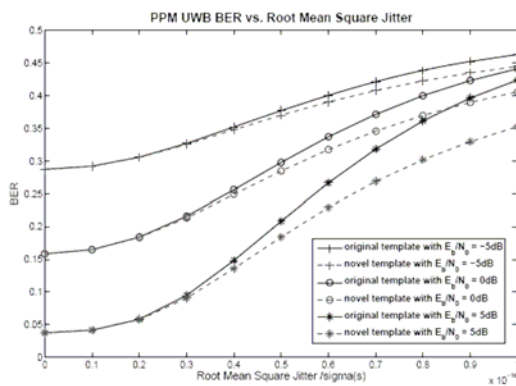


그림 8. PPM 시스템의 BER 대비 RMSJ  
 Fig. 8. BER vs. RMSJ of PPM systems

제안된 방식에서 기존의 파형보다 양호한 성능을 보임을 알 수 있다.

### V. 결론

타이밍 지터는 완전히 제거할 수 없고 UWB 시스템에 부정적인 효과를 초래한다. 따라서 본 논문에서는 임펄스 라디오 기반 UWB 시스템에서의 타이밍 지터의 발생원인과 BER 성능에 대한 영향을 분석하였다.

본 논문에서는 타이밍 지터에 강한 새로운 수신기 템플릿의 설계 방법을 제안하고, 새로운 템플릿을 적용하여 수신된 파형과 상관시킴으로써 상이한 지터 분포와 상이한 UWB 변조방식(BPSK, PPM)에서 모의실험을 통하여 제안된 파형의 성능분석 및 제안된 방식과 기존 방식을 비교하였다. 모의실험 결과, 본 논문에서 제안한 새로운 템플릿을 이용

하여 지터억제 능력을 갖는 펄스 파형이 original template을 이용하는 펄스 파형보다 BER을 감소시킴으로써 우수한 특성을 보임을 확인하였다. 차후 연구과제로는 하이브리드 칩 펄스 정형화를 이용한 다중대역 UWB 시스템 및 협대역 간섭 제거방법에 대하여 연구하고자 한다.

### 참고 문헌

- [1] I. Oppermann, M. Hamalainen, and J. Iinatti, UWB Theory and Applications, John Wiley & Sons Ltd., 2004.
- [2] S. Roy, J. R. Forester, V. S. Somayazulu, and D. G. Leeper, "Ultrawideband radio design: The promise of high-speed, short-range wireless connectivity," Proc. IEEE, Vol. 92, pp.295-311, 2004.

