

UWB 시스템에서 변형된 chirp 파형을 이용한 성능 분석에 관한 연구

A Study on Analysis of the performance using Modified Chirp Waveform in UWB System

조 원 근

김 철 성

조 형 래

(한국해양대학교, 석사과정) (한국해양대학교, 박사과정) (한국해양대학교, 교수)

Key Words : UWB, Chirp waveform

목 차

- I. 서론
- II. Chirp Based UWB System
- III. Simulation
- IV. 결론

I. 서론

UWB communication system에서 신호를 전송할 때 송신 펄스와 수신펄스의 형태가 변하는 과정을 수식으로 확인하고 Gaussian pulse, 1st differentiated Gaussian pulse, 2nd differentiated Gaussian pulse, monocycle sine pulse, triangular pulse, bi-triangular pulse 등 6 가지 형태의 펄스를 전송할 경우 수신되는 펄스의 모양을 살펴보았다. 또한, IEEE 802.15.TG3a에서 제시하고 있는 multi-path channel model을 적용하여 변조방식과 펄스의 형태에 따른 error probability 와 PSD특성을 알아보았다. Error probability의 경우 AWGN만을 고려하면 overlapped PPM을 제외한 다른 변조방식을 이용할 경우 수신펄스의 모양과는 상관없으나 multi-path fading을 고려하게 되면 모든 변조방식에서 수신 펄스에 따라 error probability 가 달라진다. 그러나 각 수신펄스의 autocorrelation값의 차이가 크지 않고 channel coefficient, β_i 의 값이 매우 작아 펄스에 따른 error probability의 차이는 매우 작아 송수신펄스의 형태에 따라 성능이 크게 변한다고 할 수 없다.

송수신펄스에 따라 PSD가 달라지므로 기존 통신 시스템이 사용하고 있는 주파수 영역에서 상대적으로 큰 PSD를 가지는 펄스를 이용하여 통신이 이루어지게 되면 other system에 의한 간섭이 커지게 되고, 이는 시스템 성능에 영향을 미치게 된다. 또한 overlapped PPM이나 on-off keying과 같은 변조방식을 이용하여 신호를 전송하면 전송신호의 PSD에 discrete spike가 생기므로 전송신호의 emission power를 낮춰주어야 하므로 bi-polar modulation이나 bi-orthogonal modulation보다 불리하다.

따라서 UWB system의 성능을 향상시키기 위해서는 bi-polar modulation이나 bi-orthogonal modulation이 바람직하다. Bi-polar modulation은 orthogonal modulation 보다 BER performance는 우수하나 전송속도가 떨어지므로 UWB

system의 사용목적에 따라 적절한 변조방식을 선택하는 것이 좋다.

그동안 UWB 시스템에서 변조 방식은 PPM, OOK, Bi-polar, Bi-Orthogonal 등 다양한 방식들이 사용되어왔다. 변조 방식에 따른 BER 특성은 bi-polar modulation의 성능이 가장 좋은 것을 확인해 볼 수 있는데, UWB pulse train을 주파수 영역에서 봤을 때, PSD를 확인할 수 있다. 이때, spike가 생기지 않아야 기존 시스템에 간섭을 줄이면서 UWB 신호의 전력을 크게 할 수 있다.

약 10dB 가량의 크기를 가지는 spike가 존재 할 경우 기존의 시스템에 간섭을 줄 수 있으므로, 방사전력을 낮추어야 한다. 펄스 정형을 어떻게 하느냐에 따라 spike를 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

본 논문에서는 타 시스템에 간섭을 적게 줄 수 있는 펄스의 정형에 대해 고려하고자 한다.

II. Chirp Based UWB System

UWB 파형의 또다른 형태는 많은 주파수를 포함하는 pulse신호 또는 압축된 chirp파형이다. 큰 대역폭은 짧은 시간 주기 대신에 비선형변조 chirp 신호와 단계 주파수 파형과 같은 방법으로 전송 신호를 변조함으로써 달성할 수 있다. carrier-free impulse 신호와 비교했을 때 압축된 파형은 UWB가 pulse 폭을 감소하지 않아도 달성가능한 장점이 있다.

시스템에서 전송기와 matched 필터는 저가의 수동형 아날로그 SAW 장비를 이용해서 충족시킬 수 있다. Chirp UWB는 IR UWB 보다 낮은 시스템 복잡도와 낮은 시간 샘플링률을 가지고 사용이 가능하다. 따라서 chirp UWB는 데이터 전송 및 ranging 응용에 사용되어 질 것이다.

chirp은 시간영역에서 주파수 증가(up-chirp) 또는 감소(down-chirp)되는 신호를 말한다. Sonar와 Radar에서 공통적으로 사용되어 왔던 것으로, 대역확산통신과 같은 다른 응용

에도 사용된다.

UWB가 pulse를 근거로 한 통신방식과 동의어로서 광범위하게 인식되고 있는데, 이는 연속된 파를 발생하고 검파할 수 있으나, 지금 가능한 가장 빠른 디지털신호처리기 보다 빠른 신호처리가 필요하다. 결과적으로 chirp 파형 UWB 기술은 pulse에 근거한 접근방법으로 무시되어 왔다. 그렇지만, CW-UWB 신호를 발생시키고 검파를 빠르게 함으로써 오래된 기술을 재정의 하는 간단해질 수 있다. SAW 상관기는 아날로그 소자로 GHz 주파수에서 신호 처리가 가능하다. SAW 상관기는 UWB 신호 검파와 바로 기저대역으로의 복조할 수 있다. BPSK로 부호화된 chirp 파형의 생성과 검파는 UWB 통신에 대한 FCC 주파수 요구에 부합한다.

pulse 구조는 다중경로 diversity 개념으로 다중경로 요소를 충분히 해석 가능한 단순한 전송기로서 동작할 수 있다.

chirp 파형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$c(t) = a(t)\cos[\theta(t)] \quad (1)$$

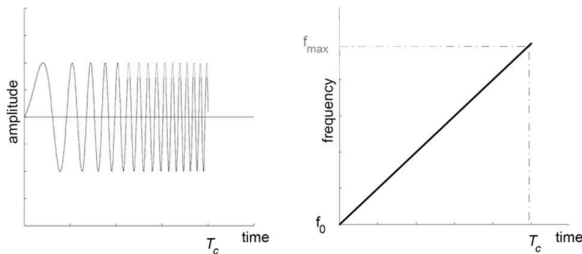
$\theta(t)$ 는 위상이고 T_s 의 시간간격의 바깥쪽은 0인 $a(t)$ 는 chirp 신호의 envelope이다. 순시 주파수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta(t)}{dt}$$

그림 1에서 시간영역과 주파수영역에서의 선형 chirp 신호를 보였다. chirp 시스템에서 chirp율은 중요한 요소로서 다음과 같이 정의된다.

$$\mu(t) = \frac{df_c(t)}{dt} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} \quad (2)$$

순시주파수의 변화를 나타내며, $\mu(t) > 0$ 인 chirp 파형을 up-chirp, $\mu(t) < 0$ 을 down-chirp 이라 부른다.



<그림 1> 시간영역과 주파수영역에서의 chirp 신호

1. Linear Chirp waveform

일정한 비율에 따라 pulse의 길이를 통해 주파수가 증가하는 선형 chirp 구조를 사용할 수 있다. 수신기에서의 펄스는 시간주파수 특성을 가지는 필터를 통과한 송신기의 신호가

반전된 형태로 나타난다. 수신기 필터는 주파수 함수에 따라 선형적으로 변화하는 시간 지연을 가지는 다른 주파수 요소에 따라 다른 시간 지연을 가지고 있다.

선형 chirp 시스템에 대해서, $\mu(t)$ 는 상수이며, $f_c(t)$ 는 t 의 선형 함수 $\theta(t)$ 는 2차 함수이다.

$$f_c(t) = \mu t \quad (3)$$

선형 chirp 파형을 $t=0$ 에 중심을 둔다고 가정하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$c(t) = a(t)\cos(2\pi f_0 t + \pi \mu t^2 + \phi_0) \quad (4)$$

f_0 는 중심주파수, $|t| > \frac{T_s}{2}$ 에서 $a(t) = 0$ 이다.

대역폭 B 는 순시 주파수의 범위에 따라 정의되어 진다.

$$B = |\mu| \cdot T_s \quad (5)$$

수신기에서 chirp파를 복조하기 위해서 matched 필터를 사용하면 impulse response $h_m(t)$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$h_m(t) = c^*(-t) \quad (6)$$

chirp 신호 $a(t)$ 의 envelope는 $|t| \leq \frac{T_s}{2}$ 일 때, 상수로서 나타나기도 한다. 손실 없을 때, $a(t) = 1$ 로서 정의할 수 있다. matched 필터의 출력파형 $g(t)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$g(t) = h_m(t) * c(t) = T \frac{\sin\left[\pi B t \left(1 - \frac{|t|}{T_s}\right)\right]}{\pi B t} \cos(2\pi f_0 t) \quad (7)$$

for $|t| \leq T_s$

2. Nonlinear Chirp Waveform

matched 필터가 사용된 경우에 선형 주파수 변조 pulse 압축의 단점은 압축된 신호에서 높은 peak 시간동안의 sidelobe의 결과이다. sidelobe는 압축된 pulse의 절반의 폭이고 적다. 약한 목표물에 강한 간섭으로 동작하는 원인이 될 수도 있다.

시간 sidelobe를 줄이기 위해서는 비선형 주파수 변조(NLFM : Non-Linear Frequency Modulated)된 파형을 이용하는 방법이 있다. 즉, 선형 주파수 범위 대신에 비선형을 사용하는 것이다.

이 파형은 NBI 억압 능력을 얻을 수 있으나, 선형주파수 변조(LFM : Linear Frequency Modulated)와 비유하면 NLFM은 Doppler에 보다 민감하다는 단점을 가진다.

NCSA (Nonlinear Chirp Scaling Algorithm)은 along track과 cross track 동작 오류를 수정하는데 제안되었다. 전통적인 시스템에서 비선형 chirp파형의 조합은 다중접속이 가능하다. 비대칭 채널에서 사용자 신호사이의 교차 상관은 약화되고, 다중접속 간섭의 원인이 된다.

1) 변형된 Nonlinear Chirp waveform

sinusoidal chirp 파형과 동일한 방법으로 순시 주파수는 다음과 같고

$$f_c(t) = f_i + a \tanh(bt + c) \quad (8)$$

변형된 파형은 다음과 같이 주어진다.

$$w(t) = \cos\left(2\pi f_i t + \frac{2\pi a}{b} \log[\cosh(bt + c)]\right), \quad (9)$$

$$\text{if } f_i \leq f_m \begin{cases} a = \frac{1}{\tanh(c)}(f_{high} - f_i) \\ b = \frac{1}{T_s} \left[\operatorname{arctanh}\left(\frac{f_i - f_{low}}{f_{high} - f_i} \tanh(c)\right) + c \right] \end{cases}$$

$$\text{if } f_i \geq f_m \begin{cases} a = \frac{1}{\tanh(c)}(f_{low} - f_i) \\ b = \frac{1}{T_s} \left[\operatorname{arctanh}\left(\frac{f_{high} - f_i}{f_i - f_{low}} \tanh(c)\right) + c \right] \end{cases}$$

chirp rate는 다음과 같이 구해진다.

$$\mu(t) = \frac{df_c(t)}{dt} = ab \operatorname{sech}^2(bt + c) \quad (10)$$

2) Nonlinear Chirp Based UWB system model

UWB DS-PAM system을 고려할 때, 전송되는 DS-PAM 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$m(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} d(i)c(j)p(t-iT_b-jT_s) \quad (11)$$

N_s : 한번 전송될 때의 frame의 개수

$c(j)$: N_s 의 길이를 가지는 j 번째 DS code

$d(t)$: i 번째 전송되는 data bit

$p(t)$: 전송되는 파형

T_s : 하나의 파형에서의 시간 간격

하나의 단일 tone NBI를 가지고, 다중사용자 UWB 간섭이 없는 AWGN 채널을 가정한다. 수신된 신호는

$$m_{rec}(t) = \beta m(t) + i(t) + n(t) \quad (12)$$

$$= \beta \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} d(i)c(j)p(t-iT_b-jT_s) + i(t) + n(t)$$

여기서 β 는 경로 손실 파라미터이다.

수신기의 matched 필터에서 발생하는 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$v(t) = \sum_{j=0}^{N_s-1} c(j)p(t-jT_s) \quad (13)$$

여기서, DS code $c(j)$ 와 pulse 형태 $p(t)$ 를 수신기가 알고 있다고 가정하면, 동기가 되었을 때, symbol 간격 상의 상관 출력은 다음과 같이 주어진다.

$$m_{out}(t) = \int_{iT_b}^{iT_b+N_sT_s} m_{rec}(t)v(t)dt \quad (14)$$

$$= \int_0^{N_sT_s} \left(\beta \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} d(i)c(j)p(t-jT_s) + i(t) + n(t) \right) \left(\sum_{j=0}^{N_s-1} c(j)p(t-jT_s) \right) dt = d(i)\beta N_s^2 m_p(\delta) + \tilde{i} + \tilde{n}$$

$d(i)\beta N_s^2 m_p(\delta)$, \tilde{i} , \tilde{n} 은 각각 유용한 신호, 간섭, matched filter로 부터의 잡음 출력이다. 시스템의 BER은 다음과 같이 주어진다.

$$BER = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0 + I}}\right) \quad (15)$$

III Simulation

시뮬레이션 파라미터는 <표 1>에 보였다. 또한 모든 시뮬레이션에서 단일 tone 간섭과 다중사용자 간섭이 없는 채널을 가정하였다.

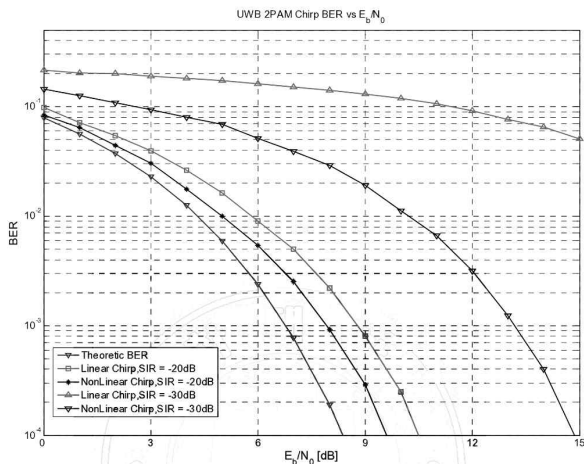
<그림 2>에 일반적인 선형 chirp 방식과 제안한 비선형 chirp 방식의 시스템 성능(BER)을 다른 SIR(-20dB, -30dB)

과 $\frac{E_b}{N_0}$ (0dB, 5dB)를 이용하여 비교해 놓았다.

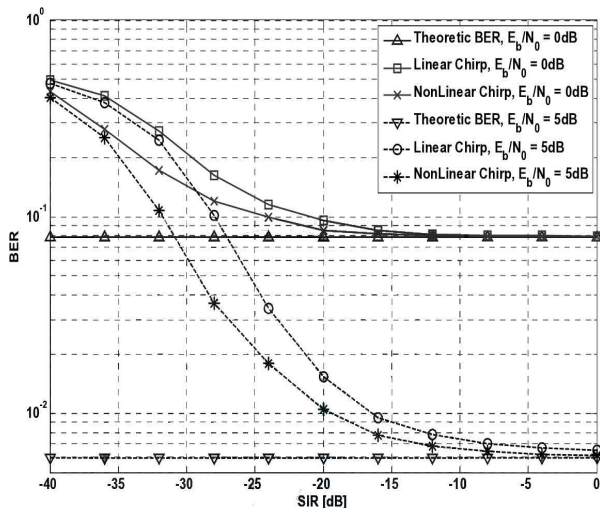
간섭신호의 전력이 높은 레벨로 지속될 때, 양쪽 시스템은 50%정도 위쪽으로 올라갔고, 간섭신호의 전력이 낮은 레벨 일때는 양쪽 시스템 모두 이상적인 BER 값에 가까워졌다. 그림에서 보이듯이 제안된 비선형 chirp 파형을 이용한 시스템에서 더 낮은 BER을 갖추었다.

<표 1> chirp UWB 시스템 시뮬레이션 파라미터

측정수	100,000
chirp 파형 하나의 길이 (T_s)	10ns
chirp 파형 수 / bit (N_s)	8
가용 대역폭	3.1 ~ 10.6GHz
NBI의 중심주파수 (f_i)	5.3 GHz
신호대 간섭 비(SIR)	-20, -10dB
채널 모델	AWGN



<그림 2> $\frac{E_b}{N_0} = 0dB, 5dB$ 선형 chirp과 비선형 chirp의 성능



<그림 3> $\frac{E_b}{N_0} = 0dB, 5dB$ 선형 chirp과 비선형 chirp의 성능

<그림 3>에 서로 다른 $\frac{E_b}{N_0}$ 를 가진 결과를 비교하였다. 높은 SIR은 BER을 감소시킴을 알 수 있다.

IV. 결론

최근, UWB는 FCC가 주파수 제한을 승인함에 따라 흥미로운 연구주제가 되었다. UWB는 기존에 존재하는 협대역 통신에 영향을 받는 경향이 있다. 이러한 간섭에 영향을 주지 않고, 또한 간섭으로부터 피할 수 있는 방법은 두 가지가 있다. 첫 번째로는 UWB 시스템을 향상시키는 방법이고, 또 다른 방법으로는 CR 이라고하는 개념을 결합함으로써, 이 간섭을 피하는 것이다.

chirp 파형은 변조방법의 하나로써 IR UWB 시스템과 비교했을 때, chirp waveform은 낮은 하드웨어 비용과 낮은 복잡성이라고 하는 장점을 가진다. 기존의 chirp 파형은 시간에 대해서 상수, 즉 선형성을 가지고 있었다. 이로 인해 간섭에 대해 능동적으로 대처 하지 못하는 경우가 발생할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 NBI 억압 성능, 즉 간섭으로부터 피할 수 있는 변형된 chirp 파형을 제안하였다. NBI가 존재하는 주파수에서 chirp rate를 최소화함으로써, 수신기 matched filter의 출력에서 chirp 신호 요소는 크게 중요하지 않게 된다.

<그림 2>에 일반적인 선형 chirp 방식과 제안한 비선형 chirp 방식의 시스템 성능(BER)을 시뮬레이션 해 보았는데, 간섭신호의 전력이 높은 레벨로 지속될 때, 양쪽 시스템은 50%정도 위쪽으로 올라갔고, 간섭신호의 전력이 낮은 레벨일때는 양쪽 시스템 모두 이상적인 BER 값에 가까워졌다. 그림에서 보이듯이 제안된 비선형 chirp 파형을 이용한 시스템에서 더 낮은 BER을 갖추었다.

성능의 해석과 시뮬레이션의 결과 제안된 chirp 파형이 기존의 선형 구조에 비해 더 나은 성능이 있음을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- Ramirez-Mireles, F., "Signal Design for Ultra Wideband PPM Communications", MILCOM, v.2, 2002, pp.1085-1088
- Di Benedetto & Giancola, "Understanding Ultra Wide Band Radio Fundamentals", Prentice Hall, 2004.
- J. G. Proakis, "Digital Communications", McGraw Hill, 4th Edition, 2001.
- David M. Pozar, "Waveform Optimizations for Ultrawideband Radio Systems", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 51, No. 9, Sep., 2003
- Chung, W. C. ; Ha, D. S., "On the Performance of Bi-Phase Modulated UWB", IEEE VTC, v.57 no.3, 2003, pp.1654-1658
- Kultharee Teplee, Pichaya Supanakoon, Sathaporn Promwong and Jun-ichi Takada, "BER Performance of UWB Communications with Matched Filter and Correlation Receivers", ECTI-CON 2007, pp.872-875.

7. B. Parr, B. Cho, K. Wallace, and Z. Ding, " Novel Ultra-Wideband Pulse Design Algorithm", IEEE Communication Letters, Vol.7, No.5, May,2003.
8. Chen, X. ; Kiaei, S., "monocycle shapes for Ultra wideband system", IEEE International Symposium on Circuits and Systems ,2002 v.1 ,2002 ,pp.I-597-600