

UWB통신 시스템을 위한 새로운 펄스생성 방법 및 수신 알고리즘

김 건 수, 윤 상 훈, 정 정 화, *이 경 국
한양대학교 전자통신정보공학과, *SELTEK
전화 : 02-2290-0558 / 핸드폰 : 011-9054-4771

A new algorithm of pulse generation and detection for UWB communication system

Gun-Soo Kim, Sang-Hun Yoon, Jong-Wha Chong, *Kyung-Kuk Lee
Dept. of Electronic Engineering, Hanyang University, *SELTEK
E-mail : ailless@ihanyang.ac.kr

Abstract

This paper introduces a new algorithm of pulse generation and detection for UWB communication system. The existing UWB systems using Gaussian pulse have some difficulties to cope with bandwidth limitation and frequency transition. Moreover, the system sensitivity to channel noise has made the processes of acquisition and tracking difficult.

In this paper, we introduce a new pulse generation method which is able to control the bandwidth and center frequency applying modulation method, thus could improve the detection performance of receiving algorithm. Also, we made a system to search maximum peak by applying the proposed algorithm and consequently could guarantee the correct detection.

By the result of simulation, when accumulate 10 times at every 2dB band shifting from 0 to 18dB on AWGN channel, we could confirm the proposed method has 97.4% PDR(Pulse Detection Rate) and 1.868% FAR(False Alarm Rate) performance at 4dB SNR and 15% transmission power threshold level.

I. Introduction

UWB 통신기술은 매우 낮은 전력을 사용하여 초 광대역의 주파수 대역으로 데이터를 전송할 수 있는 차세대 무선 전송기술이다.

현재 무선통신 분야는 한정된 주파수 자원에 비해 주파수에 대한 수요가 급증하고 추세에 있어, 앞으로 심각한 주파수자원의 부족을 겪을 것으로 예상된다. 이러한 문제를 해결하는 한 방법으로 기존의 통신 시스템과 주파수 스펙트럼을 공유하여 사용할 수 있는 UWB가 관심을 모으고 있다.

그러나 UWB가 통신시스템으로 사용되기 위해서 먼저 해결되어야 하는 여러 문제점들이 있다. 그러한 것들 중

Pulse Design과 송신 Pulse를 수신하는 것은 UWB가 통신시스템으로서의 기능을 수행할 수 있는지의 여부를 결정하는 근본적인 문제이다.

UWB 통신을 위해 현재 제안되어진 Pulse들이 있으나, 이것들이 가지는 주파수 대역은 기존의 통신 시스템들이 사용하고 있는 주파수 대역에 간섭을 주어, 이러한 펄스들을 이용한 UWB 통신은 불가능하다[1]. 그래서 새로운 Pulse의 모델을 만들어야만 하는 문제가 발생하였다. 그리고 기존의 Pulse신호의 수신은 송신부에서 보낸 Pulse와 같은 모양의 Pulse를 Correlation하여 나오는 결과에 따라 수신 여부를 판단하는 방법이 사용되어 왔다[2]. 그러나 이러한 방식은 수신에 있어 잡음환경이 나쁜 채널이나 채널의 환경이 급작스럽게 변화하는 경우 수신 성능이 매우 악화된다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 본 논문에서는 채널의 영향을 고려하면서 제안된 Pulse Design 방법이 적용되는 새로운 수신 알고리즘 및 구조를 제안하려 한다.

II. Pulse Design

현재 UWB 통신에서 이슈가 되고 있는 문제 중 하나는 기존의 통신시스템들에 영향을 미치지 않는 Pulse Design 방법을 개발하는 것이다. 이 부분에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 새로운 Pulse의 생성 기법을 제시하려 한다.

먼저 Pulse의 특성을 살펴보면 시간영역에서 좁은 Pulse는 주파수 영역에서 넓은 대역을 차지한다. 반대로 시간영역이 넓은 Pulse는 좁은 주파수 대역을 점유한다. 이러한 Pulse의 특성을 고려할 때, Gaussian Pulse는 표준편차(σ)를 변화시켜 원하는 대역과 시간간격을 갖는 Pulse를 생성할 수가 있다. 이러한 Gaussian Pulse의 수식은 (1)과 같이 표현된다.

$$g(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t}{\sigma}\right)^2} \text{-----(1)}$$

위의 식에서 σ 는 표준편차를 의미한다. σ 의 변화에 따라 Pulse의 시간과 주파수 대역의 형태가 넓어지거나 좁아지게 된다. 그렇지만 Gaussian Pulse는 UWB 통신 시스템에 사용하기에는 몇 가지의 문제점이 있다. 그러한 것들 중 가장 심각한 것은 Gaussian Pulse가 나타나는 주파수 대역이 기존의 통신 시스템들에 간섭을 준다는 것이다. 또한, Gaussian 펄스가 갖는 DC성분으로 인해 안테나에서의 정확한 Radiation이 불가능하다.

이러한 문제를 해결하기 위해 기존에 제시되었던 펄스의 형태는 Mono pulse wavelet과 Monocycle, 그리고 Mono pulse wavelet을 약간 변형시킨 형태인 Gaussian doublet등이 있다[3][4][5]. 그러나 이러한 펄스들이 갖는 대역분포는 GPS와 같이 기존에 서비스를 실시하고 있는 다른 통신시스템들에 Interference를 주기 때문에 UWB 통신시스템에서 사용에는 부적합하다[6].

이러한 기존의 펄스들이 갖는 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 Gaussian Pulse를 Modulation하여 주파수를 옮기는 방법을 도입하려 한다. 다시 말하면, Gaussian Pulse의 주파수 이동방법을 사용하려 한다. 주파수가 이동된 신호의 시간영역에서의 표현을 $s(t)$ 라 한다면 이것의 수식은 다음과 같다.

$$s(t) = g(t)e^{j(\omega_0 t + \phi)} = g(t)\{A \cos \omega_0 t + jB \sin \omega_0 t\} \quad (2)$$

$$\text{where } \phi = \arctan\left(\frac{B}{A}\right) \quad (2.a)$$

위의 수식이 만들어내는 파형은 그림 1.과 같다.

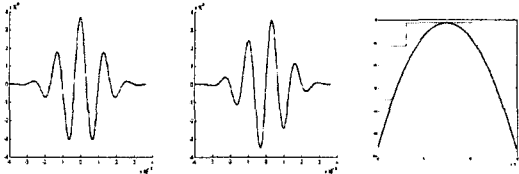


그림 1. 주파수 변환된 펄스의 형태와 대역분포

그림 1.에서 먼저 시간영역의 Pulse 형태를 해석하면, 만들어진 Waveform이 DC성분을 갖지 않음을 알 수 있다. 그리고 주파수 영역에서 보면 ω_0 를 중심으로 넓게 퍼져 있음을 알 수 있다. 이처럼 Frequency Shifting 방법을 사용할 수 있다. 이러한 ϕ 를 조절하면 원하는 형태의 원하는 형태의 Pulse를 만들 수 있다.

III. Channel Modeling

무선 통신시스템은 시스템의 안정성을 위해 Channel 모델링을 하는데, 일반적으로 Random Noise 환경인 AWGN Channel이나 Fading Channel등이 있다. UWB통신 시스템에서는 일반적으로 임펄스 응답을 통하여 채널 특성을 구하는데 이러한 모델들은 일반적으로 S-V 모델이 사용되고 있다[7].

본 논문에서는 잡음 환경에서 수신 성능의 측정을 위해 AWGN에 대한 고려를 하겠다.

IV. Acquisition

IV.1 Detection Algorithm

송신기에서 전송되는 신호의 수식적인 형태는 (3)과 같

다.

$$s(t) = g(t)e^{j\omega_0 t} \quad (3)$$

이러한 신호가 이상적인 채널을 통과한다고 가정한다면 수신 신호의 형태는 (4)와 같다.

$$r(t) = \alpha_0 g(t - \tau_0) e^{j\omega_0(t - \tau_0)} \quad (4)$$

이러한 신호를 수신하는 수신기 구조는 그림 2.와 같다.

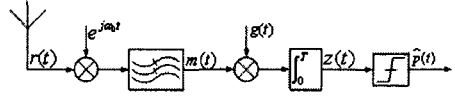


그림 2. 기본적인 펄스 수신기의 구조

위의 그림 2.에서 보면 수신기는 Mixer와 필터를 통해 고주파 성분을 제거하게 된다. 이렇게 하여 얻게 되는 신호의 형태는 (5)와 같다.

$$m(t) = \alpha_0 g(t - \tau_0) \quad (5)$$

고주파 성분을 제거한 신호 $m(t)$ 는 수식에서처럼 Gaussian Pulse에 진폭변화와 지연에 의한 타이밍 변화 값이 존재하는 형태로 나타나게 된다. 이를 다시 가우시안 펄스($g(t)$)로 Correlation을 한 결과 $z(t)$ 는 (6)과 같이 표현이 된다.

$$z(t) = \alpha_0 \int_0^T g(t - \tau_0) g(t) dt \quad (6)$$

$z(t)$ 를 분석하면 가우시안 펄스의 Auto-correlation 형태임을 알 수 있다. 이것의 결과를 이용하여 Decision 부분에서 신호의 유무를 검출하게 된다.

IV.2 Complex Envelop

IV.1에서 제시한 수신모델은 채널의 상태가 Ideal하다는 가정에서 이론적인 알고리즘을 고려한 것이다. 또한, 여기서 고려된 채널의 영향은 채널을 지나는 시간(τ_0)과 채널을 지나면서 약화되는 신호의 진폭(α_0)만을 고려하였다. 그렇지만 실제 통신시스템으로 구현을 하기 위해서는 수신을 위해 조금은 변형된 형태로 송신기 구조를 만들고, 이에 따라 수신기의 구조도 이론적인 내용과는 다른 형태를 가지게 된다.

먼저 송신부에서 만들어지는 펄스의 형태를 수식으로 표현하면 앞서 보았듯이 (2)와 같다.

$$s(t) = g(t)e^{j(\omega_0 t + \phi)} \quad (2)$$

위의 수식적인 표현을 보면 지수함수 부분에 허수부가 존재함을 알 수 있다. 하지만 송신신호가 무선채널을 통과할 때는 실수 값만이 존재한다. 그렇기 때문에 $s(t)$ 를 실수 부분만을 취하는 복소표시법으로 다시 정리하면 그 형태는 (7),(8)과 같다[8].

$$s(t) = g(t)RE |k(t)e^{j\theta(t)}| \quad (7)$$

$$k(t) : \text{Complex Envelop} \quad (7)$$

$$k(t) = x(t) + jy(t) = |k(t)|e^{j\theta(t)} = R(t)e^{j\theta(t)} \quad (8)$$

$$\text{Complex Envelop의 범위는 다음과 같다}$$

$$R(t) = |k(t)| = \sqrt{x^2(t) + y^2(t)} \quad (9)$$

또한, 이것의 Phase는 (10)과 같다.

$$\theta(t) = \arctan \frac{y(t)}{x(t)} \text{-----(10)}$$

수식 $s(t)$ 에서 $k(t)$ 를 $e^{j\theta}$ 라 한다면 $s(t)$ 는 (11)과 같이 다시 정리될 수 있다.

$$s(t) = g(t)RE\{A + jB\}(\cos \omega_0 t + j \sin \omega_0 t) \text{-----(11)}$$

$$= g(t)(A \cos \omega_0 t - B \sin \omega_0 t) \text{-----(11.a)}$$

신호의 모든 성분을 실수형태로 만들기 위해, 위의 형태로 송신기는 만들어진다. 위의 식에서 $s(t)$ 는 I와 Q 채널로 나뉘어 변조된다[9].

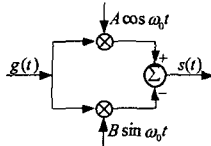


그림 3. I, Q 채널을 적용한 UWB 펄스 생성기

IV.3 Signal Detection Algorithm with Mixing in AWGN channel

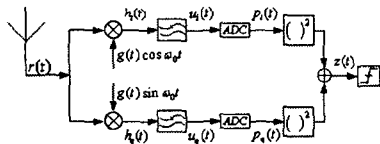


그림 4. UWB 수신기 구조

송신기의 펄스 발생기에 의해 만들어지는 펄스가 지나 는 채널환경을 AWGN으로 가정하면 수신신호 $r(t)$ 는 (12)와 같은 형태를 갖는다.

$$r(t) = g(t - \tau_0)\{A \cos \omega_0(t - \tau_0) - B \sin \omega_0(t - \tau_0)\} + n(t) \text{-----(12)}$$

이러한 일련의 과정은 그림 4.과 같은 구조로 구현이 된다. 수신 신호는 그림 4.에서 보이는 바와 같이 두 부분으로 나뉘어 각기 입력 신호에 대하여 송신기에서 보내어 진 신호의 실수부와 허수부에 대한 수신을 수행하게 된다. 먼저 실수부에 대한 수신에 대하여 알아보면 (13)과 같다.

$$h_1(t) = [g(t - \tau_0)\{A \cos \omega_0(t - \tau_0) - B \sin \omega_0(t - \tau_0)\} + n(t)] \cos \omega_0 t \text{-----(13)}$$

위의 수신 신호를 저역통과 필터링을 수행한 결과는 (14) 같다.

$$u_1(t) = \frac{A}{2} \cos \omega_0 \tau_0 - \frac{B}{2} \sin \omega_0 \tau_0 + \hat{n}_1(t) \text{-----(14)}$$

그리고 허수부에 대한 수신에 대해서 고려하면

$$h_2(t) = [g(t - \tau_0)\{A \cos \omega_0(t - \tau_0) - B \sin \omega_0(t - \tau_0)\} + n(t)] \sin \omega_0 t \text{-----(15)}$$

위의 신호를 저역통과 필터링한 결과는 다음과 같다.

$$u_2(t) = -\frac{A}{2} \sin \omega_0 \tau_0 - \frac{B}{2} \cos \omega_0 \tau_0 + \hat{n}_2(t) \text{-----(16)}$$

다시 $u_1(t)$, $u_2(t)$ 는 ADC에서 각각 양자화 되고, 이것의 결과를 제공한 다음 더한 $z(t)$ 를 Decision 부분으로 보내게 된다. Decision 부분에서는 위의 식에서 구하여진 $z(t)$ 의

크기를 측정하여 신호의 유무를 판별하게 된다.

IV.4 Signal Accumulation

신호수신 알고리즘에 의해 판별되는 Acquisition은 잡음의 크기가 클 경우 잘못된 신호의 수신을 가지고 신호가 있는 것으로 판단 할 수 있다. 이러한 펄스수신 오류는 위의 (식.)에서 $z(t)$ 를 여러 번 누적시킴으로써 극복될 수 있다.

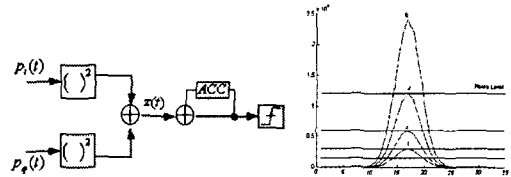


그림 5. Accumulation 구조와 시뮬레이션 결과

V. Tracking

Acquisition부분에서 signal을 찾게 되면, 그 다음으로 Tracking알고리즘이 적용되어 수신된 펄스의 최고 진폭점에서 양자화를 하는 과정이 수행된다. 제안된 구조는 저역통과 필터를 통해 펄스의 가우시안 포락선을 검출하고, ADC는 가우시안 펄스 포락선중에서 어느 한점을 양자화 하여 그 결과를 Decision부분에 보내어 신호의 유무를 판단하게 되는 것이다.

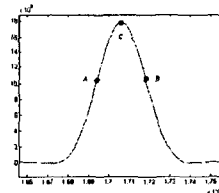


그림 6. Mixer를 통해 검출한 가우시안 펄스

Mixer에 의해 검출된 펄스를 양자화 한다고 가정할 때 그림 6.처럼 양자화 위치가 A나 B가 되는 경우 ADC는 정확한 위치에서 양자화 하지 못해 데이터를 주고받을 때 수신 데이터에 오류를 일으키는 원인으로 작용한다. 이러한 오류를 방지하기 위해 Tracking의 과정이 필요하다. 아래의 그림 7.은 본 논문에서 제안하는 새로운 방식의 UWB통신을 위해 제안되는Tracking 구조이다.

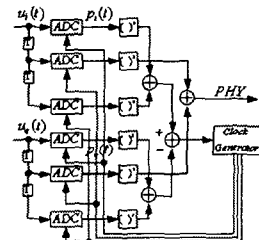


그림 7. 제안하는 Tracking 구조

위의 그림 7.에서 상단과 하단의 ADC는 가운데의 ADC가 포락선 수신된 가우시안 펄스의 정확한 최고점에서 양자화를 하도록 클럭생성기의 타이밍을 조절하기 위해 사

용되었다. 위의 구조를 사용하면 어떠한 포락선 구조에서도 쉽게 최고점에서 양자화를 수행할 수 있다. 그렇지만 그림 7.의 구조만으로는 실제 통신 시스템에서 포락선의 정확한 최고점을 찾는 것은 매우 어렵다. 이는 신호가 채널을 지나면서 여러 잡음원에 의한 왜곡을 일으키기 때문이다. 이러한 문제는 앞서 Acquisition부분에서 하였던 것처럼 양자화 된 신호 $P_r(t)$ 과 $P_o(t)$ 를 제공하기 전 각각 누적시킴으로서 해결될 수 있다.

VI. Simulation

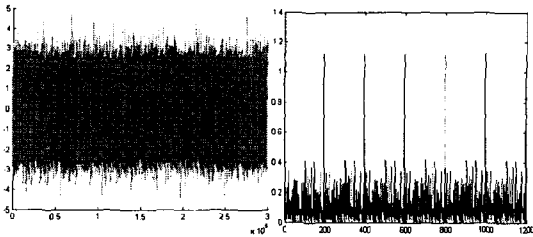


그림 8. 0dB AWGN 채널에 보내어지는 연속펄스와 이것을 수신하여 5개씩 누적시킨 결과.

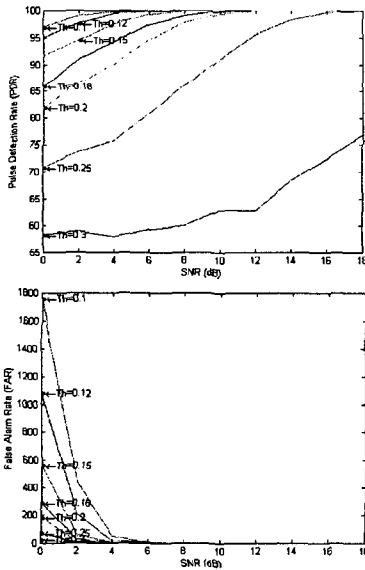


그림 9. 제안된 알고리즘을 적용한 시스템의 송수신 결과 PDR(Pulse Detection Rate), FAR(False Alarm Rate)

그림 8.은 AWGN채널에서 보내어지는 펄스와 이것을 수신하여 3개씩 누적시켰을 때의 결과를 나타낸 그림이다. 이것은 Detection 부분에서 제시된 신호검출 알고리즘과 Acquisition 부분에서 제시된 누적 알고리즘이 신호의 정확한 수신위치를 찾는데 유효함을 증명하고 있다. 그리고 그림 9.는 수신을 위해 Acquisition알고리즘과 Tracking 알고리즘을 모두 적용한 시스템에서 Decision의 Threshold 크기를 조절하면서, SNR을 0부터 18dB까지 2dB씩 변화 시켜가며 각 SNR레벨 마다 5000개씩의 펄스를 송수신한 시뮬레이션 결과를 보이고 있다.

VII. Conclusion

UWB 통신시스템의 구현에 있어 펄스의 생성과 펄스의 인식, 그리고 펄스의 정확한 수신 타이밍을 알아내는 것은 UWB가 통신시스템으로서 사용될 수 있는지 여부를 결정하는 근본적인 문제이다.

본 논문은 펄스 신호를 인식하기 위한 시스템 알고리즘을 제시하였고, 이러한 시스템이 보다 좋은 성능을 갖게 만드는 알고리즘을 제안하였고, 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘이 펄스를 인식하는데 유효함을 보였다. 또한, 보다 정확한 신호 수신 타이밍을 위한 알고리즘을 위해 Tracking알고리즘을 제시하였고, 이를 이용한 시뮬레이션 결과 SNR 4dB와 Threshold Level $0.15 * \text{Transmission Power}$ 에서 FAR은 1.868%가 되고, PDR은 거의 97.4%로 만들 수 있었다.

아울러 본 논문이 제시한 알고리즘은 One Band 알고리즘에만 적용되는 것이 아닌 멀티밴드를 사용하는 알고리즘들에도 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

Reference

- [1] Matt Welborn; Kai Siwiak, Xtreme Spectrum; Time Domain, "Ultra-Wideband Tutorial", Presentation to IEEE 802.11 March 2002.
- [2] Cliff Prettie; David Cheung; Leslie Rusch; Minnie Ho, Intel Corp, "Spatial Correlation of UWB Signal in a Home Environment", *Ultra Wideband Systems and Technologies*, 2002. Digest of Papers. 2002 IEEE Conference.
- Withington, P; Reinhardt, R; Stanley, "Preliminary results of an ultra-wideband (impulse) scanning receiver", *Military Communications Conference Proceedings*, 1999. MILCOM 1999.
- [3] K. SIWIAK, "Ultra-Wide Band Radio: Introducing a New Technology", The IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference VTC2001 Spring.
- [4] F. Cuomo; C. Martello, "MAC principles for an Ultra Wide Band Wireless access", *Global Telecommunications Conference*, 2001. GLOBECOM '01. IEEE
- [5] Fleming, R.; Kushner, C.; Roberts, G.; Nandiwada, U., AETHER Wire & Location, Inc.3, "Rapid Acquisition For Ultra-WideBand Localizers", *Ultra Wideband Systems and Technologies*, 2002.
- [6] Hamalainen, M.; Inatti, J.; Hovinen, V.; Latva-aho, M, "In-band interference of three kinds of UWB signals in GPS L1 band and GSM900 uplink band", *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 2001 12th IEEE International Symposium.
- [7] Saleh, A.; Valenzuela, R, "A Statistical Model for Indoor Multipath Propagation", *Selected Areas in Communications*, IEEE Journal.
- [8] Bernard Sklar, "Digital Communications Fundamentals and Applications, Second Edition", Prentice Hall (2001).
- [9] Bernard Sklar, "Digital Communications Fundamentals and Applications, Second Edition", Prentice Hall (2001).