

논문 2005-42CI-6-12

# 멀티미디어 통신을 위한 다채널 UWB 데이터 전송 시스템

## ( Multi Channel UWB Data Transmission System for Multimedia Communication )

노진수\*, 이강현\*\*

( Jin Soo NOH and Kang Hyeon RHEE )

### 요약

본 논문에서는 UWB 멀티미디어 통신 시스템을 위한 새로운 펄스 생성과 검출 알고리즘을 제안한다. 현재 가우시안 펄스를 사용하고 있는 UWB 시스템은 주파수 대역의 한계와 주파수 시프트 등의 문제점을 가지고 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 중심 주파수와 주파수대역을 제어할 수 있는 변조 방법을 적용하여 전송 신호의 검출 성능을 향상시켰다. 그리고, 웨이블릿 합성 필터를 사용하여 여러개의 전송 채널을 합성시켜 1개의 전송 채널로 전송시킬 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 웨이블릿 필터의 perfect reconstruction 특성 때문에 접속자의 수에 따라 비트에러율(BER)이 변화하지 않고 채널의 전송 특성에 따라 전송 데이터의 BER 특성이 변화한다. 본 논문에서 AWGN 채널 상에서 2dB부터 8dB까지 2dB씩 변화시켜 가며 실험한 결과, AWGN 채널의 SNR이 4dB일 때 BER는  $3.9063 \times 10^{-4}$  을 가짐을 확인할 수 있었다.

### Abstract

In this paper, we proposed a new algorithm of pulse generation and detection for the UWB multimedia communication system. The existing UWB systems using Gaussian pulse have some difficulties to cope with bandwidth limitation and frequency transition. In this paper, we introduce a new pulse generation method, which is able to control the bandwidth and center frequency that applies to the frequency modulation method, thus the proposed algorithm could improve the detection performance of receiving. And we proposed the multi channel transmission algorithm which transmits 1 channel synthesized at same time using the wavelet synthesis filter. Because of wavelet filter's perfect reconstruction property, the BER(Bit Error Rate) of transmission data is not changed by the number of accessed user. BER is changed only the property of channel transmission. By the results of simulation, when shift SNR from 2dB to 8dB on AWGN channel, we confirmed that the proposed algorithm has  $3.9063 \times 10^{-4}$  BER at 4dB SNR(AWGN channel).

**Keywords :** UWB, Multimedia Communication, Wavelet, Correlation, Gaussian Pulse

## I. 서론

최근 무선 통신 서비스에 대한 사용자의 요구 증대와

멀티미디어 전송을 위한 통신수단이 급격히 발전함에 따라 대용량의 데이터를 고속으로 전송할 수 있는 기술의 필요성이 대두되고 있으며, 보다 빠른 무선 멀티미디어 서비스에 대한 욕구를 채워 줄 새로운 통신방식에 대한 기대가 증대되고 있다.<sup>[1,2]</sup> 이에 따라 Bluetooth나 IEEE 802.11과 같은 Home Networking에 대한 연구가 진행되고 있으나 데이터 전송량이 멀티미디어 데이터를 전송하기에는 부족하다.<sup>[3-6]</sup> 이와 같은 점을 보완할 수 있도록 2001년 초에 FCC(The Federal Communication

\* 정희원, 조선대학교 대학원 전자공학과  
(Dr. Degree, Dept. of Electronic Eng., Graduate School, Chosun University)

\*\* 정희원, 조선대학교 전자정보공과대학 전자공학과  
(Professor, Dept. of Electronic Eng., College of Elec-Info Eng., Chosun University)

접수일자: 2005년7월26일, 수정완료일: 2005년11월2일

Commission)에서는 미군에서 개발하여 사용하고 있는 UWB(Ultra-Wide Band)통신 방식을 제안하였다.

UWB 무선 통신 기술은 무선 반송파를 사용하지 않고 기저대역에서 짧은 펄스를 사용하여 수 GHz대의 초광대역으로 데이터를 전송하는 시스템으로 데이터 전송 속도가 500Mbps~1Gbps인 기술로서 잡음과 같은 낮은 전력 스펙트럼 특성을 보이므로 기존의 무선 통신 시스템과 같이 특정 주파수 대역을 사용하지 않고도 통신이 가능하다.<sup>[13~15]</sup> 따라서 UWB 무선 기술은 향후 발생할 수 있는 무선 시스템의 주파수 포화를 해결할 수 있는 방안의 하나로 제시되고 있으며, 2002년 2월 미국 연방통신위원회(FCC)가 제한적으로 UWB 무선 기술을 민수용으로 허가하면서 Time Domain, XtremeSpectrum, Aether Wire & Location, Pulse-Link 등의 미국 업체 및 많은 연구기관을 중심으로 표준화 및 상업화가 진행되고 있다.<sup>[7~10]</sup>

UWB 통신을 위해 현재 제안<sup>[16~18]</sup>되어진 Pulse들이 있으나, 이것들이 가지는 주파수 대역은 기존의 통신 시스템들이 사용하고 있는 주파수 대역에 간섭을 발생<sup>[19~22]</sup> 시키므로 이러한 펄스들을 이용한 UWB 통신은 불가능하다.<sup>[11,12]</sup> 따라서 본 논문에서는 가우시안 펄스(Gaussian Pulse)의 표준 편차를 변화시켜 생성시킨 펄스에 복소 지수함수를 곱하여 FCC에서 제안하는 규격에 맞는 UWB파를 생성하였다. 또한 기존의 다중접속 통신 방식에서 발생하는 접속 채널수의 제한이라는 문제점을 개선하기 위하여 웨이블릿 합성과 분해 필터를 이용하여 다중접속 채널 수의 제한이라는 문제점을 해결하였다. 또한 펄스 검출 알고리즘에 자기상관(Self Correlation)을 사용하여 전송신호의 검출 성능을 높였다.

본 논문의 구성은 II장에서 제안된 시스템의 전체 구조 및 FCC 규정을 만족하는 UWB파의 생성과 검출 알고리즘을 설명한다. III장에서는 제안된 시스템의 실험 결과 및 고찰을 다루고 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 제안된 UWB 통신 시스템

### 1. 제안된 시스템의 전체구조

본 논문에서는 FCC에서 제안한 UWB 통신 규격에 맞는 통신 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 웨이블릿 필터의 특성을 이용하여 전송채널을 2<sup>n</sup>개로 확장할 수 있는 시스템으로 본 논문에서는 그림 1과 같이 16개의 전송채널을 사용하는 통신 모델을 설정하였다.

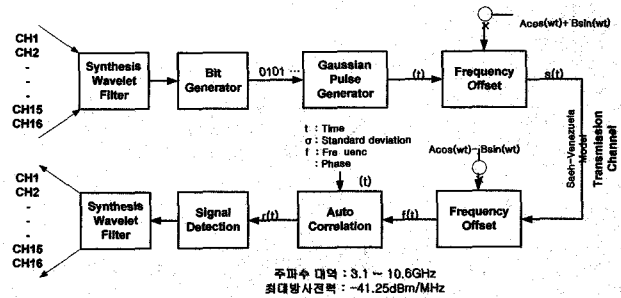


그림 1. 제안된 UWB 시스템 블록도  
Fig. 1. The block diagram of proposed UWB system.

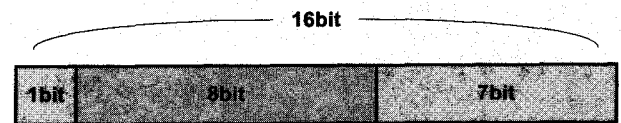


그림 2. 전송 비트 신호의 구조  
Fig. 2. The structure of bitstream signal.

그림 1에서 16개의 채널에서 입력되어지는 신호들을 웨이블릿 필터를 이용하여 합성한 다음 합성된 데이터 값을 그림 2의 비트구조로 변환한다. '0' 과 '1'로 이루어진 비트 신호를 이용하여 비트 신호가 '1' 일 때에 제안된 UWB 파형을 발생시키고 발생된 신호를 주파수 시프트(Frequency Shift)시켜 전송채널을 통하여 전송시킨다. 수신단에서는 전송채널을 통하여 수신된 데이터에서 사인과 성분과 코사인과 성분을 추출한 다음 추출된 신호와 가우시안 펄스를 자기상관시켜 신호를 검출한다. 마지막으로 검출한 신호 값을 웨이블릿 분해 필터를 통과시키면 전송된 신호가 각각의 채널로 분해되어 전송된다.

제안된 알고리즘은 전송되어지는 데이터의 양은 변화되지 않으나 한 개의 전송 채널에 2<sup>n</sup>개 채널의 신호가 합성되어져 전송되어진다. 이와 같은 합성이 가능한 이유는 웨이블릿 필터가 FIR(Finite Impulse Response) 필터의 특징을 가지며 신호의 분해와 합성 시 Perfect Reconstruction 한 특성을 가지기 때문이다.

비트 생성 블록은 웨이블릿 필터에서 합성되어진 신호를 전송 가능한 비트신호로 변화시켜 주는 블록으로써 한개의 심볼을 16비트 신호로 변화시켜준다. 그림 2는 비트 신호의 전체 구조를 나타낸다.

비트 신호의 구성은 다음과 같다.

- 1bit : 부호 비트
- 8bit : 정수부
- 7bit : 소수부

표 1. 비트 발생기를 통과한 신호  
Table 1. The signal in the bit generator.

전송 심볼	웨이블렛 합성된 신호	비트 데이터
16	10.6746	0 00001010 1000011
5	-2.0533	1 00000010 0000101
9	6.3817	0 00000110 0100110
4	-7.7604	1 00000111 1001100
2	10.4675	0 00001010 0101110
11	-5.0888	1 00000101 0001000
7	5.1746	0 00000101 0010001
14	-11.7959	1 00001011 1001111
3	13.8566	0 00001101 1010101
10	-4.5282	1 00000100 0110100
6	7.5637	0 00000111 0111000
15	-12.2353	1 00001100 0010111
13	12.9424	0 00001100 1011110
8	-8.2708	1 00001000 0011011
12	5.6495	0 00000101 1000000
1	-16.9779	1 00010000 1100001

부호 비트를 두어 전송 신호의 범위를 ±255로 설정하였다. 또한 웨이블렛 합성 필터를 통과한 신호가 소수점 넷째 자리까지의 데이터를 가지나 시뮬레이션 결과 둘째 자리까지의 데이터만 가지고도 신호를 검출할 수 있었으므로 소수 부분에 7비트를 설정하여 소수점 둘째 자리까지의 데이터를 전송할 수 있게 설계하였다. 표 1은 웨이블렛 필터에서 합성된 16개의 심볼 신호가 비트 발생기를 통과했을 때 발생하는 신호를 나타낸다.

### 2. UWB 펄스 생성 알고리즘

현재 UWB 통신에서 이슈가 되고 있는 문제 중 하나는 기존의 통신시스템들에 영향을 미치지 않는 펄스 생성 방법을 개발하는 것이다. 먼저 펄스의 특성을 살펴보면 짧은 시간영역에 존재하는 펄스는 주파수 영역에서 넓은 대역을 차지한다. 반대로 시간영역이 넓은 펄스는 좁은 주파수 영역을 점유한다. 이러한 펄스 특성을 고려할 때, 가우시안 펄스의 표준편차(σ)를 변화시켜 원하는 주파수 대역과 시간간격을 갖는 펄스를 생성할 수가 있다. 이러한 가우시안 펄스는 식 (1)과 같이 표현된다.<sup>[10]</sup>

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

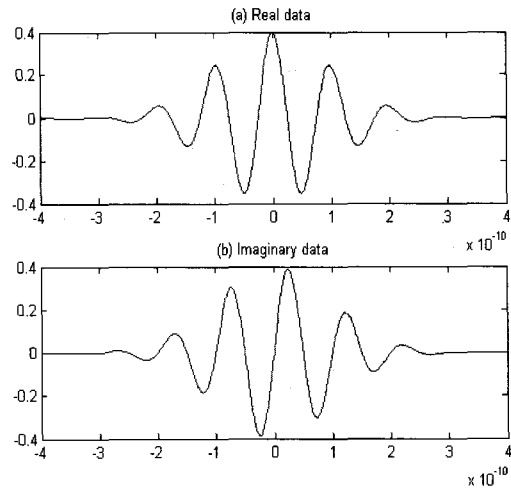


그림 3. 주파수 시프트된 가우시안 펄스  
Fig. 3. The shifted Gaussian pulse.

식 (1)에서 σ의 변화에 따라 펄스의 시간과 주파수 대역의 형태가 넓어지거나 좁아지게 된다. 그렇지만 가우시안 펄스는 UWB 통신 시스템에 사용하기에는 몇 가지의 문제점이 있다. 그러한 것들 중 가장 심각한 것은 가우시안 펄스를 이용한 통신 시스템의 주파수 대역이 기존의 통신 시스템들에 간섭을 준다는 것이다. 또한, 가우시안 펄스가 갖는 DC 성분으로 인해 안테나에서의 정확한 정합이 불가능하다.

이러한 문제를 해결하기 위해 기존에 제시되었던 펄스의 형태는 Mono Pulse Wavelet과 Monocycle, 그리고 Mono Pulse Wavelet을 수정한 Gaussian doublet등이 있다. 그러나 이러한 펄스들이 갖는 대역분포는 GPS와 같이 기존에 서비스를 실시하고 있는 다른 통신 시스템들에 간섭을 주기 때문에 UWB 통신 시스템에서 사용하기는 부적합하다. 이러한 기존의 펄스들이 갖는 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 가우시안 펄스에 복소 지수 함수(Complex Exponential Function)를 곱하여 주파수 시프트된 파형을 UWB 파로 사용하였다. 식 (2)는 가우시안 펄스를 주파수 시프트시키는 공식이며 그림 3은 주파수 시프트된 가우시안 펄스이다. 이때 식 (2)에서 σ, ω 그리고 φ를 조절하면 원하는 형태의 Pulse를 생성할 수 있다.

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

그림 3과 같이 복소 지수함수에 허수부가 존재하나 송신신호가 무선채널을 통과할 때는 실수 값만이 존재

해야 함으로 식 (2)를 다시 정리하면

$$s(t) = RE[k(t)e^{j\omega_0 t}] \tag{3}$$

$$k(t) = x(t) + jy(t) = [k(t)]e^{j\theta(t)} = R(t)e^{j\theta(t)} \tag{4}$$

$$R(t) = [k(t)] = \sqrt{x^2(t) + y^2(t)} \tag{5}$$

$$\theta(t) = \tan^{-1} \frac{y(t)}{x(t)} \tag{6}$$

식 (3)에서  $k(t)$ 를  $e^{j\theta}$ 로 대치시키면  $s(t)$ 는 식 (7)과 같이 유도된다.

$$s(t) = g(t)RE[(A + jB)(\cos\omega_0 t + j\sin\omega_0 t)] = g(t)(A\cos\omega_0 t - B\sin\omega_0 t) \tag{7}$$

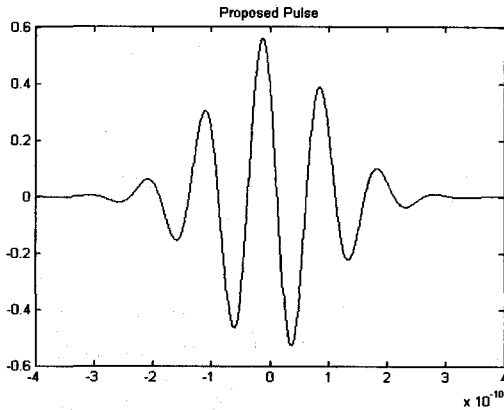


그림 4. UWB 전송 펄스  
Fig. 4. UWB transmission pulse.

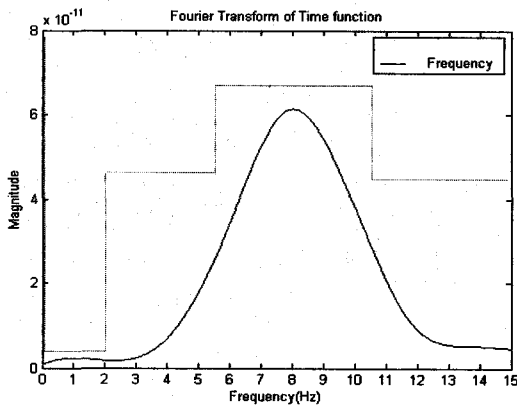


그림 5. 제안한 UWB 전송펄스의 주파수 성분  
Fig. 5. The frequency component of the proposed UWB transmission pulse.

그림 4는 식 (7)을 적용시켜 생성시킨 전송 펄스이다. 그림 5는 그림 4의 펄스를 푸리에(Fourier) 변환 시켜 주파수 성분을 분석한 그림으로 FCC에서 규정하는 스펙트럼 방사 규정을 만족함을 알 수 있다.

### 3. UWB 펄스 검출 알고리즘

전송채널을 통과하여 수신된 신호를  $r(t)$ 라고 하면  $r(t)$ 는 식 (8)과 같은 형태를 가질 것이다.

$$r(t) = g(t - \tau)\{A\cos\omega_0(t - \tau) - B\sin\omega_0(t - \tau)\} + n(t) \tag{8}$$

수신단에서 신호를 검출하기 위하여 식 (8)의 신호로부터 코사인 성분과 사인 성분을 추출해 낸 후 이 신호를 합성하여 전송 신호를 검출한다. 식 (9)부터 (13)까지는 신호를 검출하는 과정을 나타내며, 그림 6은 검출된 신호이다.

$$h_r(t) = [g(t - \tau_0)\{A\cos\omega_0(t - \tau_0) - B\sin\omega_0(t - \tau_0) + n(t)\}]\cos\omega_0 t \tag{9}$$

$$h_i(t) = [g(t - \tau_0)\{A\cos\omega_0(t - \tau_0) - B\sin\omega_0(t - \tau_0) + n(t)\}]\sin\omega_0 t \tag{10}$$

$$2\cos(x)\cos(y) = \cos(x - y) + \cos(x + y) \tag{11}$$

$$2\sin(x)\sin(y) = \cos(x - y) - \cos(x + y) \tag{12}$$

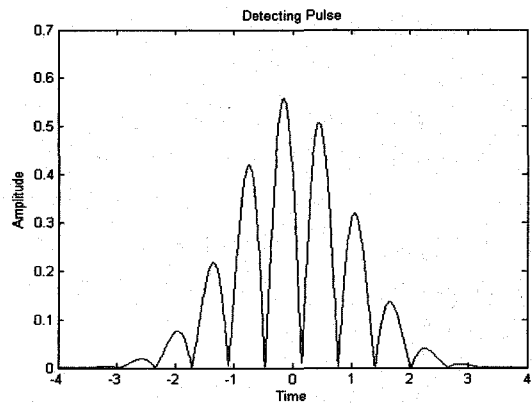


그림 6. 검출된 펄스  
Fig. 6. The detected pulse.

$$D(t) = h_r(t) + jh_i(t) \tag{13}$$

$$[D(t)] = \sqrt{h_r(t)^2 + h_i(t)^2}$$

식 (9)와 (10)을 식 (11)과 (12)에 의해서 전개한 후  $2w_0$  항을 포함하는 고주파 성분을 제거하면 식 (14), (15)와 같이 간단하게 표시할 수 있다.

$$u_r(t) = \frac{A}{2} \cos w_0 \tau_0 - \frac{B}{2} \sin w_0 \tau_0 + n^{(t)} \tag{14}$$

$$u_r(t) = -\frac{A}{2} \sin w_0 \tau_0 - \frac{B}{2} \cos w_0 \tau_0 + n^{(t)} \tag{15}$$

### III. 시뮬레이션 및 실험 결과

본 논문에서 제안하는 웨이블릿을 이용한 초광대역 데이터 전송회로는 C와 Matlab으로 시뮬레이션하였다.

16개의 채널로부터 전송되어지는 신호를 웨이블릿 합성필터를 사용하여 1개의 전송 채널로 합성한 다음, 합성된 신호에서 생성된 비트 신호를 본 논문에서 제안하는 FCC의 기준을 만족하는 나노 펄스로 데이터를 전송 및 검출하는 구조로부터 255의 범위를 가지는 심볼 신호 6,250개(100000비트)를 가지고 시뮬레이션 하였다. 그림 7은 한 사이클(16개 심볼) 동안에 전송되어지는 전송 신호를 나타낸다.

1사이클 동안에 256개의 비트가 전송되어지며  $8 \times 10^{-10}$  초마다 1개의 비트가 전송되어진다. 즉 1초에  $1.25 \times 10^9$

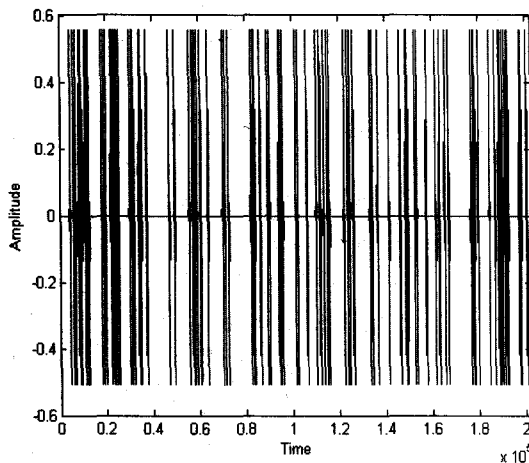


그림 7. 한 사이클 동안에 전송되어지는 펄스  
Fig. 7. The transmitted pulse while 1 cycle.

개의 비트를 전송 할 수 있다.

표 2는 전송 채널의 SNR과 검출신호의 누적 개수에 따른 수신단의 BER 특성을 나타낸다. 표 2에서 전송 채널의 SNR이 8dB 이상이면 수신된 신호의 BER이 0이 됨을 알 수 있다.

또한 본 논문에서 제안한 UWB와 전송 알고리즘은 웨이블릿의 Perfect Reconstruction 특성을 이용하여 2n개의 신호를 합성하여 전송함으로써 채널 수에 관계없이 신호를 전송 할 수 있다. 그림 8은 시간 도약 UWB 시스템에서

표 2. 제안된 시스템의 BER 특성  
Table 2. BER characteristics of proposed system.

신호누적수	SNR(dB)	BER(Bit Error Rate)
1	2	2.3828e-2
	4	1.9531e-3
	6	6.4214e-4
	8	0
	10	0
3	2	1.9922e-2
	4	7.8125e-4
	6	3.9063e-4
	10	0
5	2	1.7631e-2
	4	3.9063e-4
	6	0
	10	0
7	2	1.6016e-2
	4	1.5623e-4
	6	0
	10	0

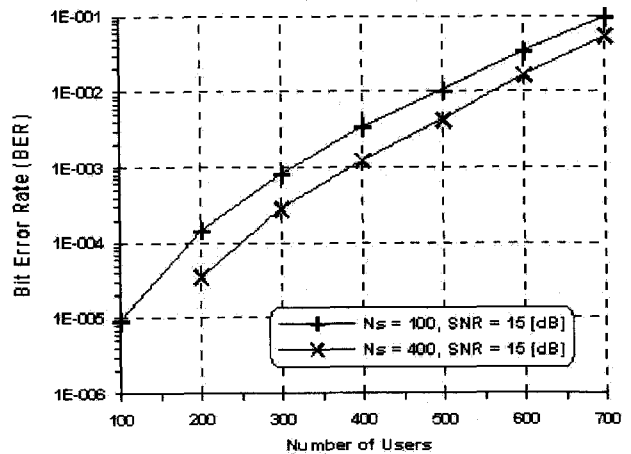


그림 8. 전송 채널 수에 따른 비트 오류 확률  
Fig. 8. BER by the number of transmission channel.

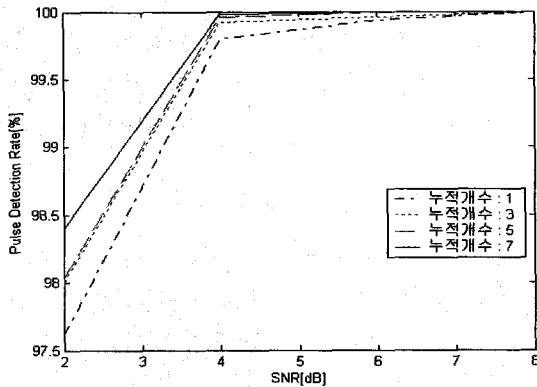


그림 9. 제안된 시스템의 PDR 특성  
Fig. 9. PDR characteristics of proposed system.

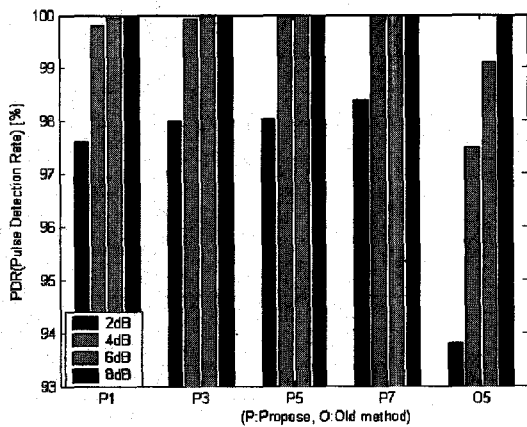


그림 10. 가우시안 펄스와 PDR 특성 비교 그래프  
Fig. 10. PDR comparison graph with gaussian pulse.

전송 채널 수에 따른 BER을 나타낸다.

그림 8에서 전송 채널의 수가 증가 할수록 전송시스템의 BER 특성이 나빠짐을 알 수 있는데 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 그림 9와 같이 전송 시스템의 BER 특성이 전송 채널 수와 무관하며 단지 채널의 전송 환경에 따라 변화한다.

전송 채널의 SNR이 4dB 이상이 되면 전송신호의 누적 개수에 관계없이 PDR이 99.5% 이상임을 확인할 수 있다.

그림 10은 가우시안 펄스를 주파수 축으로 시프트 시켜서 사용하는 UWB 전송 시스템과 본 논문에서 제안하는 알고리즘과의 성능을 비교한 그래프이다. P는 본 논문에서 제안한 방법을 사용하여 검출된 신호를 누적시킨 그래프이며 O는 기존의 가우시안 펄스를 사용하는 방법을 나타낸다. 비교에 사용된 전송 채널의 SNR은 2, 4, 6, 8dB 이다.

결과적으로 본 논문에서 제안한 UWB 전송 시스템이 기존의 가우시안 펄스를 사용한 방법에 비해 2.56%의 PDR이 향상됨을 확인할 수 있었으며, 웨이블렛 필터를 이용하여 다중 접속 채널을 1개의 전송 채널로 합성시켜 전송시키므로 다중 접속자에 따른 시스템의 BER 특성이 변화 되지 않는다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 FCC에서 제안하는 UWB 규격을 만족하는 멀티미디어 통신을 위한 UWB 전송 시스템을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 가우시안 펄스에 복소 지수 함수를 곱하여 중심 주파수 영역을 8GHz대로 시프트 시켰으며 또한 방사 전력을 만족하기 위하여 가우시안의 표준 편차인  $\sigma$ 를 0.5로 설정하였다. 또한 웨이블렛 합성과 분해 필터를 이용하여 2명의 동시 접속 사용자를 1개의 채널로 합성시켜 전송하는 알고리즘을 제안하였다.

UWB 신호의 검출 성능을 높이기 위하여 수신된 신호와 가우시안 펄스와 자기상관을 취하였으며 또한 수신된 신호를 채널 상태에 따라 누적시켜서 사용하였다. 그 결과 전송 채널의 SNR이 2dB일 때 전송신호의 PDR은 신호의 누적 개수에 따라 97.62%부터 98.40%을 가졌으며 BER도  $2.3828 \times 10^{-2}$ 부터  $1.6016 \times 10^{-2}$  범위의 값을 가졌다.

그리고 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 사용하여 UWB 전송 시스템을 구현 시 동시 접속 사용자의 수에 의한 전송 신호의 왜곡 현상을 없앨 수 있으며 또한 신호의 상관 및 누적을 통하여서 기존의 시스템에 비해 2.56%의 PDR 성능이 향상됨을 알 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Matti Hamalainen, Raffaello Tesi, Jari Linatti, "On the UWB system performance studies in AWGN channel with interference in UMTS band," IEEE Conference on Ultra Wideband Systems And Technologies, 2002.
- [2] Matt Welborn, Kai Siwiak, "Xtreme Spectrum: Time Domain, Ultra-Wideband Tutorial," Presentation to IEEE 802.11 March 2002.
- [3] "Time Domain," Pulse On Technology Overview, July 2001.
- [4] Cliff Prettie, David Cheung, Leslie Russc and

- Minnie Ho "Spatial Correlation of UWB Signal in a Home Environment," IEEE Conference on Ultra Wideband Systems And Technologies, 2002.
- [5] K. SIWIAK, "Ultra-Wide Band Radio: Introducing a New Technology," The IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference VTC2001 Spring.
- [6] Yao Ma, Chin F. Kannan, B. and Pasupathy S., "Acquisition Performance Of An Ultra Wide-band Communications System Over A Multiple Access Fading Channel," IEEE Conference on Ultra Wideband Systems And Technologies, 2002.
- [7] Immoreev I. Fedotov, "Detection of UWB signals reflected from complex targets," IEEE Conference on Ultra Wideband Systems And Technologies, 2002.
- [8] Fleming R., Kushner C., Roberts G. and Nandiwada U., "Rapid Acquisition For Ultra-WideBand Localizers," IEEE Conference on Ultra Wideband Systems And Technologies, 2002.
- [9] F. Ramirez-Mireles, "Performance of Ultrawideband SSMA using Time Hopping an M-ary PPM," IEEE Journal Selected Areas in Commun., vol.19, no.6, pp. 1186-1196, Jun. 2001.
- [10] FCC Notice of Proposed Rule Making, "Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra wideband transmission systems," ET Doc., pp.98-153
- [11] J.R. Foerster, "Channel modeling sub-committee report final," IEEE P802.15-02/368r5-SG3a, Nov. 2002.
- [12] Ramiro Jordan and Chaouki T. Abdallah, "Wireless Communications and Networking: An Overview," IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol.44, pp.185-193, Feb. 2002.
- [13] Moe Z. Win and Robert A. Scholtz, "Ultra-Wide Bnadwidth Time-Hopping Spread-Spectrum Inpulse Radio for Wireless Multiple-Access Communications," IEEE Trans. COM, Vol.48, No.4, April 2000, pp.679-691
- [14] Eiji Okamoto, Huan-Bang Li, Hiromitsu Wakana, Masato Tanaka and Hiroyo Ogawa, "Method for Transmission Under Pulse-wise Noise Environments Using Wavelet Packet Modulation," Trans. IEICE, J84-B, No.7, 2001.
- [15] H. Harada and R. Prasad, "Simulation and Software Radio for Wireless Communications," Artech House, Boston-London, 2002.
- [16] <http://www.uwb.org>
- [17] <http://www.fcc.gov>
- [18] <http://www.rapa.or.kr>
- [19] Irahhauten Z, Nikookar, H. and Janssen G. J. M. "An overview of ultra wide band indoor channel measurements and modeling," Microwave and Wireless Components Letters, IEEE Volume 14, Issue 8, pp. 386 - 388, Aug. 2004.
- [20] Yeap Y. W., Chai O. M. and Law C. L., "Evaluation of ultra wideband (UWB) signal transmission, propagation and reception with low cost UWB RF front end," RF and Microwave Conference, 2004. RFM 2004. Proceedings, pp. 72 -75 Oct. 2004.
- [21] Zhendong Luo, Hong Gao, Yuanan Liu and Jinchun Gao, "A new UWB pulse design method for narrowband interference suppression," Global Telecommunications Conference, 2004. GLOBECOM '04. IEEE, Volume 6, 29 Nov.-3 Dec., pp. 3488 - 3492, 2004.
- [22] Tang J. and Parhi K. K., "On the power spectrum density and parameter choice of multicarrier UWB communications," Signals, Systems and Computers, 2003. Conference Record of the Thirty-Seventh Asilomar Conference on Volume 2, pp.1230 - 1234, 9-12 Nov. 2003.

---

저 자 소 개

이 강 현(정회원)-제1저자

대한전자공학회 논문지  
CI편 42권 3호 참조

노 진 수(정회원)-교신저자

대한전자공학회 논문지  
CI편 42권 3호 참조