

# LR-WPAN 시스템에서 PPM+BPSK 변조 방식을 사용하는 UWB 송수신기의 성능 분석

## Performance analysis of UWB receiver using PPM and BPSK modulation scheme in the LR-WPAN System

이 경 탁\*      임 등 국\*\*      손 성 환\*\*\*      김 재 명\*\*\*\*  
(Kyoung-tak, Lee)   (Dong-guk, Lim)   (Sung-hwan, Sohn)   (Jae-moung, Kim)

### 요 약

IEEE 802.15.4a에서는 거리/위치 인식과 저속 데이터 송수신을 위해 간단하고 경제적이며 전력 소모가 적은 송수신기의 구현을 요구하며, 이를 위해 LR-WPAN 시스템은 간단한 변복조 방법을 사용하는 송수신기를 필요로 하게 된다. 본 논문에서는 무선 다중 경로 채널 상황을 다소 극복하기 위해 PPM+BPSK 방식의 변복조 방식과 채널에 의해 왜곡된 신호를 windowing을 통해 신호를 보상해주는 방식을 UWB 대역에서 동작하는 LR-WPAN(Low-Rate Wireless Personal Area Network) 시스템에 적용시킨 후 수신기의 방식에 따른 성능을 비교, 분석해 본다. 신호 보상을 위한 수신기는 Preamble을 사용하여 채널 특성을 파악한 후, 채널 파라미터를 사용하여 다중 경로 채널의 영향에 의해 지연/간섭 및 왜곡되어 수신되는 데이터 신호를 수신단의 채널 왜곡 보상기에서 windowing를 사용하여 보상에 줌으로써 복조기에서 신호 검출이 용이하도록 채널 왜곡 보상기가 신호를 전처리 해주는 방식을 사용하였다. 수신기는 Coherent 방식과 Non-Coherent 방식으로 동작되며, 모의 실험 결과 수신기의 방식에 관계없이 LOS(Line-of-Sight) 채널보다 NLOS(Non-Line-of-Sight) 채널에서의 성능 향상이 상대적으로 좋아진다는 특징이 있다는 것을 확인하였고, Coherent/Non-Coherent 방식에 상관없이 모든 채널 환경에서 성능 향상을 보이는 것을 확인 하였다.

### Abstract

In the IEEE 802.15.4a system, they require simple, economical and low power consumption transmitter and receiver to transmit low rate data and to identify distance and location. To meet these requirements, LR-WPAN system use transmitter and receiver with simple modulation and demodulation scheme. In this paper, use PPM+BPSK modulation and windowing scheme to overcome multipath fading effect. Then we apply this channel estimation scheme to LR-WPAN system and compare performance depends on transmitter scheme. Proposed method using preamble to find channel characteristic out and we compensate distorted

\* 주저자 : 인하대학교 정보통신대학원 정보통신공학과 석사과정(회원)

\*\* 공저자 : 인하대학교 정보통신대학원 정보통신공학과 석사과정(회원)

\*\*\* 공저자 : 인하대학교 정보통신대학원 정보통신공학과 박사과정(회원)

\*\*\*\* 공저자 : 인하대학교 정보통신대학원 정보통신공학과 정교수(회원)

† 논문접수일 : 2006년 5월 2일

‡ 본 연구는 대학 IT연구센터(인하 UWB-RC) 육성 지원사업의 연구 결과로 수행되었음.

data with that information. Therefore we can detect signal easily at the demodulation part. Simulation result shows that performance evaluation is greater at the NLOS channel than LOS channel no matter what the receiver scheme.

**key Words** : 802.15.4, LR-WPAN, UWB, PPM

## I. 서론

IEEE 802.15.4 LR-WPAN(Wireless Personal Area Network) 기술은 저렴한 비용, 저 전력과 낮은 데이터 전송 속도를 지원하기 때문에 앞으로 다가올 유비쿼터스 시대의 핵심이라고 할 수 있다. 그렇기 때문에 유비쿼터스 시대에는 LR-WPAN 기술을 적용한 다양한 상품이 보급될 것으로 전망된다. 현재 LR-WPAN에 대한 표준화는 IEEE 802.15 WG (Working Group)의 TG4a에서 진행 중이며 2002년 11월 IEEE 802.15.4a 그룹 조직 이후 활발히 연구되어 2005년 3월 IR(Impulse Radio)를 사용하는 UWB 방식과 CS(Chirp Signal)를 사용하는 CSS(Chirp Spread Spectrum) 방식의 선택적 수용안이 채택되었다. IR(Impulse Radio)를 사용하는 UWB 방식(LR-UWB)은 저속 데이터 전송용으로 변조과정 없이 펄스 신호를 바로 이용하므로 송수신기가 간단하고 전력소모가 적으며 다중 경로 지연과 같은 외부 환경에 강한 특성을 가진다. 또한 ns의 짧은 펄스를 사용하므로 거리 위치 인식에 용이하기 때문에 향후 디지털 홈 네트워크 같은 WPAN에서의 핵심 기술로 많은 주목을 받고 있다.[1][2]

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 LR-WPAN에서 정의하는 2가지 방식의 시스템 중 UWB 대역과 UWB 시스템에서 사용하는 임펄스와 같은 짧은 펄스를 발생시켜 반복하여 전송하는 IR방식의 LR-WPAN의 송수신기의 성능을 다루었다. 모의실험을 위해 구현한 송수신기는 간단한 구조와 저전력 동작의 특성을 갖기 위해 PPM+BPSK 변조방식을 이용하였고 수신기는 위상정보의 유·무에 따라 Coherent 방식과 Non-coherent 방식으로 나뉘어 작동 된다. 또한 무선 다중 경로 채널 환경에 대한 영향을 줄여주기 위하여 경로의 수에 관계없이 일정한 window를 이용

하는 채널 왜곡 보상을 사용하여 채널에 의한 신호의 왜곡 및 간섭을 줄여주는 간단한 채널 보상 방법을 이용하였다. 본 논문의 PPM+BPSK 방식의 저속 UWB 송수신기는 UWB 펄스를 발생시켜 펄스를 반복하여 전송함으로써 잡음에 대한 강한 특성을 가지게 되며, IEEE 802.15.4a에서 요구하는 유연한 데이터 전송속도를 만족시켜 준다.

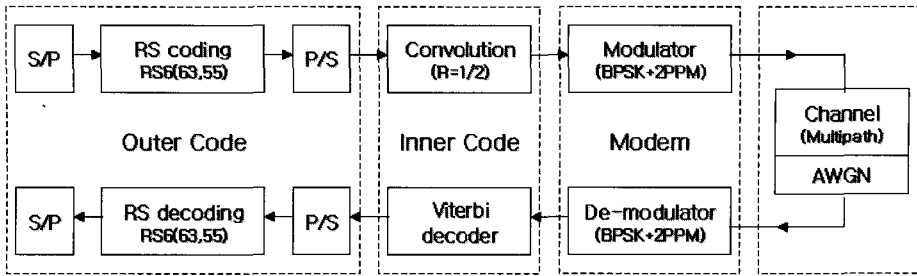
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 UWB LR-WPAN 시스템의 기술적인 개요와 구조를 설명하며, 3장에서는 본 논문에서 성능 평가를 위해 구현한 송수신기의 구조를 제시한다. 4장에서는 모의 실험에 사용된 채널 모델을 기술하며, 5장에서는 (Coherent/Non-Coherent) 수신기의 방식 및 채널 환경에 따른 컴퓨터 모의실험을 통한 성능 비교를 통해 제안된 수신기의 성능 향상을 확인하며, 5장에서 결론을 맺도록 한다.

## II. 시스템 모델

IEEE 802.15.4a는 IR를 이용하는 UWB시스템과 Chirp pulse를 이용하는 CSS(Chirp Spread Spectrum) 시스템으로 나뉜다. 이 중 IR를 사용하는

<표 1> 주파수 대역에 따른 파라미터  
<Table. 1> Parameters for frequency bands

PHY		CSS	IR-UWB
Frequency band(MHz)		2400-2483.5	3200-4693
Spreading parameters	Chip rate (Kchips/s)	2000	499,200
	Modulation	OQPSK	BPSK+2PPM
Data parameters	Bit rate (Kb/s)	250	851
	Symbol rate (Ksymbol/s)	62.5	975

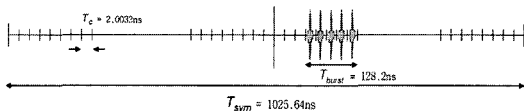


<그림 1> LR-UWB 시스템 모델 블럭도  
 <Fig. 1> LR-UWB System Model Block Diagram

UWB PHY는 250~750MHz, 3,100~4,800MHz, 그리고 6,000~10,600MHz의 3개의 다른 주파수 대역을 사용하며, CSS PHY는 2.4GHz의 ISM 대역을 사용한다. 사용되는 주파수 대역에 따른 파라미터는 표 1에 나타내었으며, 본 논문에서는 3.1~4.8GHz의 주파수 대역에서 동작하고, 0.85Mbps의 데이터 전송 속도를 지원하는 IR-UWB PHY를 사용하는 LR-WPAN 시스템을 기반으로 하였다.[1]

<그림 1>은 LR-UWB 시스템의 송수신단의 블럭도를 나타내고 있다. LR-UWB 시스템에서는 FEC (Forward Error Collection)로 RS(Reed-Solomon) code 와 Convolutional code가 연속적으로 사용되고 있다. 강하게 코딩된 데이터는 펄스의 위치에 따라 데이터를 실어 보내는 PPM 방식과 함께 위치한 펄스의 위상에 대해서는 BPSK 방식을 사용하는 PPM+BPSK 방식의 변조 방법을 이용하여 데이터를 전송하게 되며, 이러한 변복조 방식은 반송파를 이용하지 않고 펄스 변조한 신호를 반복하여 무선 환경에 그대로 방사한다. 수신된 신호는 위상정보의 유무에 의해 각각 Coherent/Non-Coherent 방식의 수신기에 인가된다.

PPM+BPSK 변조 방식을 적용하기 위해 사용된



<그림 2> 데이터 심볼 구조  
 <Fig. 2> Data Symbol Structure

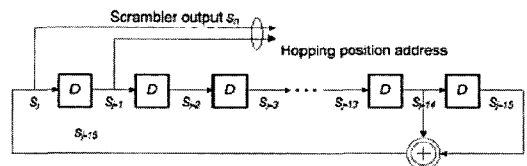
데이터 심볼 구조는 <그림 2>에서 나타내었다. 한 심볼의 주기(Tsym)는 1025.64ns로 Coherent일 경우 0.85Mbps의 데이터 전송률을 지원한다. 한 심볼은 2PPM(Pulse Position modulation)을 사용하여 2 구간의 Tppm(512.8ns)로 나뉘어 한 심볼을 전송하게 된다. 한 Tppm 구간은 4개의 Burst로 구성되며 한 개의 burst는 64개의 chip으로 이루어진다. 한 chip의 길이는 pulse 와 같으며 2.04ns의 시간 간격을 갖는다.[3]

식 1은 LR-UWB 심볼의 출력 신호를 식으로 나타낸 것이다.

$$x_{(t)}^{(k)} = \sum_{j=1}^{N_{burst}} g_1^{(k)} s_j p(t - g_1^{(k)} T_{ppm} - jh^{(k)} T_{burst}) \quad (1)$$

여기서  $x_{(t)}^{(k)}$ 는 k 번째 심볼에 대한 신호의 표현이며,  $g_1^{(k)}$ 과  $g_{(1)}^{(k)}$ 은 PPM+BPSK에 의해 변조된 심볼이며 {-1, 1}의 값을 가진다.

$S_j$ 는 Scrambler에 의해 생성된 간단한 PRBS (Pseudo Random Binary Sequence)로 이 데이터는 {-1, 1}로 이루어져 있으며 임펄스 신호를 random한



<그림 3> 스크램블러 & 호핑 구조  
 <Fig. 3> Scrambler & Hopping Structure

신호로 만들어 주는 생성식과 구조는 아래의 식 2와 <그림 3>과 같다.

$$S_j = S_{j-14} \oplus S_{j-15} \quad (2)$$

변복조는 Scrambler의 시퀀스  $S_j$ 와  $S_{j-1}$ 에 의해 생성된 Hopping 신호  $h^{(k)}$ 를 사용하여 신호를 도약시켜 처리하게 된다. 표 2과 같이 Coherent 방식은  $g_{(0)}^{(k)}$ 와  $g_{(1)}^{(k)}$ 에 데이터를 변조하는 방식으로 펄스의 위치와 위상 정보를 이용한다. Non-coherent 방식은  $g_{(0)}^{(k)}$ 에 펄스의 위치를 정해주는 변조하는 방식으로  $g_{(1)}^{(k)}$ 은 항상 1로서 위상의 변화가 없다.[4]

PPM+BPSK변조에서 한 심볼은 2bit로 구성되며 각 bit는 변조 후 표 2와 같이 수신기의 타입에 따라 각각  $g_{(0)}^{(k)}$ ,  $g_{(1)}^{(k)}$ 로 Mapping된다. 변조된 신호  $g_{(0)}^{(k)}$ 과  $g_{(1)}^{(k)}$ 에 의해 반복된 임펄스의 데이터 심볼내의 burst의 위치와 위상 값이 결정된다. 변조된 신호  $g_{(0)}^{(k)}$ 은 반복된 펄스의 위상 정보를 나타내는 값으로써 {-1, 1}의 데이터 값을 가지며 1인 경우 정위상이, -1인 경우 역위상이 전송된다.

$h^{(k)}$ 는 Burst Position Hopping을 나타내는 값으로 4개의 burst 구간 중 변조된 펄스의 위치를 나타낸다. Burst Position Hopping는 다중 접속 시스템에서 하나의 프레임 내에 다수의 사용자가 고유의 Hopping 부호에 의해 서로 다른 슬롯을 점유하는 방식으로 Multiple Access 기능을 수행한다. 생성 다항식은 식 3과 같다.

$$h^k = S_j \times 2^0 + S_{j-1} \times 2^1 \quad (3)$$

<표 2> 변복조 Mapping  
<Table 2> Modulation Mapping

Coherent PPM		Non-coherent PPM	
Impomatin bits	Modulation Symbol	Impomatin bit	Modulation Symbol
00	-10	0	10
01	-11	0	10
10	10	1	11
11	11	1	11

$p()$ 는 식 4와 같이 sinc 함수를 만들어 주는 함수로써 수신된 신호는  $\beta=0.6$ (roll-off factor)인 RRC (Root Raised Cosine) 필터를 사용하며 식 5와 같고 각 비트의 임펄스는 <그림 4>와 같다.

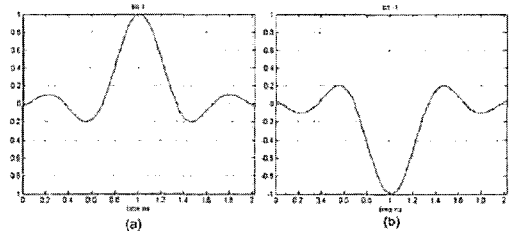
$$p(t) = \text{sinc}\left(\frac{\pi t}{T_p}\right) \quad (4)$$

$$r(t) = \text{sinc}\left(\frac{\pi t}{T_p}\right) \frac{\cos(\pi\beta t/T_p)}{1-(2\beta t/T_p)^2} \quad (5)$$

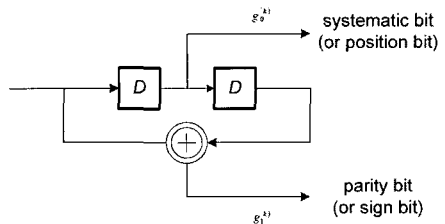
채널 코딩은 Concatenated code를 사용하며 내부는 Convolution 코딩을 외부는 RS 코딩을 사용하였다. RS는 GF(26)을 사용하며 RS<sub>6</sub>(63,55)의 코드를 사용한다. 생성 다항식은 식 6이며 a는 Primitive polynomial  $1+x+x^6$ 의 근이다.

$$g(x) = \sum_{k=0}^7 (x+a^k) \quad \text{where } a=01000 \quad (6)$$

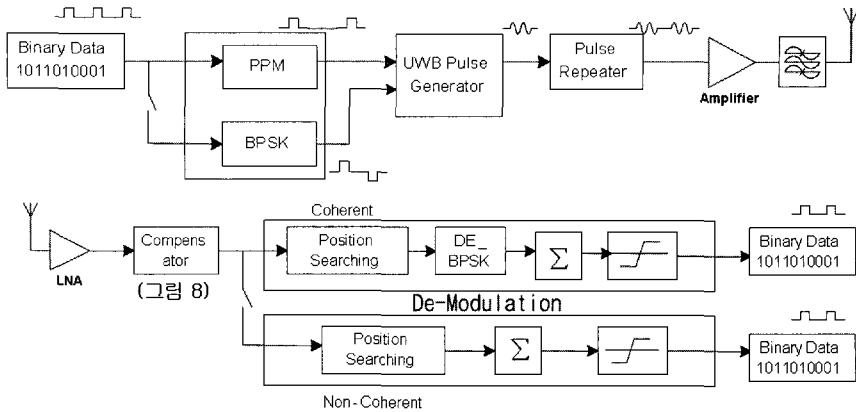
convolution 코딩의 R=1/2이며 복호 과정은 viterbi decoder을 사용한다. 생성 다항식은  $g_0 = x$ ,  $g_1 = 1 \oplus x^2$ 로 <그림 5>와 같이 구성되었다.



<그림 4> 비트별 임펄스  
<Fig. 4> Bit Impulse



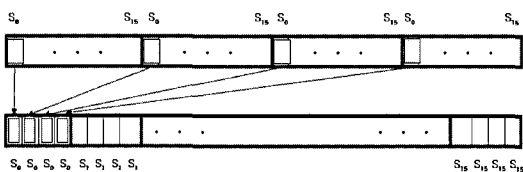
<그림 5> 길쌈부호화기  
<Fig. 5> Convolutional encoder



<그림 6> 채널 왜곡 보상을 포함한 시뮬레이션 모델  
 <Fig. 6> Simulation model including compensator for channel distortion

### III. 송수신기 모델

본 논문에서 성능 비교/평가를 위해서 구현한 시스템의 송수신기 모델의 구조는 <그림 6>에서 나타내었다. 송신기에서는 입력된 이진 데이터가 PPM+BPSK 변조방식에 의해 변조되고 변조된 신호는 펄스발생기(Pulse Generator)에 의해 발생된 UWB 신호로 바뀌어 펄스 반복기(Pulse Repeater)에 의해 반복되어 그 출력이 증폭기와 대역 통과 여파기를 거쳐 안테나를 통하여 방사된다. 이때 펄스 반복기는 고정된 16개의 chip 으로 이루어진 Scramble 시퀀스  $S_j$ 를 반복시키고 반복 된 펄스들을 <그림 7>과 같이 서로 같은 위치의 펄스들을 연속적으로 hopping 신호  $h_k$ 에 의해 해당되는 burst 구간에 전송된다. 아래 <그림 7>은 Scramble 시퀀스  $S_j$ 에 의해 생성된 반복된 펄스 신호가 변형된 방식으로 재배열 되고 전송되는 구조를 나타낸다.

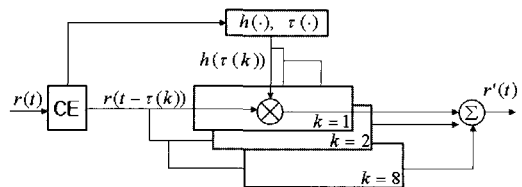


<그림 7> 반복된 펄스의 재배열  
 <Fig. 7> Relocation of repeated pulse

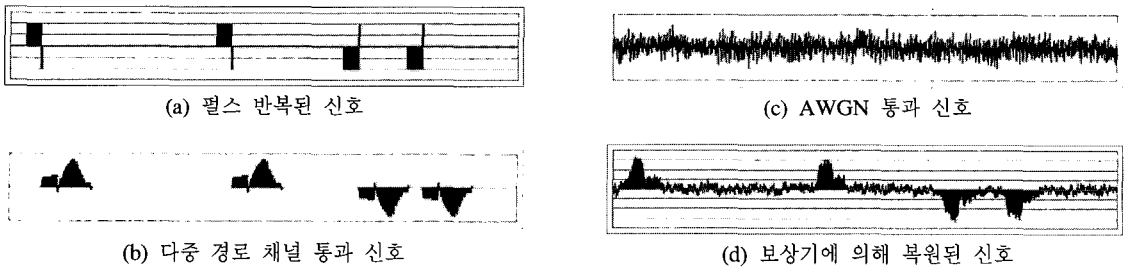
다중 경로 채널에 의해 왜곡된 신호를 보상하기 위해 본 시스템에서 사용한 보상은 <그림 8>에서 도식화했다. 이는 <그림 6>에서 보는바와 같이 de-modulator 전에 위치하며 수신된 신호를 전처리하여 de-modulator로 입력시켜 준다. 송신 단에서 데이터를 전송하기 전에 Preamble sequence를 전송하여 다중 경로 채널에 대한 경로별 지연시간과 파워 등의 채널 특성들을 수신기에서 미리 파악한 후, 그 중 가장 강한 신호를 갖는 순서대로 고정된 window의 수만큼 다중 경로의 채널 파라미터를 저장하게 된다. 보상을 수식화하면 식 7과 같다.

$$r'(t) = \sum_{k=1}^8 r(t - \tau(k)) \cdot h(\tau(k)) \quad (7)$$

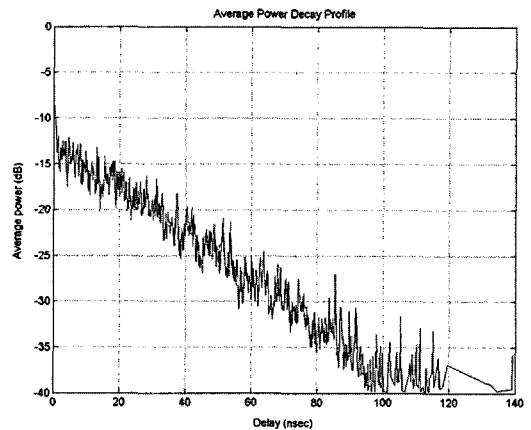
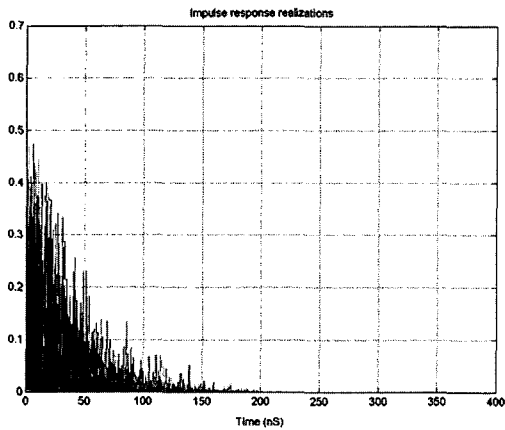
여기서  $k$ 는 window의 개수이고,  $\tau(\cdot)$ 와  $h(\cdot)$ 는 뽑아낸 강한 신호 각각에 대한 채널의 지연 시간과 그에 따른 응답을 나타낸다.



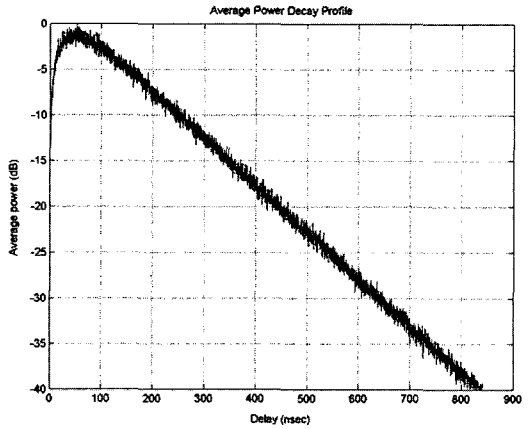
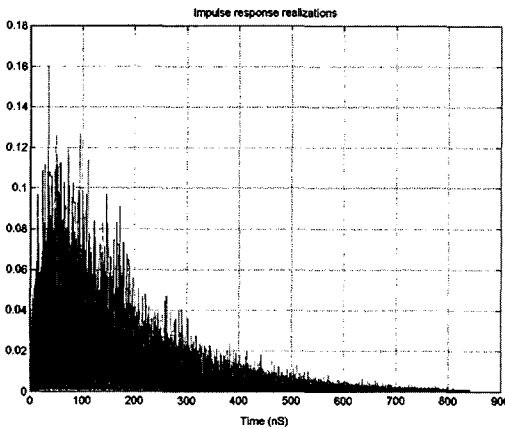
<그림 8> 채널 왜곡 보상기  
 <Fig. 8> Compensator for channel distortion



<그림 9> 송수신 단에서의 신호  
<Fig. 9> Signals at Tx&Rx



(a) CM1 (LOS)



(b) CM8 (NLOS)

<그림 10> 임펄스 응답과 전력 감쇠  
<Fig. 10> Impulse response & power reduction

수신된 신호  $r(t)$ 를 각각의 window가 가지고 있는 신호 지연 값을 가지고 windowing을 한 후 채널의 감쇠에 대한 영향을 제거하기 위해 미리 알아낸

채널의 power의 값( $h$ )을 곱해준다. 8개의 window에 의해서 형성된 windowing 된 신호들을 각각의 지연 시간에 관계없이 동기를 맞추어 합하여 줌으로

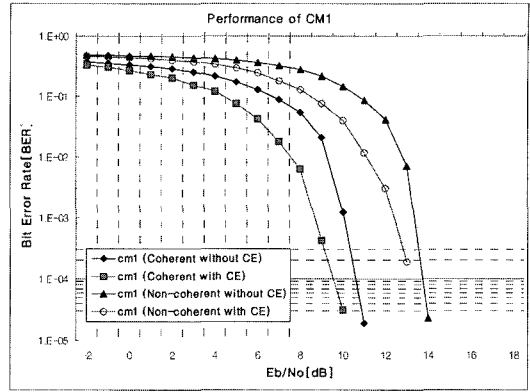
써 다중 경로 채널의 신호 지연에 의한 신호의 왜곡 및 간섭의 영향을 줄여줄 수 있다.

<그림 9>은 채널과 수신기를 거치면서 변화하는 신호를 보여준다. (a)는 송신단에서 펄스 반복을 통해 생성된 전송 신호이고, (b)는 다중 경로 채널(신호 지연 시간이 긴 특성을 가지고 있는 채널 사용)을 통과한 신호이다. 이와 같은 신호는 지연 및 왜곡이 심해 복조가 어렵다. (c)는 AWGN의 영향까지 받은 신호이다. 전체 신호 구간에서 잡음이 발생하는 것을 확인할 수 있고 (b)의 영향까지 더해져서 복조를 위해 필요한 구간에서 신호가 왜곡되는 것을 볼 수 있다. (d)는 본 시스템에서 사용한 수신기를 통해 신호를 보상하여 검출 한 신호로써 보상 후 송신기의 출력 신호와 비슷한 형태의 신호 모양과 타이밍을 갖는 것을 볼 수 있다.

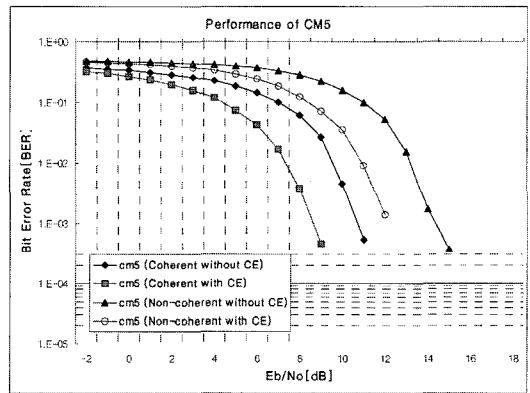
#### IV. 채널 모델

본 논문에서 사용한 채널 모델은 IEEE 802.15.4a의 UWB 채널을 사용하였으며 이 채널은 통신 환경을 주거 환경, 실내 사무실 환경, 실외 환경, 산업 환경으로 나누고 있다. 각각의 환경은 또 LOS(Line-of-Sight)와 NLOS (Non-LOS)로 CM1에서 CM8로 구분되며, 개방된 실외 환경은 NLOS로 CM9로 채널 모델을 구현한다.[7]

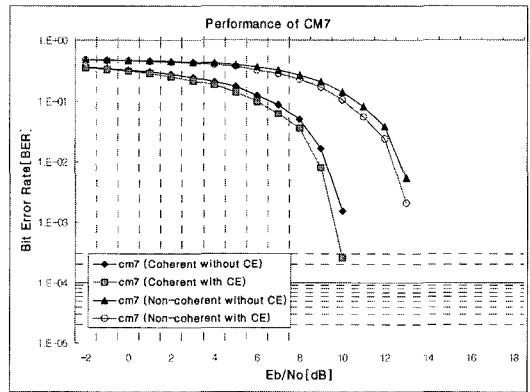
<그림 10>은 IEEE 802.15.4a의 채널 모델 중 전형적인 LOS 환경 및 NLOS 환경의 채널 임펄스 응답을 나타낸다. <그림 8-(a)>와 <그림 8-(b)>는 본 시스템에서 성능 평가를 위해 사용한 채널 중에서 주거 환경인 CM1(LOS)과 산업 환경인 CM8 (NLOS)의 채널 임펄스 응답이다. 그림에서 보는 것과 같이 LOS 주거 환경에서는 약 150ns, NLOS 실외 환경에서는 약 800ns의 임펄스 응답의 지연 폭(delay spread)을 가진다. NLOS 환경의 경우 LOS 환경보다 긴 지연 응답을 가지며 이 때문에 채널의 영향에 의한 신호의 왜곡과 간섭의 양이 크다. 또한 채널 보상을 위한 추가적인 채널 추정 기법이 적용되지 않는다면 펄스의 반복 주기는 주어진 채널 임



(a) CM1 (Residential-LOS)



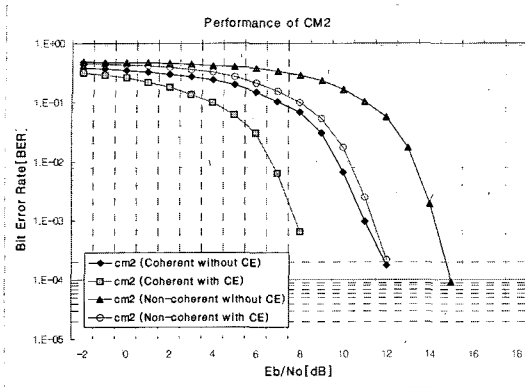
(b) CM5 (Outdoor-LOS)



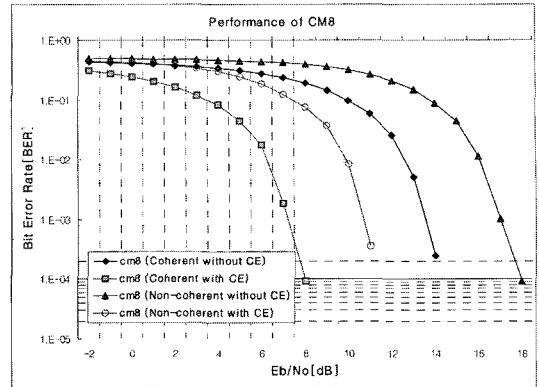
(c) CM7 (Industrial-LOS)

<그림 11> LOS 채널의 시스템 비트오율  
<Fig. 11> System BER performance of LOS channel

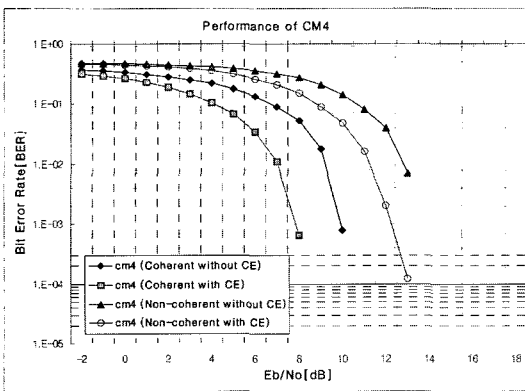
펄스 응답의 지연 폭보다 길어야 심벌 간 간섭(ISI : Inter-Symbol-Interference)을 피할 수 있다.



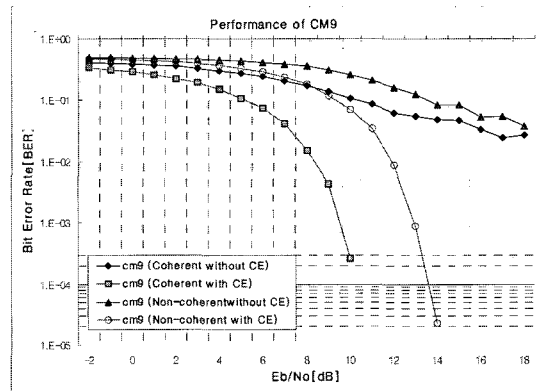
(a) CM2 (Residential-NLOS)



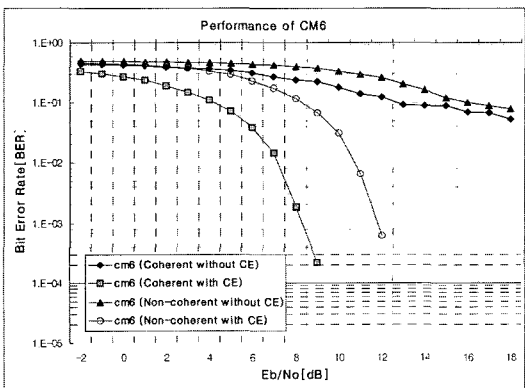
(d) CM8 (Industrial-NLOS)



(b) CM4 (Indoor Office-NLOS)



(e) CM9 (Open outdoor-NLOS)



(c) CM6 (Outdoor-NLOS)

<그림 12> NLOS 채널의 시스템 비트오율  
<Fig. 12> System BER performance for NLOS channel

<표 3> 시뮬레이션 파라미터  
<Table 3> Simulation parameters

Parameter	Value
Chip rate	499.2MHz
Bit rate	851kbps
Chips/symbol	512
Chips/slot	64
Modulation	· Coherent : BPSK+2PPM · Non-Coherent : 2PPM
FEC	· Outer : RS6(63, 55) · Inner : Convolution(R=1/2)
Channel	AWGN & Modified SV-channel

## V. 성능 분석

본 논문에서 구현한 송수신기의 성능 분석을 위해 컴퓨터 모의실험에 적용한 파라미터를 <표 3>에

정리하였다. 여러 다중 경로 채널 상황에 대해서 본 시스템의 수신기의 성능 비교를 위해 변조 방식은



Coherent/Non-coherent의 2가지 방식을 사용 하였으며, 채널은 S-V 채널을 LR-UWB 시스템 맞게 수정한 채널을 사용하였다. 전반적인 성능 비교는 다중 경로 채널에 의해 지연 및 왜곡된 신호를 그대로 수신하는 방식과 신호 보상 알고리즘을 수신기에 추가한 방식에 대해 성능을 비교한다.

<그림 11 (a)>~<그림 11(c)>는 각 채널 환경별 LOS 경우에 대한 성능을 보여준다. 본 시스템에서 사용한 S-V 채널의 다중 경로의 개수는 CM1(15개), CM3(16개), CM5(24개)로 각각 20개 내외의 경로를 가지고 있고, 신호 보상으로 인한 성능 향상도 3~4dB 정도로 비슷하다. 그러나 CM7은 채널 중에서 가장 적은 9개의 다중 경로를 가지기 때문에 채널에 의한 신호의 지연 및 왜곡이 크지 않아 성능 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

<그림 12(a)>~<그림 12(e)>는 각 채널 환경별 NLOS 경우에 대한 성능을 보여준다. CM2(25개), CM4(21개)는 NLOS 경우지만 채널별 지연 시간이 크지 않기 때문에 LOS의 경우와 비슷한 성능 향상을 보인다. 그러나 채널 중 가장 많은 다중 경로를 가지는 CM8(93개)은 신호의 왜곡이 크므로 6dB 이상의 성능 향상을 보인다.

CM6(36개)과 CM9(9개)는 실외 환경에서 신호의 지연 시간이 다른 채널에 비해 아주 크기 때문에 Coherent/Non-coherent 모두 Error floor가 발생하게 된다. 이 경우에 신호를 복원 시키는 알고리즘을 적용할 경우 좋은 성능을 보이게 된다.

## VI. 결 론

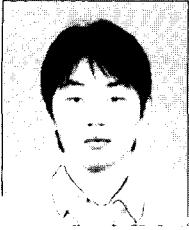
본 논문에서는 3.1GHz LR-UWB 시스템을 위한 송수신기를 구현하여 여러 다중 경로 채널 상황에 대하여 성능 분석을 수행하였다. 모의실험 결과 채널에 의해 왜곡된 신호를 간단한 채널 왜곡 보상을 사용하여 보상에 줄 경우 복조기에서 신호의 검출 능력이 좋아 진다는 것을 알았다. 특히, PPM 변조 방식을 사용하는 본 시스템에서는 펄스의 위치에 따라 신호의 검출 능력이 좌우되므로, 다중 경로 채널의 지연 시

간에 의해 영향을 받은 펄스의 위치를 채널 왜곡 보상을 사용하여 보상에 주게 되면 LOS보다 일반적으로 더 큰 지연 시간을 가지는 NLOS 채널의 성능 향상이 LOS 채널에서의 성능 향상보다 상대적으로 크다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 Coherent/Non-Coherent 방식에 상관없이 모든 채널 환경에서 성능 향상을 보이는 것을 확인 하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.15 Working Group for WPANs, "PART 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless personal Area Networks (LR-WRANs)," *TG 4a drafting doc. 4*. 2005
- [2] 기명호, 최성수, 오희명, 김관호, "저속 WPAN용 비동기방식 OOK 송수신기 성능 분석", *한국통신학회 논문지*, 05-11, vol 30. No. 11A
- [3] 황재호, 임동국, 손성환, 김재명, "LR-WPAN용 변조방식을 이용하는 UWB 4a 송수신기 성능 분석", *한국통신학회 하계종합학술대회*, July 2005,
- [4] Bernard SKLAR, "Digital Communications Fundamental and Applications, second ed." Prentice-Hall, pp167~519, 2001
- [5] Rajeswaran. A, Somayazulu V.S, Foerster J.R, "RAKE performance for a pulse based UWB system in a realistic UWB indoor channel", *ICC '03 IEEE International Conference on*, vol4, 11-15 May 2003
- [6] Moe Z. Win, George Chrisikos, and Nelson R.Sollenberger, "Performance of Rake reception in dense multipath channels: Implications of spreading bandwidth and selection diversity order", *IEEE JSAC*, Vol. 18, No. 8, pp. 1516-1525, Aug. 2000.
- [7] A. F. Molisch et al., "IEEE 802.15.4a channel model-final report", *IEEE 802.15.4a subgroup*, Feb. 2005

저자소개



이 경 탁 (Lee, Kyoung-Tak)

2005년 2월 : 인하대학교 컴퓨터 공학과 졸업

2005년 3월~현재 : 인하대학교 정보통신대학원 석사과정



임 동 국 (Lim, Dong-Guk)

2005년 2월 : 인하대학교 전자 공학과 졸업

2005년 3월~현재 : 인하대학교 정보통신대학원 석사과정



손 성 환 (Sohn, Sung-Hwan)

2006년 2월 : 인하대학교 정보통신대학원 석사

2006년 3월~현재 : 인하대학교 정보통신대학원 박사과정



김 재 명 (Kim, Jae-Moung)

1974년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업

1981년 8월 : 미국 남가주대학교(UCS) 전기공학과 석사

1987년 8월 : 연세대학교 전자공학과 박사

1974년 3월~1979년 6월 : 한국과학기술연구소, 한국통신기술연구소 근무

1982년 9월~2003년 2월 : 한국전자통신연구원 위성통신연구단장/무선방송연구소 소장역임

2003년 4월~현재 : 인하대학교 정보통신대학원 교수, 한국방송공학회 부회장, 통신위성우주 산업연구회 회장 외 다수 기업에 기술자문으로 활동중