

논문 2007-44TC-11-1

LR-WPAN 시스템에서 심볼 전력 할당과 2개의 직교 코드를 사용한 채널 추정 기법

(Symbol Power Allocation and Channel Estimation Method for LR-WPAN System)

이 경 탁*, 이 성 준*, 손 성 환*, 김 재 명**

(Kyung tak Lee, Sung jun Lee, Sung hwan Sohn, and Jae moun Kim)

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.15.4a에서 저속 데이터 전송률을 가지는 WPAN을 위한 표준안 중 하나로 제안한 LR-UWB 시스템을 위한 채널 추정 기법과, 송신 단에서 신호 변조 시 심볼 내 반복되는 펄스 신호들의 전력 레벨을 채널 상황에 따라 유동적으로 할당하는 방법을 제안한다. 채널 추정을 위해 사용된 Preamble은 한 개의 직교 코드가 아닌 두 개의 직교 코드를 사용하여 구성한다. 상관 특성이 좋은 코드 두 개를 사용함으로써 확산 이득을 통해 더욱 정확한 채널 추정이 가능하다는 장점이 있다. 추정된 채널 정보는 수신된 신호의 Burst 구간의 동기를 맞춰주고, 수신된 신호에서 Burst 신호의 채널 상황에 따라 변화되는 에너지 분포에 의해 결정되는 전력 할당 방법에 대한 정보를 송신 단에서 알아내어 Burst를 구성하는 반복 펄스들의 전력 레벨을 바꿔주게 된다. 모의실험을 통한 성능 분석은 IEEE 802.15.4a에서 제시하는 LR-WPAN을 위한 S-V 채널 상황에서 수신기의 방식에 따른 성능을 비교, 분석해 본다. 수신기는 Coherent 방식과 Non-Coherent 방식으로 동작되며, 모의실험 결과 수신기의 방식에 관계없이 LOS(Line-of-Sight) 채널보다 NLOS (Non-Line-of-Sight) 채널에서의 성능 향상이 크다는 특징이 있다는 것을 확인하였고, NLOS 상황에서도 신호의 지연 확산이 클수록 좀 더 큰 성능 향상을 보이는 것을 확인 하였다.

Abstract

In this paper, we proposed channel estimation scheme for LR-UWB system which has low data rate for WPAN in IEEE 802.15.4a. At the transmitter, we proposed dynamic power level allocation depends on channel condition in specific period when we modulate signal. We use two orthogonal code to estimate channel at once. It can estimate channel more accurately by using two code which shows good correlation characteristic then it can estimate more accurately by spreading gain. Using estimated channel condition, we synchronize symbol timing of transmitted signal. Then determined power allocation scheme and channel information is transmitted to transmitter side. Finally, using these information, transmitter side change the power level of repeated pulse to adopt to channel condition. Simulation is performed under S-V channel for LR-WPAN in IEEE 802.15.4a and we compare the performance with a different type of receiver type. We use coherent and non-coherent method at the receiver. Simulation result shows us at the NLOS channel performance evaluation is greater than that of LOS channel and the result is independent of receiver type. In the NLOS channel, as the signal delay spreading is big, performance evaluation is also increased.

Keywords : 802.15.4, LR-WPAN, UWB, PPM, Channel Estimation, Power Allocation

* 학생회원, ** 평생회원, 인하대학교 정보통신대학원 (Inha University)

※ 이 논문은 2006년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업으로 수행된 연구임(No. M10600000194-06J0000-19410).

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (ITA-2006-C1090-0603-0019)

접수일자 : 2007년 6월 22일, 수정완료일:2007년 11월16일

I. 서 론

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 유비

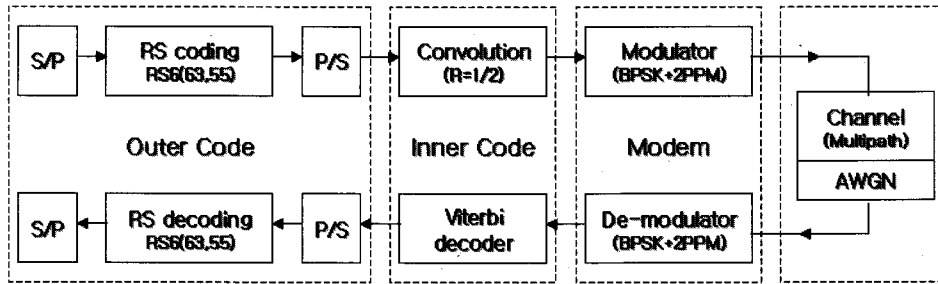


그림 1. LR-UWB 시스템 모델 블록도
Fig. 1. LR-UWB System Model Block Diagram.

쿼터스 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 용이 하기 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 저 전력 동작의 특성을 갖기 위해 PPM+BPSK 변조방식을 이용하였고 수신기는 위상정보의 유·무에 따라 Coherent 방식과 Non-coherent 방식으로 나뉘어 작동 된다. 또한 본 논문에서 제안하는 채널 추정 기법은 채널과 잡음에 의한 신호의 왜곡이 심한 경우에도 정확히 채널을 추정하기 위한 방법으로써 2개의 직교 코드(Ternary Code)를 사용하여 구성되는 Preamble의 상관 특성을 이용하여 채널을 추정하며, 이 추정된 채널 정보를 사용하여 신호의 심볼 동기를 맞추어 준다. 그리고 수신 단에서 보다 더 좋은 신호 검출을 위해서 송신 단에서 심볼의 Burst 구간 Chip들의 전력을 유동적으로 그룹화 하여 채널 상황에 따라 각각의 chip 그룹에 다른 전력 레벨을 할당해 주는 방식을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같

다. II장에서는 UWB LR-WPAN 시스템의 기술적인 개요와 구조를 설명하며, III장에서는 본 논문에서 성능 평가를 위해 구현한 송수신기의 구조를 제시한다. IV장에서는 모의실험에 사용된 채널 모델을 기술하며, V장에서는 수신기의 방식 및 채널 환경에 따른 컴퓨터 모의실험을 통한 성능 비교를 통해 제안된 송수신기의 성능 향상을 확인하며, VI장에서 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 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 대역을 사용하고, 0.85Mbps의 데이터 전송 속도를 지원하는 UWB LR-WPAN 시스템을 기반으로 하였다.^[1] 그림 1은 LR-UWB 시스템의 송수신단의 블록도를 나타내고

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

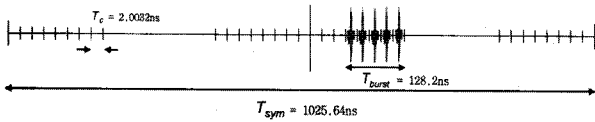


그림 2. 데이터 심볼 구조
Fig. 2. Data Symbol Structure.

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 데이터 심볼 구조는 그림 2에서 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 버스트(Burst)로 구성되며 한 개의 버스트는 64개의 칩(chip)으로 이루어진다. 한 chip의 길이는 펄스와 같으며 2.0032ns의 시간 간격을 갖는다.^[3]

식 1은 LR-UWB 심볼의 출력 신호를 식으로 나타낸 것이다.

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

여기서 $x(t)$ 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 랜덤(random)한 신호로 만들어 주는 생성식과 구조는 아래의 식 2와 그림 3과 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

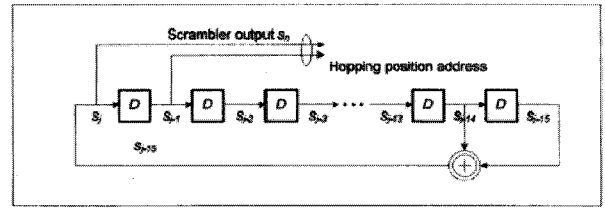


그림 3. 스크램블러 & 호핑 구조
Fig. 3. Scrambler & Hopping Structure.

표 2. 변복조 Mapping
Table 2. Modulation Mapping.

Coherent PPM		Non-coherent PPM	
Impomatin bits	Modulation Symbol	Impomatin bit	Modulation Symbol
0 0	-1 0	0	1 0
0 1	-1 1	0	1 0
1 0	1 0	1	1 1
1 1	1 1	1	1 1

처리하게 된다. 표 2와 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 심볼 내의 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. 본 논문에서는 다중 접속 사용자를 고려한 시스템이 아니기 때문에 $h^{(k)}$ 의 값을 고정시키고 Hopping을 적용시키지 않고 모의실험을 하였다. 생성 다항식은 식 3과 같다.

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

$p()$ 는 식 4와 같이 sinc 함수를 만들어 주는 함수로써 수신된 신호는 $\beta = 0.6$ (roll-off factor)인 RRC(Root

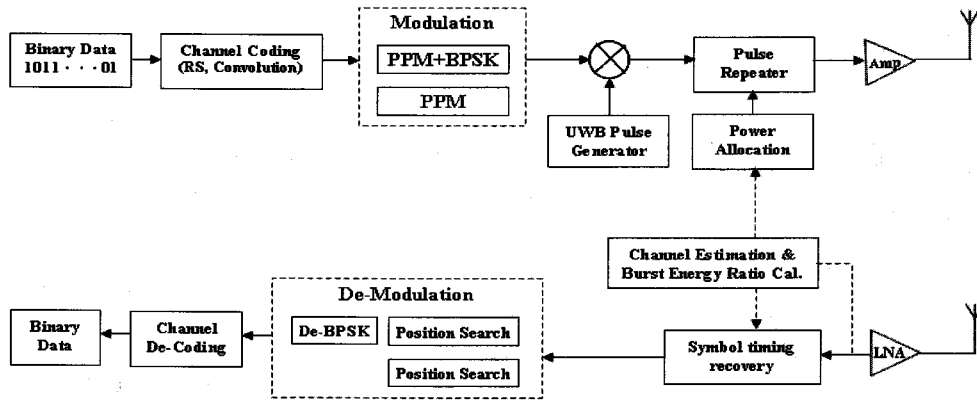


그림 6. LR-UWB 시스템 송수신기 모델 구조
Fig. 6. Tx&Rx Structure of LR-UWB System.

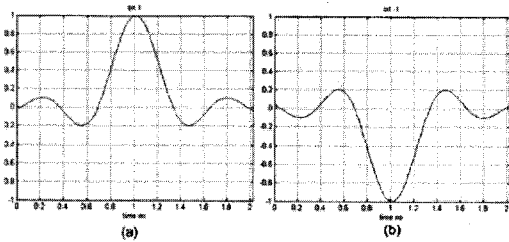


그림 4. 비트별 임펄스
Fig. 4. Bit Impulse.

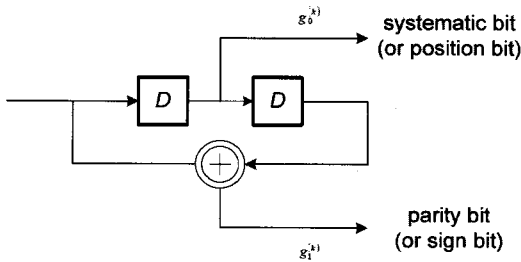


그림 5. 길쌈부호화기
Fig. 5. Convolutional encoder.

Raised Cosine) 필터를 사용하며 식 5와 같고 각 비트의 임펄스는 그림 4와 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 그림 6과 같다. Convolution 코딩을 외부는 RS 코딩을 사용 하였다. RS는 GF(26)을 사용하며 RS6(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 5와 같이 구성되었다.

III. 송수신기 모델

본 논문에서 성능 비교/평가를 위해서 제안한 시스템의 송수신기 모델의 구조는 그림 6에서 나타내었다. 송신기에서는 입력된 데이터를 Channel Coding한 뒤에 PPM, BPSK 변조방식에 의해 변조되고, 변조된 신호는 펄스발생기(Pulse Generator)에 의해 발생된 UWB 신호로 바뀌어 펄스 반복기(Pulse Repeater)에 의해 반복된다. 이 때, 반복되는 펄스는 수신 단으로부터 전달받은 추정된 채널 정보와 전력 할당 방법에 대한 정보에 따라 burst 구간에 가변적으로 전력을 할당한 다음 증폭기와 대역 통과 여파기를 거쳐 안테나를 통하여 방사하게 되는데, 채널의 지연 시간이 길고, 다중 경로가 많은, 채널 상태가 좋지 않은 환경일 경우 신호의 왜곡이 심해 심볼의 검출 능력이 떨어지고 비트오율이 높아진다. 이에 대해 시스템 성능을 높이기 위한 방법으로 채널 추정에 의한 Burst 신호 구간의 동기화 심볼의 전력 할당 방법을 제안한다.

1. 채널 추정

가. Preamble 구조

일반적으로 신호 획득, 동기, 채널 추정 등을 위해 사용하는 Preamble은 직교코드 Set 중 송수신 단에서 약

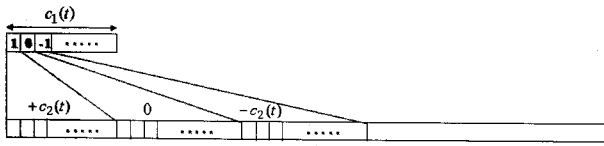


그림 7. 프리엠블 구조
Fig. 7. Preamble Structure.

속된 특정한 한 코드만을 사용한다. 직교 코드를 이용하는 Preamble은 자기 상관 특성이 좋다는 장점을 가지고 있으나 채널의 상황이 안 좋거나 잡음의 영향이 증가하면 상관 특성이 약해지게 된다. 본 논문에서는 LR-WPAN 시스템에서 Preamble의 구성을 위해 사용하는 Ternary Code를 사용하여 채널을 추정하는 기법을 제안한다. 상관 특성이 좋은 두 개의 독립적인 직교 코드를 같이 사용함으로써 보다 정확한 채널 추정을 할 수 있다. 코드 길이가 31인 Ternary Code 시퀀스의 각 비트를 같은 코드 길이를 가지는 다른 Ternary Code 시퀀스를 사용하여 확산 시킨다. Preamble Code의 생성 수식은 식 7에서 나타내었고, 그림 7에서 Preamble의 구조를 도식화 했다.

$$\begin{aligned} c_1 &= [1, 0, 1, \dots, -1, 0]_{31} \\ c_2 &= [1, -1, 0, \dots, 0, 0]_{31} \end{aligned} \quad (7)$$

$$x(t) = c_1(t) \cdot c_2(t)$$

\$c_1\$을 \$c_2\$를 사용해 확산 시키게 되면 수신 단에서는 \$c_2\$에 의한 확산 이득을 통해 \$c_1\$ 코드의 특성을 추출해 낼 수 있게 되고, 코드 \$c_1\$의 특성을 이용해 채널 추정을 수행하게 된다.

나. 채널 추정기

그림 8(a)에서 수신된 신호 \$r(t)\$는 채널을 통과한 Preamble 신호이며, 이 신호를 채널 추정기의 첫 번째

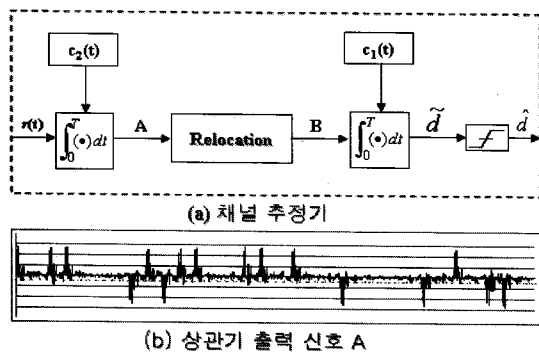


그림 8. 채널 추정기 구조
Fig. 8. Structure of Channel Estimator.

상관기에서 두 번째 코드 \$c_2\$를 사용하여 상호 상관시키게 되면 그림 8(b)처럼 Code 길이인 31 chip 간격으로 \$c_1\$의 각 비트의 부호를 가지는 임펄스 응답 형태로 나타나게 된다. 식 8은 수신된 Preamble 신호이며, 식 9는 첫 번째 상관 기의 출력 신호이다.

$$r(t) = x(t) * h(t) + n(t) \quad (8)$$

$$A = R_{r,c_2}(j) = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} r(i-j) \cdot c_2(i) \quad (9)$$

(\$j = 0, 1, \dots, N\$)

\$x(t)\$는 송신된 Preamble 신호, \$h(t)\$는 채널 임펄스 응답, \$n(t)\$는 AWGN을 나타낸다. \$N\$은 코드 시퀀스의 길이 31이다. 첫 번째 상관기로부터 나온 신호 \$A\$은 두 번째 상관 기에 입력되기 전에 식 10처럼 재배치시킨다.

$$B(k \cdot i) = A(k + iN) \quad (i = 0, \dots, N-1, k = 0, \dots, \tau_{d,max}) \quad (10)$$

여기서 \$\tau_{d,max}\$는 채널 임펄스 응답의 최대 지연 시간이며, 상관 기 출력 신호 \$A\$에서 \$N\$ 간격으로 발생하는 신호를 \$N\$개 씩 묶어 \$\tau_{d,max}\$만큼 쉬프트 시키며 앞쪽부터 순차적으로 재배열 시킨다. \$B\$ 신호를 두 번째 상관 기에서 다시 \$c_1\$과 상관시키게 되면 잡음 성분이 포함된 \$\tilde{d}\$이 나오고, 잡음 성분을 제거한 후 임펄스 응답 \$\hat{d}\$을 구할 수 있다. 두 번째 상관 기의 출력 신호는 식 11과 같다.

$$\tilde{d}_k(t) = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} B_{k,i} \cdot c_{1,i} \quad (k = 0, \dots, \tau_{d,max}) \quad (11)$$

2. 전력 할당

그림 9는 LR-WPAN 시스템에서 사용하는 다중 경로 채널 CM1, CM8, CM9에서 Burst 신호가 채널을 통과한 후의 신호의 특성을 나타낸 것이다.

그림 9(a)에서 보는 것과 같이 CM1은 채널 상황이 좋은(LOS) 경우이므로 심볼의 Burst 신호가 수신단의 신호 검출 구간(\$T_{burst}\$)에는 신호가 거의 다 존재하게 된다. 하지만 (b), (c)의 CM8과 CM9일 경우 채널 상황이 안 좋은(NLOS) 경우이기 때문에 Burst 신호의 많은 부분이 검출 구간 뒤쪽으로 밀려나는 경향이 있다. 채널에 의한 Delay Spread의 영향을 줄이기 위해서

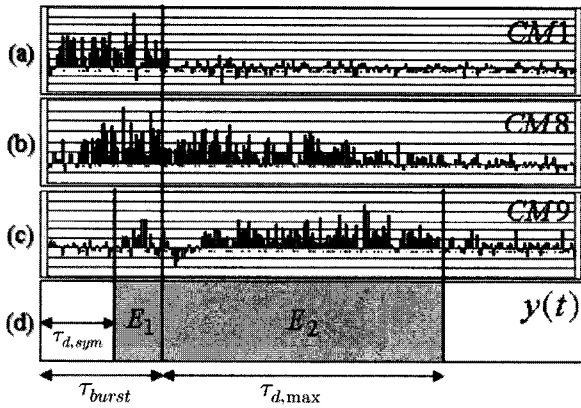


그림 9. 채널 별 수신된 신호 특성
Fig. 9. Received Signals.

Delay Spread가 긴 채널일 경우 송신 단에서 신호 변조 시 Burst 구간의 뒤쪽 신호보다 앞쪽 신호 부분에 더 큰 전력을 할당함으로써 검출 구간에서 신호 검출 능력이 좋아지게 한다. 본 논문에서 제안한 전력 할당 방법은 수신된 신호에서 신호 검출 구간 뒤쪽으로 밀려 나가는 에너지양의 비율만큼 Burst 구간에서 앞쪽에 있는 Chip들에게 더 큰 전력을 실어 전송하는 방식을 사용하였다. 검출 구간 뒤로 벗어난 에너지의 비율을 측정하기 위해 그림 9(d)에서 나타난 것처럼 수신 신호 $y(t)$ 의 심볼에서 E_1 과 E_2 구간의 에너지 양을 식 12과 13를 사용하여 계산한다.

$$E_1 = \int_{\tau_{d,sym}}^{\tau_{burst}} y^2(t) dt \quad (12)$$

$$E_2 = \int_{\tau_{burst}}^{\tau_{max}} y^2(t) dt \quad (13)$$

위 식에서 $\tau_{d,sym}$ 은 심볼의 시작 지점으로부터의 지연 시간이고, $\tau_{d,max}$ 는 심볼의 최대 지연 시간이다. $\tau_{d,sym}$ 과 $\tau_{d,max}$ 는 앞에서 살펴본 채널 추정을 통해 알아낼 수 있다. 식 14에서 E_2 의 비율 ϵ 을 구하고, ϵ 값에 따라 Burst 구간의 전력을 할당해 주게 되는데 이때 전력을 높여주는 구간과 낮춰주는 구간의 Chip 개수는 식 15와 같다.

$$\epsilon = \frac{E_2}{E_1 + E_2}, \quad 0 < \epsilon < 1 \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{Power Up} : & \epsilon N \\ \text{Power Down} : & (1 - \epsilon)N \end{aligned} \quad (15)$$

전력 할당에 대한 정보를 송신 단에서 알아내어 Burst 신호에 구간별로 다른 전력 레벨을 할당하기 위한 정보로 사용된다. 송신 단에서의 전력 할당 수식은,

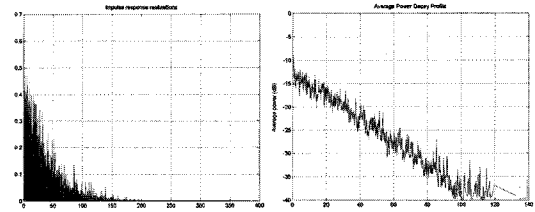
$$0 \leq \epsilon < 0.5 \begin{cases} (1+w)S_i, & 0 \leq i \leq (\epsilon N) \\ (1-w)S_i, & N - (\epsilon N) \leq i \leq N \\ S_i, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

$$0.5 \leq \epsilon \leq 1 \begin{cases} (1+w)S_i, & 0 \leq i \leq N - (\epsilon N) \\ (1-w)S_i, & (\epsilon N) \leq i \leq N \\ S_i, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

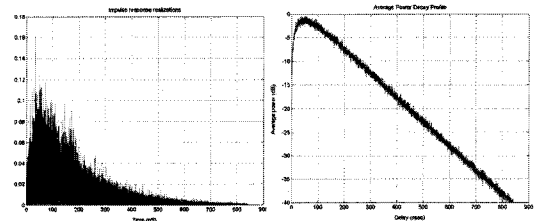
이고, S_i 는 burst 신호로 변조된 신호이다. 식 16는 Burst 구간을 벗어나는 에너지양이 50% 미만일 때, 식 17은 50% 이상일 때를 각각 나타내며, w 는 전력을 얼마나 높여줄 것인가에 대한 가중치로써 0과 1사이의 값을 가지는데, 이 가중치는 채널의 상황에 따라 다르게 주게 된다. 채널이 안 좋아 질수록 높은 값을 준다.

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 10은 IEEE 802.15.4a의 채널 모델 중 전형적



(a) CM1 (LOS)



(b) CM8 (NLOS)

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

인 LOS 환경 및 NLOS 환경의 채널 임펄스 응답을 나타낸다. 그림 8(a)와 (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 임펄스 응답의 지연 폭보다 길어야 심벌 간 간섭(ISI)을 피할 수 있다.

V. 성능 분석

본 논문에서 구현한 송수신기의 성능 분석을 위해 컴퓨터 모의실험에 적용한 파라미터를 표 3에 정리하였다. 여러 다중 경로 채널 상황에 대해서 본 시스템의 수신기의 성능 비교를 위해 변조 방식은 Coherent 및 Non-coherent의 2가지 방식을 사용 하였으며, 채널은 S-V 채널을 LR-UWB 시스템 맞게 수정한 채널을 사용하였다. 성능 개선의 주요 목적은 채널 상황이 안 좋은 NLOS 채널 상황에서의 성능 향상을 보기 위함이고, LOS 채널 상황과 NLOS 채널 상황에 대해서 성능 비교 및 분석을 한다. 전반적인 성능 비교는 다중 경로 채널에 의해 지연 및 왜곡된 신호를 그대로 수신하는 방식과 채널 추정에 의한 Burst 구간 동기화에 의한 성능 그리고 전력 할당 알고리즘까지 적용시킨 방식에 대해 성능을 비교한다.

그림 11은 CM1, CM3, CM5, CM7의 성능 그래프를

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 : RS ₆ (63, 55) • Inner : Convolution(R=1/2)
Channel	AWGN & Modified SV-channel

동시에 나타낸 것이다. 채널 추정에 의한 Burst 구간 동기를 맞추어 주고, 전력 할당 기법을 적용하더라도 CM5 채널에서만 0.5dB 정도의 성능 향상만 있었을 뿐 다른 채널의 경우 거의 비슷한 성능을 보였다. 본 시스

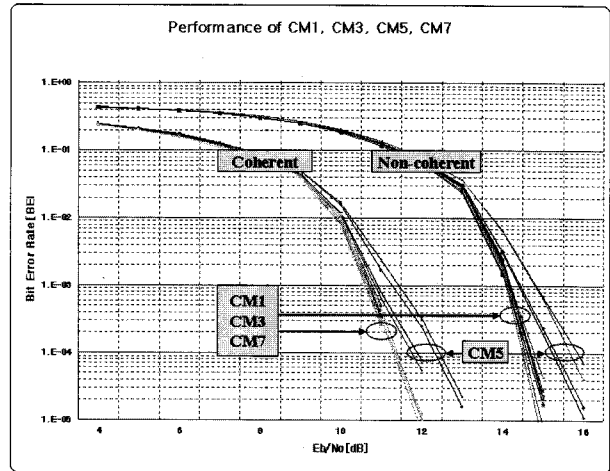
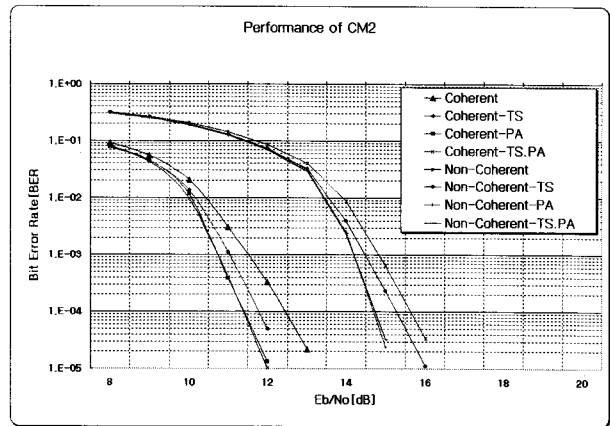
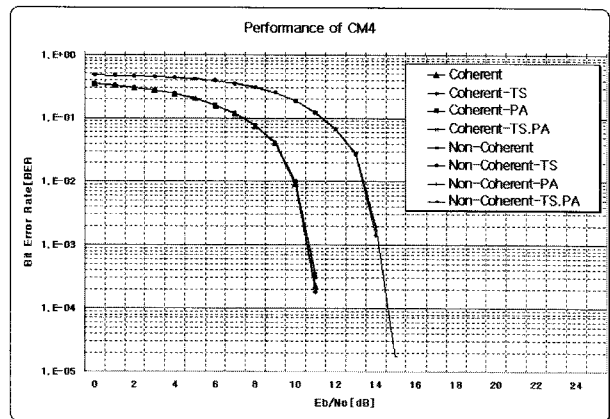


그림 11. LOS 채널(CM1,3,5,7)의 시스템 비트오율
Fig. 11. System BER performance for LOS channel.



(a) CM2 (Residential-NLOS)

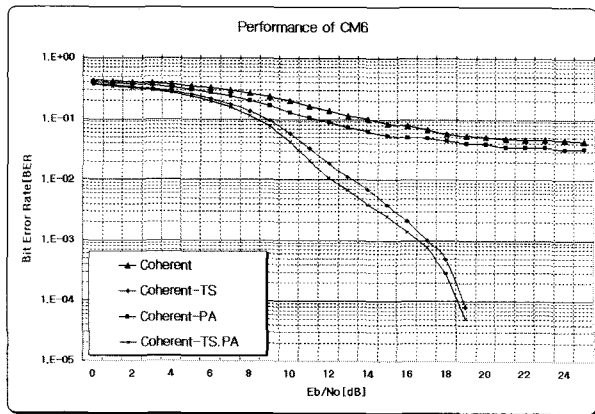


(b) CM4 (Indoor Office-NLOS)

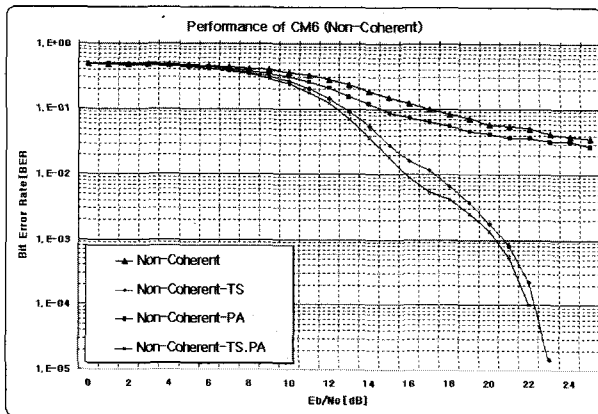
그림 12. CM2, CM4 (NLOS) 채널의 시스템 비트오율
Fig. 12. System BER performance for NLOS channel.

템에서 사용한 S-V 채널의 다중 경로의 개수는 LOS 환경일 경우 CM1(15개), CM3(16개), CM5(24개), CM7(9개) 등 각각 20개 내외의 경로를 가지고 있고, LOS이기 때문에 심볼의 지연 시간 또한 거의 없다. 그렇기 때문에 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하더라도 성능에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 그림 12 (a), (b)는 각각 NLOS 환경인 CM2, CM4 채널에 대한 성능을 보여준다. CM2, CM4 채널들의 다중 경로 개수는 각각 25개, 21개이며, 심볼의 지연 시간도 거의 없다. 이는 LOS 환경의 채널들과 비슷한 특성을 가지고 있고, 성능 향상 면에서도 LOS 채널의 성능과 크게 차이가 없음을 알 수 있다.

그림 13는 CM6의 성능 그래프를 나타낸다. CM6은 36개의 다중 경로를 가지며 심볼의 지연 시간도 Burst 구간을 벗어 날 만큼 크다. 심볼의 지연 시간이 크기 때문에 Burst 구간 동기를 맞추어 주게 되면 Error floor 현상을 방지할 수 있게 되고, 전력 할당 방법을 같이 적용 시키면 좀 더 나은 성능 향상을 보이게 된다. 그림



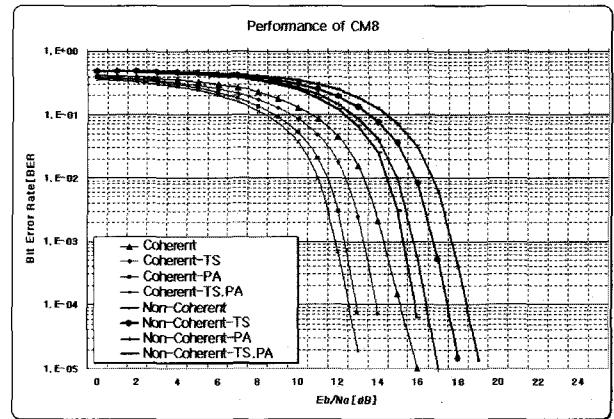
(a) CM6 (Outdoor-NLOS) - Coherent



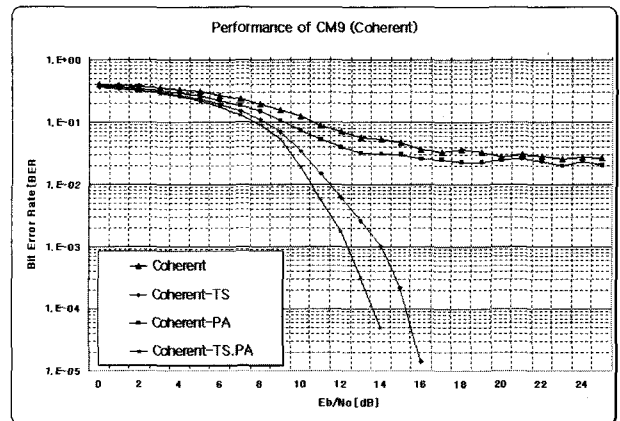
(b) CM6 (Outdoor-NLOS) - Non-Coherent

그림 13. CM6 (NLOS) 채널의 시스템 비트오율
Fig. 13. System BER performance for NLOS channel.

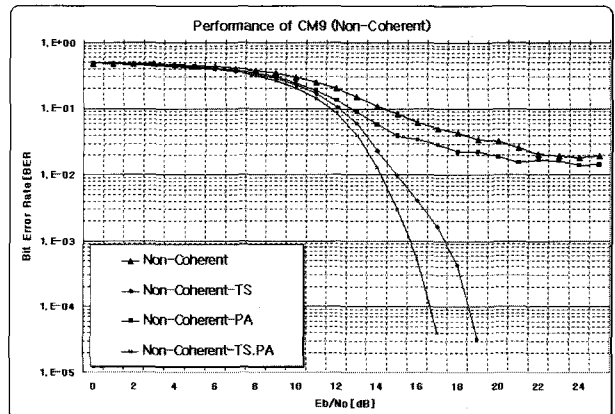
14(a)은 CM8의 성능 그래프이다. CM8은 본 시스템에서 사용하는 S-V 채널 중에서 가장 많은 다중 경로(93개)를 가지고 있는 채널이지만 심볼의 지연 시간은 크지 않다. 그렇기 때문에 전체적인 성능은 다른 채널의 경우일 때보다 낮은 성능을 보이지만 Error floor 현상은 보이지 않는다. CM8 환경에서 Burst 구간 동기화와



(a) CM8 (Industrial-NLOS)



(b) CM9 (Open outdoor-NLOS) - Coherent



(c) CM9 (Open outdoor-NLOS) - Non-Coherent

그림 14. CM8, CM9 (NLOS) 채널의 시스템 비트오율
Fig. 14. System BER performance for NLOS channel.

전력 할당 방식을 각각 적용 시키면 1~2dB 성능 향상을 얻을 수 있고, 두 방식을 같이 적용 시키면 약 2.5dB 정도의 성능 향상을 보인다. 그림 14(b)와 (c)는 CM9의 성능 그래프이다. CM9도 CM6와 마찬가지로 다중 경로의 개수는 적지만 심볼의 지연 시간이 큰 채널 상황이기 때문에 Error floor 현상이 발생한다. CM9에서도 또한 채널 추정에 의한 Burst 구간 동기화와 전력 할당 방식 적용 시 Error floor 현상의 방지와 성능 향상이 있음을 확인 할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 3.1GHz LR-UWB 시스템을 위한 송수신기를 구현하여 LOS/NLOS 상황에 대하여 성능 분석을 수행하였다. 모의실험 결과 Burst 신호구간의 동기를 맞추어 주고 전력 할당을 해주게 되면 채널의 다중 경로 개수와 심볼의 지연 시간에 따라 성능 향상에 차이가 있었다. 특히 채널 상황이 안 좋을수록 성능 향상이 크다는 것을 확인하였다. 그리고 Coherent/Non-Coherent 방식에 상관없이 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, 오휘명, 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.

저 자 소 개



이 경 탁(학생회원)
 2005년 인하대학교 컴퓨터공학과
 학사.
 2007년 인하대학교 정보통신대학원
 석사.
 <주관심분야 : 무선인지기술, 이
 동통신>



이 성 준(학생회원)
 2006년 인하대학교 전자공학과
 학사
 2006년~현재 인하대학교
 정보통신대학원 석사과정
 <주관심분야 : RFID, 이동통신>



손 성 환(학생회원)
 2004년 인하대학교 전자공학과
 학사.
 2006년 인하대학교 정보통신
 대학원 석사.
 2006년~현재 인하대학교
 정보통신대학원 박사과정
 <주관심분야 : 무선인지기술, 이동통신, OFDM>



김 재 명(평생회원)
 1974년 한양대학교 전자공학과 학사
 1981년 미국 남가주대학교(USC)
 전기공학과 석사
 1987년 연세대학교 전자공학과
 박사.

1974년 3월~1979년 6월 한국과학기술연구소,
 한국통신기술연구소 근무
 1982년 9월~2003년 3월 한국전자통신연구원
 위성통신연구단장,
 무선방송연구소 소장역임
 2003년 4월~현재 인하대학교 정보통신대학원
 교수, 한국방송공학회 부회장, 통신위성
 우주산업연구회 회장 외 정부 및 다수 기업에
 기술자문으로 활동중
 <주관심분야 : 광대역 무선전송, 이동통신 및 위
 성통신, 디지털 방송분야>