

논문 2006-43TC-2-2

다중경로 환경을 고려한 PPSM 임펄스 시스템의 성능 분석

(Performance of PPSM System in multipath channel for UWB Communication)

박 호 환*, 김 진 수*, 황 현 철**, 곽 경 섭*

(Ho-Hwan Park, Jin-Su Kim, Hyeon-Chyeol Hwang, and Kyung-Sup Kwak)

요 약

최근, UWB 시스템은 많은 연구가들의 관심을 끌고 있다. UWB 시스템은 수~수십 나노초의 임펄스를 사용함으로서 고속의 데이터를 전송할 수 있다. 본 논문에서는 기존의 UWB 임펄스 변조 방식인 PPM 변조 방식과 직교 펄스를 이용한 PSM 변조 방식의 결합 형태인 PPSM 변조 방식의 성능을 AWGN 채널 및 UWB 다중 경로 채널 표준인 SV 채널에서 분석한다. 또한 다중 경로 채널에서 좋은 성능을 보이는 M진 시스템을 위한 최적 심볼 집합을 제시한다. 모의실험을 통하여 PPSM 시스템이 다중경로 자연이 적은 CM1에서 더 좋은 성능을 보이나 2진 시스템과 4진 시스템은 특정 E_b/N_0 값에서 역전되는 것을 확인하였다.

Abstract

Recently, Ultra-wideband (UWB) Communication systems have become a popular research topic. UWB system is characterized by the fact that the digital information represented by a subnanosecond pulses is transmitted through the air. In this paper, we consider the PPSM scheme that combine PPM and PSM. We provide the performance in AWGN and SV multipath channel which consists of CM1~CM4. The optimal symbol set for M-ary system in multipath channel which shows good performance is also presented. The simulation results show that the performance in CM4 is worse than that in CM1 due to long delay spread, many multipath components, 4-ary system outperforms binary system in Low E_b/N_0 but not in high E_b/N_0 . We find system have the optimal symbol set in multipath channel.

Keywords : UWB, PPM, PSM, SV channel, PPSM

I. 서 론

최근 WPAN 영역에서의 통신에 대한 요구, 특히 고속 멀티미디어 전송에 대한 요구가 증가하면서 UWB 통신시스템은 많은 이들의 관심을 받고 있다. UWB 통신시스템은 디지털 정보를 수~수십 나노초의 펄스를

사용하여 자유공간으로 전송하므로 저 전력으로 고속의 데이터를 전송할 수 있는 것이 특징이다^[1]. 반송파를 사용하지 않기 때문에 RF 회로를 추가할 필요가 없고 저 가의 회로를 구성하는 것이 가능하며, 매우 낮은 전력 레벨을 사용하기 때문에 기존의 통신시스템과 간섭을 일으키지 않고 사용할 수 있는 장점이 있다. 특히 수 GHz의 대역폭을 사용함으로 다중경로에 강하다^[2].

UWB 통신시스템을 위해 이미 많은 형태의 변조 기법들이 제안되었으며 펄스 위치 변조(PPM: Pulse Position Modulation), 펄스 형태 변조(PSM: Pulse Shape Modulation) 그리고 펄스 진폭 변조(PAM: Pulse Amplitude Modulation) 기법들이 대표적이다. 참조 문헌 [3, 4]에서는 AWGN 상에서 PPM 변조기법의 성능

* 정회원, 인하대학교 정보통신대학원

(Graduate school of Information Technology & Telecommunication, Inha University)

** 정회원, 인하대학교 대학원

(Graduate school, Inha University)

※ 본 연구는 인하대학교 IT 연구센터 과제 UWB-ITRC의 지원을 받아 수행되었음.

접수일자 : 2005년11월16일, 수정완료일 : 2006년2월15일

및 용량을 분석하였고, 참조 문헌 [5]에서는 AWGN 채널에서 동작하는 UWB-PAM 시스템을, 참조문헌 [6, 7]에서는 다중 경로 환경에서 레이크 수신기를 사용하는 UWB-PAM 시스템의 성능을 분석하였다. 뿐만 아니라 직교특성을 갖는 변형 Hermite 펄스를 사용하는 PSM 시스템의 성능에 관해서도 많은 연구가 이루어졌다^[8-12]. 최근에는 PAM 변조기법과 PPM 변조기법, PAM 변조기법과 PSM 변조기법 그리고 PPM 변조기법과 PSM 변조기법을 혼합한 변조 기법들에 관한 연구도 이루어졌다^[13,14,18]. 그러나 이들 혼합 기법들의 경우 모두 AWGN 채널만을 고려하여 성능을 분석하였으며 다중 경로 채널에 대한 성능 평가는 이루어지지 않은 상태이다. 따라서 본 논문에서는 PPM 변조기법과 PSM 변조기법을 결합한 PPSM(Pulse Position and Shape Modulation) 변조기법에 관하여 연구하였고 AWGN 채널뿐만 아니라 UWB 다중 경로 채널 표준인 SV 채널에서 성능을 분석하였다. 또한, SV 채널에서 모의실험을 통해 가장 좋은 성능을 보이는 최적의 심볼집합이 존재함을 확인하였다.

본 논문은, II장에서는 UWB 시스템의 신호모델 및 채널모델에 대해서, III장에서 기존의 변조 기법들에 대해 간략히 설명하였고, IV장에서 PPSM 변조 기법에 대해 설명하였으며, V장에서는 모의실험 및 실험 결과를, 마지막으로 VI장, 결론을 제시하였다.

II. UWB 시스템의 신호모델 및 채널모델

1. 신호모델

UWB 전송 시스템에서는 k 번째 사용자의 전송신호는 다음과 같다.

$$s_{tr}^k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} w(t - jT_f - c_j^k T_c - d_j^k \delta). \quad (1)$$

여기서 t 는 클럭 시간이며, $w(t)$ 는 전송된 모노사이클이다. T_f 는 펄스 반복 시간을 나타내며, 보통 모노사이클의 주기보다 수백에서 수천 배 길다. 충돌을 피하기 위해서 각 사용자는 타임 흡평 코드 c_j^k 를 사용하고 T_c 는 코드의 칩 주기이다. d_j^k 는 UWB 전송 시스템의 변조 방법에 따라 결정되며, δ 는 변조 상수이다. 수식 (1)로 표현되는 신호의 전력 스펙트럼은 다음과 같다^[15].

$$S_{tr}^k(f) = \frac{|W(f)|^2}{T_f^2} C(f) \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta_D(f - kT_f). \quad (2)$$

여기서, $C(f)$ 는 다음과 같다.

$$C(f) = \left| \sum_{n=0}^{N_p-1} \exp\{-j2\pi f(nT_f + c_n T_c)\} \right|^2. \quad (3)$$

UWB 신호는 펄스 반복 시간 T_f 로 인해 스펙트럼에 이산적인 성분이 발생한다. 이와 같은 현상은 주파수 운용에 매우 나쁜 영향을 미치며 따라서 이산 성분을 감소시키기 위한 대안을 찾는 일은 매우 중요하다. 타임 흡평 코드를 적절히 선택하는 것은 이산 성분을 감소시키기 위한 한 가지 방법이 될 수 있다^[18].

2. Saleh-Valenzuela(SV) 채널 모델

수정 SV 채널 모델^[17]은 인텔에서 SV 채널^[16]을 수정하여 제안한 채널 모델이다. 수정 SV 채널 모델이 기존의 SV 채널 모델과 다른 점은 다중 경로 신호의 크기가 로그노말 분포를 따르며 위상이 ± 1 로 랜덤한 값을 갖는다는 것이다. 따라서 i 번째 다중경로 채널의 임펄스 응답은 다음과 같다.

$$h_i(t) = X_i \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K \alpha_{k,l}^i \delta(t - T_{k,l}^i - \tau_{k,l}^i). \quad (4)$$

여기서, $\alpha_{k,l}^i$ 는 채널계수로써 i 번째 클러스터의 k 번째 레이의 다중 경로 획득 상수로 크기와 위상을 포함하고 있고, $\tau_{k,l}^i$ 는 i 번째 클러스터 내의 k 번째 레이의 도착 시간이며, i 번째 클러스터 내의 첫 번째 레이의 도착 시간 $\tau_{0,i}^i = 0$ 이다. 클러스터와 레이의 도착 시간은 자수분포를 따른다.

X_i 는 로그노말 쉐도잉으로 $X_i = 10^{n/20}$ 이며 n 은 평균이 0dB이고 표준편차가 3dB인 정규분포를 따른다. 클러스터 도착 시간 $T_{k,l}^i$ 과 레이 도착 시간 $\tau_{k,l}^i$ 의 분포는 다음과 같다.

$$p(T_l | T_{l-1}) = \Lambda \exp[-\Lambda(T_l - T_{l-1})], l > 0, \quad (5)$$

$$p(\tau_l | \tau_{(k-1),l}) = \lambda \exp[-\lambda(\tau_l - \tau_{(k-1),l})], k > 0. \quad (6)$$

채널 계수는 소규모 페이딩 ξ_i 과 대규모 페이딩 $\beta_{k,l}$ 로 이루어져 있고 $\alpha_{k,l} = p_{k,l} \xi_i \beta_{k,l}$ 로 주어진다. 여기서, $p_{k,l}$ 는 반사로 인한 신호의 반전을 계산하기 위한 ± 1 값이며, $\xi_i \beta_{k,l}$ 는 로그노말 분포를 따른다.

$$20 \log_{10}(\zeta_{k,l}) \propto Normal(\mu_{k,l}, \sigma_1^2 + \sigma_2^2). \quad (7)$$

$$|\zeta_{k,l}| = 10^{(\mu_{k,l} + \sigma_1^2 + \sigma_2^2)/20}$$

클러스터와 레이의 개수 n_1 과 n_2 는 서로 독립이며 평균 파워 지연 프로파일은 다음과 같다.

$$E[|\xi_{k,l}|^2] = Q_0 e^{-T_1/\Gamma} e^{-\tau_{k,l}/\gamma}. \quad (8)$$

수식 (8)은 각각의 클러스터나 총 클러스터의 전력이 지수적으로 감쇠한다는 것을 의미한다. Q_0 는 첫 번째 클러스터의 첫 번째 경로의 평균 에너지이다. 여기서 클러스터와 레이의 도착율은 불변이라고 가정한다. 이 때, 아주 작은 지연 시간 동안의 도착율은 큰 지연의 경우에 비해 매우 작다. 또한, 작은 초과 지연을 갖는 송신 기에서 수신기로의 전파경로는 물리적으로 가능성성이 매우 낮다. 따라서 채널 모델을 단순화하기 위해 IEEE 802.15.3a 모델에서는 이런 효과를 반영하지 않았다.

III. 기준의 변조 기법

일반적으로 펄스를 이용하는 UWB 변조 기법에는 펄스의 시간적인 위치를 이용하여 정보를 전송하는 PPM 방식과 직교관계를 갖는 여러 개의 펄스를 사용하여 정보를 전송하는 PSM 방식, 그리고 펄스의 진폭을 이용하여 정보를 전송하는 PAM 방식으로 구분된다.

1. 펄스 위치 변조(PPM)

PPM 변조 기법은 Win과 Scholtz^[1]에 의해서 제안되었다. 일반적으로 PPM 변조에서는 “모노사이클”을 사용하며, 전송 모노사이클은 다음 수식과 같다.

$$w_{tx}(t) = t e^{-2\pi\left(\frac{t}{t_n}\right)^2}. \quad (9)$$

여기서, t_n 은 펄스의 폭을 조절하는 파라미터이다.

임펄스 통신 분야에서는 PPM 변조 기법을 가장 일반적으로 사용하며 신호들은 시간 차이 δ 를 추가하여 구분할 수 있다. 따라서 M진 시스템의 경우 전송 심볼 집합 S 는 다음과 같다.

$$S = \{s_1(t), \dots, s_M(t)\}. \quad (10)$$

여기서 N 번째 심볼 $s_N(t)$ 는 다음과 같다.

$$s_N(t) = s_1(t - (N-1)\delta). \quad (11)$$

PPM 시스템의 수신 신호 $r(t)$ 는 다음과 같다.

$$r(t) = As_m(t - \tau) + \eta(t). \quad (12)$$

여기서 A 는 신호의 감쇄 상수이며, τ 는 전파지연, $\eta(t)$ 는 잡음이다. 신호의 검출은 상관기를 사용하며, 상관기의 출력은 다음 식과 같다.

$$x_i(t) = \int_{-\infty}^{\infty} r(t)v(t)dt. \quad (13)$$

여기서, $v(t)$ 는 수신단에서 사용되는 참조신호이다. 2진 PPM 시스템의 정보비트 I_i 는 상관기의 출력값을 이용하여 결정되며 다음 수식을 따른다.

$$I_i = \begin{cases} 1, & x_i \geq 0 \\ 0, & x_i < 0 \end{cases}. \quad (14)$$

2. 펄스 형태 변조(PSM)

PSM 변조 기법은 서로 직교하는 펄스를 사용하여 UWB 전송 신호를 구성한다^[3]. 정보비트는 직교 펄스의 유무 혹은 펄스의 모양으로 변조된다. 각 펄스 $H_n(t)$ 는 주기 T 를 갖고 에너지는 1이고 두 펄스 신호의 직교 관계는 다음과 같다.

$$\epsilon_{n,m} = \int_{-T/2}^{T/2} H_n(t)H_m(t)dt = \begin{cases} 0, & \text{if } n \neq m \\ 1, & \text{if } n = m \end{cases}. \quad (15)$$

N 진 PSM 시스템은 직교 기저 집합 B 를 갖게 되며, B 는 다음과 같다.

$$B = \{H_1(t), H_2(t), \dots, H_N(t)\}. \quad (16)$$

각 펄스 구간에는 한 개의 직교 펄스가 전송되며 동기가 완벽하다고 가정하므로 수신 신호와 참조 신호의 상관기 출력을 이용하여 최대우도기법을 이용한 검출이 가능하게 된다. 각각의 상관기 출력은 다음과 같다.

$$\phi_n(t) = \int_{-T/2}^{T/2} r(t)H_n(t)dt. \quad (17)$$

$r(t)$ 는 수신신호이며, 복조기는 가장 큰 값을 출력한 상관기의 인덱스 n 을 선택한다. 경로 손실은 1로 가정하고, 동기가 정확하게 맞는다고 가정했을 때 검출은 다음 규칙을 따른다.

$$\hat{n} = \{n | \phi_n(t) > \phi_m(t) \forall m, n \neq m\}. \quad (18)$$

수신단에서는 \hat{n} 값을 결정하기 위해 최대우도기법을

적용한다.

3. 펠스 진폭 변조 (PAM)

PAM 변조 기법에서는 정보를 전달하기 위해 같은 신호를 여러 진폭으로 변조하여 전송한다. 이 때, PAM 신호는 다음과 같다.

$$x_A(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} A_j w(t - jT_j). \quad (19)$$

여기서 A_j 는 j 번째 펠스의 진폭이다. 이전 변조 시스템에서는 양극 신호를 사용하는 것이 가장 이상적이다. 예를 들어, 심볼 '0'에 대해서는 $A_j = 1$, 심볼 '1'에 대해서는 $A_j = -1$ 이 된다. T_j 는 프레임 주기이며, $w(t)$ 는 전송 펠스이며 신호의 검출을 위해서 상관기를 사용할 수 있다.

4. 결합 기법

기존의 변조기법인 PPM 변조기법과 PAM 변조기법 그리고 PSM 변조기법 간의 결합 변조 기법이 존재하며^[13, 14, 18] PPAM, PPSM 등의 이름으로 명명되었다.

IV. PPSM 변조 기법

기존의 임펄스 통신에서는 이진 정보를 전송하기 위해서 PPM이나 PSM 혹은 PAM 변조기법을 많이 사용하였다. 이미 PSM과 PAM, PPM과 PAM 그리고 PPM과 PSM을 결합한 변조 기법들에 관한 연구가 진행되었다^[13, 14, 18]. 그러나 이들 결합기법의 경우, 대부분 AWGN에서의 성능 분석에만 그칠 뿐 다중경로를 고려한 연구는 미비한 상태이다. 본 논문에서는, PPM 변조 기법과 PSM 변조 기법을 결합한 변조 기법에 관하여 연구하고 다중 경로 환경인 수정 SV채널에서 성능을 분석하였다.

1. Pulse Position Shape Modulation(PPSM)

기존의 시스템인 PPM 변조 기법과 직교 PSM 변조 기법을 결합하면 많은 개수의 결합 심볼을 얻을 수 있다^[18]. 2진 PPM과 k 진 PSM 시스템을 결합한 경우 같은 에너지의 심볼 개수는^[18]

$$N = \left(\frac{k^3 - k^2 + 4k - 2}{k} \right) C(k, k-1) \quad (20)$$

이며, 여기서 $C(m, r)$ 는 다음과 같다.

표 1. 2진 PPM과 2진 직교 PSM을 결합한 경우의 PPSM 심볼

Table 1. PPSM Symbol of case which combine Binary PPM and Binary PSM.

시간 위치 1		시간 위치 2	
펠스 A	펠스 B	펠스 A	펠스 B
0	0	0	2
0	0	1	1
0	0	2	0
0	1	0	1
0	1	1	0
0	2	0	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
2	0	0	0

$$C(m, r) = \frac{(m+r-1)!}{r!(m-1)!}. \quad (21)$$

따라서 2개의 직교 펠스를 사용할 경우, 10개의 심볼을 얻을 수 있으며 그 심볼은 표 1과 같다^[18].

표 1의 값들은 각 위치, 각 펠스의 진폭을 나타낸다. 각각의 행은 심볼을 표현하는 벡터로 사용되며 2개의 펠스로 이루어져 있다. 각 펠스가 에너지 1로 정규화되어 있다. 전부 10개의 심볼을 가지므로 2개의 펠스를 사용하는 경우 PPSM 시스템은 2진, 4진, 8진으로 적응형으로 사용할 수 있다^[18].

전송속도를 최대로 하기 위해 심볼 당 3비트의 정보를 전송할 경우, k 개의 상관기가 필요하며 모두 45개의 심볼 집합을 얻을 수 있다. 이 경우 표 1의 벡터를 이용하여 최소거리를 구하면 심볼 집합의 최소 거리가 모두 같음을 알 수 있다. 그러나 다중경로 채널에 따라 같은 최소 거리를 갖는 심볼 집합을 사용하더라도 심볼 집합에 따라 성능이 달라질 수 있으며 본 논문에서는 모의 실험을 통해 45개의 심볼 집합 중 가장 좋은 성능을 보이는 심볼 집합과 가장 나쁜 성능을 보이는 심볼 집합을 확인하여 그 성능을 분석하였으며, 다중경로 환경에서 최적의 심볼 집합이 존재한다는 것을 확인하였다.

2. 시스템 분석

이미 기술한 바와 같이 PPSM 시스템의 심볼은 2개의 펠스를 사용하는 경우, PPSM 시스템은 모두 10가지 심볼을 갖게 되므로 이 가운데 3비트 전송을 위해 8가지 심볼을 선택하여 심볼 집합을 구성할 수 있으며, 가능한 심볼 집합의 가지 수는 모두 ${}_{10}C_8 = 45$ 가지이다.

표 2. 1비트 전송 시 PPSM 심볼

Table 2. PPSM Symbol of Binary System.

	시간 위치 1		시간 위치 2	
	펄스 A	펄스 B	펄스 A	펄스 B
0	2	0	0	0
1	0	0	2	0

표 3. 2비트 전송 시 PPSM 심볼

Table 3. PPSM Symbol of 4-ary System.

	시간 위치 1		시간 위치 2	
	펄스 A	펄스 B	펄스 A	펄스 B
00	2	0	0	0
01	0	0	2	0
10	0	2	0	0
11	0	0	0	2

표 4. 3비트 전송 시 PPSM 심볼

Table 4. PPSM Symbol of 8-ary System.

	시간 위치 1		시간 위치 2	
	펄스 A	펄스 B	펄스 A	펄스 B
000	2	0	0	0
001	0	0	2	0
010	0	2	0	0
011	0	0	0	2
100	1	0	1	0
101	1	1	0	0
110	0	1	0	1
111	0	0	1	1

참조 문헌 [18]에서 사용한 심볼 집합은 표 2, 3 및 4와 같다.

표 2, 3, 4의 값은 펄스의 위치와 진폭 값을 나타내며 이를 벡터 X 로 나타내면, k 개의 펄스를 사용할 경우 신호 벡터 B 는 수식 (23)과 같고 전송신호 $s_m(t)$ 는 수식 (24)와 같다.

$$B = \{H_1(t), \dots, H_k(t), H_1(t-\delta), \dots, H_k(t-\delta)\} \quad (22)$$

$$s_m(t) = X_m B^T. \quad (23)$$

여기서 X_m 은 X 의 m 번째 행이며, $2k = N$ 이다.

PPSM 시스템의 송신기는 그림 1과 같다.

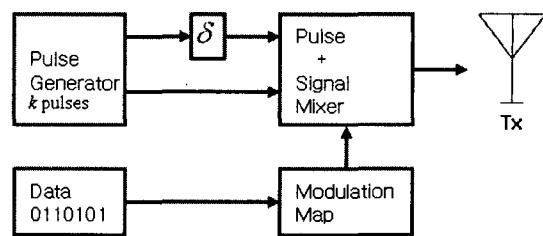


그림 1. PPSM 시스템의 송신기

Fig. 1. Transmitter of Combined PPSM System.

수신 신호는 수식 (19)의 PSM 수신신호와 유사하다. 수신 신호는 k 개의 펄스와 함께 상관기 뱅크를 통과하게 되고 상관기 뱅크에서는 N 개의 상관도값을 출력하게 된다. 상관기 뱅크의 출력은 수식 (23)의 벡터 B 와 같은 형태이며 이를 신호 성상도와 비교하므로 신호를 검출한다. PPSM 시스템의 수신기 구조는 그림 2와 같다.

심볼은 상관기 뱅크에서 출력한 벡터를 이용하여 X 의 각 행과 최대 우도 기법을 적용하여 검출한다. 2진 PPSM 시스템의 경우 검출기는 그림 3과 같다.

같은 크기의 δ 와 펄스폭을 갖는 2진 PPM 시스템의 경우 2δ 의 시간 구간 동안 단지 1비트의 정보를 보낼 수 있고, 같은 파라미터를 갖는 2진 PSM 시스템의 경우, 2δ 의 구간 동안 2비트의 정보를 전송할 수 있다.

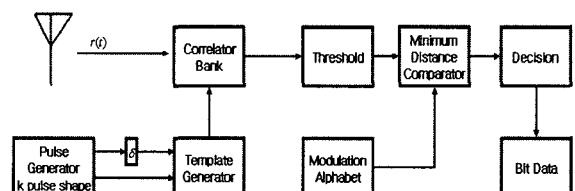


그림 2. PPSM 시스템의 수신기

Fig. 2. Receiver of Combined PPSM System.

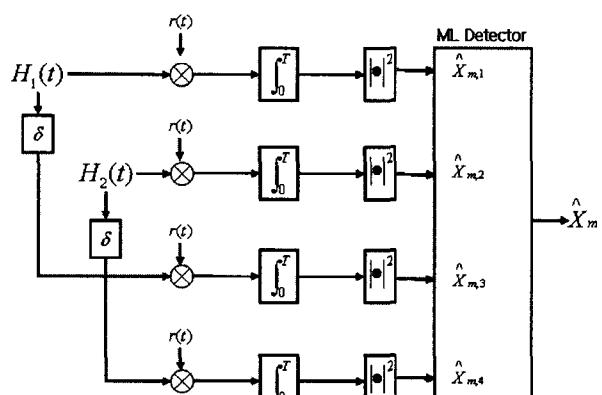


그림 3. 2펄스-2위치 PPSM 시스템의 검출기

Fig. 3. Detector of 2 pulses-2 positions PPSM System.

그러나 두 시스템을 결합한 PPSM 시스템의 경우 2 δ 의 시간 구간 동안 최대 3비트의 정보를 전송할 수 있으며, 더 높은 차수의 PPM 시스템과 PSM 시스템을 결합할 경우 이와 같은 이득은 더 커진다.

V. 모의 실험

모의실험은 2진 PSM 시스템과 2진 PPM 시스템을 결합한 PPSM 시스템에 대해서 수행하였고, E_b/N_0 값에 따라 1,000개 심볼부터 10,000,000개 심볼까지 적응형으로 수행하였다. AWGN 및 SV 채널의 CM1, CM2, CM3, CM4에서 수행하였고 다중 경로 채널을 통과한 신호를 검출하기 위해서 레이크 수신기를 사용하였으며, 레이크 수신기의 평거는 4개와 8개를 사용하였다. 펄스폭은 20ns이며 따라서 심볼 구간 T_f 는 40ns가 된다. 전송 속도는 2진 시스템으로 사용하는 경우, 25Mbps가 되고 4진 시스템으로 사용하는 경우, 50Mbps가 되며 8진 시스템의 경우는 75Mbps가 되고 심볼 집합은 참조문헌 [18]에서 제안한 것을 사용하였다.

그림 4는 PPSM 시스템의 AWGN 채널에서의 비트 오류 성능을 보여준다.

그림 4에서 알 수 있듯이, 4진 시스템이 2진 시스템보다 좋은 오류 성능을 보인다. 이것은 심볼 테이블에서 알 수 있는 것처럼 두 시스템의 최소 거리는 같은데 반해 4진 시스템은 한 심볼 구간에 2비트의 정보를 전송하므로 정보비트 대 에너지 효율이 좋기 때문이며 8

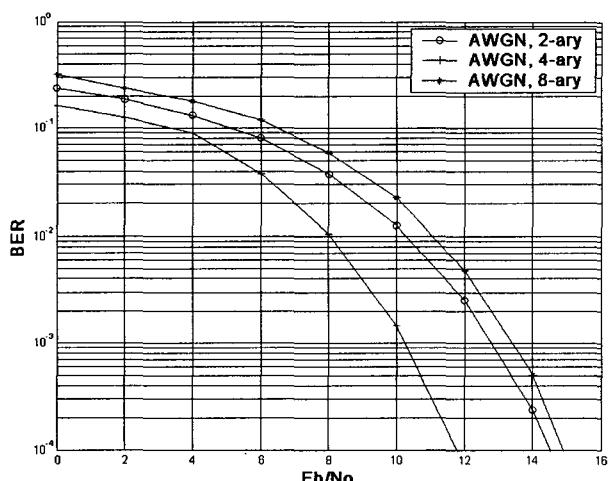


그림 4. AWGN에서 E_b/N_0 에 따른 PPSM 시스템의 성능

Fig. 4. Performance of PPSM System over E_b/N_0 in AWGN.

진 시스템의 경우는 최소 거리가 2진이나 4진 시스템보다 매우 작으므로 더 높은 오류율을 보이는 것을 알 수 있다.

그림 5~8은 2진 PPM과 2진 PSM을 결합한 경우, 제안한 시스템의 SV 채널 CM1~CM4에서의 비트 오류 성능을 보여준다. 이미 설명된 것과 같이 4개 및 8개의 평거를 갖는 레이크 수신기를 사용하였으며 모든 채널 정보를 알고 있다고 가정하고 4개, 8개의 경로에 대해 최대 비 합성(MRC : Maximum Ratio Combining) 기법을 이용하여 결합하였다.

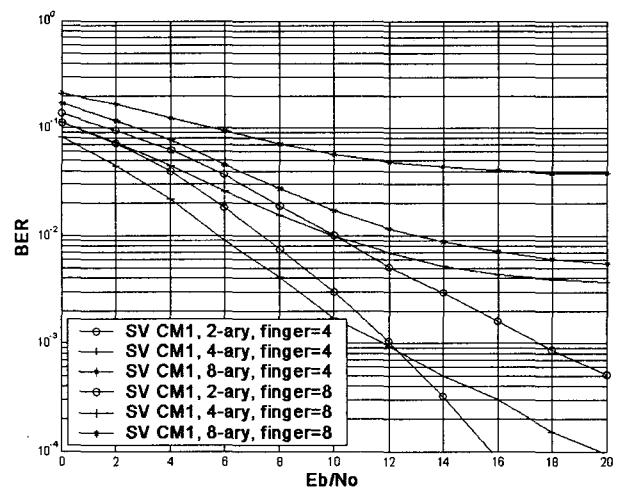


그림 5. CM1에서 E_b/N_0 에 따른 PPSM 시스템의 비트 오류 성능

Fig. 5. BER Performance of PPSM System over E_b/N_0 in CM1.

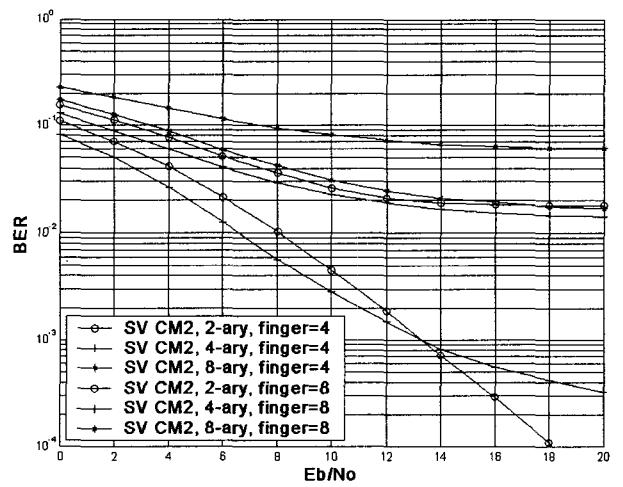


그림 6. CM2에서 E_b/N_0 에 따른 PPSM 시스템의 비트 오류 성능

Fig. 6. BER Performance of PPSM System over E_b/N_0 in CM2.

표 5. 3비트 전송 시 최적 PPSM 심볼
Table 5. Optimal PPSM Symbol of 8-ary System.

	시간 위치 1		시간 위치 2	
	펄스 A	펄스 B	펄스 A	펄스 B
000	2	0	0	0
001	0	0	2	0
010	0	2	0	0
011	0	0	0	2
100	1	0	1	0
101	0	1	1	0
110	0	1	0	1
111	1	0	0	1

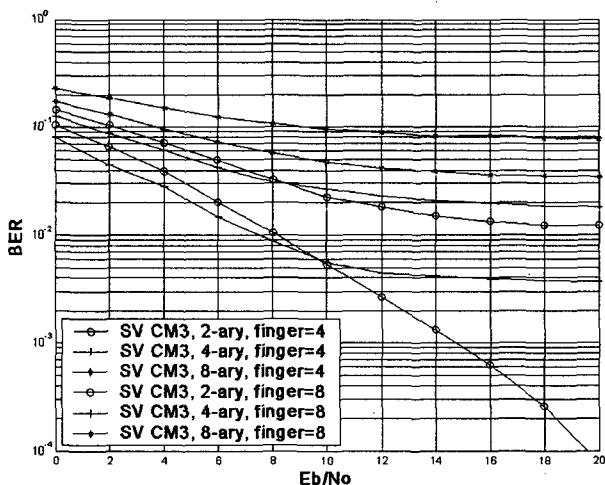


그림 7. CM3에서 E_b/N_0 에 따른 PPSM 시스템의 비트 오류 성능

Fig. 7. BER Performance of PPSM System over E_b/N_0 in CM3.

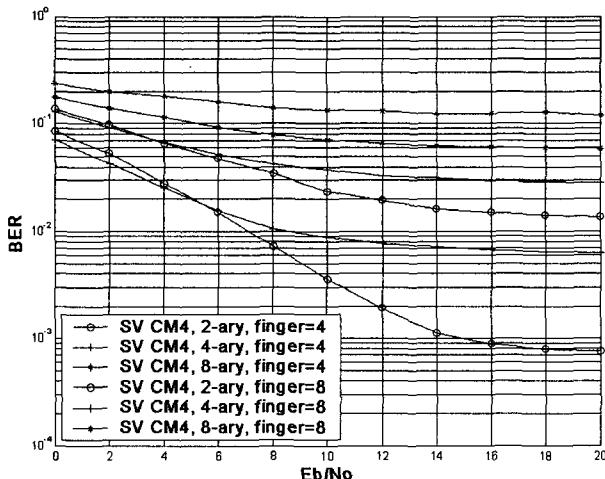


그림 8. CM4에서 E_b/N_0 에 따른 PPSM 시스템의 비트 오류 성능

Fig. 8. BER Performance of PPSM System over E_b/N_0 in CM4.

전체적으로 다중 경로 지연이 긴 CM4로 갈수록 성

능이 나빠지는 것을 볼 수 있다. 이는 다중 경로 지연으로 인한 심볼간 간섭(ISI)의 증가가 원인이며 특이한 점은 2진 시스템과 4진 시스템의 성능이 특정 E_b/N_0 값에서 역전 되는 것을 볼 수 있다. 이것은 다중 경로로 인한 성능 열화가 AWGN에 비해 지배적이 되는 때를 나타내며, 더 많은 펄스를 사용하는 4진 시스템의 심볼간 간섭이 2진 시스템보다 많다는 것을 보여준다.

그와 같은 현상이 CM1보다 CM3에서 CM3 보다는 CM4에서 더 낮은 E_b/N_0 에서 발생하며 같은 채널 모델에서는 평거의 수를 늘릴수록 더 높은 E_b/N_0 값에서 그와 같은 역전이 발생한다는 것을 알 수 있다.

그림 9와 10은 8진 시스템으로 사용하는 경우, 가능한 45개의 심볼 집합에 대해서 가장 좋은 성능과 가장

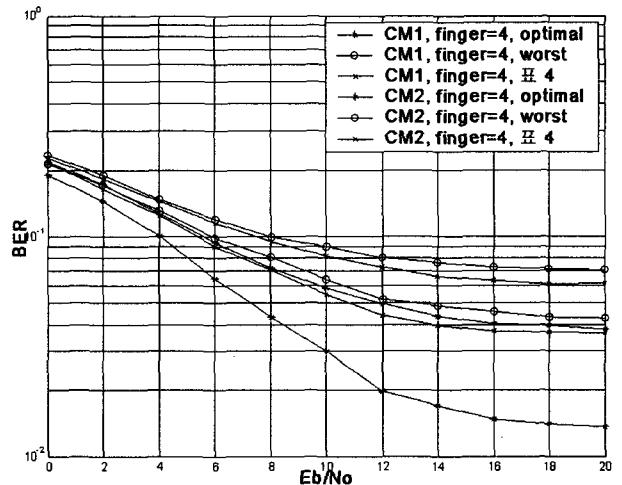


그림 9. CM1, 2에서 비트 오류 성능 vs 심볼 집합

Fig. 9. BER Performance vs symbol set over CM1, 2.

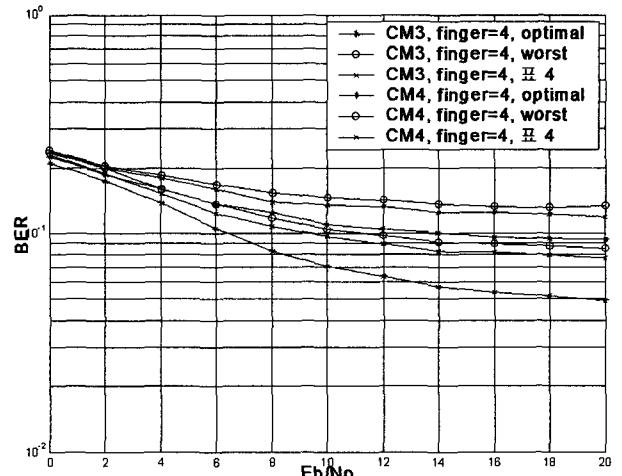


그림 10. CM3, 4에서 비트 오류 성능 vs 심볼 집합

Fig. 10. BER Performance vs symbol set over CM1, 2.
나쁜 성능을 보이는 경우 그리고 앞의 모의실험에 사용

된 심볼 집합에 대한 성능을 나타낸다. 그럼으로부터 동일한 최소 거리를 갖는 심볼 집합이라도 SV 채널에서 최적의 심볼 집합이 존재하며, 약 2dB의 성능 차이를 보임을 알 수 있다. 8진 시스템의 경우 최적의 심볼 집합은 표 5와 같다.

IV. 결 론

본 논문에서는 임펄스 통신 시스템의 일반적인 변조 기법인 PPM 변조 기법과 PSM 변조 기법을 결합한 PPSM 변조 기법의 다중 경로 환경에서의 성능을 분석하였다.

4진 시스템이 2진 시스템에 비해 더 좋은 성능을 보이며, 다중 경로 환경에서는 다중 경로 지연이 짧은 CM1의 경우가 더 좋은 성능을 보였다. 따라서 PPSM 시스템은 다중경로 지연이 적은 근거리 실내 무선 통신 환경에 더욱 적합하며 비교적 다중 경로 지연이 긴 CM3나 CM4에 적용하기 위해서는 더 많은 평거를 필요로 한다는 점을 알 수 있다. 2진 시스템과 4진 시스템의 성능이 특정 E_b/N_0 값에서 역전되었는데 이는 적응형 변조를 적용할 경우 채널 상태가 좋지 않을 때, 평거의 수와 채널 모델에 따라, 특정 E_b/N_0 값까지는 4진 시스템이 더 효율적이지만 그 경계 E_b/N_0 값부터는 2진 시스템을 사용하는 것이 비트 오류 관점에서 더 효율적이라는 것을 알 수 있다. 따라서 적응형 변조기법을 사용하려면 변조 차수와 채널 환경, 그리고 평거의 수에 따른 적절한 경계 E_b/N_0 값을 알아야만 하고 이에 따라 변조 차수를 결정해야만 한다.

또한 PPSM 시스템은 M진 시스템으로 사용하기 위해 최적의 심볼 집합이 존재한다는 점을 또한 확인하였다.

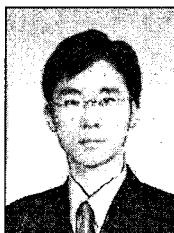
PPSM 시스템은 다중경로가 존재하는 경우 시스템 성능의 열화가 일어나며 특히 사용하는 펄스의 수가 증가할수록 그 정도가 커짐을 알 수 있다. 따라서 향후, 더 많은 직교 펄스를 사용하는 경우의 성능에 대해서 연구해볼 필요가 있으며, 그 때의 성능 열화를 개선하기 위해 다중경로에 의한 심볼 간 간섭을 최소화할 수 있는 형태의 직교 펄스 설계 및 수신 레이크 구조 그리고 레이크의 평거에 따른 성능의 개선 정도에 대해 연구할 필요가 있다.

참 고 문 현

- [1] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio: How it works," *IEEE Communications Letters*, Vol. 2, pp. 36-38, 1998.
- [2] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Ultra-wide band-width time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 48, no. 4, pp. 679-691, 2000.
- [3] M. Ghavami, L. B. Michael, and R. Kohno, "Hermite function based orthogonal pulses for ultra wideband communications", *Proceedings of the WPMC01*, pp. 437-440, Aalborg, Denmark, 2001.
- [4] M. Ghavami, L. B. Michael, S. Haruyama, and R. Kohno, "A novel UWB pulse shape modulation system", *Kluwer International Journal on Wireless Personal Communications*, vol. 23, no. 1, pp. 105-120, 2002.
- [5] MALONG and T. C. WANG, "Performance Analysis and simulations of UWB-PAM Communications in AWGN Channel," *IEEE International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings Conf.*, pp. 1964-1968, 2002.
- [6] F. R. Mireles and R.A. Scholtz, "Multiple access performance limits with time hopping and pulse position modulation," *Proc. IEEE Military Communication Conf.*, pp. 529-533, Oct. 1998.
- [7] J.R. Foerster, "The effects of multipath interference on the performance of UWB systems in an indoor wireless channel," *Proc. IEEE Vehicular Tech Conf.*, pp. 1176-1180, May 2001.
- [8] C. J. Le Marter and G. B. Giannakis, "All-digital PAM impulse radio for multiple-access through frequency selective multipath," *Proc. IEEE Global Telecommunication Conf.*, pp. 77-81, 2000.
- [9] L. B. Michael, M. Ghavami, and R. Kohno, "Effect of timing jitter on Hermite function based orthogonal pulses for ultra wideband communication," *Proceedings of the WPMC01*, pp. 441-444, Aalborg, Denmark, 2001.
- [10] L. B. Michael, M. Ghavami, and R. Kohno, "Multiple pulse generator for ultra wideband communication using Hermite polynomial based orthogonal pulses," *Proceedings of the IEEE Conference on Ultrawideband Systems and Technologies*, Baltimore, Maryland, May 2002.
- [11] G. T. F. de Abreu, C. J. Mitchell, L. G. E. Trichard, and R. Kohno, "A note on the application of hermite pulses in UWB communications," *Proceedings of the IEEE 1st*

- International Workshop on Ultra Wideband Systems (IWUWBS'03), Oulu, Finland, June, 2003.*
- [12] G. T. F. de Abreu, C. J. Mitchell, and R. Kohno, "On the design of orthogonal pulse-shape modulation for UWB systems using Hermite pulses," *Journal of Communications and Networks*, vol. 5, no. 4, pp. 328-343, December 2003.
- [13] H. Zhang and T. A. Gulliver, "Pulse Position Amplitude Modulation for Time-Hopping Multiple Access UWB Communications," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 53, Issue 8, pp. 1269-1273, August 2005.
- [14] W. Hu, G. Zheng, "Orthogonal Hermite Pulses used for UWB M-ary Communication," *International Conference on Information Technology: Coding and Computation (ITCC 2005)*, vol. 1, pp. 97-101, 4-6 April 2005.
- [15] M. Z. Win, Ultra Wide Bandwidth Spread Spectrum Techniques for Wireless Multiple Access Communications. Dissertation presented to the Faculty of the Graduate School, University of Southern California, Electrical Engineering, Los Angeles, California.
- [16] A. A. Saleh and R. A. Valenzuela, "A statistical model for indoor multipath propagation," *IEEE J. Select. Areas Communication*, vol. 5, pp. 128-137, Feb. 1987.
- [17] Jeffrey R. Foerster and Andreas F. Molisch, "A Channel Model for Ultrawideband Indoor Communication," Channel Modeling Subcommittee Report Final, November, 2002.
- [18] C. J. Mitchell, G. T. Freitas de Abreu, R. Kohno, "Combined Pulse Shape and Pulse Position Modulation for High Data Rate Transmissions in Ultra-Wideband Communications", *International Journal of Wireless Information Networks*, vol. 10, no. 4, pp. 167-178, October 2003.

저자 소개



박 호 환(정회원)
2004년 2월 인하대학교 전자공학
과 학사 졸업.
2006년 2월 인하대학교 정보통신
대학원 석사 졸업.

<주관심분야 : 통신, UWB, OFDM, MIMO>



김 진 수(정회원)
2004년 2월 인하대학교 전자공학
과 학사 졸업.
2006년 2월 인하대학교 정보통신
대학원 석사 졸업.

<주관심분야 : UWB, OFDM, MIMO>



황 현 철(정회원)
1997년 2월 인하대학교 전자공학
과 학사 졸업.
1999년 2월 인하대학교 전자공학
과 석사 졸업.
1999년-현재 인하대학교 전자공
학과 박사 과정.

<주관심분야 : 통신, 컴퓨터, 신호처리, 반도체>



곽 경 섭(정회원)
1977년 2월 인하대학교 전기공학
과 학사 졸업.
1981년 12월 미국 USC 전자공학
과 석사 졸업.
1988년 2월 미국 USCD 통신이론
및 시스템 박사.

1988년 2월-1989년 2월 미국 Hughes Network
Systems 연구원.

1989년 2월-1990년 3월 미국 IBM Network
Analysis Center 연구원.

2000년 3월-2002년 2월 인하대학교 정보통신전문
대학원 원장.

2000년 3월-현재 인하대학교 정보통신전문대학원
교수.

2003년 8월-현재 초광대역 무선통신 연구센터
(UWB-ITRC) 센터장.

2006년 1월-현재 한국통신학회 회장.

<주관심분야 : 위성 및 이동통신, 무선네트워크,
UWB>