

다중 사용자 환경에서 TH-PAM UWB 시스템의 데이터 및 이미지 전송 성능 분석에 관한 연구

A Study on Analysis and Applications of Multi-user TH-PAM UWB System

배진화*, 성태경**, 김철성*, 김동식*, 원영수***, 조형래*
한국해양대학교*, 초광대역무선통신연구센터**,
(주)한그린텍***

Jin-Hwa Bae*, Tae-Kyung Sung**, Cheol-Seong Kim*,
Dong-Sik Kim*, Young-Su Weon***, Hyung-Rae Cho*
Korea Maritime Univ.*,
UWB Wireless Communications Research Center**,
HANGREENTEC***

요약

본 논문에서는 다중 사용자 시간 도약 펄스 위치 변조 (TH-PAM) 초광대역 시스템(UWB System)의 동작을 분석한다. 이상적인 AWGN 채널 환경과 상관 수신기로 TH-PAM과 TH-PPM의 동작을 분석하였다. 두 UWB 시스템의 BER 특성을 나타내는 표준 규칙을 얻기 위하여 전력 스펙트럼 밀도 함수(PSD)를 사용하였으며 시스템 매개 변수들에 실행을 관련시키는 함수를 얻을 수 있었다. 시스템의 Data와 image 전송의 시뮬레이션 결과로 이론적인 분석을 한다.

Abstract

In this paper, analytical methods for calculating the average probability of bit error of time hopping pulse position modulation ultra wideband (TH-PPM UWB) system are given. For the multi-user DS-PAM UWB system, the bipolar pulse amplitude modulation is used in order to achieve better performance. As we know, more attention is paid to the TH-PPM UWB systems recently. In this paper, we first introduce the accurate BER calculation methods of the multi-user TH-PPM UWB systems and then give the performance analysis over the ideal AWGN channel and a correlation receiver. Furthermore, we also introduce their applications in image transmission and data transmission and give the simulation results. The analytical method yields simple and exact formulas relating the performance to the system parameters.

I. 서론

FCC는 2002년 초광대역(Ultra Wideband, UWB) 기술을 WPAN의 후보 중 하나로 승인하였으며, 최근에는 무선 광대역 기술이 실내 WPAN 표준기술로 제안되었다[1][2][3].

UWB 무선 시스템은 한정된 주파수 자원에 대한 사용 효율성을 극대화하기 위하여 기존의 무선 시스템과 주파수 스펙트럼을 공유함으로써, 주파수 자원을 보다 효율적으로 사용할 수 있도록 고안된 것으로, UWB 통신 방식은 500MHz 이상의 주파수 대역을 사용하는 통신 시스템 또는 상대대역폭이 20% 이상을 사용하는 무선 통신 방식으로 규정되며, RF 반송파 대신 1ns 이하로 폭이 좁은 모노 펄스를 이용하여 정보를 전송하는 기술이다[4][5][6].

UWB 시스템의 전력 스펙트럼 밀도(PSD)는 UWB와 다른 통신방식 사이의 최소한의 상호 간섭을 보장한다. UWB 시스

템에서 데이터는 Mixer나 PA의 필요 없이 sub-nanosecond 기저대역을 사용하여 전송되고, 사용주파수 대역은 DC에 가까운 주파수부터 수GHz에 이른다[7]. 높은 데이터 전송율은 UWB 기술이 멀티미디어 통신에 적합하게 하며 또한, 저비용, 저전력 특성은 무선 통신에 적합함을 나타낸다.

샤논의 채널 용량식 $C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$ 에 의해 UWB 시스템의 특징을 알 수 있다.

UWB 시스템은 페이딩에 강한 특성을 제공하며 신호의 광대역 특성은 시변진폭 페이딩(time varying amplitude fluctuations (fading))을 감소시킬 수 있다. 이러한 감소는 링크 버짓에서의 마진을 줄이며, UWB 기술은 position location capability, application flexibility와 같은 특징이 있다.

현재 다중사용자 기반 DS-PAM UWB 시스템[8]과 시스템

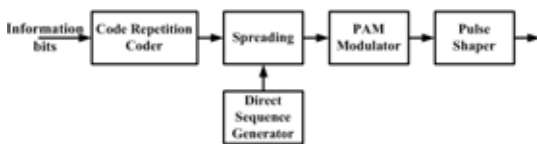
의 멀티미디어 통신 응용에 관한 참고문헌이 드물다. 따라서 본 논문에서는 다중사용자 기반 DS-PAM UWB 시스템과 TH-PPM UWB 시스템[4][6]의 BER을 AWGN 채널 상에서 분석하였다.

본 논문은 2장에서 대척 PAM(antipodal pulse amplitude modulation)을 사용한 다중사용자 기반 DS-UWB 시스템 모델에 대해 고찰하고, 3장에서 전체 다원접속 전송 용량(total multiple access transmission capacity) 뿐만 아니라 지원받는 활성 사용자(active users) 수에 관한 시스템의 다원접속 성능을 나타냈다. 4장에서는 측정된 모의실험 결과와 해석을 기술하였으며, 5장에서 결론을 맺었다.

II. DS-PAM UWB 시스템 모델[8]

다중 접속 사용자 N_u 인 DS-SS (direct sequence spread spectrum) UWB 시스템을 고려한다. 그림 1에는 DS-PAM UWB 시스템의 단일 사용자 전송의 경우를 보인다. 각각의 사용자에게 있어서 N_c 는 스펙트럼확산 처리이득(spread spectrum processing gain)일 때 $N_c T_c = T_f$ 와 같은 심볼 주기 T_f 의 메시지마다 N_c 칩을 가지는 의사잡음 시퀀스를 가진다고 가정한다. k -번째 사용자의 일반적인 전송 신호는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_{tr}^{(k)}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{N_c-1} d_j^{(k)} c_n^{(k)} w_{tr}(t - jT_f - nT_c) \quad (1)$$



▶▶ 그림 1. The Transmission diagram of DS-PAM-UWB

$w_{tr}(t)$ 는 전송된 모노사이클 파형(monocycle waveform), $\{D_j^{(k)}\}$ 는 이진 정보비트, $\{d_j^{(k)}\}$ 는 $d_j^{(k)} = 2D_{\lfloor j/N_c \rfloor} - 1$ 일 때의 변조된 데이터 심볼들이며, N_s 는 펄스반복 시간(pulse repetition time), $\{c_n^{(k)}\}$ 는 주기 T_c 를 가지는 확산 칩들이다 [4].

시스템에 N_u 활성 사용자가 있다고 가정할 때 수신된 신호 $r(t)$ 는 다음 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^{N_u} A_k s_{rec}^{(k)}(t - \tau_k) + n(t) \quad (2)$$

여기서 A_k , τ_k 는 각각 채널 감쇠와 k -번째 송신기와 교신하는 채널 지연을 나타내고, $n(t)$ 는 $N(0, \sigma_n^2)$ 으로 나타낸

AWGN이다.

이상적인 채널과 안테나 시스템은 전송된 모노사이클 $w_{tr}(t)$ 의 형태를 수신 안테나의 출력인 $w_{rec}(t)$ 로 변환되기 때문에, 시스템의 분석을 위해 실제 전송된 펄스 모양 $w_{rec}(t)$ 는 수신기에 알려져 있다고 가정하였다.

수신기 종단에서 상관기의 출력에 따라 수신된 정보 비트를 결정할 수 있으며, 첫 번째 송신기로부터 전송된 신호에 대해서 수신기가 완벽한 클럭과 시퀀스 동기를 수행했다고 가정했으므로 템플릿(Template)은 다음 식(3)과 같다.

$$v(t) = \sum_{n=0}^{N_c-1} c_n^{(1)} w_{rec}(t) \quad (3)$$

그리고, 이때의 상관기 출력은 식(4)와 같이 나타낼 수 있으며,

$$\begin{aligned} a &= \sum_{l=0}^{N_s-1} \int_{\tau_1+lT_f}^{\tau_1+(l+1)T_f} r(t) v_{bit}(t) dt \\ &= \sum_{l=0}^{N_s-1} \int_{\tau_1+lT_f}^{\tau_1+(l+1)T_f} r(t) \sum_{n=0}^{N_c-1} c_n^{(1)} \\ &\quad \times w_{rec}(t - \tau_1 - lT_f - nT_c) dt \end{aligned} \quad (4)$$

결정(decision)은 식(5)와 같이 구성되며,

$$\text{if } a > 0, D_l = 0; \text{ if } a < 0, D_l = 1 \quad (5)$$

이때, 수신된 신호는 식(6)과 같다.

$$r(t) = A_1 \sum_{n=0}^{N_c-1} d_l^1 c_n^{(1)} w_{rec}(t - \tau_1 - lT_f - nT_c) + n_{tot}(t) \quad (6)$$

간섭과 잡음을 고려하면 식(7)과 같으며

$$n_{tot}(t) = \sum_{k=2}^{N_u} A_k s_{rec}(t - \tau_k) + n(t) \quad (7)$$

상관기의 출력을 계산하고, 이를 표기하면 식(8)과 같다.

$$a = m + n_d \quad (8)$$

$$E_w = \int_{-\infty}^{\infty} w_{rec}^2(x) dx$$

$$n_d = \sum_{k=2}^{N_u} A_k n^{(k)} + n_{rec} \quad (9)$$

$n^{(k)}$ 가 k -번째 사용자로부터의 다중 접속 잡음에 의해 생기며 식(10)과 같이 정의 될 때

$$n^{(k)} = \sum_{l=0}^{N_s-1} \int_{\tau_1+lT_f}^{\tau_1+(l+1)T_f} \left[s_{rec}^{(k)}(t - \tau_k) \times \sum_{n=0}^{N_c-1} c_n^{(1)} w_{rec}(t - \tau_1 - lT_f - nT_c) \right] dt \quad (10)$$

n_{rec} 는 수신기 잡음과 비 모노사이클 간섭의 다른 소스에 의

해 발생되며, 식(11)이 된다.

$$n_{rec} = \sum_{l=0}^{N_c-1} \int_{\tau_1+lT_f}^{\tau_1+(l+1)T_f} \left[n(t) \sum_{n=0}^{N_c-1} c_n^{(1)} w_{rec}(t-\tau_1-lT_f-nT_c) \right] dt \quad (11)$$

n_{rec} 의 평균과 분산은 각각 0과 σ_{rec}^2 으로 주어진다.[4] 이때, 분산은 식(12)가 된다.

$$\sigma_{rec}^2 = N_s N_c \sigma_n^2 E_w \quad (12)$$

III. 성능 분석

본 논문에서 제안된 DS-PAM UWB 시스템에서 SNR은 식(13)과 같이 정의된다.[9]

$$SNR(N_u) = \frac{m^2}{E[|n_d|^2]} \quad (13)$$

n_d 의 수식에서 정의된 변수의 각각은 zero mean으로 독립적이기 때문에 quantity $E[|n_d|^2]$ 는 식(14)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[|n_d|^2] = N_s N_c \sigma_n^2 E_w + N_s N_c \sigma_a^2 \sum_{k=2}^{N_u} A_k^2 \quad (14)$$

이때

$$\sigma_a^2 = T_c^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} w_{rec}(x-t) w_{rec}(x) dx \right]^2 dt \quad (15)$$

그러면 수신기 SNR은 식(16)와 같이 표현할 수 있다.

$$SNR(N_u) = \left(\frac{\left[\frac{N_s N_c A_1^2 E_w}{\sigma_n^2} \right]^{-1}}{\left[\frac{N_s N_c E_w}{\sigma_a^2} \right]^{-1} + \sum_{k=2}^{N_u} \left(\frac{A_k^2}{A_1^2} \right)} \right)^{-1} \quad (16)$$

단일 사용자일 경우를 고려할 때, SNR은 식(17)과 같으며,

$$SNR(N_u=1) = \frac{N_s N_c A_1^2 E_w}{\sigma_n^2} \quad (17)$$

시스템 오류는 식(18)과 같다.

$$P_e = Q \left(\left(\frac{\left[\frac{N_s N_c A_1^2 E_w}{\sigma_n^2} \right]^{-1}}{\left[\frac{N_s N_c E_w}{\sigma_a^2} \right]^{-1} + \sum_{k=2}^{N_u} \left(\frac{A_k^2}{A_1^2} \right)} \right)^{-\frac{1}{2}} \right) \quad (18)$$

본 논문의 TH-PPM UWB 시스템에서 SNR은 식(19)와 같이 정의되고

$$SNR(N_u) = \frac{m^2}{E[|n_d|^2]} \quad (19)$$

식 (20)과 같은 quantity를 얻을 수 있다.

$$E[|n_d|^2] = \sigma_{rec}^2 + N_s \sigma_a^2 \sum_{k=2}^{N_u} A_k^2 \quad (20)$$

따라서 수신기 SNR은 식(21)와 같이 표현 할 수 있다.

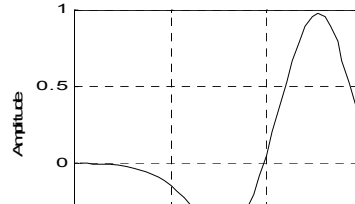
$$SNR(N_u) = \left(\frac{\left[\frac{(A_1 N_s m_p)^2}{\sigma_{rec}^2} \right]^{-1}}{\left[\frac{N_s m_p^2}{\sigma_a^2} \right]^{-1} + \sum_{k=2}^{N_u} \left(\frac{A_k^2}{A_1^2} \right)} \right)^{-1} \quad (21)$$

VI. 모의실험 결과

이 장에서는 다중사용자 환경에서의 DS-PAM UWB 시스템과 TH-PPM UWB 시스템에 대하여 Matlab 7.0 시뮬레이션 툴을 사용한 컴퓨터 모의실험 및 그 결과를 나타내었다. 수신된 펄스는 식(22)와 같이 나타내어지며[4]

$$w_{rec}(t) = \left[1 - 4\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2 \right] \exp \left[-2\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2 \right] \quad (22)$$

그림 2에 그 결과를 나타내었다. 이때 $\tau_m=0.2\text{ns}$, $T_w=0.5\text{ns}$ 이다.



▶▶ 그림 2. Transmit Gaussian Waveform

DS-PAM UWB 시스템에서 골드부호 시퀀스를 사용하였으며 지표로 $N_c=7$, $T_c=1\text{ns}$ 이다. 각각의 정보 비트에서, 두 시스템에서 동일하게 모의실험을 2번 반복 ($N_s=2$)하였다. TH-PPM UWB 시스템에서 매개변수들은 DS-PAM UWB 시스템과 동일하게 적용했으며, 시간 지연은 식(23)과 같이 설정 하였다.

$$\delta = T_w, \quad T_f = N_h T_c = N_c T_c \quad (23)$$

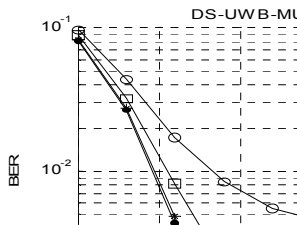
표 1에는 모의실험에 사용된 매개변수를 보인다.

[표 1] Simulation parameters

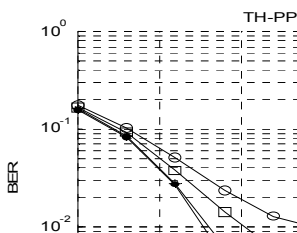
Item	Value
Frame Time, T_f	7ns
Chip Time, T_c	1ns
Pulse Repetition, N_s	2
Information bit rate, R_b	71.43Mbps
Duration Time, T_w	0.5ns
Spread Spectrum	DS, TH
Modulation	PAM, PPM
Coding	Golden Code
SS process gain, N_c	7
Image Format	Lenna BMP
Image Source	Non Compression
Users	1, 2, 4, 8

그림 3와 그림 4에는 각각 다중사용자 환경(1, 2, 4, 8)에서의 간섭을 고려한 DS-PAM UWB 시스템과 TH-PPM UWB 시스템의 BER 성능을 나타내었다.

그림 3와 그림 4의 결과 그래프에서 알 수 있듯이 BER=10⁻³에서 간섭사용자 1명인 경우, DS-PAM UWB 시스템에서는 $E_b/N_0=8\text{dB}$, TH-PPM UWB 시스템에서는 $E_b/N_0=11\text{dB}$ 로 DS-PAM UWB 시스템이 3dB 정도 우수한 특성을 보였다. 또한, 간섭사용자 2명인 경우 BER=10⁻²에서 $E_b/N_0=3.5\text{dB}$, 간섭사용자 4명 및 8명인 경우에는 각각 $E_b/N_0=4.5\text{dB}$ 및 $E_b/N_0=7\text{dB}$ 정도 DS-PAM UWB 시스템이 우수한 결과를 나타냈다. 따라서 간섭사용자 수가 증가하는 경우 더욱 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다.



▶▶ 그림 3. BER Performance of PAM DS-UWB



▶▶ 그림 4. BER Performance of PPM TH-UWB

그림 5와 그림 6에는 이미지 소스에 대하여 무압축, 간접 사용자수가 1명인 경우에 대하여 각각 $E_b/N_0=6\text{dB}$, 12dB 인 경우의 TH-PPM UWB (a) 및 DS-PAM UWB (b) 방식을 사용하여 복원된 전송 이미지를 나타낸 것으로 $E_b/N_0=12\text{dB}$ 인 경우 (그림 5)에 비해 $E_b/N_0=6\text{dB}$ 의 경우 (그림 6), 그 복원 이미지의 선명도를 육안으로도 차이를 확연히 확인할 수 있을 정도로 그 성능차이가 큼을 알 수 있으며, 또한, DS-PAM UWB 방식의 경우가 TH-PPM UWB 방식에 비하여 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

▶▶ 그림 5. Recovered image with $N_s=2$, $E_b/N_0=6\text{dB}$ ▶▶ 그림 6. Recovered image with $N_s=2$, $E_b/N_0=12\text{dB}$

V. 결론

본 논문에서는, 다중사용자 환경에서의 DS-PAM UWB 시스템과 TH-PPM UWB 시스템의 성능을 다중사용자 간섭과 AWGN 채널 환경에서 분석하였다. 전력소비를 줄이고 더욱 개선된 성능을 얻기 위해서, 대역 변조방식을 DS-PAM UWB 시스템에 사용되었다. 또한 이러한 두 시스템의 비교를 위해 몇몇의 매개변수를 변경하였다. 다중사용자 기반 DS-PAM UWB 시스템과 TH-PPM UWB 시스템 설계를 위해 유용한 BER 식이 추론되었으며, 시스템의 성능분석과 모의실험 결과 DS-PAM UWB 시스템의 설계가 TH-PPM UWB 시스템보다 덜 복잡하고 간섭 사용자 수는 문제되지 않으며 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] I. Oppermann, M. Hamalainen, and J. Iinatti, *UWB Theory and Applications*, John Wiley & Sons, Ltd., 2004
- [2] "Revision of Parts 15 the Commission's rules regarding ultra wideband transmission systems," Federal Communications Commission, ET Docket 98-153, 2002.
- [3] IEEE802.15.3 IEEE Standard for Wireless Personal Area Networks (WPAN),
URL:<http://www.ieee.802.org/15/pub/TG3a.html>
- [4] R. A. Scholtz, "Multiple access with time-hopping impulse modulation," in *Proc. IEEE Military Communications Conference*, 1993, pp. 11 - 14.
- [5] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio: How it works," *IEEE Communication Letters*, Vol. 2, pp. 36 - 38, Feb. 1998.
- [6] M. Z. Win and R.A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 48, 679 - 689, April 2000
- [7] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse Radio: How it works," *IEEE Commun. Letters*, Vol. 2, Issue 2, pp. 36~38, 1988.
- [8] N. Boubaker and K. B. Letaief, "Ultra wideband DSSS for multiple access communications using antipodal signaling", *IEEE International Conference on Communications*, Vol. 3, pp. 2197 - 2201, 11-15 May 2003.
- [9] A. J. Viterbi, *CDMA: Principles of Spread Spectrum Communications*, Addison-Wesley, 1995.