

Modified Hermite Polynomial 펄스들을 사용하는 M진 다중접속 UWB 시스템의 성능 분석

정희원 황준혁*, 종신회원 김석찬*, 정희원 박동찬*, 김병철**

Performance Analysis of M -ary Multiple Access UWB System Using Modified Hermite Polynomial Pulses

Jun Hyeok Hwang* *Regular Member*, Suk Chan Kim* *Lifelong Member*,
Dong Chan Park*, Byoung-Chul Kim** *Regular Members*

요 약

이 논문은 초광대역(Ultra WideBand: UWB) 임펄스 라디오(Impulse Radio: IR) 시스템에서 Modified Hermite Polynomial(MHP) 펄스들을 이용한 M 진 펄스차수 시간도약 다중접속(Pulse Order-Time Hopping-Multiple Access: PO-THMA) 방법을 제안하고, 시스템의 비트오류율(Bit Error Rate: BER)을 분석한다. 제안하는 다중접속 방법은 상호간에 직교성을 가지는 MHP 펄스들을 사용하여 동일한 칩 시간에 펄스들이 존재하더라도 섞임 없이 구분해 낼 수 있는 성질을 이용하여 다중 접속용량을 증가시킬 수 있다. 제안하는 시스템의 성능 분석을 위해 데이터 전송에 사용한 MHP 펄스들의 상호 상관함수를 구하고, 기존의 다중접속 방식과 비교하여 데이터 전송률과 BER 성능이 개선됨을 보인다.

Key Words : UWB, PO-THMA, MHP, Cross-correlation, BER

ABSTRACT

In this paper, we propose and analyze M -ary pulse order time hopping multiple access ultra wideband (PO-THMA UWB) system using modified Hermite polynomial (MHP). The MHP pulses have a mutually orthogonal property between different ordered pulses and that property makes simultaneous transmission at the same time slot regardless of collision in the THMA-UWB system. Therefore, we derive the cross-correlation function of MHP pulses and analyze the BER of the proposed system and show that the BER performance and the transmission capacity are improved dramatically when compared with those of conventional THMA-UWB system.

I. 서 론

최근에 무선통신 서비스에 대한 수요의 증가로 무선통신 기술에 대한 연구와 상용화가 진행되고 있으며, 시스템 중에서 한정된 주파수 자원을 가장

효율적으로 이용할 수 있는 초광대역(UWB) 통신기술에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다. UWB 통신기술은 기존의 WLAN이나 블루투스(Bluetooth)에 비해 데이터 전송속도와 전력소모 등에서 우수한 성능을 보이며, 특히, 실내에서 컴퓨터와 주변기

* 본 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-311-D00664).

** 부산대학교 전자공학과(sckim@pusan.ac.kr), ** 부산대학교 바이오시스템공학부

논문번호 : KICS2008-06-255, 접수일자 : 2008년 6월 2일, 최종논문접수일자 : 2008년 8월 6일

기, 가전기기 등의 대용량 멀티미디어를 초고속으로 연결하는 근거리 개인통신망(WPAN)에 적합한 차세대 기술이다^{[11][13]}.

WPAN은 다중접속 환경에서 높은 데이터 전송률과 낮은 비트오류확률(BER)이 요구된다. UWB 시스템에서 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로는 반송파 기반에서 다중대역(multi-band)를 사용하는 DS-CDMA 방식과 MB-OFDM 방식이 사용되고 있으며, 펄스 기반에서 반송파를 사용하지 않고 단일대역(single-band)을 사용하는 IR 방식이 사용되고 있다^[4]. 다중대역을 사용하는 UWB 시스템의 경우는 고속의 데이터 전송률과 우수한 BER을 제공하지만, 반송파 사용으로 하드웨어 구현 시에 시스템 구조가 복잡해진다는 단점을 가진다. 반면, 단일대역을 사용하는 UWB 시스템은 반송파를 사용하지 않아 시스템 구조가 간단하며, 저 전력으로 구현할 수 있다는 장점을 가진다. 하지만, 다중접속에 시간도약(time hopping: TH) 코드를 사용하므로, 동시에 접속하는 사용자 수의 증가에 따라 데이터 전송속도가 떨어지고, BER이 나빠지는 단점을 가진다.

이 논문에서는 기존의 시간도약 코드에 상호간에 직교하는 성질을 가지는 MHP(modified Hermite polynomial) 펄스들을 추가하여 단일대역에서 고속의 데이터 전송률과 우수한 BER을 제공하는 M진 펄스차수 시간도약(Pulse Order-Time Hopping: PO-TH) 전송방법을 제안하고 시스템 성능을 분석한다. 제안하는 M진 UWB 시스템의 이론적인 BER 성능을 분석하기 위해 데이터 전송에 사용한 MHP 펄스들의 상호 상관함수를 구한다음, 제안하는 시스템의 BER 성능을 구하여 기존의 시간도약 다중접속(TH multiple access: THMA) UWB 시스템과 비교하여 시스템 성능이 개선됨을 보인다. 이 결과들을 이용하면, 요구되는 시스템 환경에서 최적의 M진 전송기법과 데이터 전송률을 제공하며, 최적의 다중접속 사용자 수를 찾을 수 있다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 MHP 펄스와 제안하는 시스템 모형에 대해서 알아보고, III장에서는 데이터 전송에 사용한 MHP 펄스들의 상호 상관함수의 일반식을 구하여 시스템의 BER 성능을 구한다. IV장에서는 구해진 상호 상관함수를 사용하여 제안하는 시스템의 성능을 분석하며, V장에서는 분석결과를 이용하여 기존의 THMA 방식과 비교하여 시스템의 BER 성능이 개선되고, 고속의 데이터 전송이 가능해짐을 보이며, VI장에서는 간단히 결론을 맺는다.

II. 제안하는 시스템 모형

2.1 MHP 펄스

THMA UWB 시스템에 사용되는 다양한 펄스들은 송수신 안테나의 특성을 고려하여 DC성분이 없도록 모형화(modeling)되며, 그 중에서 가장 많이 사용되고 있는 펄스는 가우시안 모노펄스이다^{[5],[6]}. 이 논문에서는 각 차수 간에 직교성을 가지는 MHP 펄스를 사용하였다.

Hermite 변조는 영상처리에서 시공간상의 연관관계를 밝히는데 사용되었으며, Hermite 미분방정식의 근으로 수학과 물리학 분야에서 널리 사용되고 있다. Hermite 다항식은 각 차수 간에 직교성을 가지지 않으므로, 각 차수 간에 직교성을 가지도록 변형한 것이 MHP이며, 다음 식과 같이 정의한다^{[7],[8]}.

$$H_n(t) = (-1)^n \exp\left(\frac{t^2}{4}\right) \frac{d^n}{dt^n} \left[\exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \right] \quad (1)$$

여기서 n 은 펄스 차수이다.

2.2. 제안하는 M진 UWB 시스템 모형

기존의 M진 UWB 시스템은 펄스위치변조(PPM), 펄스진폭변조(PAM) 방식 또는 PPM과 PAM을 결합한 방식으로 M진 데이터를 변조한 다음 시간도약 코드로 다중접속하는 방법을 사용하였다^{[2],[4],[6]}. 제안하는 시스템은 bi-phase PAM 방식으로 M진 데이터를 변조하여 각 차수 간에 직교하는 MHP 펄스들의 차수와 시간도약 코드를 결합한 2차원(two-dimension) 다중접속방식을 사용하였다.

제안하는 M진 UWB 시스템에서 PAM 방식을 사용하는 경우, k 번째 사용자의 송신 신호는 다음과 같다.

$$s^{(k)}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} d_{\lfloor j/N_s \rfloor}^{(k)} p(t - jT_f - c_j^{(k)}T_c) \quad (2)$$

여기서 $d_{\lfloor j/N_s \rfloor}^{(k)}$ 는 N_s 개의 반복 프레임 중에서 j 번째 프레임 신호 진폭으로 ± 1 값을 가지며, T_f 는 프레임 시간간격, T_c 는 칩 시간간격으로 $T_f = N_s T_c$ 이다. 그리고 $p(t)$ 는 M진 전송에 따른 송신 펄스로 P 개의 MHP 펄스이며, $c_j^{(k)}$ 는 Q 개의 시간도약코드이다. 따라서 동시에 접속하는 전체 K 명의 사용자들은 Q 개의 시간도약코드와 P 개의 MHP 펄스 차수들에 의해 다중접속 한다. 여기서 다중접속에 따른 주파수 스펙트럼의 피크(peak)를 줄이기 위해서는 사

용되는 펄스의 개수와 코드의 개수 사이에는 $Q \gg P$ 조건이 필요하다.

한편, K 명의 사용자가 동시에 접속하는 UWB 시스템 환경에서 AWGN 채널을 통과한 송신 신호는 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \alpha_k s^{(k)}(t - \tau_k) + n(t) \quad (3)$$

$$= \sum_{k=1}^K \sum_{j=-\infty}^{\infty} \alpha_k d_{[j/N_s]}^{(k)} \times p^{(n)}(t - jT_f - c_j^{(m)} T_c - \tau_k) + n(t)$$

여기서 α_k 는 경로손실(path loss)이며, τ_k 는 k 번째 사용자의 전파 지연시간(delay time)이다. 그리고 $n(t)$ 는 평균이 0이고, 분산이 $N_0/2$ 인 AWGN이다.

III. MHP 펄스들의 상호 상관 특성

다중 경로환경에서 다중접속 사용자에 따른 시스템 성능을 분석하기 위해서는 수신기의 상관기 출력을 구해야 한다. UWB 시스템의 상관기 출력은 수신 신호와 기준 신호(template signal)를 곱하여 프레임 구간에서 적분을 통해 구해진다^{[4], [6], [9]}.

$$Z = \sum_{j=lN_s+1}^{(l+1)N_s} \int_{(j-1)T_f}^{jT_f} r(t)\psi(t)dt \quad (4)$$

여기서 $\psi(t)$ 는 기준 신호이다.

한편, 상관기에 수신되는 신호에서 원하는 사용자 신호를 검출하는데, 다중접속 환경에서 상관기 출력은 일반적으로 한 프레임 구간 내에 시간 지연되어 수신되는 신호들에 대해서 고려되며, 그 이상의 구간에 대해서는 다중접속 사용자간의 간섭(multiple access interference: MAI)이 없다고 가정한다^{[5], [8]}. 이 논문에서는 다중접속 사용자들이 시간 도약코드와 MHP 펄스 차수들을 이용한 다중접속 방법을 사용하므로, 먼저 데이터 전송에 사용하는 정규화(normalized)된 MHP 펄스에 대한 상호 상관 함수 $R(m, n; \Delta)$ 를 구해야 한다.

$$R(m, n; \Delta) = \int_0^{T_f} H_m(t)H_n(t - \Delta)dt \quad (5)$$

여기서 $H_m(t)$ 는 m 차 MHP 펄스이고, $H_n(t)$ 는 n 차 MHP 펄스이다. 그리고 Δ 는 동일 프레임 내에 수신되는 다중접속 사용자들의 시간지연 차이이다. 만약, 송수신기 간에 동기가 정확히 일치한다고 가정하면, 각 차수의 MHP 펄스들은 직교 상관특성을 가진다.

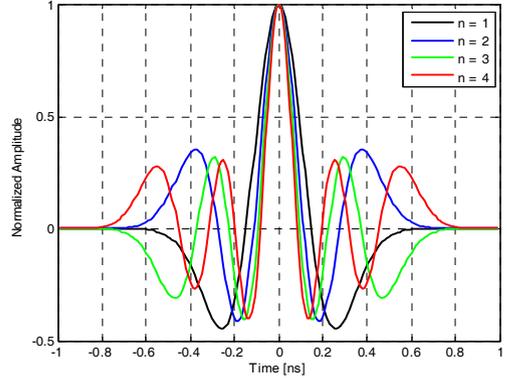


그림 1. MHP 1~4차 펄스의 자기상관 특성

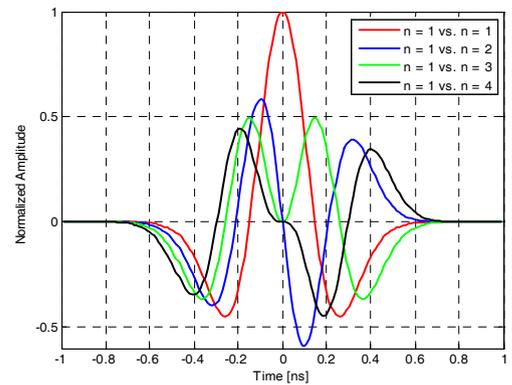


그림 2. MHP 1차와 1~4차 펄스 간의 상호상관 특성

$$R(m, n) = \int_{-T_f}^{T_f} H_m(t)H_n(t)dt \quad (6)$$

$$= \begin{cases} 1, & m = n \\ 0, & m \neq n \end{cases}$$

그림 1과 2는 $\Delta = 0$ 일 때의 상관특성으로, 그림 1은 1~4차 MHP 펄스들의 자기상관 특성을 나타내었고, 그림 2는 1차와 1~4차의 MHP 펄스간의 상호 상관특성을 나타내었다.

한편, 식 (1)의 MHP 펄스들은 각 차수 간에 직교하는 성질을 가지므로, [7], [8]로부터 다음의 미분방정식을 만족함을 알 수 있다.

$$H_0(t) = x(t) \quad (7)$$

$$H_1(t) = x(t) \cdot t$$

.....

$$H_n(t) = x(t) \cdot H_{e_n}(t)$$

$$H_{n+1}(t) = x(t) \cdot (t \cdot H_{e_n}(t) - n \cdot H_{e_{n-1}}(t))$$

표 1. MHP 펄스들의 상호 상관함수

$R(m, n; \Delta)$	$R(1, n; \Delta)$	$R(2, n; \Delta)$	$R(3, n; \Delta)$	$R(4, n; \Delta)$
$R(m, 1; \Delta)$	$\Omega(-\eta^2 + 1)$	$\Omega(-\eta^3 + 2\eta)$	$\Omega(-\eta^4 + 3\eta^2)$	$\Omega(-\eta^5 + 4\eta^3)$
$R(m, 2; \Delta)$	$\Omega(\eta^3 - 2\eta)$	$\Omega(\eta^4 - 4\eta^2 + 2)$	$\Omega(\eta^5 - 6\eta^3 + 6\eta)$	$\Omega(\eta^6 - 8\eta^4 + 12\eta^2)$
$R(m, 3; \Delta)$	$\Omega(-\eta^4 + 3\eta^2)$	$\Omega(-\eta^5 + 6\eta^3 - 6\eta)$	$\Omega(-\eta^6 + 9\eta^4 - 18\eta^2 + 6)$	$\Omega(-\eta^7 + 12\eta^5 - 36\eta^3 + 24\eta)$
$R(m, 4; \Delta)$	$\Omega(\eta^5 - 4\eta^3)$	$\Omega(\eta^6 - 8\eta^4 + 12\eta^2)$	$\Omega(\eta^7 - 12\eta^5 + 36\eta^3 - 24\eta)$	$\Omega(\eta^8 - 16\eta^6 + 72\eta^4 - 96\eta^2 + 24)$

여기서 $x(t)$ 는 MHP 펄스들이 상호간에 직교성을 가지도록 변형하는 파라미터이며, $H_n(t)$ 는 n 차의 Hermite 다항식으로 각각 다음 식과 같다.

$$x(t) = \exp\left(\frac{-t^2}{4}\right), \tag{8}$$

$$H_n(t) = (-1)^n \exp\left(\frac{t^2}{2}\right) \frac{d^n}{dt^n} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \tag{9}$$

따라서 식 (5)의 MHP 펄스에 대한 상호상관 함수를 Hermite 다항식을 사용하여 정리하면, 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} R(m, n; \Delta) &= \int_{-\infty}^{\infty} H_m(t) H_n(t - \Delta) dt \tag{10} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} H_m(t + \eta) H_n(t - \eta) dt \\ &= \sqrt{2\pi} \exp\left(\frac{-\eta^2}{2}\right) \\ &\quad \times E_t\{H_{e_m}(t + \eta) H_{e_n}(t - \eta)\} \end{aligned}$$

여기서 η 는 $\Delta/2$ 이며, $E_t\{\cdot\}$ 는 시간 t 에 대해 평균이 0이고 분산이 1인 가우시안 랜덤 변수이다. 1~4차 MHP 펄스들에 대하여 상호 상관함수는 표 1과 같다. 여기서 Ω 는 $\sqrt{2\pi} \exp(-\eta^2/2)$ 이다.

마지막으로, 식 (10)을 이용하여 $n \leq m$ 조건에서 MHP 펄스들의 상호 상관함수에 대한 일반식을 구하면, 다음과 같다.

$$R(m, n; \Delta) = \Omega(-1)^{(n+1)} \sum_{k=0}^n k! \binom{m}{k} \binom{n}{k} \times \eta^{(n+m-2k)} \tag{11}$$

반복적인 관계(iterative relation)를 이용하여 3차 이상의 MHP 펄스 차수들에 대한 상호 상관함수의 일반식을 Kummer's 변환을 이용하면, 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} R(m+1, n+1; \Delta) & \tag{12} \\ &= (m+n+1-\eta^2)R(m, n; \Delta) - m \cdot n \\ &\quad \times R(m-1, n-1; \Delta) \end{aligned}$$

일반식에 대한 검증의 예로 $R(3, 4; \Delta)$ 의 상호 상관 함수를 구하면, $R(2, 3; \Delta)$ 과 $R(1, 2; \Delta)$ 로 분해하여 다음 식과 같은 결과를 얻으며, 표 1에서 $m=3, n=4$ 인 경우와 동일한 값을 확인할 수 있다.

$$\begin{aligned} R(3, 4; \Delta) &= (6-\eta^2)R(2, 3; \Delta) - 6R(1, 2; \Delta) \tag{13} \\ &= \Omega(\eta^7 - 12\eta^5 + 36\eta^3 - 24\eta) \end{aligned}$$

IV. 성능 분석

식 (4)의 상관기의 출력은 원하는 수신신호 성분 Z_d 와 다중사용자의 간섭신호 성분 Z_{MAI} , 그리고 열 잡음 신호 성분 Z_n 으로 분리할 수 있다. 송수신기의 동기가 정확히 일치한다고 가정하면, 첫 번째 사용자의 상관기의 출력은 다음 식과 같다.

$$Z^{(1)} = Z_d + Z_{MAI} + Z_n \tag{14}$$

여기서 각 신호성분들은 각각 다음과 같다.

$$Z_d = \sum_{j=IN_s+1}^{(i+1)N_s} \int_{(j-1)T_f}^{jT_f} (p^{(1)}(t))^2 dt, \tag{15}$$

$$Z_{MAI} = \sum_{k=2}^K \sum_{j=IN_s+1}^{(i+1)N_s} \int_{(j-1)T_f}^{jT_f} p^{(k)}(t - \tau_k) p^{(1)}(t) dt, \tag{16}$$

그리고

$$Z_n = \sum_{j=IN_s+1}^{(i+1)N_s} \int_{(j-1)T_f}^{jT_f} n(t) p^{(1)}(t) dt. \tag{17}$$

한편, UWB-IR 시스템은 원하는 BER을 획득하기 위해 각 사용자의 데이터 비트를 변조한 다음 펄스를 이용하여 N_s 번 반복하여 전송하는 방법을

사용하므로, 반복 전송하는 UWB 시스템 특성을 고려해야 한다. 원하는 수신신호 성분 Z_d 는 E_b^2 이므로, $E_b = \log_2 MN_s^2 E_p$ (E_p 는 송신펄스 에너지)로 구해진다. 열잡음 신호 성분 Z_n 은 송신 신호와 독립(independent)하므로, 평균 σ_n 은 0이고, 분산 σ_n^2 은 $N_s N_0 / 2$ 이 된다. 다중 사용자의 간섭신호 성분 Z_{MAI} 는 식 (16)에서 동일 프레임 구간에서 시간 지연되어 수신되는 동일한 차수의 MHP 펄스 사용에 따른 Q 개의 시간도약 코드와 서로 다른 차수의 MHP 펄스 사용에 따른 P 개의 펄스 차수에 대한 간섭성분들을 각각 구한다음 그 값에 대한 평균과 분산을 구해야 한다. 따라서 다중접속 사용자의 간섭성분에 대한 식 (16)에 대해 구해진 MHP 펄스에 대한 상호상관 특성을 적용하면, 다음과 식과 같다.

$$Z_{MAI} = \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{k=2}^K d^{(k)} R(\Delta_j^{(k)}) \quad (18)$$

여기서 $\Delta_j^{(k)} = (c_j^{(1)} - c_j^{(k)})T_c - (\tau_1 - \tau_k)$ 는 첫 번째 사용자와 k 명의 다중접속 사용자 간의 시간차로, $[-T_f, T_f]$ 구간에서 균일한 분포(uniform distribution)를 하는 확률 변수(random variable)로 모형화 된다. Z_{MAI} 는 [6], [11]에서와 같이 다중접속 환경에서 가우시안 확률과정(Gaussian random process)으로 모형화되며, 사용자수가 적은 경우에서도 $N_s \gg 1$ 이므로 가우시안으로 근사화(approximation) 된다. 따라서 Z_{MAI} 의 평균 σ_{MAI} 과 분산 σ_{MAI}^2 을 구하면, 식 (19), (20)과 같다.

$$E[Z_{MAI}] = E \left[\sum_{j=1}^{N_s} \sum_{k=2}^K d^{(k)} R(\Delta_j^{(k)}) \right] \quad (19)$$

$$= \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{k=2}^K E[d^{(k)}] E[R(\Delta_j^{(k)})]$$

$$= 0,$$

$$Var[Z_{MAI}] = Var \left[\sum_{j=1}^{N_s} \sum_{k=2}^K d^{(k)} R(\Delta_j^{(k)}) \right] \quad (20)$$

$$= \sum_{j=1}^{N_s} E[d^{(k)^2}] \left\{ \sum_{p=2}^P E[R^2(\Delta_j^{(p)})] \right.$$

$$\left. + \sum_{q=2}^Q E[R^2(\Delta_j^{(q)})] \right\}$$

$$= \frac{T_c}{T_f} (K-1) R^2(\Delta_j^{(p,q)}) N_s E_p.$$

식 (20)에서 다중접속 사용자들의 간섭성분에 대한 분산은 동시에 접속하는 사용자수와 프레임시간에 대한 칩 시간 비율, MHP 펄스의 상호 상관특성,

표 2. 시스템 파라미터

파라미터	값
펄스폭	2ns
대역폭 정규화 값	0.12ns
샘플링 주파수	100GHz
데이터 전송률	20Mbps
사용자 수	1, 32, 100
채널	AWGN

펄스 반복전송 횟수, 그리고 송신펄스의 에너지에 의해 결정됨을 알 수 있다.

분석된 내용을 적용하여 제안하는 M진 UWB 시스템의 이론적인 BER을 구하면, 다음과 같다.

$$P_b = Q \left(\sqrt{\frac{E_b}{\sigma_n^2 + \sigma_{MAI}^2}} \right) \quad (21)$$

V. 성능 분석 결과

성능분석 결과들을 이용하여 송수신기의 동기가 정확하게 일치한다는 가정 하에서 표 2의 파라미터들을 사용하여 기존의 THMA UWB 시스템과 제안하는 M진 PO-THMA UWB 시스템의 BER 성능을 비교하였다.

그림 3은 PAM 방식을 사용하는 경우, 동일한 데이터 전송률에서 M진 전송에 따른 BER을 비교하여 나타내었다. 이 그림에서 M=2인 경우는 기존의 THMA 방식이고, 나머지들은 제안하는 M진 PO-THMA 방식이다. 제안하는 방식에서 M이 증가함에 따라 시스템의 성능이 개선되는 것을 확인할 수 있는데, 이것은 기존의 시간도약코드에 각 펄스 차수 간에 직교성을 가지는 MHP 펄스들을 추가한 2차원적인 다중접속 방법을 사용하여 시스템 용량이 증대되었기 때문이다. 이는 동일한 칩 구간에서 서로 다른 차수의 MHP 펄스를 동시에 전송하더라도 각 차수 간의 직교성에 의해 원하는 신호를 구분할 수 있기 때문이다. 따라서 증가된 시스템 용량은 동일한 데이터 전송률에서 펄스 반복 전송 횟수를 늘려 BER 성능을 개선시킬 수 있고, 고정된 BER에서는 새로운 데이터를 전송하여 데이터 전송속도를 향상시킬 수 있다. 더 많은 데이터 비트를 동시에 전송한다면, 시스템의 BER 성능이나 데이터 전송속도는 더욱 개선될 것이다.

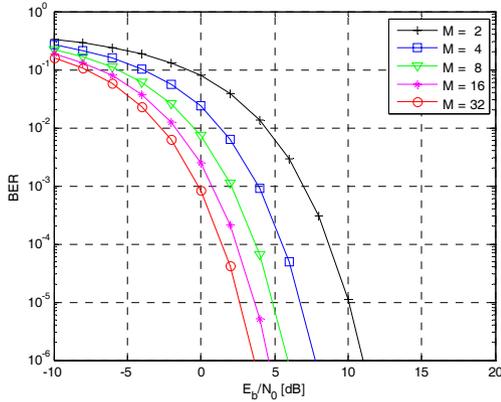


그림 3. $K=1$ 에서, M -ary 전송에 따른 BER 성능

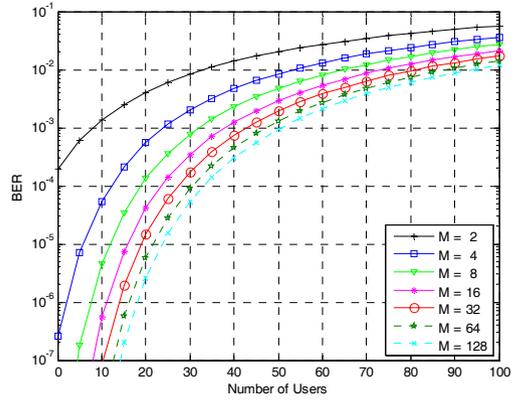


그림 5. SNR 10dB에서, 사용자 수에 따른 BER 성능

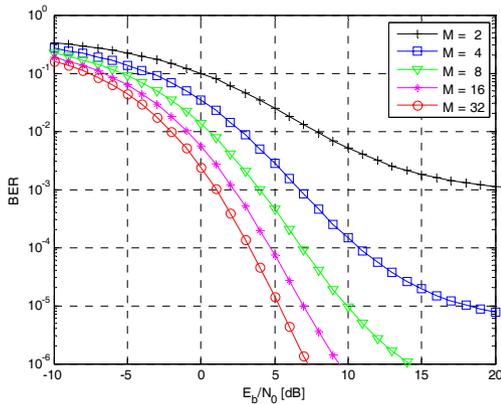


그림 4. $K=32$ 에서, M -ary 전송에 따른 BER 성능

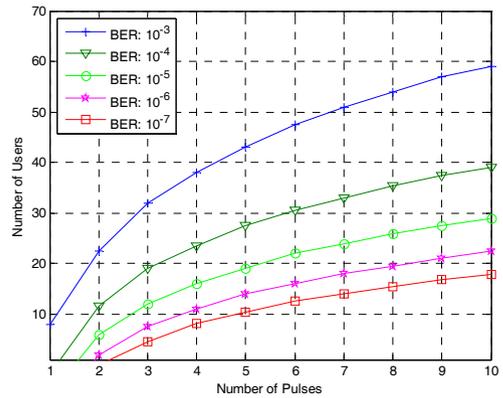


그림 6. BER에 대한, M -ary 전송에 따른 다중 접속자 수

그림 4는 다중접속 사용자가 32명인 경우에서 M 진 전송에 따른 BER을 나타내었다. 그림 3과 같이 M 이 증가할수록 BER 성능이 개선됨을 확인할 수 있으며, 사용자 수가 1명인 그림 3과 비교해 보면, 식 (20)과 같이 다중접속 사용자 수의 증가에 따라 사용자간의 간섭이 증가하여 BER 성능이 나빠지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 다중접속 사용자 수가 증가 할수록 동시에 전송하는 MHP 펄스 수를 증가시키는 것이 더 나은 BER 성능을 획득할 수 있을 것이다. 하지만, 다중접속 환경에서 많은 수의 MHP 펄스를 동시에 전송하게 되면, 주파수 스펙트럼에서 피크(peak) 현상이 발생할 수 있으며, 수신 신호에 시간지연이나 지터(jitter) 등의 채널 영향이 발생하면, MHP 펄스들 간에는 완벽하게 직교하지 않아 각 펄스들 간에 간섭이 발생하므로, 시스템 환경에 따라 동시에 사용되는 MHP 펄스의 개수를

선택하여 사용해야 할 것이다. 그림 5는 제안하는 M 진 시스템에서 신호대잡음비(SNR)가 10[dB]일 때, 동시 접속 사용자 수에 따른 BER 성능을 나타내었다. 이 그림은 시스템에서 요구되는 BER 성능에 따른 M 진 전송방법과 다중접속 사용자 수를 보여주는데, 요구되는 BER이 10^{-4} 일 경우에 각 M 진 전송별 다중접속 사용자 수는 0, 12, 19, 23, 28, 32명임을 확인할 수 있다. 이 결과는 그림 4와 마찬가지로 동시에 사용되는 MHP 펄스 개수가 증가 할수록 BER 성능은 개선되지만, M 의 증가에 대해 BER 성능의 개선이 로그함수의 형태를 가짐을 확인할 수 있다.

그림 6은 SNR이 10[dB]에서 BER이 $10^{-3} \sim 10^{-7}$ 일 때, 다중접속 사용자 수를 100명으로 고정하고 다음, MHP 펄스 사용 개수의 증가에 대해 시간도약 코드(CS)의 개수를 조정하여 각 MHP 펄스 사용 개수에 따른

최대의 다중접속 사용자 수를 보였다($P \times Q = 100$ 명). $M=2$ 인 경우는 기존의 THMA 방식이며, $M=4 \sim 128$ 인 경우는 제안하는 M진 PO-THMA 방식이다. 이 그림에서도 동시에 사용되는 펄스 개수가 증가함에 따라 더 많은 사용자들의 동시 접속이 가능해짐을 확인할 수 있으며, 그림 5와 마찬가지로 사용되는 펄스 수의 증가에 따른 펄스 간의 간섭이 발생하여 다중접속 사용자 수의 증가가 조금씩 줄어드는 것을 볼 수 있다. 따라서 요구되는 시스템 BER과 전송속도에 따라서 사용해야 할 MHP 펄스 개수와 시간도약코드 개수는 적절히 선택하여 사용해야 할 것이다.

VI. 결 론

이 논문은 기존의 시간도약 UWB 시스템에 각 차수 간에 직교성을 가지는 MHP 펄스들을 적용한 M진 전송방법을 제안하였고, 데이터 전송에 사용한 MHP 펄스의 상호 상관함수를 구하여 시스템의 BER 성능을 분석하였다. 기존의 방법에 직교성을 가지는 MHP 펄스를 추가한 2차원 PO-TH코드를 사용함으로써 시스템 용량을 증가시킬 수 있었고, 이를 데이터 전송과 BER 성능 개선에 이용하여 기존의 방법보다 시스템 성능이 개선됨을 보였다.

제안하는 시스템은 임펄스 기반의 방식으로 시스템 구조가 간단하여 저전력, 소형으로 구현 가능하며, 기존의 방법들에 비해 시스템의 용량을 크게 향상시키므로, 저전력 센서 네트워크 분야와 고속 데이터 전송이 요구되는 근거리 무선통신 분야에서 사용되어질 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Moe Z. Win and R. A. Schok, "Impulse Radio: How it works," *IEEE comm. letter*, Vol.2, pp.36-38. Feb. 1998.
- [2] M. A. Win and R. A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications," *IEEE Trans. Commun.* Vol.48, No.4, pp.679-691, Apr. 2000.
- [3] Y. A. Shin, "Recent Advances in UWB Technologies," *Tutorial. 한국통신학회* Jul. 2003.
- [4] G. Durisi and S. Benedetto, "Performance evaluation and comparison of different modulation schemes for UWB multi-access systems," *Proc. IEEE Int. Conf. Comm., Anchorage, AK*, pp.2187-2191, May 2003.
- [5] J. Zhang, T. D. Abhayapala, and R. A. Kennedy, "Performance of ultra-wideband correlator receiver using Gaussian monocycles," *IEEE Int. Conf. Communications, Anchorage, AK*, pp.2192-2196, May 2003.
- [6] H. Zhang and T. A. Gulliver, "Biorthogonal pulse position modulation for time hopping multiple-access UWB communications," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol.4, No.3, pp.1154-1162, May 2005.
- [7] M. Ghavami, L. B. Michael and R. Kohno "Hermite function based Orthogonal Pulse for UWB Communications," *Proc. Wireless Personal Multimedia Conference, Aalborg, Denmark*, pp.437-440, Sep. 2001.
- [8] L. B. Michael, M. Ghavami, and R. Kohno, "Multiple pulse generator for ultra-wideband communication using Hermite Polynomial based orthogonal pulses," *Proc. 2002 IEEE Conf. on Ultra Wideband Systems and Technologies, Baltimore, MA, USA*, May 2002.
- [9] M. G. Di Benedetto, G. Giancola, "Understanding Ultra WideBand Radio Fundamentals," Prentice Hall. 2004.
- [10] L. E. Miller, "Autocorrelation functions for Hermite polynomial ultra-wideband pulses," *IEE Electronics Letters*, Vol.39. No.11, pp.870-871, May 2003.
- [11] G. Durisi and G. Romano, "On the validity of Gaussian approximation to characterize the multiuser capacity of UWB TH PPM," *Proc. IEEE Conf. Ultra Wideband Systems and Technology*, pp.157-161, 2002.
- [12] J. H. Hwang, S. C. Kim, S. Yoon, B. Kang, and J. S. Park, "Performance Analysis of PO-THMA UWB System Using Mutually Orthogonal MHP Pulses," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, Vol.53, No.1, pp.39-45. Feb. 2007.
- [13] J. G. Proakis, *Digital communication, forth edition*. McGraw-Hill Int. Edition 2000.

황 준 혁 (Jun Hyeok Hwang)

정회원



1999년 2월 진주산업대학교 전자공학과 학사 졸업
2003년 2월 부경대학교 전자공학과 석사 졸업
2003년 9월~현재 부산대학교 전자공학과 박사과정
<관심분야> UWB, 무선통신, 4G

박 동 찬 (Dong Chan Park)

정회원



2001년 2월 부산대학교 전기공학과 학사 졸업
2004년 2월 부산대학교 전자공학과 석사 졸업
2004년~현재 부산대학교 전자공학과 박사과정
<관심분야> OFDM, Coded Modulation, 4G

김 석 찬 (Suk Chan Kim)

중신회원



1993년 2월 부산대학교 전자공학과 학사 졸업
1995년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업
2000년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업
2000년 한국전자통신연구소 (ETRI) 연구원

2001년 Princeton대학교 박사후 과정
2002년 Lehigh대학교 박사후 과정
2002년~현재 부산대학교 전자공학과 부교수, 컴퓨터 및 정보통신연구소 연구원
<관심분야> 이동통신, 통신 신호처리, OFDM, UWB

김 병 철 (Byoung-Chul Kim)

정회원



1994년 2월 영남대학교 전자공학과 학사 졸업
1996년 2월 영남대학교 전자공학과 석사 졸업
1999년 2월 영남대학교 전자공학과 박사 졸업
2000년 3월~2006년 2월 밀양

대학교 정보통신공학부 조교수
2006년 3월~현재 부산대학교 바이오시스템공학부 바이오정보전자공학전공 부교수
<관심분야> 무선통신시스템, 의용공학