

# AWGN 채널에서 100 Mbps급 M-ary PPM/TH 초광대역 통신 시스템의 설계 및 성능 분석

## Design and Performance Analysis of 100 Mbps M-ary PPM/TH Ultra-Wideband Communication Systems in the AWGN Channels

문용규 · 이양선\* · 강희조\* · 양승인\*\*

Yong-Gyoo Moon · Yang-Sun Lee\* · Heau-Jo Kang\* · Seung-In Yang\*\*

### 요 약

본 논문에서는 FCC에서 제정한 허용 주파수 대역 내에서 100 Mbps급 M-ary PPM/TH UWB 시스템 설계를 위한 특성 파라미터의 규격을 제안하고, AWGN 채널에서 제안된 시스템의 성능을 분석하였다. 성능 분석 결과, 이 시스템에 적용 가능한 펄스 주기는 매우 한정적이며, 시스템의 데이터 전송률을 일정하게 할 경우, M과 펄스 반복 개수가 증가할수록 시스템 성능은 개선되고, 사용자 수는 감소됨을 관측하였다.

### Abstract

In this paper we proposed system parameter values of M-ary PPM/TH(Pulse Position Modulation/Time Hopping) ultra-wideband systems having data rate of 100 Mbps for the frequency band, which is allocated by Federal Communications Commission(FCC). We also analyzed performance of the proposed system in the AWGN channels. According to the results of performance analysis, It is observed that available pulse duration is very limitative for this system. In case of constant data rate, if M and the pulse repetition numbers are increased, then the system performance is improved and the user number is decreased.

Key words : UWB, Time Hopping, Pulse Position Modulation

### I. 서 론

전파를 정보 전송매체로 이용하는 무선통신 시스템의 가장 일반적인 형태는 저주파수의 정보를 상향 변조를 통하여 특정 주파수 대역을 점유하는 고주파수의 RF 반송파(Carrier)에 실고 증폭 등의 과정을 거친 후, 송신 안테나를 통해 전파의 형태로 전송한다. 이 때 복수의 무선통신 시스템들이 서로 인접한 공간에서 동일한 주파수 대역을 사용할 경우, 간섭으로 인하여 신호의 왜곡이 발생하게 되며,

이에 따라 통신에 심각한 장애를 초래할 수 있다.

이와 같은 간섭의 영향을 최소화하기 위해서는 동일 주파수 대역을 이용하는 시스템들을 서로의 신호들이 영향을 주지 않을 만큼 공간적으로 분리시키거나, 시스템별로 각각 다른 주파수 대역을 이용하도록 하는 주파수 할당 방법이 주로 사용된다.

전파의 특성과 기술적인 제약 등으로 인하여 무선통신 시스템의 가용 주파수 대역은 한정적이며, 시스템의 용도와 정보의 형태에 따라 적절한 대역폭을 갖는 주파수 대역을 이용하도록 지정하고 있

전주공업대학 정보통신과(Dept. of Infor. & Comm. Eng., Jeonju Technical College)

\*동신대학교 전기전자정보통신공학부(Dept. of Electronic & Electrical Infor. & Comm. Eng., Dongshin Univ.)

\*\*송실대학교 정보통신전자공학부(School of Electronic Eng., Soongsil Univ.)

· 논문 번호 : 20020910-111

· 수정완료일자 : 2002년 11월 11일

는데, 오늘날 이동통신서비스의 급속한 보급과 고속 멀티미디어 통신서비스에 대한 수요 증가로 인하여, 한정된 주파수 자원의 효과적인 분배와 이용은 무선통신 시스템에서 중요한 문제로 대두되고 있다.

이에 대한 해결책 가운데, 기존의 무선통신 시스템들이 사용하고 있는 주파수 대역을 재사용(Spectrum refarming)하는 방식인 초광대역 임펄스 무선전송(Ultra-wideband impulse radio : 이하 UWB) 시스템에 대한 관심과 연구가 1990년대 중반 이후 미국을 중심으로 집중되다가, 2000년대에 들어서면서 FCC, IEEE, ITU-R, CEPT 등에서 이 기술의 상용화를 위한 표준화 작업을 가시화함에 따라 최근 들어 국내외적으로 관심이 고조되고 있다<sup>[1],[2]</sup>.

UWB 시스템은 일반적인 무선통신시스템들이 연속적인 RF 반송파를 이용하여 정보를 전송하는 것과는 달리 수 나노초 이하의 극히 짧은 기저대역 임펄스를 이용하여 그림 1과 같이 초광대역 특성을 가지며, 기존의 시스템들이 점유하고 있는 주파수 대역을 공유하면서도, 타 시스템에 거의 간섭을 미치지 않는 특성을 가지므로, 보다 효율적인 주파수의 활용과 고속 멀티미디어 서비스가 가능한 차세대 무선통신기술로 평가받고 있다.

이 밖에도 UWB 시스템은 저전력 전송방식으로 전력 소모가 작고, 시스템 구현이 간단하며, 시간 분해능(Time resolution)이 높아 다중경로 간섭에 강한 특성을 보이는 등의 특성으로 인하여, 고속 데이터 통신 시스템으로 연구되고 있는 IEEE 802.11a, 802.11b, HomeRF, Bluetooth에 비하여 근거리 고속

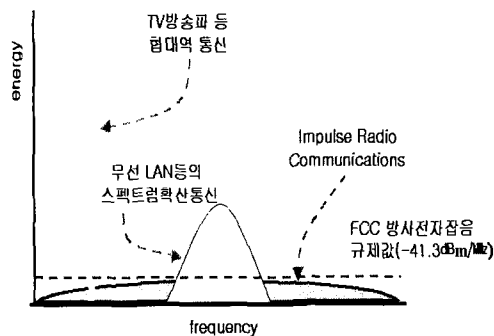


그림 1. 무선통신 시스템의 주파수 스펙트럼 분포  
Fig. 1. Frequency spectrum distribution of radio communication systems.

데이터 전송과 시스템 가격 등에서 기술 경쟁력이 있다는 연구 결과들이 보고되고 있다<sup>[3],[4]</sup>.

본 논문에서는 2002년 2월에 FCC에 의해 통신용으로 제정된 주파수 대역(3.1 GHz~10.6 GHz ; -10 dB 점유대역)<sup>[5]</sup>을 기초로 펄스 위치 변조(Pulse position modulation : PPM)와 시간도약(Time hopping : TH) 다원접속(이하 PPM/TH)을 이용하는 100 Mbps급 M-ary PPM/TH UWB 시스템을 설계하고, 성능을 분석하였으며, 본 논문의 결과는 고속 데이터 통신을 위한 UWB 시스템 레벨 설계의 기초 자료로 활용하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 UWB 시스템의 원리를 살펴보고, 시스템의 성능에 영향을 미치는 특성 파라미터를 도출하며, FCC의 UWB 시스템에 대한 주파수 허용범위를 기초로 UWB 시스템 파라미터 규격을 도출한다. III장에서는 AWGN 채널 환경에서 단일 사용자일 경우로 가정시 M-ary PPM/TH UWB 시스템의 특성 파라미터를 도출하고 오율 성능을 분석하며, IV장에서 결론을 맺는다.

## II. UWB 시스템의 원리

FCC에 의하면 UWB는 Fractional bandwidth 0.25 이상 또는 1.5 GHz 이상의 점유 대역특성을 갖는 시스템<sup>[6]</sup>으로 정의되어 있다. 이와 같은 광대역 특성을 나타내기 위하여 UWB 시스템에서는 일반적으로 수 나노초 이하의 펄스 폭을 갖는 임펄스 무선통신(Impulse radio : IR) 방식을 이용한다. 본 장에서는 변조 방식으로 PPM을 이용하고, 다중 사용자를 수용하기 위한 다원 접속 방식으로 TH를 이용하는 M-ary PPM/TH UWB 시스템의 원리를 살펴보고 UWB 시스템 파라미터 규격을 도출하였다.

### 2-1 모노 펄스 특성

주파수 영역의 스펙트럼은 시간 영역의 신호 파형의 모양과 밀접한 관계를 가진다. 정현파는 어느 특정 주파수에서만 신호 세기가 큰 값을 가지지만 임펄스와 같이 폭이 매우 좁은 펄스 신호는 비교적 넓은 주파수 대역에 에너지가 분포하므로 UWB 시스템에서는 일반적으로 수 나노초 이하의 극히 좁은

폭을 갖는 펄스를 반복하여 사용한다. 특히, IR 시스템에서는 직류 성분이 제거되어 효율적인 전송이 가능한 모노 펄스가 널리 적용되고 있다. 본 논문의 UWB 시스템 송신기에서는 정보의 전송에 이용되는 펄스의 형태로 식 (1)의  $p(t)$ 로 표현되는 가우시안 모노사이클 펄스를 이용하며, 이 펄스는 펄스 폭  $T_p$ 와 에너지  $E_p = \int_{-\infty}^{\infty} [p(t)]^2 dt$  를 갖는다<sup>[7]</sup>.

$$p(t) = t \exp\left(-2\pi\left[\frac{t}{t_n}\right]^2\right) \quad (1)$$

여기서,  $t_n$ 은 펄스의 폭을 결정하는 파라미터로, 수 나노 초 이하의 매우 작은 값을 갖는다. 송신기로부터 전송된  $p(t)$  신호는 안테나의 특성으로 인하여 식 (2)와 같이 미분된 형태로 나타낼 수 있다<sup>[7],[8]</sup>.

$$v(t) = \left(1 - 4\pi\left[\frac{t}{t_n}\right]^2\right) \exp\left(-2\pi\left[\frac{t}{t_n}\right]^2\right) \quad (2)$$

여기서, 펄스의 세기는 1로 정규화하였다. UWB 시스템에서 복조는 상관기를 이용하며, 송신 신호  $p(t)$ 에 대응되는 정규화된 신호 상관함수  $r_p(t)$ 는 다음과 같이 정의된다<sup>[7]</sup>.

$$\gamma_p(t) = \left(1 - 4\pi\left[\frac{t}{t_n}\right]^2 + \frac{4\pi^2}{3}\left[\frac{t}{t_n}\right]^4\right) \cdot \exp\left(-\pi\left[\frac{t}{t_n}\right]^2\right) \quad (3)$$

본 절에서는 FCC의 UWB 시스템 통신용 주파수 대역인 3.1 GHz~10.6 GHz(-10 dB 점유 대역)의 주파수 범위에서 사용 가능한  $t_n$ 을 유도하고, PPM에서 0, 1의 비트를 구분하는 최소 펄스 간격  $\tau_{min}$  ( $=\delta$ )을 이용하여 정규화된 신호 상관함수  $r_p(t)$ 로부터 최소값  $\gamma_{min}$ 을 구하였다. 또한  $\gamma_{min}$ 으로부터 시스템의 성능에 영향을 미치는 SNR의 변수에 해당하는  $\beta = (1 + \gamma_{min})/2$ 를 구하였으며, 이와 같은 UWB 시스템의 특성 파라미터의 규격을 도출하여 표 1과 같이 정리하였다.

표에서  $t_n$ 은 가우시안 모노펄스에 대한 주파수 스펙트럼을 나타내는 다음 식을 이용하여 도출하였다<sup>[9]</sup>.

$$p(f) = (2\pi ft_n)^2 \exp(-2\pi^2 f^2 t_n^2 / 2) \quad (4)$$

표 1의  $t_n$ 을 이용한 모노 펄스의 주파수 대역특성을 그림 2에 나타내었으며, 그림에서와 같이 FCC에서 규정한 방사제한레벨을 고려할 때, 동일한 펄스 반복 시간과 펄스 반복 개수에서 case 1에 비해 상대적으로 많은 사용자를 수용할 수 있는 case 2의  $t_n=0.0326$  ns인 경우의 특성 파라미터들을 이용하여 M-ary PPM/TH UWB 시스템 설계 및 성능 분석을 수행하였다.

표 1의 case 2에 해당하는  $t_n=0.0326$  ns와 펄스 폭  $T_p=0.072$  ns를 이용하여 수신단 입력 파형  $v(t - T_p/2)$

표 1. UWB 시스템 분석 파라미터  
Table. 1. UWB system analysis parameters.

기호	설 명	Case 1				Case 2					
$f_B$	허용 주파수 대역 (FCC 표준)	3.1 GHz~10.6 GHz (7.5 GHz)									
$t_n$	펄스 폭을 결정하는 파라미터	0.04 ns				0.0326 ns					
$T_p$	펄스 폭	0.09 ns				0.072 ns					
$W_s$	-10 dB 점유 대역폭	3.1 GHz~8.63 GHz (5.53 GHz)				3.8 GHz~10.6 GHz (6.8 GHz)					
$f_c$	-10 dB 대역 중심 주파수	5.865 GHz				7.2 GHz					
$\tau_{min}$	데이터 "0"과 "1"에 따른 펄스 간격 ( $=\delta$ )	0.0216 ns				0.0176 ns					
$\gamma_{min}$	$\gamma_p(t)$ 의 최소값 ( $=\gamma_p(\tau_{min})$ )	-0.6183				-0.6183					
$\beta$	( $= (1 + \gamma_{min})/2$ )	0.1909				0.1909					
$R_b$	전송속도( $1/T_b$ )	100 Mbps				100 Mbps					
$T_b$	데이터 비트 주기 ( $T_b=N_s T_p$ )	10 ns				10 ns					
$T_c$	제어 가능한 슬롯시간	0.1116 ns				0.0896 ns					
$N_u$	사용자 수(명)	89	44	17	8	4	111	55	22	11	5
$T_f$	펄스 반복 시간(ns)	10	5	2	1	0.5	10	5	2	1	0.5
$N_s$	펄스 반복 개수	1	2	5	10	20	1	2	5	10	20

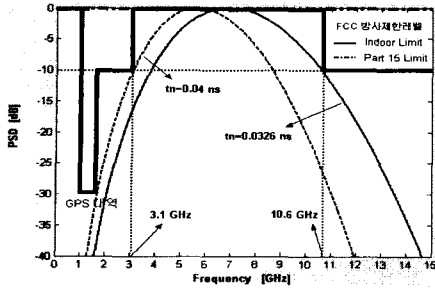


그림 2.  $t_n$ 에 따른 모노 펄스의 주파수 대역 특성  
Fig. 2. Frequency band characteristics of mono pulse on the  $t_n$ .

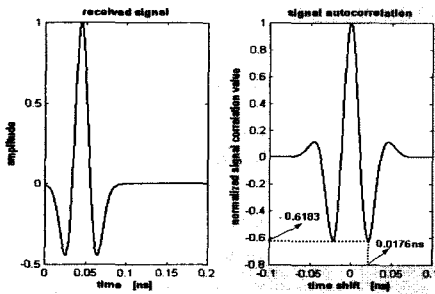


그림 3. 수신단 입력 파형  $v(t-T_p/2)$ 와 정규화된 신호 상관함수( $t_n=0.0326$  ns,  $T_p=0.072$  ns)  
Fig. 3. Received pulse  $v(t-T_p/2)$  and the normalized signal correlation function( $t_n=0.0326$  ns,  $T_p=0.072$  ns).

와 상관 복조기의 정규화된 신호 상관함수 파형을 그림 3에 나타내었다.

### 2-2 PPM/TH UWB 시스템

UWB 시스템에서 식 (1), 식 (2)와 같이 정의된 모노 펄스를 이용할 경우, 수신단의 상관기에 입력되는 전송 신호는 식 (5)와 같이 표현된다<sup>[7]</sup>.

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} v(t-iT_b-jT_f - c_j T_c - b_i \delta) \quad (5)$$

여기서,  $T_b$ 는 비트 주기,  $T_f$ 는 펄스 반복 시간 또는 프레임 시간으로  $T_b$ 는 하나 이상의  $T_f$ 로 구성되어,  $T_b$  시간 동안에  $N_s$ 개의 펄스를 반복 전송하게 된다. 즉  $T_b=N_s T_f$ 가 되며, 이진 PPM/TH의 경우 비트 전송률은  $1/N_s T_f$  [bps]가 된다.

$c_j$ 는 UWB 시스템에서 다중 사용자 간의 간섭을 방지하고 비화성을 유지하기 위해 사용되는 시간도약의  $j$ 번째 도약부호,  $T_c$ 는 제어 가능한 슬롯 시간을 나타낸다.  $N_h$ 를 도약 부호가 가질 수 있는 최대값이라 할 때,  $c_j$ 는  $0 \leq c_j < N_h$ 를 만족하며, 다음 펄스와의 충돌을 피하기 위해서  $N_h T_c \leq T_f$ 를 만족하여야 한다. 만일  $N_h T_c \ll T_f$ 이면, 도약을 위한 부호의 수가 적어 다중 사용자들의 펄스간에 충돌이 발생할 가능성이 커지게 되므로,  $N_h T_c \approx T_f$ 를 만족하도록  $N_h$ 와  $T_c$ 를 결정해야 한다.

식 (5)에서  $b_i \in \{0, 1\}$ 는  $i$ 번째 비트,  $\delta$ 는 비트 0과 1을 구분하는 PPM 간격을 나타낸다. 따라서 “0” 비트인 경우  $b_i \delta$ 가 0이 되고 “1” 비트인 경우는  $\delta$ 만큼의 시간이 지연된 동일 펄스 파형이 전송된다.

### 2-3 M-ary PPM/TH UWB 시스템

M-ary 기법은 고밀도 변조 방식의 하나로, M-ary에서 송신 비트열들은 비트수  $n$ 개씩  $2^n=M$ 에 해당하는  $M$ 개의 심볼에 매핑된다. M-ary PPM/TH UWB 시스템의 송신단에서는 비트 전송률  $1/T_b$  [bps]인 데이터의  $\log_2 M$  비트 블록이 직병렬 변환기를 거쳐  $M$ 개의 심볼 가운데 하나로 매핑되며, 부호 지연기에서 M-ary PPM/TH 방식을 위해 해당 심볼의 펄스 위치를 결정하고 이에 따라 펄스가 생성 전송된다<sup>[10]</sup>.

따라서  $k$ 번째 사용자의 전송 신호  $S^{(k)}(t)$ 는 수신단에 입력되는 파형인 식 (2)의 펄스가 등가적으로 이용된다고 할 때 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$s_{rec}^{(k)}(t) = \sum_j v(t-jT_f - c_j^{(k)} T_c - b_{[j/N_s]}^{(k)} \delta) \quad (6)$$

위의 식에서  $\delta$ 는 M-ary PPM/TH UWB 시스템에서 해당 심볼에 대한 펄스들간의 시간 간격이며,  $k$ 번째 사용자의  $[j/N_s]$ 번째 심볼은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다<sup>[10]</sup>.

$$b_{[j/N_s]}^{(k)} \equiv \sum_{i=0}^{\log_2 M - 1} 2^i b_{i/[j/N_s]}^{(k)} \quad (7)$$

M-ary PPM/TH UWB 시스템에서  $M$ 개의 심볼은 각각  $\log_2 M$ 개의 데이터 비트  $b_{i/[j/N_s]}^{(k)}$  ( $i=0, \dots, \log_2 M - 1$ )로 매핑되며, 식 (7)에 의해 (0,  $\dots$ ,  $M-1$ ) 가운데 하나의 10진화된 심볼이 생성된다.

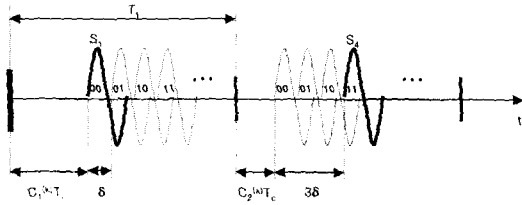


그림 4. M-ary PPM/TH UWB 시스템 송신신호 예 (M=4)

Fig. 4. Transmission signal example of M-ary PPM/TH UWB systems (M=4).

M-ary 시스템에서의 비트 전송률은 하나의 심볼을  $N_s$ 번 반복 전송한다고 할 때 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_b = \frac{\log_2 M}{N_s T_f} \text{ [bps]} \quad (8)$$

그림 4는  $M=4$ 일 경우의 M-ary PPM/TH UWB 시스템의 전송 파형의 예를 나타내었다. 여기서 펄스 폭을  $T_p$ 라 할 때, 제어 가능한 슬롯시간  $T_c$ 는 상관 복조 시의 적분 간격으로  $N_s T_c \leq T_f$ 를 만족하여야 한다.

AWGN 채널에서 단일 사용자의 신호만을 고려한 M-ary PPM IR 시스템의 수신신호  $r(t)$ 는,  $i$ 번째 심볼  $b_i^{(1)} \in \{0, \dots, M-1\}$ 만을 고려하는 경우, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = A_1 v_s(t - b_i^{(1)} \delta) + n(t) \quad (9)$$

$$v_s(t) \equiv \sum_{j=0}^{(i+1)N_s-1} v(t - jT_f - c_j^{(1)} T_c - \tau) \quad (10)$$

또한, 수신단 상관기에서  $m(m=0, \dots, M-1)$ 번째 상관기의 수신신호와 곱하게 되는 기준 신호  $w_m(t)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} w_m(t) &\equiv v_s(t - m\delta) \\ &= \sum_{j=0}^{(i+1)N_s-1} v(t - jT_f - c_j^{(1)} T_c - \tau - m\delta) \end{aligned} \quad (11)$$

$T_f$ 를 심볼  $b_i^{(1)}$ 를 나타내는  $N_s$ 개 펄스의 점유 시간 범위라고 할 때,  $m$ 번째 상관기의 출력(decision statistic)  $k_m$ 은 식 (12)로 나타낼 수 있으며, 식 (13)의 결정 규칙(decision rule)에 따라 해당 심볼  $m^*$ 이

결정되어 해당 심볼에 매핑된 비트를 추출하게 된다<sup>[10]</sup>.

$$k_m \equiv \int_{t \in T_f} r(t) w_m(t) dt \quad (12)$$

$$m^* = \arg \max_{m \in \{0, \dots, M-1\}} k_m \quad (13)$$

### III. M-ary PPM/TH UWB 시스템 성능 분석

본 장에서는 다중 사용자 간섭이 배제된 경우, AWGN 채널에서 100 Mbps급 M-ary PPM/TH의 설계 및 성능 분석을 위하여 시스템 파라미터를 도출하고 오율 성능을 분석하였다.

#### 3-1 채널 모델

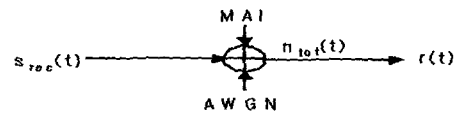
의사잡음 부호 발생기를 이용하여 시간도약 패턴을 갖는 UWB 시스템 설계에서는 시간 도약 패턴이 완벽한 경우에는 다원접속 간섭이 발생하지 않지만, 무선 채널 환경에서 발생하는 다중경로나 기타 요소로 인해 수신단에서의 시간 동기화 불완전해지면 이로 인하여 다원접속 간섭이 발생하게 된다.

그림 5는 다원접속 간섭 채널에서 기저대역 송신신호  $s(t)$ 와 대역 제한된 잡음  $n(t)$ 가 더해지는 수신신호  $r(t)$ 를 도시하며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = A_1 s_{rec}^{(1)}(t - \tau_1) + n_{tot}(t) \quad (14)$$

$$n_{tot}(t) = \sum_{k=2}^{N_u} A_k s_{rec}^{(k)}(t - \tau_k) + n(t) \quad (15)$$

여기서,  $n_{tot}(t)$ 는 다른 사용자의 간섭과 잡음의 합을 나타낸다. 다중 사용자 각각이 랜덤한 시간도약 패턴을 이용하고 데이터 비트의 발생 또한 랜덤하다면, 식 (15)에서 다른 사용자에 의한 간섭은  $N_u$ 가 큰 경우 가우시안 분포를 갖는 랜덤변수로 근사화되며,  $n_{tot}(t)$  역시 가우시안 분포를 갖게 된다.



MAI : Multiple-Access Interference

그림 5. AWGN 채널 모델

Fig. 5. AWGN channel model.

각각의 고유한 도약패턴을 갖는 다중 사용자들간 에 수신기에서 동기가 완전하게 맞았다고 가정하면 서로의 신호가 시간 영역에서 전혀 겹치지 않아 다원접속 간섭(Multiple access interference : MAI)이 없게 된다. 따라서, 이 경우 다원접속 상황에서도 기준이 되는 사용자에 대하여 다른 사용자의 간섭이 전혀 없으므로 한명의 사용자만이 접속한 것과 같이 해석할 수 있다.

### 3-2 M-ary PPM/TH UWB 시스템 성능 분석

AWGN 채널에서 M-ary PPM/TH UWB 시스템이 M-ary 신호를 송수신할 경우, 수신기 성능을 해석하기 위한 BER 특성은 식 (16)으로 표현할 수 있으며, 식 (17)에서  $m_a^2$ 는 송신 신호가 상관을 거쳐 나온 신호전력,  $\sigma_{rec}^2(N_u)$ 는 잡음전력을 나타낸다.

$$P_b(N_u) = \frac{M}{2} \int_{\sqrt{\log_2 M S_{out}(N_u)}}^{\infty} e^{-x^2/2} dx \quad (16)$$

$$S_{out}(N_u) = \frac{1}{M} \frac{m_a^2}{\sigma_{rec}^2(N_u)} \quad (17)$$

단일 사용자일 경우, M-ary PPM/TH UWB 시스템의 신호대 잡음비  $S_{out}(1)$ 은 식 (18)과 같이 나타낼 수 있으며, 식 (19)는 M-ary PPM/TH UWB 시스템의 심볼에너지  $E_s$ 와 비트에너지  $E_b$ 와의 관계를 나타낸다<sup>[7],[11]</sup>.

$$S_{out}(1) = \frac{1}{\log_2 M} \frac{(A_1 N_s m_p)^2}{\sigma_{rec}^2} \quad (18)$$

$$= \frac{1}{\log_2 M} \frac{(A_1)^2 E_s (1 - \beta)}{N_o}$$

$$E_s = \log_2 M \cdot E_b \quad (19)$$

식 (20)은 M-ary PPM/TH UWB 시스템에서 사용되는 심볼 반복 개수  $N_s$ 를 나타낸다<sup>[12]</sup>.

$$N_s \cong \log_2 M \cdot N_s^{(2)} \quad (20)$$

여기서  $N_s^{(2)}$ 는 2진 PPM에서 사용된 펄스 반복 개수이며, 위의 식들을 통하여 데이터 심볼 주기  $T_s$ 와 심볼 에너지  $E_s$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_s = N_s T_f = \log_2 M \cdot N_s^{(2)} \cdot T_f \quad (21)$$

$$\cong \log_2 M / R_b$$

$$E_s = N_s E_p = \log_2 M \cdot N_s^{(2)} \cdot E_p \quad (22)$$

$$\cong \log_2 M \cdot E_b$$

M-ary PPM/TH UWB 시스템에서  $M$ 값의 변화에 따른 시스템 특성을 분석하기 위해 다음과 같은 경우를 가정할 수 있다. 단, 여기서  $T_c \cong T_p + (M-1)\delta$ 로 한다.

- ① 펄스들 간의 시간 간격  $\delta$ 와 제어 가능한 슬롯시간  $T_c$ 를 일정하게 유지하고자 할 경우
- ②  $T_p$ 와  $T_c$ 를 일정하게 할 경우
- ③  $T_p$ 와  $\delta$ 를 일정하게 유지하고자 할 경우

①의 경우에는  $M$ 이 증가함에 따라 펄스 폭  $T_p$ 가  $M=2$ 인 경우에 비하여  $M/2$ 배씩 감소하므로 이 신호의 대역폭은 동일한 비율로 크게 증가하게 된다. 또한, ②의 경우는  $M$ 이 증가함에 따라  $\delta$ 가 줄어들게 되며, 펄스들간의 중첩시간이 증가됨에 따른 펄스들

표 2.  $R_b=100$  Mbps급 M-ary PPM/TH UWB 시스템 파라미터  
Table 2. M-ary PPM/TH UWB system parameters ( $R_b=100$  Mbps).

구분	$t_p=0.0326$ ns, $T_p=0.072$ ns, $\delta=0.0176$ ns ( 경우 $T_f$ , $\delta$ 고정)									
$N_s^{(2)}$	1					2				
$T_f$ (ns)	10					5				
M-ary	2	4	8	16	32	2	4	8	16	32
$T_c$ (ns)	0.0896	0.1248	0.1952	0.336	0.6176	0.0896	0.1248	0.1952	0.336	0.6176
$N_u$	111	80	51	29	15	55	40	25	14	8
$N_s$	1	2	3	4	5	2	4	6	8	10
$N_s^{(2)}$	5					10				
$T_f$ (ns)	2					1				
M-ary	2	4	8	16	32	2	4	8	16	32
$T_c$ (ns)	0.0896	0.1248	0.1952	0.336	0.6176	0.0896	0.1248	0.1952	0.336	0.6176
$N_u$	22	16	10	5	3	11	8	5	2	1
$N_s$	5	10	15	20	25	10	20	30	40	50

간의 간섭 증가로 인하여 시스템의 성능이 열화될 수 있다. 그리고 ③의 경우는  $M$ 이 증가함에 따라  $T_c$ 가 증가하므로, 2진 PPM에 비하여 전송률의 향상을 기대할 수 없다. 본 논문의 M-ary PPM/TH UWB 시스템에서는 ③의 경우와 같이  $T_p$ 와  $\delta$ 를 일정하게 유지하는 것으로 가정하였다. 즉,  $R_b=100$  Mbps의 데이터 전송률을 만족하는 M-ary PPM/TH UWB 시스템에서  $M$ 값의 변화에 따른 BER 성능을 분석하였다. M-ary PPM/TH UWB 시스템 성능 분석을 위해서 표 1의 case 2를 적용하여 도출한 시스템 파라미터를 표 2에 나타내었다.

표 2에서와 같이 데이터 전송률을 100 Mbps로 일정하게 유지할 경우, 사용자 수  $N_u(=T_f/T_c)$ 는  $M$ 이 증가함에 따라 감소한다. 표에서  $T_f=1$ 인 경우,  $M>32$ 로 되면  $T_c$ 가 증가함에 따라  $N_u T_c \leq T_f$ 를 만족할 수 없게 되므로  $M \leq 32$ 로 제한된다.

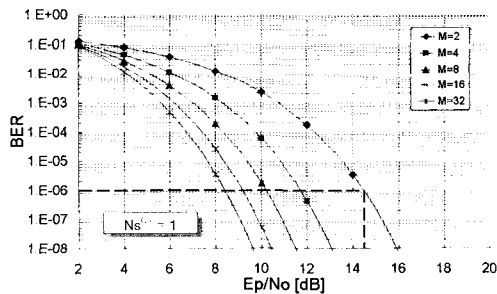


그림 6.  $N_s^{(2)}=1$ 인 경우, M-ary에 따른 UWB 시스템의 BER 성능  
Fig. 6. BER performance of UWB systems on the M-ary( $N_s^{(2)}=1$ ).

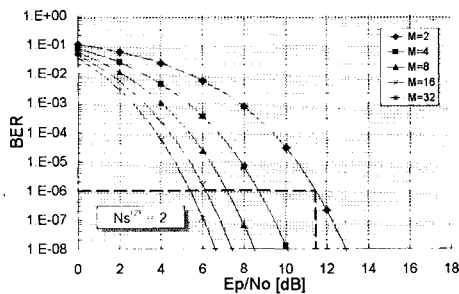


그림 7.  $N_s^{(2)}=2$ 인 경우, M-ary에 따른 UWB 시스템의 BER 성능  
Fig. 7. BER performance of UWB systems on the M-ary( $N_s^{(2)}=2$ ).

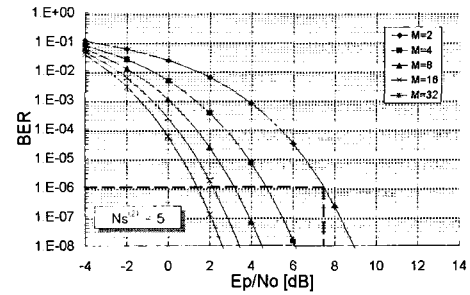


그림 8.  $N_s^{(2)}=5$ 인 경우, M-ary에 따른 UWB 시스템의 BER 성능  
Fig. 8. BER performance of UWB systems on the M-ary( $N_s^{(2)}=5$ ).

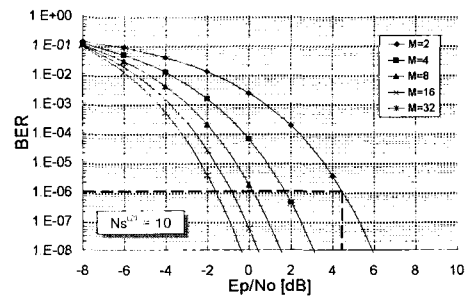


그림 9.  $N_s^{(2)}=10$ 인 경우, M-ary에 따른 UWB 시스템의 BER 성능  
Fig. 9. BER performance of UWB systems on the M-ary( $N_s^{(2)}=10$ ).

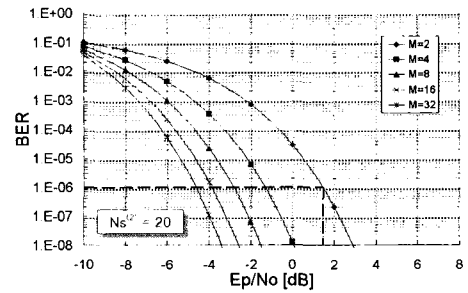


그림 10.  $N_s^{(2)}=20$ 인 경우, M-ary에 따른 UWB 시스템의 BER 성능  
Fig. 10. BER performance of UWB systems on the M-ary( $N_s^{(2)}=20$ ).

그림 6~그림 10은 식 (20)에서  $N_s^{(2)}$ 를 각각 1, 2, 5, 10, 20으로 고정했을 때,  $M$ 의 증가에 따른 M-ary PPM/TH UWB 시스템의 BER 성능을 나타낸 그래프로 식 (16)으로부터 도출되었다. 식 (21)에서  $N_s^{(2)}$ 가 고정된 상태에서  $R_b$ 를 일정하게 유지하기 위해

서는  $M$ 의 증가에 따라  $N_s$ 도 함께 증가됨을 알 수 있다. 즉 M-ary PPM/TH UWB 시스템에서  $M$ 의 증가는  $N_s$ 의 증가를 의미하며, 고정된 전송률( $R_b=100$  Mbps)을 만족하기 위한  $N_s$ 는 다음과 같다<sup>[12]</sup>.

$$N_s = \frac{1}{R_s T_f} = \frac{\log_2 M}{R_b T_f} = \log_2 M \cdot N_s^{(2)} \quad (23)$$

여기서  $R_s$ 는 심볼 전송률을 나타낸다.

그림 6~그림 10을 통하여  $N_s^{(2)}$ 를 1, 2, 5, 10, 20으로 고정한 각각의 경우에서, BER= $10^{-6}$ 을 기준으로 보면  $M$ 이 2에서 4, 8, 16, 32로 증가함에 따라  $E_p/N_0$ 는 각각 약 2.5, 1.5, 1, 0.5 dB 정도 개선되며,  $M$ 이 증가할수록 개선 폭이 감소함을 알 수 있다. 또한,  $N_s^{(2)}$ 가 두배로 증가함에 따라 동일한  $M$ 값에서  $E_p/N_0$ 는 3[dB] 정도 개선된다.

이를 통하여 M-ary PPM/TH UWB 시스템에서 데이터 전송률을 일정하게 유지할 경우,  $M$ 과  $N_s^{(2)}$ 의 증가에 따라 BER 특성이 개선되며,  $N_s^{(2)}$ 의 증가에 따른 BER 특성 개선 효과가  $M$ 의 증가에 따른 개선 효과보다 큼을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 FCC에 의해 실내 통신용으로 제정된 주파수 대역(3.1 GHz~10.6 GHz ; -10 dB 점유대역)을 기초로 펄스 위치 변조(Pulse position modulation : PPM)와 시간도약(Time hopping : TH) 다원접속을 이용하는 100 Mbps급 M-ary PPM/TH UWB 시스템을 설계하고, 성능을 분석하였다. 결과에 의하면, FCC에서 제정한 허용 주파수 범위내에서 적용 가능한 펄스 폭은 0.072 ns~0.09 ns로 매우 한정되고, 100 Mbps급 UWB 시스템 설계 파라미터를 도출하여 M-ary PPM/TH UWB 시스템에 대한 성능을 분석한 결과, 데이터 전송률을 일정하게 유지할 경우,  $M$ 과 펄스 반복 개수의 증가에 따라 오율 성능이 개선되며, 펄스 반복 개수의 증가에 의한 오율 성능 개선 효과가  $M$ 의 증가에 의한 효과보다 크고,  $M$ 이 증가할수록 오율 성능 개선 폭은 점차로 감소됨을 관측하였다. 또한  $M$ 과 펄스 반복 개수의 증가에 따라 가용 사용자 수는 감소하므로 특정 데이터 전송률을 만족하는 조건에서  $M$ 과 펄스 반복개수

의 증가 범위가 제한된다. 따라서, 실내 근거리 무선 통신 응용을 위해 낮은 수신전력에서 요구되는 고속 데이터 서비스를 만족하고 적정 사용자 수를 수용하기 위해서는 성능에 영향을 미치는 특성 파라미터 값의 적절한 설정과 함께, 채널의 환경에 따라 펄스 반복 개수와 M-ary, 가용 사용자 수간에 적절한 상호 보정값을 결정하는 것이 요구된다. 본 논문의 결과는 수신기에서 동기가 완벽히 이루어져 다원접속 간섭이 없는 경우로 가정하였으나, 통신 채널 환경 등 다양한 요인으로 완벽한 동기가 이루어지지 않은 경우, 다원접속 간섭의 발생으로 인한 시스템 성능의 열화가 예상되므로 이와 같은 채널환경에 대한 시스템의 성능 평가 및 성능 향상을 위한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] P. Withington, "UWB regulation & applications", *UWB Workshop*, www.timedomain.com, 11. 2001.
- [2] <http://www.aetherwire.com/>
- [3] M. Z. Win, R. A. Scholtz, "Impulse radio : How it works", *IEEE Comm. Lett.*, vol. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.
- [4] Time Domain Corp., "Time-Modulated Ultra Wide-Band Radio Measurement & Spectrum Management Issues", *Presentation Material at National Radio Science Meeting*, Boulder, USA, Jan. 1999.
- [5] FCC, "New public safety applications and broadband internet access among uses envisioned by FCC authorization of ultra-wideband technology", *FCC News*, Feb. 2002.
- [6] FCC Notice of Proposed Rule Making, "Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission system", *ET-Docket*, pp. 98-153. Apr. 2002.
- [7] Fernando Ramirez-Mireles, "On the performance of ultra-wideband signals in gaussian noise and dense multipath", *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. 50, no. 1, Jan. 2001.



- [8] R. A. Scholtz, "Multiple access with time hopping impulse modulation", *Proc. IEEE MILCOM '93*, pp. 447-450, Oct. 1993.
- [9] J. T. Conroy, J. L. LoCicero and D. R. Ucci, "Communication techniques using monopulse waveforms", *MILCOM*, vol. 2, pp. 1181-1185, 1999.
- [10] 안진철, 박광희, 신요안, "초광대역 M진 펄스 위치 변조 임펄스 무선 전송 시스템의 성능", 한국통신학회논문지, 25(11A), pp. 1682-1690, 2000년.
- [11] 이정석, 김종환, 김유창, 김정신, 김원후, "AWGN에서 다중접속을 위한 M진 Antipodal 초광대역 통신 시스템의 성능 분석", 한국통신학회논문지, 27(1A), pp. 1-12, 2001년.
- [12] Fernando Ramirez-Mireles, "Performance of Ultra Wideband SSMA Using Time Hopping and M-ary PPM", *Selected Areas in Comm. IEEE Journal on*, vol. 19. Issue 6, pp. 1186-1196, Jun. 2001.

### 문 용 규



1987년 2월: 원광대학교 전자공학과 (공학사)  
 1993년 8월: 숭실대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1991년 7월~1997년 8월: 아시아나 항공 시스템부문  
 1997년 8월~현재: 숭실대학교 전자공학과 박사과정

1997년 9월~현재: 전주공업대학 정보통신과 조교수  
 [주 관심분야] 마이크로파, 전파 전파, UWB 통신

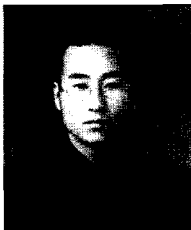
### 강 희 조



1994년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학박사)  
 1996년 8월~1997년 8월: 일본 오사카대학교 공학부 통신공학과 객원교수  
 1998년 3월~1998년 8월: 전자통신연구원 무선이동위성 통신시스템 연구소 초빙연구원

1990년 3월~현재: 동신대학교 전기전자공학부 교수  
 [주 관심분야] 무선통신, 이동통신 및 위성통신, 멀티미디어통신, 환경전자공학, 무선광통신, 밀리미터파

### 이 양 선



2001년 2월: 동신대학교 전기전자공학과 (공학사)  
 2001년 3월~현재: 동신대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정  
 [주 관심분야] 이동통신, 적응변조 시스템, 무선통신시스템, UWB 통신

### 양 승 인



1974년: 서울대학교 (공학사)  
 1976년: 한국과학기술원 (공학석사)  
 1987년: 한국과학기술원 (공학박사)  
 1990년~1999년: 한국통신기술협회 RSG 연구위원회의장  
 1991년~1992년: University of Colorado 객원교수

1996년~1999년: 한국전자과학회 학술이사  
 2000년~현재: 한국전자과학회 부회장  
 1978년~현재: 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수  
 [주 관심분야] 위성방송수신용 평면안테나 개발, 위상잡음 최소화 연구, MMIC 설계