

M진 임펄스 통신 시스템의 성능 분석

⁰김동호* · 강희조* · 문용규**

*동신대학교 전기전자정보통신공학부

**전주공업대학 정보통신과

Performance Analysis of M-ary Impulse Communication System

⁰Dong-Ho Kim · Heau-Jo Kang · Yong-Gyoo Moon**

*Dept. of Electrical & Electronic & Information & Communication Eng., Dongshin Univ.

**Dept. of Information & Communication Eng., Jeonju Technical College.

E-mail : 2seng@hanmail.net

요 약

본 논문에서는 UWB(초광대역 : Ultra-Wideband) 시스템에서 FCC 위원회에서 제안한 규정을 근거로 산출된 파라미터를 이용하여 M-ary PPM 시스템에서 고려되는 파라미터 값의 관계를 분석한 후 최적의 파라미터 값을 산출하였다. AWGN 채널에서 다중 접속을 고려하지 않은 단일 사용자일 경우로 가정시, 펄스 반복 개수 N_s 가 변화함에 따른 BER 특성과 $M=4, 8$ 인 경우 채널 부호화 기법을 채용시 성능 개선으로 BCH와 Convolution 부호화를 고려하였을 경우 BER 특성을 분석하였다.

1. 서 론

최근 미 연방통신위원회(FCC)가 새로운 무선 통신 기술인 UWB 통신의 제한적 사용을 허용함으로써 초당 수백만 펄스를 통한 넓은 공중파 대역을 사용하여 기존의 무선 기술의 공중파 혼잡 현상을 해결할 새로운 무선 기술인 초광대역 통신에 관심이 모아지고 있다. 이는 UWB가 기존 무선 통신기술의 양대 축인 IEEE802.11과 블루투스 등에 비해 속도와 전력 소모 등에 우수하기 때문에 현재 UWB 제품 개발 및 표준화 작업을 추진 중에 있다.

UWB는 미국 국방부가 군사적으로 개발한 무선 기술로서 무선 데이터 전송을 위해 수[GHz]대의 초광대역을 사용할 수 있을 뿐만 아니라 기존 IEEE802.11a 기술의 전송속도가 54[Mbps]에 불과한데 비해 500[Mbps]~1[Gbps]의 초고속 전송속도를 가지며 전력소모량은 휴대폰과 무선랜 제품이 필요로 하는 전력량보다 저전력을 사용한다. 또한, 주파수 대역이 광대역으로 데이터를 전송할 수 있는 UWB의 특성 때문에 1980년대에는 지하 매설물 탐지를 위해 군에서 개발되어 일부 사용되어 왔는데 현재는 데이터프로세싱 기술을 적용하여 가까운 거리의 물체를 탐지하고 다중전파 경로환경에서 통신을 하는 정부 및 상업 분야의 많은

응용 분야에 적용될 수 있다. 특히, 사무실이나 가정 등의 공간에서 10[m] 내외의 거리에 위치한 PC와 주변기기 및 가전제품 등을 초고속 무선 인터페이스로 연결하는 근거리 개인 통신망(PAN: Personal Area Network)으로 고려되고 있다. 하지만, UWB 기기의 도입을 위해서는 기존의 무선통신망 보호에 대한 명확한 평가가 이루어져야 할 것이다[1].

본 논문에서는 이러한 UWB 통신 시스템의 성능 분석을 위하여 2장에서는 임펄스 통신 시스템 신호 모델을 살펴보고, 3장에서는 AWGN 환경에서 단일 사용자일 경우로 가정시 M-ary PPM의 파라미터 및 BER을 분석하였다. 마지막으로, 성능 개선 기법으로 오류 정정 부호인 BCH와 Convolution 부호화 기법을 채용하여 각각의 시스템 성능 개선 정도를 분석하였다.

II. 임펄스 통신 시스템 신호 모델

2-1. 기본 신호

임펄스 통신 시스템의 송신기에서는 식 (1)로 표현되는 가우시안 모노사이클 펄스 $p(t)$ 를 전송하며, 펄스 폭 T_p 와 에너지 $E_p = \int_{-\infty}^{\infty} [p(t)]^2 dt$ 를 갖는다[2].

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

여기서, t_n 은 펄스의 주기를 결정하는 파라미터이며 일반적으로 수 ns 이하의 매우 작은 값을 사용한다.

식 (1)과 같은 모노사이클 펄스가 수신기에 입사되는 경우 수신단 입력 파형 $v(t)$ 는 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다[2],[3]. 여기서, 펄스의 세기는 1로 정규화하였다.

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

IR 시스템에서 복조는 상관기를 이용하며, 송신 신호 $p(t)$ 에 대응되는 정규화된 신호 상관함수 $\gamma_p(t)$ 는 다음과 같이 정의된다.

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

본 논문에서는 FCC에서 제정한 3.1-10.6[GHz]의 주파수 범위에서 도출한 파라미터를 고려하여 펄스폭을 결정하는 파라미터 t_n 과 데이터에 따른 펄스 간격 $\tau_{\min}(= \delta)$ 을 사용하여 상관함수 $\gamma_p(t)$ 로부터 최소로 정규화 되는 에너지 값인 γ_{\min} 를 통하여 최적 상관값 $\beta = 1 + \gamma_{\min}$ 를 구할 수 있다. 이에 따른 파라미터는 표 1과 같이 나타내었다[4].

표 1. 임펄스 통신 시스템 파라미터

f_b	허용주파수대역(FCC)	3.1-10.6[GHz]
W_s	-10[dB] 점유 대역폭	3.8-10.6[GHz]
t_n	펄스폭 결정 파라미터	0.0326[ns]
T_c	제어 가능한 슬롯시간	0.0896[ns]
τ_{\min}	데이터 ∈ {0,1}에 따른 펄스 간격(= δ)	0.083[ns]
β	최적 상관값	0.1909

2-2. 시간 도약(time hopping : TH) PPM 신호

임펄스 통신 시스템에서 시간 도약이 고려된 송신 신호는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=0}^{N-1} p(t - iT_b - jT_f - c_j T_c - b_j \delta)$$

여기서, T_b 는 펄스 반복 시간, T_c 는 상관 복조시 적분 간격, b_i 는 디지털 데이터, δ 는 PPM의 간격, c_j 는 도약 부호를 나타낸다. 또한 T_f 는 펄스 폭의 수백에서 수천 배의 값을 이용함으로 하나의 T_f 내에서 사용자가 시간도약 패턴에 따라 충돌을 최소화하면서 펄스를 전송할 수 있다. 하지만, 다음 펄스와의 충돌을 피하기 위해서는 다음 조건을 만족하여야 한다.

$$N_b T_c \leq T_f \quad (5)$$

식 (5)에서 $N_b T_c \ll T_f$ 이면, 도약을 위한 부호의 수

가 적어 여러 사용자의 펄스간에 충돌이 발생할 가능성이 커지게 되므로, $N_b T_c \approx T_f$ 를 만족하도록 N_b 와 T_c 를 결정한다. 그러므로 본 논문에서는 여러 사용자가 서로 다른 도약부호를 사용하여 각각의 도약 패턴을 갖게 되며 동기가 완전히 맞았다는 가정하에 성능 분석을 하였다.

2-3. M-ary PPM 신호

M-ary PPM 방식을 이용하는 임펄스 통신 시스템 송신기는 비트 전송률 $1/T_b$ (bps)인 데이터의 $\log_2 M$ 비트 블록은 직병렬 변환기를 거쳐 M개의 심볼 가운데 하나로 매핑되며, 부호 지연기에서 M-ary PPM 방식을 위해 해당 심볼의 펄스 위치를 결정하고 이에 따라 펄스가 생성 전송된다[5]. 따라서 k번째 사용자의 전송 신호 $s^{(k)}(t)$ 는 수신단에 입력되는 파형인 식 (2)의 펄스가 등가적으로 이용된다고 할 때 다음과 같이 표현할 수 있다.

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

여기서, $c_j^{(k)}$ 는 펄스 반복 시간 T_f 내에서 k번째 사용자의 j번째 도약 패턴이며, 펄스 폭이 T_b 일 경우 제어 가능한 슬롯시간 T_c 는 상관 복조 시의 적분 간격으로 식 (5)를 만족하여야 한다.

식 (6)에서 δ 는 M-ary PPM에서 해당 심볼에 대한 펄스들간의 시간 간격이며, k번째 사용자의 $[j/N_s]$ 번째 심볼은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

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

M-ary PPM에서 각각의 심볼은 $\log_2 M$ 개의 데이터 비트 $b_{i[j/N_s]}^{(k)}$ ($i=0, \dots, \log_2 M - 1$)로 매핑되며, 식 (7)은 이 비트들을 이용하여 1, ..., M-1 가운데 하나의 10진화된 심볼을 생성하는 것을 나타낸다. 이 때 M-ary PPM 방식에서는 하나의 심볼을 N_s 개 반복해서 보냄으로써, 실제 전송률은 다음과 같다.

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

III. M진 임펄스 통신 시스템 성능 분석

본 장에서는 AWGN 채널에서 M-ary PPM 시스템의 성능 분석을 위하여 일정한 전송률을 만족하는 파라미터를 도출하였다.

3-1. 채널 모델

UWB 시스템은 매우 짧은 주기(수십 pico ~ 수

nano)를 이용하여 통신을 하기 때문에 직접파와 간접파의 경로 도달거리가 조금만 차이가 나도 두 신호는 서로 구분할 수 있다. 이론적으로, 표 1에 따르는 파라미터인 단일 펄스 폭 $T_p (= T_c - \delta) = 0.072[\text{ns}]$ 의 펄스를 이용하여 상호 간섭을 분석해 보면 UWB 시스템의 수신단 수신 신호의 경로차가 2.16[cm] 이상이면 두 펄스는 구분이 가능하며 상호 간섭이 발생하지 않는다.

본 논문에서는 자유공간상의 실내 환경에서 송수신 안테나 거리 $d=10[\text{m}]$ 일 경우에 송수신 안테나의 높이 $h=1[\text{m}]$ 로 가정하였으며, 이때 지연 시간 $\Delta t \approx 0.6601[\text{ns}]$ 로 간접파와 직접파가 상호 간섭을 일으킬 확률이 매우 낮아지게 된다[6]. 따라서, 본 장에서는 다중경로에 의한 영향을 배제한 AWGN 채널에서 단일 사용자로 고려시 BER 특성을 분석하였다.

3-2. M-ary PPM 시스템의 성능

AWGN 채널에서 M-ary PPM 시스템이 M-ary 신호를 송수신할 경우, 다중 사용자 N_u 가 고려된 수신기 성능을 해석하기 위한 BER 특성은 식 (9)로 표현할 수 있으며, 식 (10)에서 m_a^2 는 송신 신호가 상관기를 거쳐 나온 신호전력, $\sigma_{rec}^2(N_u)$ 는 잡음전력을 나타낸다.

$$P_b(N_u) = \frac{M}{2} \int_{\sqrt{\log_2 M S_{out}(N_u)}}^{\infty} e^{-x^2/2} dx \quad (9)$$

$$S_{out}(N_u) = \frac{1}{\log_2 M} \frac{m_a^2}{\sigma_{rec}^2(N_u)} \quad (10)$$

단일 사용자 ($N_u=1$)일 경우, M-ary PPM 시스템의 신호대 잡음비 $S_{out}(1)$ 은 식 (11)과 같이 나타낼 수 있으며, 식 (12)는 M-ary PPM 시스템의 심볼에너지 E_s 와 비트에너지 E_b 와의 관계를 나타낸다.

$$S_{out}(1) = \frac{1}{\log_2 M} \frac{(A_1 N_s m_p)^2}{\sigma_{rec}^2} \quad (11)$$

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

$$E_s = \log_2 M \cdot E_b \quad (12)$$

식 (13)은 M-ary PPM 시스템에서 사용되는 심볼 반복 개수 N_s 를 나타낸다[7].

$$N_s \approx \log_2 M \cdot N_s^{(2)} \quad (13)$$

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.

$$T_s = N_s T_f = \log_2 M \cdot N_s^{(2)} \cdot T_f \approx \log_2 M / R_b \quad (14)$$

$$E_s = N_s E_b = \log_2 M \cdot N_s^{(2)} \cdot E_b \approx \log_2 M \cdot E_b \quad (15)$$

3-3. M-ary에 따른 파라미터 분석

M-ary PPM 시스템 성능 분석을 위하여 펄스 주기 T_p 와 데이터 $\in \{0,1\}$ 에 따른 펄스 간격 δ 가 일정한 값으로 주어지고 전송률 $R_b=100[\text{Mbps}]$ 를 만족하는 M-ary PPM 시스템의 파라미터는 표 2로 나타내었다. 단, 여기서 $T_c \approx T_p + (M-1)\delta$ 한다.

표 2에서와 같이 데이터 전송률을 일정하게 유지할 경우, 사용자 수 $N_u (= T_s / T_f)$ 는 M이 증가함에 따라 감소한다. $T_f=1[\text{ns}]$ 인 경우, $M \geq 32$ 에서는 T_c 가 증가함에 따라 식 (5)의 $N_s T_c \leq T$ 를 만족할 수 없게 되므로 데이터 전송률 $R_b = 100[\text{Mbps}]$ 로 고정할 경우에 $M < 32$ 로 제한된다.

표 2. 전송률 $R_b=100[\text{Mbps}]$ 고정시, M-ary PPM 시스템 파라미터

	$T_p=0.072\text{ns}$ $\delta=0.0176\text{ns}$				
$N_s^{(2)}$	1	2	5	10	
T_f	10[ns]	5[ns]	2[ns]	1[ns]	
M-ary	2	4	8	16	32
T_c	0.0896[ns]	0.1248[ns]	0.1952[ns]	0.336[ns]	0.6176[ns]
N_u	112	80	51	30	16
N_s	1	2	3	4	5

IV. 계산 결과 및 해석

본 논문에서는 AWGN 채널에서 M-ary PPM 방식을 표 2로 산출된 파라미터 $N_s^{(2)}$ 와 M-ary에 따라 BER 특성을 분석하였다.

그림 1은 식 (11)에서 $N_s^{(2)}$ 를 각각 1, 5, 10으로 증가했을 때, $M=4, 8$ 인 경우 PPM의 특성을 나타낸 BER 특성 그래프이다. 표 2에서 $N_s^{(2)}$ 가 고정된 상태에서 R_b 를 일정하게 유지하기 위해서는 M의 증가에 따라 N_s 도 함께 증가됨을 알 수 있다. 즉, M-ary IR 시스템에서 M의 증가는 N_s 의 증가를 의미하며, 고정된 전송률 ($R_b=100[\text{Mbps}]$)을 만족하기 위한 N_s 는 식 (16)과 같다[7].

$$N_s = \frac{1}{R_s T_f} = \frac{\log_2 M}{R_b T_f} = \log_2 M \cdot N_s^{(2)} \quad (16)$$

여기서 R_s 는 심볼 전송률을 나타낸다.

그림 1에서 BER=10⁻⁶를 기준으로 보면 M=4인 경우 M=8일 때보다 2[dB]정도 우수하게 되며, $N_s^{(2)}=1, 5, 10$ 으로 증가함에 따라 각각 $E_b/N_o \approx 7, 3[\text{dB}]$ 으로

개선된다. 이를 통하여 M-ary PPM시스템에서 일정 데이터 전송률과 시스템 설계에 적합한 BER 특성을 만족하기 위해서 M과 $N_s^{(2)}$ 의 증가에 따라 개선시킬 수 있다.

그림 2와 그림 3은 $N_s^{(2)}=1$ 인 경우, BCH와 Convolution을 채용한 PPM 방식의 BER 특성을 나타낸 그래프이다[8]. 에러 정정능력 $t=2$, 부호율 $r=7/15$ 인 경우의 BCH를 채용했을 경우와 부호화 하지 않은 PPM의 에러 확률을 비교하는 그림 2에서 BER=10⁻⁶를 기준으로 하여 성능 개선시 M=4, 8일 경우 각각 $E_b/N_o \approx 1, 0.5$ [dB] 정도 개선된다. 성능 개선으로 부호율=1/2, 부호장=7인 Convolution 부호가 고려된 그림 3은 기준 오류율이 BER=10⁻⁶에서 각각 $E_b/N_o \approx 2, 2.5$ [dB] 정도 개선된다.

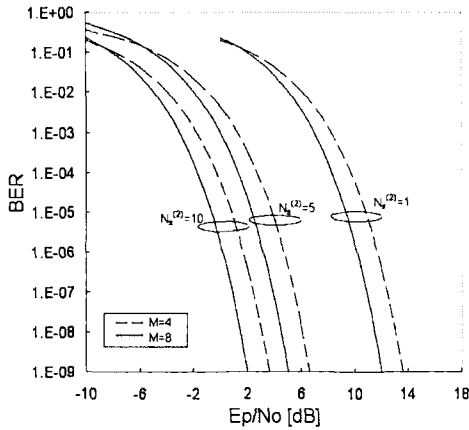


그림 1. $N_s(2)$ 에 따른 M-ary PPM 시스템 BER 특성 그래프($N_s(2)=1, 5, 10$)

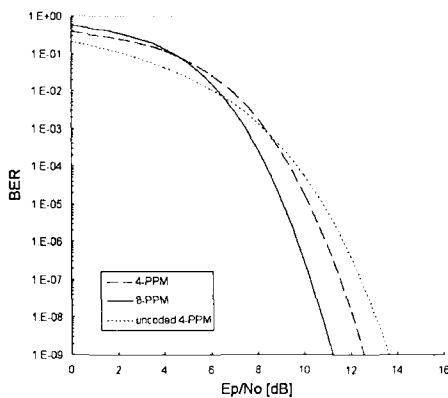


그림 2. $N_s(2)=1$ 인 경우, M-ary PPM 방식에 BCH(15,7)를 채용시 BER 특성(오류 정정 능력 $t=2$)

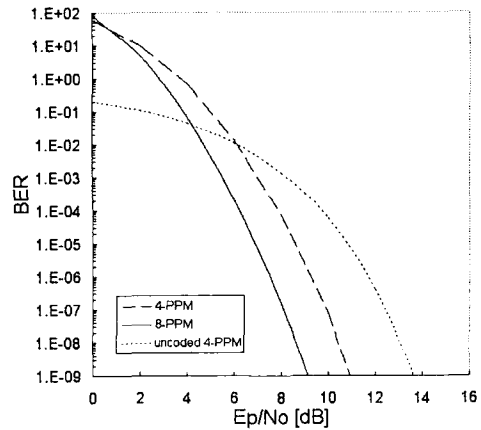


그림 3. $N_s(2)=1$ 인 경우, M-ary PPM 방식에 Convolution 부호를 채용시 에러 확률 특성 (부호율 $R=1/2$, 구속장 $K=7$)

V. 결 론

본 논문에서는 UWB시스템에서 FCC 위원회에서 제안한 규정을 근거로 산출된 파라미터를 이용하여 M-ary PPM 시스템에서 고려되는 파라미터 값의 관계를 분석한 후 최적의 파라미터 값을 산출하였다. 이를 통해, 데이터 전송률이 일정할 경우 M-ary가 제한됨을 알 수 있었다. 즉, 고정된 전송률($R_b=100$ [Mbps])에서 $T_f=1$ [ns]인 경우, $M \geq 32$ 에서는 T_c 가 증가함에 따라 $N_b T_c \leq T_f$ 를 만족할 수 없게 되므로 $M < 32$ 로 제한된다. 또한, 일정 데이터 전송률과 시스템 설계에 적합한 BER 특성을 만족하기 위해서 M과 $N_s^{(2)}$ 의 수에 따라 개선시킬 수 있다. M-ary PPM 성능 개선을 위하여 채널 부호화 고려시, E_b/N_o 가 높은 M=4, 8인 경우에 BCH와 Convolution 부호화를 통하여 성능 개선이 가능하다. 하지만, $M \geq 16$ 경우 일정 데이터 전송률과 시스템 설계에 적합한 BER 특성을 만족하기 위해서 $N_s^{(2)}$ 의 증가에 따른 개선이 효과적임을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] 디지털 타임즈, <http://www.dt.co.kr>
- [2] F. Ramirez-Mireles, "On Performance of Ultra Wideband Signals in Gaussian Noise and Dense Multipath," accepted for publication in IEEE

- Trans. on Veh.Technol., 1999.
- [3] R. A. Scholtz, "Multiple Access with Time Hopping Impulse Modulation", Proc. IEEE MILCOM 93, pp. 447-450, Oct. 1993.
 - [4] 문용규, 양승인, "실내 고속 데이터 통신을 위한 초광대역 임펄스 무선전송 시스템 성능 분석", 한국통신학회 2002년 춘계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, vol.25, no.2, pp.327-330, Sep.2002
 - [5] M. K. Simon et. al., Spread Spectrum Communications Handbook, McGraw- Hill, 1994.
 - [6] Kazimierz Siwiak, Alan Petroff, "A Path Link Model for Ultra Wide Band Pulse Transmissions", The IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference VTC -2001 Spring, May, 2001.
 - [7] F. 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.
 - [8] 김동호, 백승선, 문용규, 강희조, "AWGN 채널에서 M진 임펄스 통신의 성능분석", 한국해양정보통신학회 2002년도 춘계종합학술대회 논문집, vol.6, no.1, pp.559-562, May. 2002.