

# AWGN 채널에서 M진 임펄스 통신의 성능 분석

<sup>0</sup>김동호<sup>\*</sup> · 백승선<sup>\*\*</sup> · 문용규<sup>\*\*</sup> · 강희조<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>동신대학교 전기전자정보통신공학부

<sup>\*\*</sup>전주공업대학 정보통신과

Performance Analysis of M-ary Impulse Communications over AWGN Channels

<sup>0</sup>Dong-Ho Kim<sup>\*</sup> · Seung-Sun Baek<sup>\*\*</sup> · Yong-Gyoo Moon<sup>\*\*</sup> · Heau-Jo Kang<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Dept. of Information & Communication Eng., Jeonju Technical College.

<sup>\*\*</sup>Dept. of Electrical & Electronic & Information & Communication Eng., Dongshin Univ.

## 요 약

본 논문에서는 최근 제한적으로 사용이 승인된 UWB(초광대역 : Ultra-Wideband) 통신을 AWGN 하에서 다중 접속을 고려하지 않은 단일 사용자일 경우로 가정시, M진 값이 변화함에 따른 에러율과 성능 개선 기법으로 BCH를 채용시의 에러율을 비교 분석 하였다. 기존에 연구되어 오던 변조로 PAM(Pulse Amplitude Modulation)과 PPM(Pulse Position Modulation) 방식을 비교하였으며 에러율  $10^{-6}$ 을 기준으로 M=2, 4일 경우 PAM이 PPM보다 약  $E_b/N_0=3\sim 4$ [dB], M=8 이상의 경우 PPM이 약  $E_b/N_0=9$ [dB], M=16일 경우 약  $E_b/N_0=15$ [dB] 정도 성능이 우수하였다. AWGN 채널 하에서 에러 정정 부호인 BCH(15,7)를 도입하였을 경우 에러율  $10^{-6}$ 을 기준으로 PAM 방식은 약  $E_b/N_0$ 가 약 1[dB], PPM 방식은 M=2, 4일 경우 약  $E_b/N_0=1\sim 1.5$ [dB] 정도 개선되었다.

## 1. 서 론

최근 미연방통신위원회(FCC)는 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 있으며 UWB가 기존 무선 통신 기술의 양대 축인 IEEE802.11과 블루투스 등에 비해 속도와 전력 소모 등에 우수하기 때문에 UWB 제품 개발 및 표준화 작업에 있다.

UWB는 미국 국방부가 군사적으로 개발한 무선 기술로서 무선 데이터 전송을 위해 수 GHz대의 초광대역을 사용할 수 있을 뿐만 아니라 기존 IEEE802.11a 기술의 전송속도가 54Mbps에 불과한데 비해 500Mbps~1Gbps의 초고속 전송속도를 갖으며 전력소모량은 휴대폰과 무선랜 제품이 필요로 하는 전력량의 100분의 1 수준에 있다. 또한, 주파수 대역이 광대역이면서도 단속적으로 데이터를 전송할 수 있는 UWB의 특성 때문에 주파수 슬롯(Slot)의 부족 현상을 해결할 수 있을 뿐만 아니라 사무실이나 가정 등의 공간에서 10m 내외의 거리에 위치한 PC와 주변기기 및 가전제품 등을 초고속 무선 인터페이스로 연결하는 근거리 개인 통신망(PAN: Personal Area Network)으로 고

려되고 있다[1].

본 논문에서는 이러한 UWB 통신 시스템의 성능 분석을 위하여 2장에서는 임펄스 통신 신호를 비교하였으며 3장에서는 AWGN 하에서 M-ary PAM과 PPM의 성능을 비교 분석하기 위하여 M-ary의 변화에 따르는 비트에 대한 에러율을 구하였다. 마지막으로, 성능 개선 기법으로 오류 정정 부호인 BCH 부호화 기법을 채용하여 각각의 시스템 성능 개선 정도를 해석하였다.

## II. M진 임펄스 통신 시스템

일반적인 UWB 통신 신호는 다음과 같이 시간 상에 있어서 펄스 편이의 합으로 나타낸다.

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k p(t-t_k) \quad (1)$$

여기서  $s(t)$ 는 UWB 신호,  $p(t)$ 는 기저대역의 펄스 파형,  $a_k$ 와  $t_k$ 는 각각의 개별적인 펄스 진폭 및 시간 옵셋을 나타낸다.

M-ary PAM 신호는 일반적으로 다음과 같이

표현된다[2].

$$s_s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k \delta(t - kT_s) \quad (2)$$

여기서  $A_k \in \{(2m-1-M)d, m=1, 2, \dots, M\}$ , 하나의 심볼 구간을 고려할 때의  $m$ 번째 신호는  $s_m = A_m \delta(t) = A_m \sqrt{T_s} \phi(t)$ 이다.

M-ary PPM 신호는 다음과 같이 시간상에서 불규칙적인 배열을 갖는다[3].

$$s_p(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_f + c_k T_c - \delta d_k) \quad (3)$$

여기서,  $T_f$ 는 펄스 반복 시간,  $T_c$ 는 상관 복조식적인 간격,  $d_k$ 는 디지털 데이터,  $\delta$ 는 PPM의 간격,  $c_k$ 는 도약 부호를 나타낸다. 데이터 비트가 "0" 인 경우  $\delta d_k$ 가 0이 되고 "1"인 경우  $\delta$ 만큼 시간 지연을 갖는 펄스 파형을 송신하게 된다. 하지만, 본 논문에서는 M-ary에 따른 변조방식만을 비교하기 때문에 다중 접속(TH : Time Hopping) PPM 시스템 방식을 단일 사용자 환경으로 가정하였고 다중 접속은 고려하지 않았다.

### III. M진 임펄스 통신 시스템의 성능

#### A. AWGN하에서 오류 확률

AWGN에 의한 M-ary 임펄스 통신 시스템의 변조 방식의 에러율은 모두 동기 대역필터 출력에 있어서의  $E_b/N_0$ 의 함수로서 다음과 같이 표시된다.

M-ary PAM과 PPM의 에러 확률식은 다음과 같다[4][5].

$$P_{b, M^2PAM} = \frac{1}{k} \frac{2(M-1)}{M} Q\left(\sqrt{\frac{(6 \log_2 M) r_{bl}}{M^2-1}}\right) \quad (4)$$

$$P_{b, M^2PPM} = \frac{M}{2} Q\left(\sqrt{\log_2 M (A^v)^2 N_s (1-\beta) r_{bl}}\right) \quad (5)$$

단,  $r_{bl}$ ,  $r_{bl}$ 는 비트에 대한 신호 대 잡음비 ( $E_b/N_0$ ),  $A^v$ 는 사용자  $v$ 의 신호 감쇠 ( $v=1, 2, \dots, N_s$ ),  $N_s$ 는 주어진 심벌에 의해 변조된 펄스의 수 ( $N_s \gg 1$ ),  $\beta$ 는 정규화된 상관값 ( $\beta \approx (1+\gamma_{min})/2$ )이다. 여기에서 위 통신 시스템의 수신 신호와 기준 신호가 완벽하게 동기된 이상적인 전력제어 조건이라고 가정하였으며, 사용자  $v=1$ 일 경우 정규화된 신호 상관함수의 최소값인  $\gamma_{min} = -0.6183$ 에서의 정규화된 상관값을 구하였다. 그림 1. 2는 AWGN 하에서 M-ary에 따른 임펄스 통신의 비트에 대한 에러율을 나타낸다.

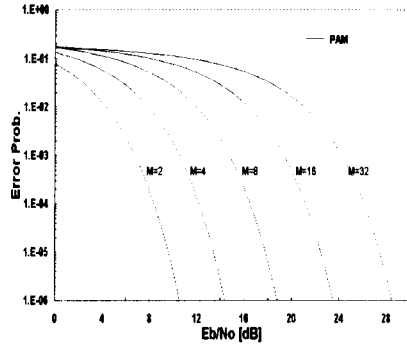


그림 1. M-ary에 따른 PAM의 에러 확률 특성

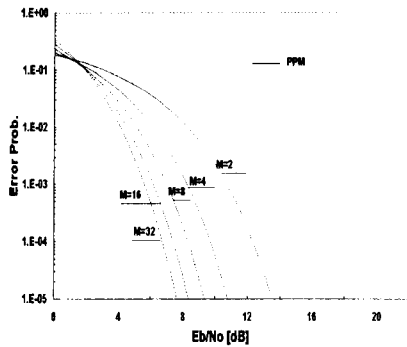


그림 2. AWGN 하에서 M-ary에 따른 PPM 에러 확률 특성

#### B. BCH 부호화 기법

앞절에서는 AWGN 하에서 무선 임펄스 통신 시스템의 에러 확률에 대해 다루었다. 현재 UWB 통신 기술은 송수신시 매우 정확한 시간동기가 요구(PPM의 경우)되며 기존 시스템보다 저전력을 사용하기 때문에 신호의 품질이나 신뢰성을 높이기 위해 에러를 제어하기 위한 방법으로 에러 정정 부호를 이용함으로써 통신로에서 발생하는 에러를 수신측에서 제어할 수 있다. 선형부호 중의 하나로 순회 부호가 있는데 순회부호는 풍부한 대수적 구조를 가지고 있어서 지금까지 많은 연구 결과가 발표되어 있다. 순회부호는 부호화와 신드롬 계산 회로 구성이 간단하여 가장 많이 실용화 되어 있으며, 순회 부호 중 BCH 부호는 에러 정정 부호로서 잘 알려진 부호 중의 하나다. BCH 부호화는 넓은 범위의 부호장과 에러 정정 능력을 갖고 있으며 부호장이 수천 이하의 경우, 같은 정도의 부호장과 에러 정정 능력을 갖는 부호 중에서 용장도가 제일 작은 우수한 부호이다.

일반적으로 부호화 기법을 도입하면 에러 확률의 성능은 개선되나 제한된 대역폭 내에서는 전송속도가 떨어지게 되는데 본 논문에서 제한한

시스템은 충분한 전송 대역폭이 확보될 수 있다는 가정 하에 해석한다[6][7].

BCH 부호화를 할 경우 에러 확률식은 다음과 같다.

$$P_e = \frac{1}{n} \sum_{i=t+1}^n i \binom{n}{i} P_b^i (1-P_b)^{n-i} \quad (6)$$

단,  $r = k/n$ 은 부호율,  $t = [(d-1)/2]$ 는 채널의 비트 에러수(에러 정정 능력),  $d$ 는 부호의 최소 거리,  $n$ 은 블록의 최소 거리이며  $P_b$ 는 비트 에러 확률, 즉  $P_{bMPAM}$ 과  $P_{bMPPM}$ 이다.

#### IV. 계산 결과 및 해석

본 논문에서는 AWGN 하에서 성능개선 기법으로 BCH를 채용한 경우의 에러 확률식을 M-ary, 비트에 대한 신호 대 잡음비 ( $E_b/N_o$ )를 변수로 하여 비트 에러 확률식을 구하였다.

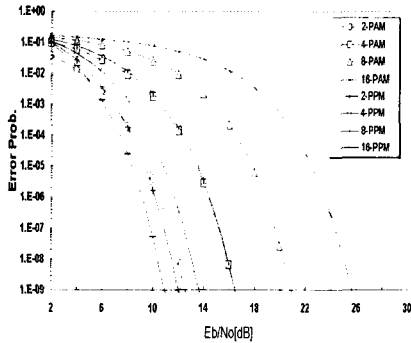


그림 3. M-ary PAM과 PPM의 비트 에러 확률 비교

그림 3은 M값의 변화에 따른 PAM과 PPM 변조 방식의 에러 확률 특성 그래프이다. 에러율  $10^{-6}$ 을 기준으로 비교하여 보면 PAM은 M=2일 경우엔 PPM 보다 약  $E_b/N_o=4$ [dB] 이상, M=4일 경우 약  $E_b/N_o=3$ [dB] 정도 우수하다. 또한 M=8, 16일 경우 PPM 에러율이 PAM 보다 약  $E_b/N_o=9, 15$ [dB] 정도 개선되었다.

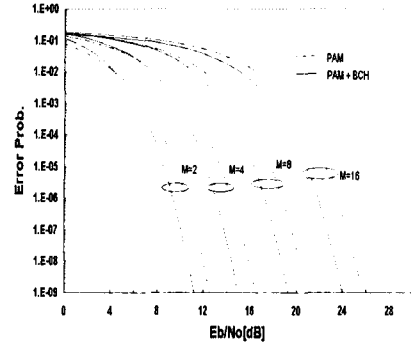


그림 4. 성능개선 기법으로 BCH(15,7)를 고려시 PAM의 에러 확률 특성

그림 4는 성능개선 기법으로 BCH를 채용했을 경우와 기존의 PAM의 에러 확률을 비교하는 그래프이다. 에러율  $10^{-6}$ 을 기준으로 살펴보면 BCH를 채용한 PAM이 약  $E_b/N_o=1$ [dB] 정도 성능이 우수하게 나타남을 알 수 있다.

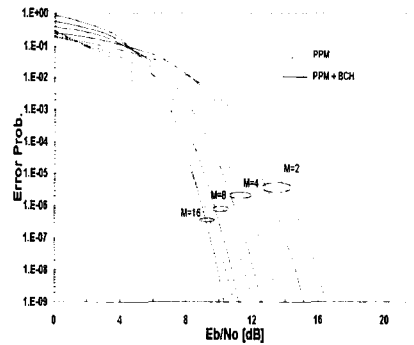


그림 5. PPM 방식에 BCH(15,7)를 채용시 에러 확률 특성

그림 5은 BCH를 채용한 M-ary PPM 방식의 에러율을 비교 한 것으로 에러율  $10^{-6}$ 을 기준으로 살펴보면 M=2 경우 성능개선을 한 것이 약  $E_b/N_o=1.5$ [dB], M=4 경우, 약  $E_b/N_o=1$ [dB] 정도 향상되었다.

#### V. 결론

본 논문에서는 최근 제한적으로 사용이 승인된 UWB 통신을 AWGN 하에서 다중 접속을 고려하지 않은 단일 사용자일 경우로 가정시, M-ary가 변화함에 따른 에러율과 성능개선 기법으로 에러 정정 부호인 BCH(15,7)를 채용시의 에러율을 비

교분석 하였다. 기존에 연구되어 오던 변조 방식으로 PAM과 PPM의 비교를 통하여 M=2, 4일 경우 PAM이 PPM보다 약  $E_b/N_o=3\sim 4$ [dB], M=8, 16일 경우, PPM이 약  $E_b/N_o=9, 15$ [dB] 정도 성능이 우수함을 알 수 있었다. AWGN 하에서 BCH를 도입하였을 경우  $E_b/N_o$ 가 약 1[dB] 정도 개선됨을 알 수 있었다. 이러한 UWB 통신은 다양한 응용분야를 가진 기술이며 앞으로 기존의 시스템 보다 저전력을 사용하여 수십~수백Mbps의 데이터를 전송하는 기술적 특징으로 인한 데이터의 전송시 동기의 정확성, 신호의 품질 및 신뢰성 향상, 그리고 신호 전력을 감소시키기 위한 기술이 선행되어야 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] 디지털 타임즈, <http://www.dt.co.kr>
- [2] J. Proakis, Digital Communications, 4th Edition, McGraw-Hill, 2001
- [3] R. A. Scholtz, "Multiple Access with Time Hopping Impulse Modulation," Proc. IEEE MILCOM '93, pp. 447-450, Oct. 1993.
- [4] J. Foerster, E. Green, S. Somayazulu & D. Leeper, "Ultra-Wideband Technology for Short- or Medium-Range Wireless Communications," Intel Technology Journal, May 2001.
- [5] F. Ramirez-Mireles & R. A. Scholtz, "System Performance Analysis of Impulse Radio Modulation," Proc. IEEE RAWCON conference, August 1998.
- [6] Shu Lin, Error-correcting codes, Prentice-Hall, 1970.
- [7] J. L. Masser, "Shift-Register Synthesis and BCH decoding," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. IT-15, pp. 122-127, January 1969.