
AWGN 채널에서 M진 임펄스 통신의 성능 분석

김동호^{*} · 백승선^{**} · 문용규^{**} · 강희조^{*}

Performance of M-ary Impulse Communications System over AWGN Channels

Dong-Ho Kim^{*} · Seung-Sun Baek^{**} · Yong-Gyoo Moon^{**} · Heau-Jo Kang^{*}

요 약

최근 FCC 위원회에서는 제안적으로 UWB의 사용을 승인하였으며 기존의 UWB 기술을 보완하며 이 기술로 응용 가능한 표준안을 발표할 계획이다. 본 논문에서는 AWGN 채널에서 BCH를 채용시 M-ary 값이 변화함에 따른 UWB 통신 시스템의 성능을 비교하였다. 또한 UWB 변조방식으로 고려되어 오던 M ary PAM과 PPM의 방식을 M-ary 수를 변화시킴에 따라 에러 확률을 비교 분석하였다.

ABSTRACT

Recently, the FCC commissioners approved limited uses of UWB, and have promised to review the standards to explore the potential of more flexible standards and to address the operation of additional types of UWB operations and technology. In this paper we study performances of UWB communication system according to M-ary schemes with BCH code. And under the AWGN channel, we analysis and compare error probability, the number of M-ary schemes to the two methods that pulse position modulation and pulse amplitude modulation.

키워드

UWB, M-ary PAM, M-ary PPM, AWGN, BCH code

I. 서 론

최근 미 연방통신위원회(FCC)가 새로운 무선 통신 기술인 UWB 통신의 제한적 사용을 허용함으로 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 블

루투스 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 54Mbps에

^{*}통신대학교 전기전자정보통신공학부

접수일자 : 2002. 5. 24

^{**}진주공업대학교 정보통신과

불과한데 비해 500Mbps~1Gbps의 초고속 전송 속도를 가지며 전력소모량은 휴대폰과 무선랜 제품이 필요로 하는 전력량보다 저전력을 사용 한다. 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 다중전파경로환경에서 통신을 하는 정부 및 상업 분야의 많은 응용 분야에 적용될 수 있다. 특히, 사무실이나 가정 등의 공간에서 10m 내외의 거리에 위치한 PC와 주변기기 및 가전제품 등을 초고속 무선 인터페이스로 연결하는 근거리 개인통신망(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 신호를 살펴보며, 3장에서는 AWGN 환경에서 단일 사용자일 경우로 가정시 M-ary PAM 및 PPM의 오류 확률을 비교 분석을 하였다. 마지막으로, 성능 개선 기법으로 오류 정정 부호인 BCH 부호화 기법을 채용하여 각각의 시스템 성능 개선을 분석하였다.

II. M진 임펄스 통신 시스템

일반적인 UWB 송신 신호는 시간상에 있어서 다음과 같이 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} a_i p(t - t_i) \quad (1)$$

여기서 $s(t)$ 는 UWB 신호, $p(t)$ 는 기저대역의 펄스 파형, a_i 와 t_i 는 각각의 개별적인 펄스 진폭 및 시간 읍셋을 나타낸다.

M-ary PAM의 송신 신호는 일반적으로 다음과 같이 표현된다[2].

$$s_a(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} A_i p(t - iT_s) \quad (2)$$

여기서, $A_i \in \{(2m-1-M)d, m=1, 2, \dots, M\}$ 는 i 번째 PAM 신호의 펄스 진폭값, T_s 는 하나의 심벌 주기이다.

M-ary PPM 송신 신호는 다음과 같이 시간

상에서 이산적인 배열을 갖는다[3].

$$s_p(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} p(t - iT_f + c_i T_c - \delta d_i) \quad (3)$$

여기서, T_f 는 펄스 반복 시간, T_c 는 상관 복조시 적분 간격, d_i 는 디지털 데이터, δ 는 PPM의 간격, c_i 는 도약 부호를 나타낸다. 식 (3)에서 δd_i 는 데이터 비트(d_i)가 “0”인 경우 δd_i 가 0이고 “1”인 경우 δ 만큼 시간 지연을 갖는 펄스 파형을 송신하게 된다. 또한 T_f 는 펄스 폭의 수백에서 수천 배의 값을 이용함으로 하나의 T_f 내에서 사용자가 시간도약 패턴에 따라 충돌을 최소화 하면서 펄스를 전송할 수 있다. 그러므로 여러 사용자가 서로 다른 도약부호(c_i)를 사용하여 각각의 도약 패턴을 갖게 되며 동기가 완전히 맞았다는 가정하에 단일 사용자의 경우로 성능 분석을 하였다.

III. M진 임펄스 통신 시스템의 성능

1. AWGN 환경에서 오류 확률

AWGN에 의한 M-ary PAM 변조 방식의 에러율은 동기 대역필터 출력력에 있어서의 E_b/N_o 의 함수로서 M-ary PAM의 비트에 따른 오류 확률식은 아래와 같다[2][4].

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

단, M-ary 신호화에 따른 값인 $M = 2^k$, r_b 는 비트에 따른 신호대 잡음비(E_b/N_o)이며 M-ary PPM의 비트에 따른 오류 확률은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다[5].

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

단, A^v 는 사용자 v 의 신호 감쇠 ($v=1, 2, \dots, N_s$), N_s 는 주어진 심벌에 의해 변조된 펄스의 수 ($N_s \gg 1$), β 는 정규화된 상관값 ($\beta \simeq (1 + \alpha_{min})/2$)이다. 여기에서 위 통신 시스템의 수신 신호와 기준 신호가 완벽하게 동기된 이상적인 전력제어 조건이라고 가정하였으며, 사용자 $v=1$ 일 경우 정규화된 신호 상관함수의 최소값인 $\alpha_{min} = -0.6183$

에서의 정규화된 상관값을 구하였다. 또한 M-ary PPM은 하나의 심벌을 N_s 개 반복해서 보냄으로써, 실제 전송율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_s = \frac{\log_2 M}{N_s T_f} \quad (6)$$

여기서, PAM과의 비교 분석을 위해 M 값의 변화에 따라 항상 R_s 가 일정한 값을 갖는다고 가정하였다.

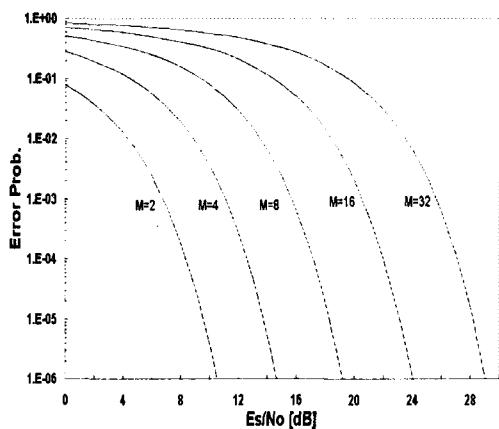


그림 1. AWGN 채널에서 M-ary에 따른 PAM BER 특성

Fig. 1 BER characteristic of PAM according to the number of M-ary over AWGN channel

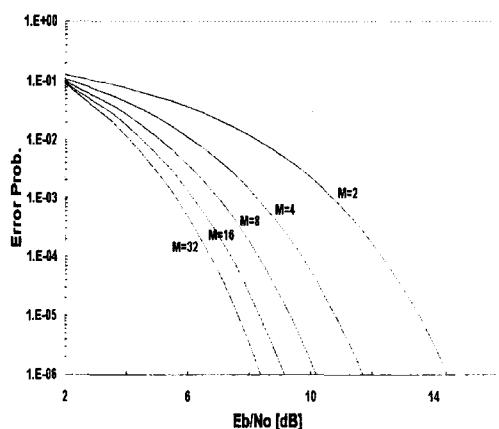


그림 2. M-ary에 따른 PPM의 BER 특성

Fig. 2 BER characteristic of PPM according to the number of M-ary schemes

그림 1, 2는 AWGN 환경에서 M-ary에 따른 임펄스 통신의 비트에 대한 오류율을 나타낸다. 여기서 PAM과 PPM은 오류율 10^{-6} 을 기준으로 하여 M=2, 4일 경우 PAM이 PPM보다 $E_b/N_o = 3\sim 4[\text{dB}]$, M=8, 16일 경우, PPM이 $E_b/N_o = 9, 15[\text{dB}]$ 정도 성능이 우수함을 알 수 있다.

2. BCH 부호화 기법

앞절에서는 AWGN 환경에서 무선 임펄스 통신 시스템의 오류 확률을 비교 분석하였다. 현재 UWB 통신 기술은 송수신시 매우 정확한 시간 동기가 요구(PPM의 경우)하며 기존 시스템보다 저전력을 사용한다. 따라서 신호의 품질이나 신뢰성을 높이기 위해 오류를 제어하기 위한 방법으로 오류 정정 부호를 이용하여 통신로에서 발생하는 오류를 수신측에서 제어할 수 있다. BCH는 순회 부호 중 부호화와 신드롬 계산 회로 구성이 간단하여 가장 많이 실용화 되어 있으며 오류 정정 부호로서 잘 알려진 부호 중의 하나다. BCH 부호화는 넓은 범위의 부호장과 오류 정정 능력을 갖고 있으며 부호장이 수천 이하의 경우, 같은 정도의 부호장과 오류 정정 능력을 갖는 부호 중에서 용장도가 제일 작은 우수한 부호이다.

일반적으로 부호화 기법을 도입하면 오류 확률의 성능은 개선되나 제한된 대역폭 내에서는 전송속도가 떨어지게 되는데 본 논문에서 제안한 시스템은 충분한 전송 대역폭이 확보될 수 있다는 가정 하에 해석한다[6][7].

BCH 부호화를 할 경우 오류 확률식은 다음과 같다.

$$P_e = \frac{1}{n} \sum_{i=t+1}^n i \binom{n}{i} P_b^i (1-P_b)^{n-i} \quad (7)$$

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

IV. 계산 결과 및 해석

본 논문에서는 AWGN 채널에서 M-ary에 따른 PAM과 PPM의 오류확률을 비교하였으며 성능개선 기법으로 BCH(15,7)를 채용한 경우 M-ary, 비트에 대한 신호 대 잡음비 (E_b/N_o)를

변수로 하여 비트 오류 확률식을 통하여 성능 개선 정도를 비교 분석하였다.

III절에서 언급한 것처럼 M 값의 변화에 따라 항상 R_s 가 일정한 값을 갖는다고 가정할 경우 M-ary PPM을 PAM과 비교하였으며, 이를 통하여 AWGN 채널에서 M-ary에 따른 임펄스 통신의 비트에 대한 오류율을 비교하여 보면 PAM과 PPM은 오류율 10^{-6} 을 기준으로 하여 M=2, 4일 경우 PAM이 PPM보다 $E_b/N_o = 3 \sim 4$ [dB], M=8, 16일 경우, PPM이 $E_b/N_o = 9, 15$ [dB] 정도 성능이 우수함을 알 수 있다.

그림 3은 성능개선 기법으로 BCH를 채용했을 경우와 기존의 PAM의 오류 확률을 비교하는 그 래프이다. 오류율 10^{-6} 을 기준으로 살펴보면 BCH를 채용한 PAM이 M 값이 변화함에 따라 $E_b/N_o = 1$ [dB] 정도 성능이 우수하게 나타남을 알 수 있다.

그림 4는 BCH를 채용한 M-ary PPM 방식의 오류율을 비교 한 것으로 오류율 10^{-6} 을 기준으로 살펴보면 M=2 경우 성능개선을 할 경우 $E_b/N_o = 1.5$ [dB], M=4 경우 $E_b/N_o = 1$ [dB] 정도 향상되었다. 하지만, 오류율 10^{-6} 을 기준으로 M 값이 증가함에 따라 BCH의 성능 개선 효과가 점점 감소함을 알 수 있다. 따라서 M=2, 4, 8 경우 성능을 향상시킬 수 있지만, M≥16에서는 개선되지 않음을 알 수 있다.

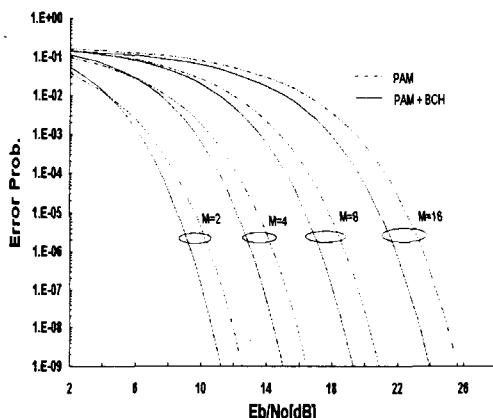


그림 3. 성능개선 기법으로 BCH(15,7)를 고려 시 PAM의 BER 특성

Fig. 3 BER characteristic of PAM with BCH(15,7) for performance improvement

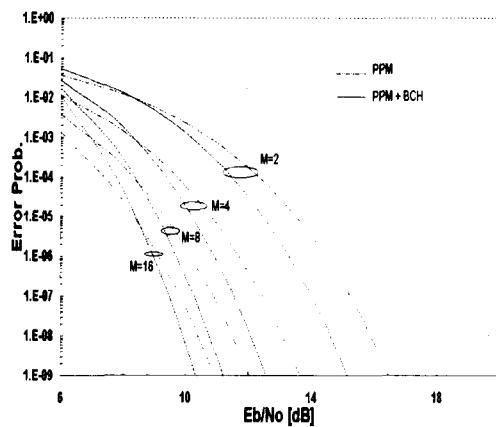


그림 4. PPM 방식에 BCH(15,7)를 채용시 BER 특성

Fig. 4 BER characteristic of PPM using BCH(15,7)

V. 결 론

본 논문에서는 최근 제한적으로 사용이 승인된 UWB 통신을 AWGN 하에서 다중 접속을 고려하지 않은 단일 사용자일 경우로 가정시, M-ary가 변화함에 따른 오류율과 성능개선 기법으로 오류 정정 부호인 BCH(15,7)를 채용시의 오류율을 비교분석 하였다. 기존에 연구되어 오던 변조 방식으로 PAM과 PPM의 비교를 통하여 M=2, 4일 경우 PAM이 PPM보다 $E_b/N_o = 3 \sim 4$ [dB], M=8, 16일 경우, PPM이 $E_b/N_o = 9, 15$ [dB] 정도 성능이 우수함을 알 수 있었다. 또한 AWGN 하에서 BCH(15,7)를 도입하였을 경우, PAM과 PPM은 $E_b/N_o = 1$ [dB] 정도 향상되었다. 또한 PPM의 경우 M=2, 4, 8일 때 성능이 향상되지만, 그 이상의 값에서는 성능 개선 정도가 감소함을 알 수 있었다. 따라서 UWB 시스템에 BCH 채용시 PAM의 경우는 M 값의 변화에 따라 성능 개선 정도가 기대할 수 있으며, PPM은 M=2, 4, 8 일 경우에만 채용해야 한다.

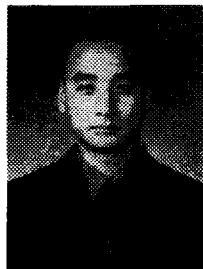
이러한 UWB 통신은 다양한 응용분야를 가진 기술이며 앞으로 기존의 시스템 보다 저전력을 사용하여 수십~수백Mbps의 데이터를 전송하는 기술적 특징으로 인한 데이터의 전송시 동기의 정확성, 신호의 품질 및 신뢰성 향상, 그리고 신호 전력을 감소시키기 위한 기술이 선행되어져

야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [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.

저 자 소 개



※ 관심분야 : 무선행렬위킹, 무선통신시스템

김동호(Dong-Ho Kim)
 2001년 2월 : 동신대학교 전기전자공학과 졸업(공학사)
 2001년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 대학원 전기전자정보통신공학부 석사과정



백승선(Seung-Sun Baek)

1988년 2월 : 단국대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 1997~현재 : 전주공업대학교 정보통신과 부교수

※ 관심분야 : 무선통신, 이동통신 및 위성통신, 멀티미디어 통신, 무선팽통신



문용규(Yong-Gyoo Moon)

1997년 ~재 : 전주공업대학교 정보통신과 조교수
 2001년 2월 : 충실대 대학원 전자공학과 박사수료

※ 관심분야 : 무선통신시스템, 전자파 환경, 마이크로파 회로설계



강희조(Heau-Jo Kang)

1994년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학박사)
 1994년 7월 ~ 1995년 12월 : 전자통신 연구원 위성망연구소 초빙 연구원

1996년 8월 ~ 1997년 8월 : 일본 오사카대학교 공학부 통신공학과 객원교수
 1998년 3월 ~ 1998년 8월 : 전자통신연구원 무선팽위성통신시스템 연구소 초빙연구원
 1990년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 전기전자공학과 교수
 2000년 7월 ~ 현재 : 지역산업정보화 센터 센터장
 2000년 9월 ~ 현재 : 디지털영상매체기술혁신센터(TIC) 부소장

※ 관심분야 : 무선통신, 이동통신 및 위성통신, 멀티미디어통신 환경전자공학, 무선팽통신, 밀리미터파, 전자발광(Electro Luminescence) 디스플레이