

홈 센서 네트워크를 위한 주파수 도약 펄스 위치 변조된 초 광대역 시스템의 성능 평가

Performance Evaluation of Time Hopping Pulse Position Modulated Ultra-Wideband System for Home Sensor Network

노재성*

Jae-Sung Roh*

요 약

가정과 사무실 정보 응용 및 서비스의 급격한 확산은 광대역 근거리 멀티미디어 통신을 가능하게 하는 새로운 무선 기술을 필요로 하고 있다. 고품질 미디어와 고속의 무선 연결을 위한 요구에 의하여 IEEE 표준화 그룹은 WPAN을 위한 고속 물리 계층을 고려하고 있다. 협대역의 펄스 전송을 기반으로 하는 UWB 다중 접속 기술은 고속의 서비스 제공, 낮은 전력 소모, 정확한 측위를 제공할 수 있는 응용 중의 하나이다. 본 논문에서는 전력 제어된 UWB 디바이스로 구성된 무선 센서 네트워크에서 페이딩 환경에 대한 UWB의 BER 성능을 평가하기 위한 방법론을 제시한다. 얻어진 결과는 주어진 네트워크 구조에 따른 성능 분석을 위하여 사용될 수 있으며 UWB 홈 센서 네트워크를 위한 유용한 디자인 아이디어를 제공할 수 있다.

Abstract

The rapid proliferation of in-home and office information applications and services is driving the need for new wireless technologies enabling wideband short range multimedia communications. Due to the growing demand for higher quality media and faster wireless connections, several IEEE standardization groups are considering very high data rate alternatives physical layer(s) for Wireless Personal Area Network (WPAN). The Ultra Wide Band (UWB) multiple access technology based on very narrow pulse transmission, is one viable candidate for these applications providing very high bit rates services, low power consumption and accurate positioning capability. In this paper we provide a methodology to evaluate the UWB system BER performance in UWB wireless fading networks with power controlled UWB devices are considered. Results can be used to analyze the performance of a given network topology and to provide useful design ideas for an UWB home sensor network.

Key words : UWB, TH-PPM Signal, Multiple Access User Interference, Fading Channel

I. 서 론

ITU-R에서 제시한 4G의 비전과 목표를 바탕으로 4G 시스템은 크게 유비쿼터스, 연속적인 네트워크

연결성 지원, 고속 데이터 전송, 네트워크 융합의 특징을 갖는다. 무선 네트워크는 특히 고속 데이터 전송에 초점을 맞추어 전파를 이용한 무선 접속 구간에서의 대용량 데이터 전송이 가능하도록 하는 기술 개

* 서일대학 정보통신과

· 제1저자 (First Author) : 노재성

· 접수일자 : 2006년 4월 28일

발을 필요로 하고 있다. 4G 시스템의 무선 네트워크 기술은 크게 다중 접속 기술, 안테나 기술, 코딩 및 변조 기술, 무선 자원 관리 기술, 링크 적응 기술 등으로 분류할 수 있다. 음성 및 영상 데이터를 한꺼번에 처리하는 4G 이동통신 기술을 통하여 손안의 휴대전화로 언제 어디서든 인터넷을 이용할 수 있는 유비쿼터스 사회를 구현할 수 있게 된다. 또한, 방송과 통신의 융합으로 음성통화와 TV 시청, 인터넷 쇼핑, 영화 감상이 동시에 이루어지며 휴대전화로 전자티켓을 발권받을 수 있고, 당뇨 수치를 측정한 뒤 주치의의 네트워크로 전송해 진료결과를 받아볼 수도 있게 된다[1]-[3].

현재, UWB, SDR, 밀리미터파, CR 등의 다양한 무선 접속 기술의 개발은 최근 큰 주목을 받고 있는 기술들이다. 그 중에서 UWB는 아주 짧은 펄스를 넓은 대역으로 확산시켜 통신하는 기술이다. 중심 주파수 대 사용 스펙트럼 대역폭이 매우 넓은 특성을 가지고 있으며, 미국 국방부가 1960년대에 군사적 목적으로 처음 개발하였다. 2002년 2월 미국의 FCC가 UWB에 대한 상용화를 허가한 이후에 많은 의견서가 FCC에 접수되었으며 표준화 활동도 그에 따라서 활발하게 이루어졌다. 또한 UWB에 대한 칩셋 메이커들과 디지털 가전 및 통신기기에 응용하려는 기업들은 그 각자 나름대로 빨리 진행시키고 있다.

시간 폭(<math><1\text{ns}</math>)이 짧은 펄스를 사용하고, 반송파를 사용하지 않기 때문에 무선 임펄스 시스템 또는 무반송파 시스템이라고 한다. UWB는 저전력 구조와 여러 개의 디지털 A/V 스트림을 지원할 수 있을 정도의 속도를 가지고 있기 때문에 홈네트워킹에 적합한 기술로서 높은 전송율을 가지는 멀티미디어 스트리밍 전송을 하기에 적합한 사양을 가지고 있다. 물론 UWB와 더불어 무선 랜(802.11 a/b/g)와 블루투스도 이러한 홈네트워킹에 적용될 수 있지만, UWB에 비해서 만족시킬 수 있는 사양이 적다.

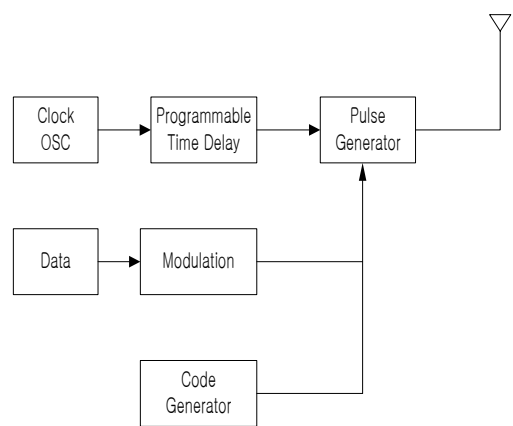
대부분의 기본적인 무선 기술들이 반송파라는 기준 주파수 파형의 형태를 변화시켜서 정보를 전달하는데 반해서 UWB는 반송파를 사용하지 않고 0과 1 처럼 일정한 주기와 파형을 가지고 있는 전기적인 신호인 펄스를 1초에 수십억회 발산하는 방법을 사용하며, 이를 통해서 정보를 전달한다. 초광대역 신호

는 정보신호가 규칙성이 있는 펄스열로 구성되고, 폭이 좁은 펄스의 광대역 특성에 의해 신호 에너지를 넓은 주파수 대역에 분산시키게 된다. 이 때문에 잡음과 유사한 스펙트럼 모양으로 보이게 된다. 따라서 중간에 이를 식별하거나 차단하기 어렵다는 특징을 가지고 있어서 보안 유지에 적합하다. 그리고, UWB가 홈네트워킹 기술로 적합한 이유로 매우 넓은 대역폭을 사용하기 때문에 다중 반사로 인해 발생할 수 있는 다중 페이딩 문제에 매우 강한 특징을 가지고 있다는 점을 가장 크게 들 수 있다[4]-[8].

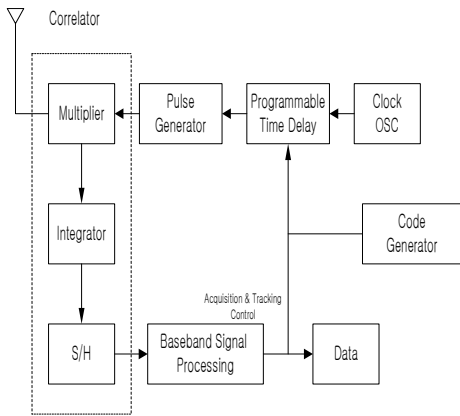
UWB 송신부 및 수신부 구조에서 시간 도약 (Time-Hopping) 방법을 사용함에 의해 가지게 되는 특성은 무작위성이 증가하게 되어 간섭의 영향이 적어지고, 여러 사용자를 수용하게 됨에 따라서 발생할 수 있는 사용자 수 증가에 따른 펄스의 충돌을 최소한으로 방지할 수 있게 된다. 본 논문에서는 잡음, 다중접속 사용자 간섭 및 나카가미 페이딩 채널에서 TH-PPM UWB 시스템의 BER (Bit Error Rate) 성능에 대해 평가한다.

II. 시간 도약 UWB PPM 시스템

본 논문에서 다루는 시간 도약 UWB PPM 시스템의 송신부 및 수신부 블록의 기능 모델은 그림 1과 같다.



(a)



(b)

그림 1. 시간도약 UWB PPM 시스템 송신부/수신부 모델
Fig. 1. Model of TH-UWB PPM System Tx/Rx.

v 번째 사용자의 송신 신호의 형태는 다음과 같다 [4]-[6].

$$S^{(v)}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} A^{(v)} p(t - jT_f - c_j^{(v)} T_c - d_j^{(v)}) \quad (1)$$

여기서, E_p 는 펄스 당 에너지, T_f 는 펄스의 반복 간격, $A^{(v)} = \sqrt{E_p^{(v)}}$, $c_j^{(v)}$, $d_j^{(v)}$ 와 는 v 번째 사용자의 진폭, 시간도약 정보, 변조신호 정보를 나타낸다. 그리고 $p(t)$ 는 주기 T_p 를 갖는 UWB 펄스로써 잡음 채널에서 시스템의 성능을 해석하기 위하여 펄스의 모양은 시간구간 $0 \leq t \leq T_p$ 에서 구형과 형태를 갖으며 다음과 같이 정의한다.

$$p(t) = \sqrt{\frac{1}{T_p}} \quad (2)$$

따라서 시간 도약에 따른 확산 비율 $\beta = T_f / T_p$ 이다.

잡음 채널을 거친 수신 신호 $R(t)$ 는 다음과 같다.

$$R(t) = \sum_{v=1}^{N_u} S^{(v)}(t - \tau^{(v)}) + n(t) \quad (3)$$

여기서, N_u 는 다중접속 사용자의 수, $\tau^{(v)}$ 는 v 번째 사용자에게 대한 시간지연이고 $n(t)$ 는 평균이 0이고 전력 스펙트럼 밀도가 $N_o/2$ 인 백색 가우스 잡음이다.

UWB 시스템에서는 펄스의 전송이 이루어지며 이 경우 펄스 사이의 상관함수를 구하는 것이 중요하다. 지연시간에 따른 펄스 사이의 상관함수 $h(\tau)$ 는 다음과 같다.

$$h(\tau) = \begin{cases} \frac{T_p + \tau}{T_p} & , -T_p \leq \tau \leq 0 \\ \frac{T_p - \tau}{T_p} & , 0 \leq \tau \leq T_p \end{cases} \quad (4)$$

사용자 사이의 시간차이 차이를 Δ 라고 하면 구간 $[-T_f, T_f]$ 사이에서 균일분포한다고 가정하면 시간차이 차이 Δ 의 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P(-T_f \leq \Delta \leq 0) &= P(0 \leq \Delta \leq T_f) \\ &= \frac{T_f}{2T_f} = \frac{1}{2\beta} \end{aligned} \quad (5)$$

그리고 $h(\Delta)$ 의 평균치와 분산(σ_h^2)은 다음과 같다.

$$E[h(\Delta)] = \frac{1}{2\beta} \quad (6)$$

$$\sigma_h^2 = \frac{1}{3\beta} - \frac{1}{4\beta^2} \approx \frac{1}{3\beta} \quad (7)$$

다중접속 간섭(N_f)의 분산 σ_I^2 은 다음과 같다.

$$\sigma_I^2 = \sum_{v=2}^{N_u} A^{(v)^2} \sigma_h^2 \tag{8}$$

다중접속 간섭이 존재하고 전력제어가 완전한 경우 ($A^{(1)} = A^{(v)} = \sqrt{E_p}$), 무선채널에서 각 심볼에 대하여 수신기의 출력 SNR은 다음과 같이 계산된다.

$$\gamma_{MUI} = \frac{A^{(1)^2}}{\sigma_I^2 + N_o/2} = \frac{3\beta}{(N_u - 1) + \frac{3\beta}{2} \frac{N_o}{E_p}} \tag{9}$$

따라서 다중접속 간섭과 잡음이 존재하는 채널에서의 오류식은 다음과 같다.

$$P(e) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{A^{(1)}}{\sigma_I^2 + N_o/2}} \right) \tag{10}$$

먼저 본 논문에서 페이딩 모델로 채택하고 있는 나카가미 페이딩 분포는 자유도가 정수가 아닌 경우로 일반화된 central χ^2 -분포로써 두개의 다른 분포 나카가미-n 분포와 나카가미-q 분포에 대한 근사분포로서 소개되었다. 나카가미 교수는 하나의 분포로서 one-sided 가우시안 분포로부터 페이딩이 없는 상황까지 모델링할 수 있는 m-분포를 제시하였다. 그러나 나카가미-m 분포가 가지는 진짜 중요한 의미는 이것의 실제 측정된 실험치에 잘 맞다는 사실이다. 또한, 나카가미-m 분포는 라이시안 분포에 비하여 해석하기가 편리하다. 이 사실은 나카가미-m 분포가 central 분포인데 반해 라이시안 분포는 noncentral 분포로 나카가미 분포를 적용한 해석결과가 라이시안의 경우보다 수학적으로 훨씬 간결하게 됨을 알 수 있다. 나카가미 페이딩에서 신호 전력 대 잡음 전력비 γ_i 에 대한 확률밀도함수는 다음과 같다[9]-[12].

$$f(\gamma_i) = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega} \right)^m \gamma_i^{m-1} \exp(-\frac{m}{\Omega} \gamma_i)$$

여기서, Ω 는 평균 신호 전력 대 잡음 전력비, γ_i 는 임의의 순시 신호 전력 대 잡음 전력비, m은 나카가미 페이딩 파라미터를 나타낸다.

III. 시간 도약 UWB PPM 시스템의 성능 평가

시간 도약 UWB PPM 시스템의 성능 해석을 위한 블록도는 그림 2와 같다.

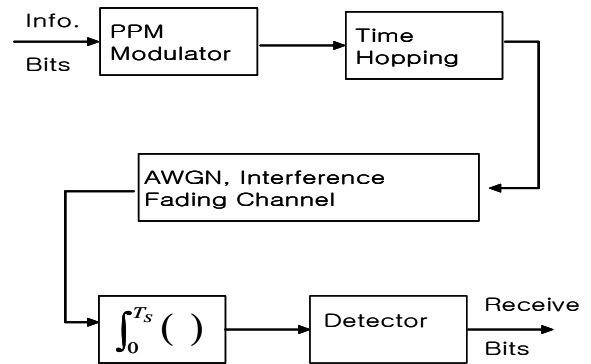


그림 2. UWB PPM 시스템의 성능 해석 블록도
Fig 2. Performance Analysis Block Diagram of UWB PPM System.

그림 3은 잡음과 다중접속 사용자 간섭 채널에서 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오류 성능을 분석하였다. 동시에 UWB 네트워크에 연결된 다중접속 사용자의 수는 10명이고 시간 도약에 따른 확산비율 파라미터 β 에 따라서 BER 성능을 평가하였다. 신호 전력 대 잡음 전력비 E_b/N_o 와 확산비율 β 가 증가함에 따라서 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오류 성능은 개선되고 있음을 알 수 있다. 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오류 $BER \leq 10^{-4}$ 를 얻기 위해서는 확산비율 파라미터 β 가 30, 40, 50인 경우에 신호 전력 대 잡음 전력비 E_b/N_o 는 11 [dB], 12 [dB], 14 [dB]가 필요함을 알 수 있다.

그림 4는 잡음과 다중접속 사용자 간섭 채널에서 UWB 네트워크에 연결된 다중접속 사용자의 수가 20명이고 시간 도약에 따른 확산비율 파라미터 β 에

따라서 시간 도약 UWB PPM 시스템의 BER 성능을 평가하였다. 그림 3과 마찬가지로 신호 전력 대 잡음 전력비 E_b/N_o 와 확산비율 β 가 증가함에 따라서 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오율 성능은 개선되었으나 다중접속 사용자의 수가 10명에서 20명으로 증가함에 따라서 오율 $BER \leq 10^{-4}$ 를 얻을 수 있는 확산비율 파라미터 β 는 50 이상이어야 함을 알 수 있었으며 필요 신호 전력 대 잡음 전력비 E_b/N_o 는 18 [dB] 이상이어야 함을 결과 그래프를 통하여 알 수 있었다.

그림 5와 그림 6은 잡음과 다중접속 사용자 간섭 채널에서 UWB 네트워크에 연결된 다중접속 사용자의 수 N_u 와 시간 도약에 따른 확산비율 파라미터 β 에 따라서 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오율 성능을 분석하였다. 신호 전력 대 잡음 전력비 E_b/N_o 는 각각 5 [dB]와 10 [dB]를 적용하였다. N_u 가 증가함에 따라서 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오율은 급격히 열화되고 있음을 알 수 있으며 신호 전력 대 잡음 전력비 $E_b/N_o = 5$ [dB]에서는 $BER \leq 10^{-4}$ 를 얻을 수 없었다.

그림 7과 그림 8은 잡음과 다중접속 사용자 간섭 그리고 나카가미 페이딩 채널에서 시간 도약에 따른 확산비율 파라미터 β 에 따른 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오율 성능을 분석하였다. UWB 네트워크에 연결된 다중접속 사용자의 수 N_u 는 10명이고 페이딩 파라미터는 각각 3과 5이다. 결과 그림의 비교를 통하여 나카가미 페이딩 파라미터 m 이 증가할수록 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오율은 개선되고 있음을 알 수 있으며 확산비율 파라미터 β 의 증가에 따른 성능 개선의 차이는 적어지고 있음을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

논문에서는 전력 제어된 UWB 디바이스로 구성된 무선 페이딩 네트워크에서 시간 도약 UWB PPM 시스템의 BER 성능을 평가하였다. UWB 시스템은 시간 도약 UWB PPM 신호를 적용하였으며 신호 전력 대 잡음 전력비, 다중접속 사용자의 수, 시간 도약에

따른 확산비율 파라미터를 사용하여 성능을 평가 분석하였다. 분석 결과, 신호 전력 대 잡음 전력비 E_b/N_o 와 확산비율 β 가 증가함에 따라서 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오율 성능은 개선되었다. 그리고 나카가미 페이딩 파라미터 m 이 증가할수록 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오율은 개선되고 있음을 알 수 있으며 확산비율 파라미터 β 의 증가에 따른 성능 개선의 차이는 적어지고 있음을 확인할 수 있었다.

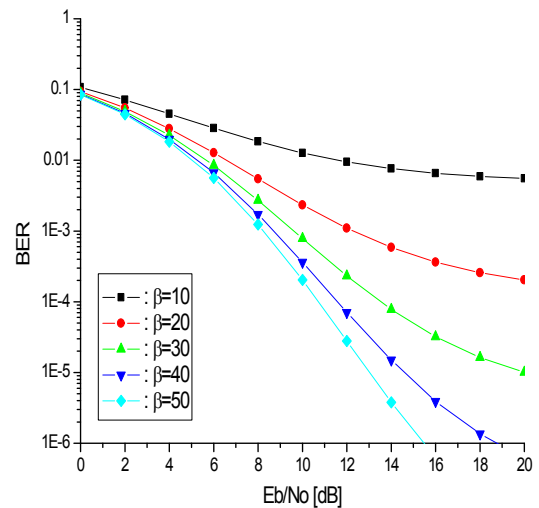


그림 3. 잡음과 다중접속 사용자 간섭 채널에서 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오율 성능 ($N_u=10$)
Fig. 3. BER Performance of TH UWB PPM System in AWGN, Multiple Access User Interference Channel ($N_u=10$).

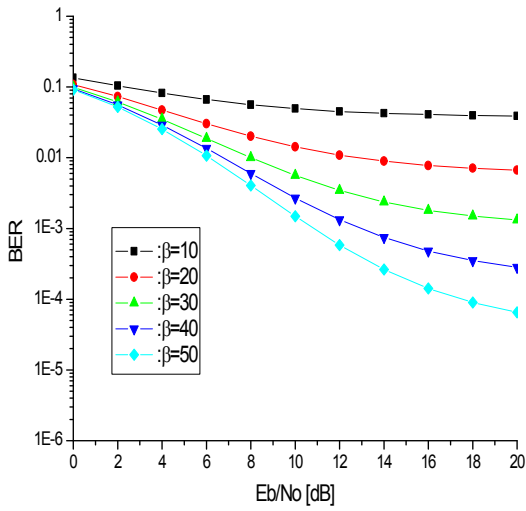


그림 4. 잡음과 다중접속 사용자 간섭 채널에서 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오율 성능 (Nu=20)
 Fig. 4. BER Performance of TH UWB PPM System in AWGN, Multiple Access User Interference Channel (Nu=20).

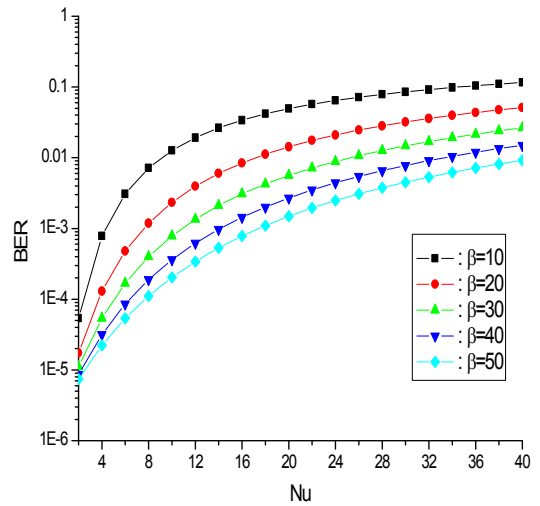


그림 6. 잡음과 다중접속 사용자 간섭 채널에서 사용자의 수에 따른 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오율 성능 (Eb/No =10 dB)
 Fig. 6. BER Performance of TH UWB PPM System according to the Number of User in AWGN, Multiple Access User Interference Channel (Eb/No =10 dB).

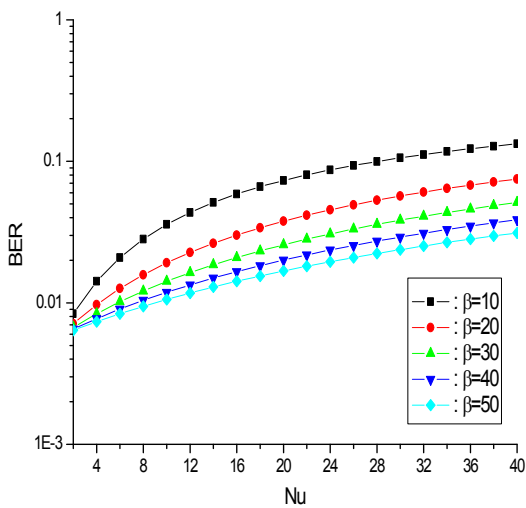


그림 5. 잡음과 다중접속 사용자 간섭 채널에서 사용자의 수에 따른 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오율 성능 (Eb/No =5 dB)
 Fig. 5. BER Performance of TH UWB PPM System according to the Number of User in AWGN, Multiple Access User Interference Channel (Eb/No =5 dB).

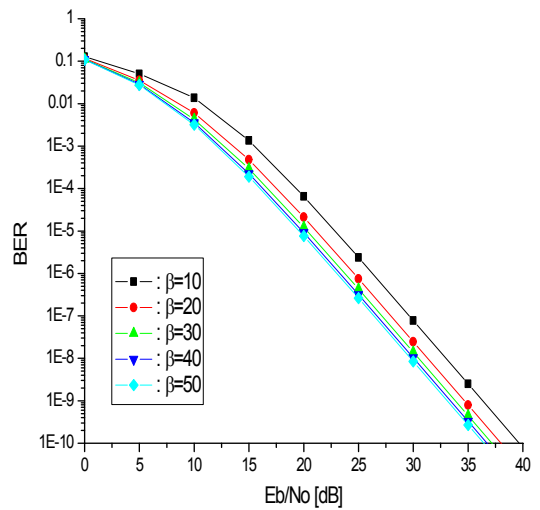


그림 7. 잡음, 다중접속 사용자 간섭, 나카가미 페이딩 채널에서 확산비율에 따른 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오율 성능 (Nu=10, m=3)
 Fig. 7. BER Performance of TH UWB PPM System according to the Spreading Ratio in AWGN, Multiple Access User Interference, and Nakagami Fading Channel (Nu=10, m=3).

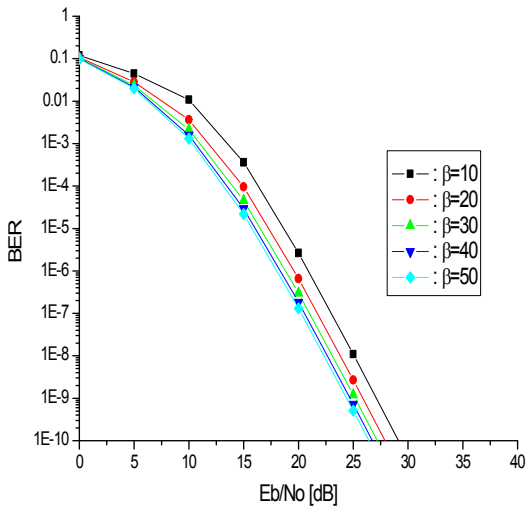


그림 8. 잡음, 다중접속 사용자 간섭, 나카가미 페이딩 채널에서 확산비율에 따른 시간 도약 UWB PPM 시스템의 오율 성능 ($N_u=10$, $m=5$)

Fig. 8. BER Performance of TH UWB PPM System according to the Spreading Ratio in AWGN, Multiple Access User Interference, and Nakagami Fading Channel ($N_u=10$, $m=5$).

감사의 글

본 논문은 2005 서울시 보유키술 사업화 과제
지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] V. Gazis, "Evolving Perspectives of 4th Generation Mobile Communication Systems," *IEEE PIMRC 2002*, Coimbra, Portugal, Sept. 2002.
- [2] S. Y. Hui and K. H. Yeung, "Challenges in the Migration to 4G Mobile Systems," *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, no. 12, pp. 54-59, Dec. 2003.
- [3] M. Munoz and C. G. Rubio, "A New Model for Service and Application Convergence in B3G/4G Networks," *IEEE Wireless Communications*, pp. 6-12, Oct. 2004.
- [4] M. Z. 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.

- [5] L. Zhao and A. M. Haimovich, "The capacity of an UWB multipleaccess communications system," in *Proc. IEEE ICC 2002*, vol. 3, pp. 1964-1968.
- [6] L. Zhao and A. M. Haimovich, "Multi-user capacity of M-ary PPM ultra-wideband communications," in *Proc. IEEE Conf. on Ultra Wideband Systems and Technologies 2002*, pp. 175-179, 2002.
- [7] G. Durisi and S. Benedetto, "Performance evaluation of TH-PPM UWB systems in the presence of multiuser interference," *IEEE Commun. Lett.* vol. 7, pp. 224-226, May. 2003.
- [8] B. Hu and N. C. Beaulieu, "Accurate evaluation of multile-access performance in TH-PPM and TH-BPSK UWB systems," *IEEE Trans. Commun.* vol. 52, no. 10, pp. 1758-1766, Oct. 2004.
- [9] S. Benedetto and E. Biglieri, *Principles of Digital Transmission With Wireless Applications*, New York: Kluwer Academic/Plenum, 1999.
- [10] D. Cassioli, M. Z. Win and A. F. Molisch, "The ultra-wide bandwidth indoor channel: from statistical model to simulation," *IEEE Jour. Selec. Areas Commun.* vol. 20, pp. 1247-1257, Aug. 2002.
- [11] H. Liu, "Error performance of a pulse amplitude and position modulated ultra-wideband system over lognormal fading channels," *IEEE Commun. Lett.* vol. 7, no. 11, pp. 531-533, Nov. 2003.
- [12] N. C. Beaulieu and J. Cheng, "Precise error-rate analysis of bandwidth efficient BPSK in nakagami fading and cochannel inteferece," *IEEE Tran. Commun.*, vol. 52, no. 1, pp. 149-158, Jan. 2004.

노 재 성 (盧在成)



1997년 : (주)한화정보통신 연구
소

2000년 : 한국항공대학교 대학원
항공통신정보공학과 졸업(공학
박사)

2000년 9월 ~ 현재 : 서일대학
정보통신과 조교수

관심분야 : 무선 센서 네트워크,

RFID, 이동통신시스템, 휴대인터넷, 모바일 멀티미디어
콘텐츠