

무선 패킷 전송을 위한 Hybrid ARQ 광대역 통신시스템의 처리율 성능

Throughput Performance of Hybrid ARQ Ultra-Wideband Communication System for Wireless Packet Transmission

노재성*

Jae-Sung Roh*

요 약

초 광대역 신호는 상대적으로 낮은 주파수에서 매우 넓은 대역폭을 갖는 방사 스펙트럼을 특징으로 하고 있다. 본 논문에서는 잡음과 동일채널간섭 채널에서 M-ary 상관 수신기 구조로 된 초 광대역 시스템의 비트 오류율, 패킷 오류율, 데이터 처리율 성능을 분석한다. UWB 시스템의 성능을 평가하기 위하여 하나 이상의 펄스 위치 변조 신호로 구성된 UWB 통신 파형을 사용하였다. 본 논문에서 사용된 M-ary PPM 신호는 시스템 성능 해석의 간략화를 위하여 균일하게 상관된 PPM 신호를 정의하였다. 시스템 성능의 해석을 통하여 무선 채널 에러는 처리율 성능을 감소시키며 hybrid ARQ 기법을 통하여 효과적으로 증가시킬 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 성능 개선 기법과 사용된 파라미터를 통하여 초 광대역 시스템의 데이터 처리율 비교를 수행하였다. 성능 평가 과정을 통하여 무선 채널과 hybrid ARQ 기법의 영향을 신호 대 잡음 전력비에 따른 PER 및 처리율을 평가하였다.

Abstract

An ultra-wideband signal is characterized by a radiated spectrum with wide bandwidth around a relatively low center frequency. In this paper, the bit error rate (BER), packet error rate (PER), and data throughput performance for an ultra-wideband system with M-ary correlation receiver are analyzed in additive white Gaussian noise (AWGN) and co-channel interference channel. To evaluate the performance of UWB system, a set of UWB communication waveform as pulse position modulated (PPM) signals consisting of more than one UWB pulse is used. The M-ary PPM signals are defined to be equally correlated in order to simplify the system performance analysis. The analysis for system performance shows that the wireless channel error significantly degrades throughput performance and can be effectively increased by hybrid ARQ scheme. Also, an attempt for comparing the data throughput of ultra-wideband system on different performance improvement schemes and parameters has been made. From the performance evaluation process, it is shown that the effects of wireless channel and hybrid ARQ scheme for ultra wideband M-ary PPM system can be evaluated by means of a suitable combination of the PER, throughput vs. signal-to-noise power ratio per bit.

Key words : ultra wideband signal, M-ary PPM, Hybrid ARQ, co-channel interference, PER, throughput

* 서일대학 정보통신과 (Dept. of Information and Communication Eng., Seoil College)

· 제1저자 (First Author) : 노재성

· 접수일자 : 2007년 6월 13일

I. 서 론

광대역을 이용하는 통신기술 UWB(Ultra Wideband)는 문자 그대로 초 광대역을 이용하는 가능성 있는 무선 통신 기술의 하나에 불과했다. 그러나 FCC에 의해 상용화의 길이 허가되고 국내외 기업에서 자사의 PDP 및 액정 TV, 디지털 카메라, 카메라 일체형 VTR, DVD 플레이어/레코더 및 HDD 레코더, 컴퓨터 및 주변기기와 디지털 가전기기들을 연결하는 초고속 인터페이스로 그 활용을 도모하고 있다. 유비쿼터스 시대를 위한 다양한 응용에서 무선 초고속 데이터 통신은 가장 핵심적인 중추 기술로 주목을 받고 있다. 유비쿼터스 네트워크의 접속수단으로 무선 초고속 데이터 통신은 다양한 기술이 개발되고 있으며 앞으로도 큰 성과가 기대되는 부분이다. 그 중에서 초 광대역 통신 기술은 매우 넓은 주파수 대역을 활용하고 기존 주파수와 동일한 주파수를 사용하여 동시에 수백 Mbps 이상의 데이터 전송율을 실현할 수 있는 기술이라고 할 수 있다. 표 1은 근거리 무선전송 방식의 기술을 비교하여 나타내고 있다 [1]-[3].

FCC는 UWB를 중심주파수의 20%이상의 점유대역폭을 가지거나 500 MHz 이상의 점유대역폭을 차지하는 무선전송기술로 정의하고 있으며 대역폭을 500 MHz 이상 확보한 기존 캐리어 변조 기술도 초 광대역 통신기술로 구분이 가능하다. 일반적인 정의로는 3.1~10.6 GHz 대역에서 100 Mbps이상 속도로, 기존의 스펙트럼에 비해 매우 넓은 대역에 걸쳐 낮은 전력으로 초고속 통신을 실현하는 근거리 무선통신 기술로 규정되고 있다.

국내에서는 산업체, 통신사업자, 이용자 등이 참여하여 낮은 대역(3.1~4.8 GHz) 및 높은 대역(7.2~10.2 GHz) 등 2개 대역에 주파수의 분배를 확정하였고 관련 국내산업의 활성화와 홈 네트워크 인프라의 혁신을 가져올 것이라는 기대하고 있다. 하지만 저주파대는 기존 주파수와와의 간섭으로 UWB 방사 제한 및 간섭 영향을 많이 받을 가능성이 있는 서비스에 대한 분석이 필요하다 [4]-[6].

본 논문에서는 AWGN 및 동일채널간섭 환경에서 초 광대역 통신시스템의 비트 오류, 패킷 오류, 데이

터 처리율 등을 분석한다. 또한, 성능 개선을 위하여 BCH 부호와 Selective Repeat ARQ 방식을 혼합한 Hybrid ARQ 방식을 적용하여 초 광대역 통신시스템의 성능 개선 정도를 분석적으로 평가한다.

표 1. 근거리 무선전송 기술의 비교
Table 1. Compare of short range wireless transmission technology.

무선 기술	최대 데이터 전송속도	송신출력
Bluetooth1.1	1 Mbps	1mW
무선 LAN(802.11b)	10 Mbps	100mW
무선 LAN(802.11a)	100 Mbps	100mW
UWB	1 Gbps	0.1mW

II. 광대역 통신시스템 개요

UWB는 초창기부터 군사적 목적으로 활용되어 왔으나, 2002년 2월에 FCC가 상업적 용도의 활용을 승인하여 다양한 활용 분야가 나타날 수 있는 기반이 마련되었다. 응용 사례로는 디지털 카메라, 프린터, PMP, 저장 매체 등과의 유선 연결을 대체하는 데 활용될 수 있을 것으로 기대되고 있으며, 휴대폰, PDA 등 다양한 이동형 기기 사이의 고속 통신에 활용이 예상되고 있다. 최근에는 주로 사무실 및 개인 공간의 무선 통신 서비스 계열로 활용 분야가 집중 개발되고 있으며 홈 게이트웨이, TV 영상전송, 다채널 오디오 등의 홈 네트워크 무선기기 시스템에서 기존의 유선 네트워크를 대체할 수 있을 것이다. 특히 UWB 칩이 내장된 휴대폰 및 무선 USB가 출시될 경우 휴대폰 상호간 대량의 정보 전송은 물론 USB를 PC에 꽂지 않아도 상호 데이터를 고속으로 주고받을 수 있을 것이다. 실제로 10m 정도 근거리에 있는 개인용 컴퓨터와 주변기기 혹은 가전제품 등을 무선 인터페이스를 이용하여 근거리 개인 통신 네트워크에 응용하기 위한 칩셋 개발이 활발히 진행되고 있어서 향후 디지털 홈 네트워크의 핵심 기술로 부각될 것으로 전망된다.

그림 1은 초 광대역 시스템과 기타 시스템 사이의 주파수에 따른 신호 전력을 비교하여 나타내고 있다. 그림을 통하여 광대역에서 낮은 전력 스펙트럼 밀도

를 갖는 초 광대역 시스템과 협대역을 갖고 높은 전력 스펙트럼 밀도를 나타내는 시스템을 비교하여 나타내었다.

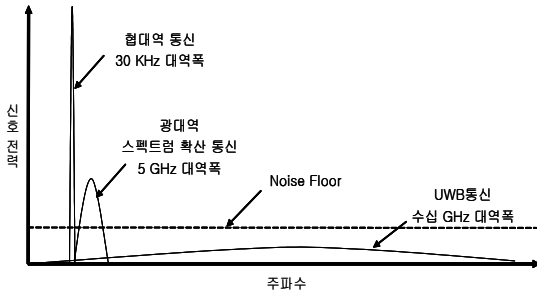


그림 1. 통신시스템의 신호 전력 비교
Fig. 1. Signal power of communication system.

그림 2는 이상적으로 수신된 초 광대역 펄스의 시간영역에서의 형상과 주파수 영역에서의 수신된 초 광대역 펄스의 스펙트럼을 나타내고 있다. 초 광대역 시스템은 연속적인 정현파를 사용하는 기존의 무선 통신 시스템과는 달리, 매우 좁은 폭을 갖는 펄스를 전송하는 기술로 알려져 있다.

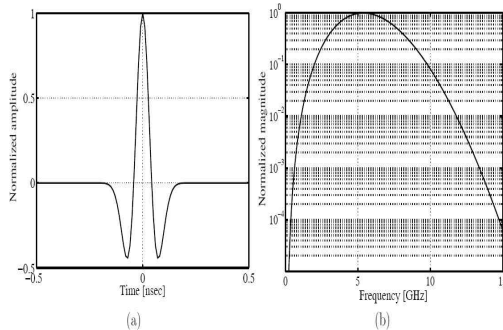


그림 2. (a) 시간역역에서 수신된 펄스 (b) 주파수 영역에서 수신된 초광대역 펄스의 스펙트럼
Fig. 2. (a) Received pulse in time domain (b) received ultra-wideband pulse spectrum in frequency domain.

III. Hybrid ARQ 기법을 적용한 광대역 M-ary PPM 시스템 처리를 분석

본 절에서는 나노초 이하의 펄스를 사용한 광대역 UWB 신호를 대상으로 잡음과 동일채널간섭이 존재하는 무선채널에서 Hybrid ARQ 기법을 적용한 UWB M-ary PPM 시스템의 BER, PER, 처리율 성능을 분석

한다.

그림 3은 성능 해석을 위한 Hybrid ARQ 기법을 적용한 UWB M-ary PPM 시스템 해석 모델을 나타낸다.

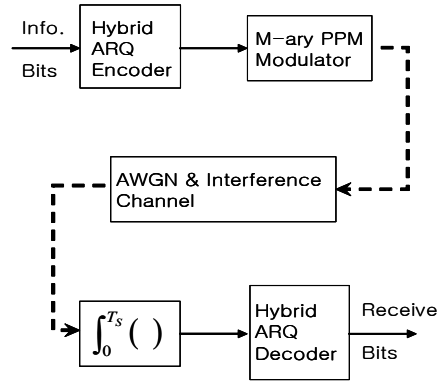


그림 3. Hybrid ARQ 기법을 적용한 UWB M-ary PPM 시스템 해석 모델
Fig. 3. Analysis model of UWB M-ary PPM system with hybrid ARQ scheme.

무선 채널 환경에서 UWB M-ary PPM 시스템의 성능 분석을 위해서는 송신 신호와 수신 신호 사이의 관계를 구하는 것이 필요하다.

송신되는 UWB 신호를 $S_T(t)$ 라고 한다면 다음과 같이 정의된다 [7],[8].

$$S_T(t) = \int_{-\infty}^t p(\xi) d\xi \quad (1)$$

여기서 $p(\xi)$ 는 UWB 펄스이다.

그리고 잡음 채널을 통하여 수신되는 일반적인 UWB 신호는 다음과 같다.

$$S_R(t) = S_T(t) + n(t) \quad (2)$$

위 식에서 무선채널의 전송에 따라서 발생하는 감쇄나 시간지연은 표시하지 않았으며 잡음 성분 $n(t)$ 는 양측 전력 밀도가 $N_0/2$ 인 AWGN이다.

UWB 시스템의 성능 해석을 위해 필요한 펄스 신호의 정규화된 상관 함수 $f_c(\tau)$ 는 다음과 같다.

$$f_c(\tau) = \frac{1}{E_p} \int_{-\infty}^{\infty} p(t)p(t-\tau) dt \quad (3)$$

여기서 E_p 는 UWB 펄스의 에너지를 의미한다.

시스템 BER 해석의 편리성과 간단함을 위하여 M-ary PPM 변조 신호는 동일하게 상관이 이루어진 경우로 가정한다.

해석하고자 하는 UWB 신호는 일종의 PPM 신호로써 N_s 개의 시간 이동 펄스로 구성되어지며 다음과 같이 표현되어진다.

$$S_T^{(j)}(t) = \sum_{k=0}^{N_s-1} p_T(t - kT_f - a_j^k \tau_{\min}) \quad (4)$$

여기서 $j = 1, 2, \dots, M$, $2 \leq M \leq N_s$ 이고 $\tau \in (0, T_p]$, T_p 는 UWB 펄스의 주기이다.

송신기에 완전하게 동기가 이루어지고 동일하게 상관이 작용한다고 가정하면 M 개의 신호에 정합된 필터로 구성된 최적 수신기를 적용하였을 경우의 비트 오류율은 다음과 같다 [8].

$$p_{eb} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^M Q \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_o} (1 - \beta)} \right) \quad (5)$$

여기서 $Q(\cdot)$ 는 가우스 함수, $E_b = N_s E_p$, UWB 펄스 $p(t)$ 의 에너지 $E_p = \int_{-\infty}^{\infty} [p(t)]^2 dt$ 이다. $\tau_{\min} = 0.4073 ns$ 인 경우를 가정하였다. 논문에서는 β 를 구하기 위하여 $P_T(t)$ 는 다음과 같은 펄스를 적용하였다.

$$P_T(t) = t \exp \left(-2\pi \left[\frac{t}{t_n} \right]^2 \right) \quad (6)$$

송신단에서 보내어진 신호는 채널을 통해서 수신단에 도달하게 된다. 무선통신 채널에서는 주위 건물의 표면에 의해서 산란되거나 회절이 발생하여 송수신기 사이에 수많은 경로가 존재하는 다중경로 전파 현상이 일어난다. 보통 광대역 신호 전송에 있어서 다중경로 채널은 심볼 파형에 비해 느리게 변화하는 특징을 가진다. 그리고 광대역 신호의 경우에는 많은 동일채널간섭이 존재하게 된다. 잡음과 동일채널간섭이 동일한 주파수 대역폭내에 존재하는 환경에서

의 전체 SNR은 다음과 같다.

$$\gamma_{N+I} = \frac{(\sqrt{E_p})^2}{\sigma_I^2 + \sigma_N^2} \quad (7)$$

여기서, E_p 는 UWB 펄스의 에너지, σ_N^2 과 σ_I^2 은 잡음 및 간섭성분의 전력 밀도를 나타낸다.

SR-ARQ 기법을 적용한 시스템의 처리율 분석은 다음과 같다. 먼저 AWGN 및 간섭 채널에서 UWB 펄스로 구성된 M-ary PPM 변조 신호의 패킷 에러 확률을 구하면 다음 식과 같다.

$$P_{ep} = \sum_{x=1}^m \binom{m}{x} p_{eb}^x (1 - p_{eb})^{m-x} \quad (8)$$

여기서 p_{eb} 는 무선채널에서의 비트 오류, x 는 에러가 존재하는 비트의 수, m 은 패킷을 구성하는 비트수를 의미한다.

또한, 무선 링크 제어 계층에서 부호화율이 $R_c (= k/n)$ 이고 에러의 정정 능력이 t 인 (n, k, t) BCH 부호를 적용한 M-ary PPM 변조 신호의 패킷 에러 확률을 구하면 다음 식과 같다.

$$P_{ep}^C = 1 - \left(\sum_{x=0}^t \binom{n}{x} p_{eb}^x (1 - p_{eb})^{n-x} \right)^{\frac{m}{k}} \quad (9)$$

여기서 (n, k, t) BCH 부호는 하나의 패킷을 k 개의 비트로 구성된 블록으로 나누고 각각의 블록에 $n - k$ 에 해당하는 비트를 삽입한다. 이렇게 추가된 $n - k$ 비트는 에러의 정정 능력이 t 인 (n, k, t) BCH 부호를 형성한다.

패킷 전송 방식에서 UWB 파형의 M-ary PPM 변조 시스템의 처리율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_S = \frac{N}{N_{SR-ARQ}} \quad (10)$$

$$N_{SR-ARQ} = \sum_{i=0}^N \binom{N}{i} P_{ep}^i (1 - P_{ep})^{N-i} \left((N-i) + \frac{i}{1 - P_{ep}} \right) \quad (11)$$

여기서 T_S 는 처리율을 나타내며 N 은 전송될 전체 패킷의 수이다.

또한, (n, k, t) BCH 부호를 적용하였을 경우의 시스템 처리율은 다음과 같다.

$$T_S^C = \frac{N}{N_{SR-ARQ}^C} \quad (12)$$

$$N_{SR-ARQ}^C = \sum_{i=0}^N \binom{N}{i} (P_{ep}^C)^i (1 - P_{ep}^C)^{N-i} \left((N-i) + \frac{i}{1 - P_{ep}^C} \right) \quad (13)$$

그림 4는 잡음 채널에서 UWB M-ary PPM 신호의 비트 오류 성능을 나타낸다. 그래프에서 신호 대 잡음 전력비와 M-ary PPM 시스템에서 M의 수가 증가할수록 비트 오류 성능은 개선되고 있음을 알 수 있다. 하지만 M이 증가할수록 개선의 폭은 감소함을 알 수 있다.

그림 5와 그림 6은 Hybrid ARQ 기법이 적용된 UWB M-ary PPM 신호의 패킷 에러 오류 성능을 나타낸다. 신호 전력 대 간섭 전력비가 5 dB와 15 dB인 경우에 UWB M-ary PPM 신호의 패킷 오류 성능을 비교하여 나타내고 있다. 그림 5와 그림 6을 비교해보면 신호 전력 대 간섭 전력비가 증가할수록 UWB M-ary PPM 신호의 패킷 오류 성능은 개선됨을 알 수 있다. 그리고 신호 전력 대 간섭 전력비가 증가하면 UWB M-ary PPM 신호의 패킷 오류 성능은 개선되고 있음을 알 수 있다. 특히 M의 변화에 따라 PER 성능에 많은 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 예를 들어 신호 전력 대 간섭 전력비가 5 dB인 경우, $PER = 10^{-3}$ 이하를 얻기 위해서는 $M=8, 32, 128$ 로 증가함에 따라 수신 E_b/N_o 는 15 dB, 10 dB, 8 dB로 감소됨을 알 수 있다.

그림 7과 그림 8은 SIR=5 [dB] 및 SIR=15 [dB] 채

널에서 Hybrid ARQ UWB M-ary PPM 신호의 처리율 성능을 나타낸다. 결과 그래프에서는 Hybrid Selective Repeat ARQ 방식을 적용하였으며 BCH 부호화는 $(n=63, k=51, t=2)$ 부호구조를 사용하였다. 그림 7에서 SIR=5 [dB]인 경우에는 $M=8$ 이상 그리고 신호 전력 대 간섭 전력비 9 [dB] 이상에서 처리율=1을 달성하였다. 하지만 그림 8과 같이 SIR=15 [dB]인 경우에는 $M=8$ 이상 그리고 신호 전력 대 간섭 전력비 6 [dB] 이상에서 처리율=1을 달성하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 초 광대역 M-ary PPM 시스템의 비트 오류, 패킷 오류, 데이터 처리율 성능을 평가하였다. 또한, 잡음 및 동일채널간섭 환경에서 Hybrid ARQ 기법을 사용한 초 광대역 무선 데이터 통신 시스템의 성능을 분석하였다. 결과로부터 무선 채널에서 광대역 M-ary PPM 시스템은 신호 대 잡음 전력비와 M-ary PPM의 M 값이 증가할수록 신호의 오류 성능은 향상되고 있음을 알 수 있었다. 또한, BCH 부호와 SR-ARQ 기법을 동시에 사용한 Hybrid ARQ 기법을 적용함으로써 초 광대역 M-ary PPM 시스템의 물리 계층 성능은 상당히 개선할 수 있었다.

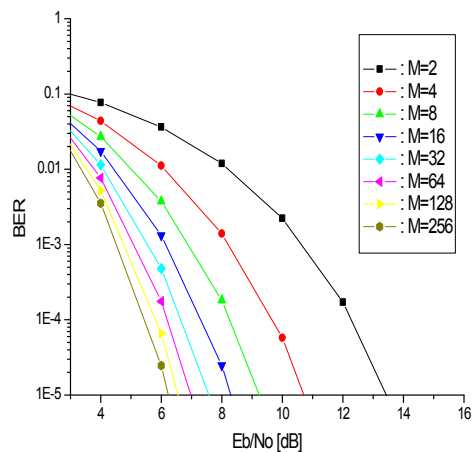


그림 4. 잡음 채널에서 UWB M-ary PPM 신호의 오류 성능

Fig. 4. Error rate performance of UWB M-ary PPM signal in AWGN channel.

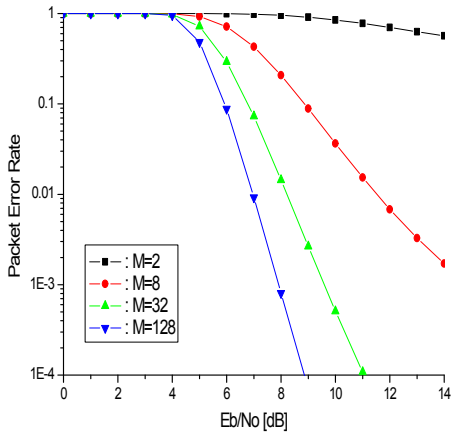


그림 5. SIR=5 [dB] 동일채널간섭 채널에서 UWB M-ary PPM 신호의 패킷 에러 오율 성능
 Fig. 4. Packet error rate performance of UWB M-ary PPM signal in SIR=5 [dB] co-channel interference channel.

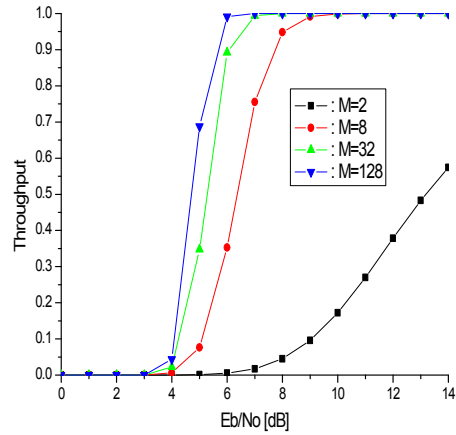


그림 7. SIR=5 [dB] 동일채널간섭 채널에서 hybrid ARQ UWB M-ary PPM 신호의 처리율 성능
 Fig. 7. Throughput performance of hybrid ARQ UWB M-ary PPM signal in SIR=5 [dB] co-channel interference channel.

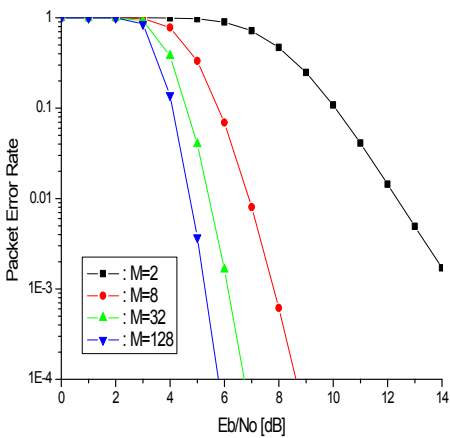


그림 6. SIR=15 [dB] 동일채널간섭 채널에서 UWB M-ary PPM 신호의 패킷 에러 오율 성능
 Fig. 6. Packet error rate performance of UWB M-ary PPM signal in SIR=15 [dB] co-channel interference channel.

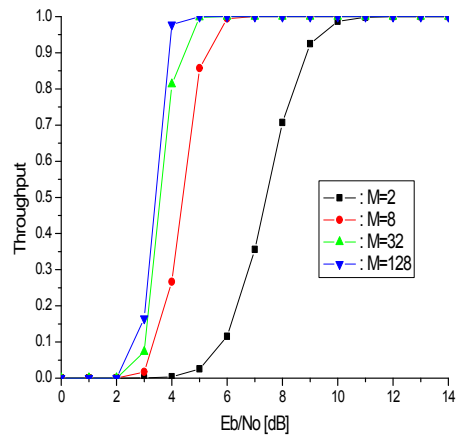


그림 8. SIR=15 [dB] 동일채널간섭 채널에서 hybrid ARQ UWB M-ary PPM 신호의 처리율 성능
 Fig. 8. Throughput performance of hybrid ARQ UWB M-ary PPM signal in SIR=15 [dB] co-channel interference channel.

감사의 글

본 논문은 서울시 산학연 협력사업의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1] J. H. Reed, An Introduction to Ultra Wideband Communication Systems, Prentice Hall, 2005.
- [2] M. Hamalainen, V. Hovinen, R. Tesi, et al, "On the UWB System Coexistence with GSM900, UMTS/WC DMA, and GPS," *IEEE J. on Select. Areas in Commun.*, vol. 20, no. 9, pp. 1712-1720, Dec. 2002.
- [3] D. Cassioli, M. Z. Win, A. F. Molisch, "The ultra-wide bandwidth indoor channel: from statistical model to simulations," *IEEE J. on Select. Areas in Commun.*, vol. 20, no. 6, pp. 1247-1257, Aug. 2002.
- [4] L. Zhao and A. M. Haimovich, "Performance of Ultra-Wideband Communications in the Presence of Interference," *IEEE Journal on Select. Areas in Comm.*, vol. 20, pp. 1684-1691, Dec. 2002.
- [5] A. Giorgetti, M. Chiani and M. Z. Win, "Performance of THPPM Systems with Narrowband Interferers," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Communications (ICC'04)*, vol. 1, pp. 295-299, Paris, June 2004.
- [6] A. Giorgetti, M. Chiani and M. Z. Win, "Ultra-Wide Bandwidth Rake Reception in the presence of Narrowband and Interferers," in *Proc. IEEE Vehicular Tech. Conf. (VTC2004Spring)*, Milan, May 2004.
- [7] G. L. Stuber, Principles of Mobile Communication, Second Edition, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [8] F. R. Mireles, "On the Performance of Ultra-Wide-Band Signals in Gaussian Noise and Dense Multipath," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, vol. 50, no. 1, pp. 244-249, Jan. 2001.

노 재 성(Jae-Sung Roh)



1997년 9월 ~ 2000년 8월 : 한국
항공대학교 대학원 항공통신정보
공학과 졸업 (공학박사)
2000년 9월 ~ 현재 : 서일대학 정
보통신과 부교수
관심분야 : 센서 네트워크, RFID,
이동통신시스템, 휴대인터넷, 모바일
멀티미디어 콘텐츠