

# 실내 무선 채널에서 초광대역 무선통신 시스템의 성능 분석

## Performance Analysis of Ultra Wide Band Systems in Indoor Wireless Channel

김은철\*, 우상규\*\*, 양재수\*\*\*, 김진영\*  
 (Eun Cheol Kim\*, Sang-Kyu Woo\*\*, Jaesoo Yang\*\*\*, and Jin Young Kim\*)

**Abstract :** In this paper, we analyze the performance of ultra wide band (UWB) systems in indoor wireless channel in accordance with the number of pulses per bit at transmit signals and the decision types of receiver. The indoor channel is modeled as the modified Saleh and Valenzuela (SV) model which has been proposed as a UWB channel model by the IEEE group, IEEE 802.15.SG3a. Two types of UWB signals are considered. One is the pulse position modulation-time hopping (PPM-TH) signal. And the other is the pulse amplitude modulation-direct sequence (PAM-DS) signal. It is assumed that the receiver is an ideal receiver which can receive all signals of the multipath.

**Keywords:** Ultra wide band system, pulse position modulation-time hopping signal, pulse amplitude modulation-direct sequence signal, modified Saleh and Valenzuela (SV) model.

### I. 서론

초광대역 무선통신 (UWB : Ultra Wide Band) 시스템은 수대역폭이 500 Hz 이상, 또는 비 대역폭이 20 % 이상의 매우 짧은 펄스의 신호를 고속으로 전송하는 시스템이다 [1,2]. 이 시스템은 높은 보안성 및 데이터 전송 특성을 가지고, 정확한 거리와 위치 측정이 가능한 높은 해상도를 제공하며, 다중 경로 영향에 강한 특성을 가지고 있다. 또한 기존 무선 시스템과는 다르게 반송파를 사용하여 통과 대역에서 신호를 송·수신 하는 것이 아니고 기저대역의 신호를 이용하여 통신을 하므로, 송·수신기가 간단하고 낮은 비용으로 송·수신기를 제작할 수 있다는 장점이 있다 [3-5]. 따라서 초광대역 무선통신은 차세대 통신 기술의 후보로 각광받고 있다.

초광대역 무선통신에서 사용되는 대역 확산 방식에는 시간 도약 (TH : Time Hopping) 방식과 직접 시퀀스 (DS : Direct Sequence) 방식이 있고, 펄스 변조 방식에는 펄스 위치 변조 (PPM : Pulse Position Modulation) 방식과 펄스 진폭 변조 (PAM : Pulse Amplitude Modulation) 방식이 있다.

본 논문에서는 실내 무선 채널에서 초광대역 무선통신 시스템의 비트 오류율 (BER : Bit Error Rate) 성능을 송신 신호의 형태 및 수신기에서 수신된 신호를 판단하는 방식에 따라 분석하였다. 이 때 펄스 위치 변조-시간 도약 방식으로 신호를 송신하는 시스템과 펄스 진폭 변조-직접 시퀀스 방식으로 신호를 송신하는 시스템 모두를 고려하였다. 분석 과정에서 실내 채널 모델은 변형된 SV (Saleh and Valenzuela) 모델을 적용하였다 [6].

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 II장에서는 초광대역 무선통신 시스템의 송신기와 채널 및 수신기 모델을 제시하고, 모의 실험 결과를 제 III장에서 나타내고, 제 IV장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

### II. 초광대역 무선통신 시스템 모델

#### 1. 송신기 모델

(1) 펄스 위치 변조-시간 도약 방식의 송신기

그림 1은 펄스 위치 변조-시간 도약 방식 초광대역 무선통신 시스템의 송신기 구조를 나타낸다.

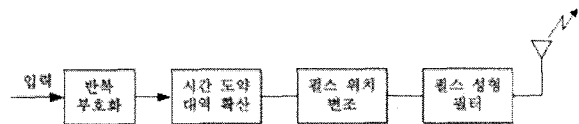


그림 1. 펄스 위치 변조-시간 도약 초광대역 무선통신 송신기.

Fig. 1. PPM-TH UWB transmitter.

먼저 디지털화된 입력 신호가 들어오면 각 비트를  $N_s$ 회 반복한다. 이는 채널에서 간섭 신호나 잡음 신호에 의한 시스템 성능의 열화를 막기 위한 과정이라 할 수 있다. 다음으로 시간 도약 부호를 이용하여 신호의 대역폭을 확산시킨다. 마지막으로 펄스 위치 변조를 통하여 각 신호를 변조한 후, 펄스 성형 필터와 안테나를 통하여 신호를 송신한다.

송신 신호  $S(t)$ 는 식 (1)에 나타나 있다.

$$S(t) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} p(t - jT_s - c_jT_c - a_j\varepsilon) \quad (1)$$

여기서  $p(t)$ 는 펄스 성형 필터의 충격 응답이고,  $t$ 는 송신기 클럭 시간이며,  $T_s$ 와  $T_c$ 는 각각 펄스 반복 시간과 칩 지속 시간을 나타내며,  $T_s$ 는 펄스 폭의 수백 배 정도가 된다.  $\{c_j\}$ 는 시간 도약 시퀀스를 나타내고,  $\{a_j\}$ 는 동일 비율의 이진 심볼로 구성된 광의의 정적 랜덤 프로세스로 모델링된 데이터 시퀀스이다.  $\varepsilon$ 은 변조 인자로서, 시스템 성능을 최적화 하기 위해  $c_jT_c + \varepsilon < T_s$ 를 만족하여야 한다.

(2) 펄스 진폭 변조-직접 시퀀스 방식의 송신기

그림 2는 펄스 진폭 변조-직접 시퀀스 방식의 송신기 구조

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 20xx. x. x., 채택확정 : 200x. x. xx.

김은철 : 광운대학교 전자공학과

(eun6210@kw.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음. [2007-S-029-02, 가정용/기업용 WiBro 시스템 기술개발]

를 나타낸다.

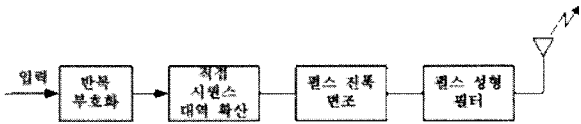


그림 2. 펄스 진폭 변조-직접 시퀀스 초광대역 무선통신 송신기.

Fig. 1. PAM-DS UWB transmitter.

펄스 진폭 변조-직접 시퀀스 방식의 송신기는 각각의 반복 부호화된 비트에 직접 시퀀스를 곱한 후 펄스 진폭 변조 방식을 이용하여 각 신호를 변조한다.

송신 신호는 식 (2)와 같다.

$$S(t) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} d_j p(t - jT_s) \quad (2)$$

여기서  $\{d_j\}$ 는 대역 확산된 신호를 나타낸다.

### 2. 채널 모델

본 논문에서는 IEEE802.15.SG3a 에서 초광대역 무선통신 시스템의 채널 모델로 선택한 변형된 SV 모델을 실내 무선 채널 모델로 선택하였다.

이산 시간 다중경로 채널 충격 응답은 식 (3)과 같다 [6].

$$h(t) = X \sum_{l=1}^N \sum_{k=1}^{K(n)} \alpha_{nk} \delta(t - T_n - \tau_{nk}) \quad (3)$$

여기서  $\alpha_{nk}$ 는  $n$  번째 클러스터의  $k$  번째 다중 경로 계수이다. 이는 식 (4)와 같이 정의할 수 있다.

$$\alpha_{nk} = p_{nk} \beta_{nk} \quad (4)$$

여기서  $p_{nk}$ 는 +1와 -1의 값이 동일 확률로 분포하는 이산 랜덤 변수이고,  $\beta_{nk}$ 는 클러스터  $n$ 에 속한 다중 경로  $k$ 와 관련된 로그 노말 채널 계수이다.  $\beta_{nk}$ 는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\beta_{nk} = 10^{\frac{x_{nk}}{20}} \quad (5)$$

여기서  $x_{nk}$ 는 평균이  $\mu_{nk}$ 이고 분산이  $\sigma_{nk}^2$ 인 가우시안 랜덤 변수이다.  $x_{nk}$ 는 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$x_{nk} = \mu_{nk} + \xi_n + \zeta_{nk} \quad (6)$$

여기서  $\xi_n$ 와  $\zeta_{nk}$ 는 각각 클러스터와 채널에서 채널 계수의 변화를 나타내는 가우시안 랜덤 변수이다.

$T_n$ 은  $n$  번째 클러스터의 도착 시간을 나타내며,  $\tau_{nk}$ 는  $n$  번째 클러스터의  $k$  번째 다중 경로에 대한 지연을 나타낸다.  $N$ 은 관찰된 클러스터의 개수를 나타내고,  $K(n)$ 은 클러스터에 수신된 다중경로의 개수를 나타내며,  $X$ 는 채널이 진폭 이득을 나타내는 로그노말 랜덤 변수이다.

표 1은 변형된 SV 모델의 설정 파라미터를 나타낸다.

표 1. 변형된 SV 모델의 설정 파라미터.

Table 1. Parameter settings for the modified SV channel model.

Scenarios	$\Lambda$ (1/ns)	$\lambda$ (1/ns)	$\Gamma$	$\gamma$	$\sigma_\xi$ (dB)	$\sigma_\zeta$ (dB)	$\sigma_g$ (dB)
Case A LOS (0-4m)	0.0233	2.5	7.1	4.3	3.3941	3.3941	3
Case B NLOS (0-4m)	0.4	0.5	5.5	6.7	3.3941	3.3941	3
Case C NLOS (4-10m)	0.0667	2.1	14	7.9	3.3941	3.3941	3
Case D Extreme NLOS Multipath Channel	0.0667	2.1	24	12	3.3941	3.3941	3

### 3. 수신기 모델

본 논문에서는 다중 경로에 존재하는 신호 성분을 모두 수신하여 시스템 성능을 최대화 할 수 있는 최적의 레이크 수신기를 가정하였다. 그림 3은 레이크 수신기를 나타낸다.

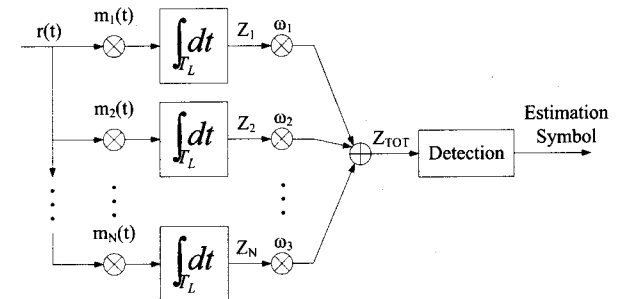


그림 3. 레이크 수신기 구조.

Fig. 3. RAKE receiver structure.

수신된 신호는 각각  $N$  개의 상관기를 거치게 되는데 이 때 송신된 신호의 상관 마스크  $m_i(t)$ 와 상관기가 이루어진다. 여기서  $m_i(t) = m(t - \tau_{nk}^i)$ 이다. 상관기의 출력  $Z_n$ 은 MRC (maximal ratio combining) 방법으로 모두 더해진 후, 송신 심볼을 추정하는데 결정 변수로 사용된다. 수신 신호  $r(t)$ 는 식 (7)과 같다.

$$r(t) = \sum_j a_j s_m(t - \tau_j) + n(t) \quad (7)$$

$$= X \sqrt{E_{TX}} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K(n)} a_{nk} a_j p_0(t - jT_s - \varphi_j - \tau_{nk}) + n(t)$$

여기서  $a_j$ 는  $j$  번째 송신된 펄스의 진폭이고, 펄스 위치 변조된 펄스의 경우  $a_j = 1$ 이다.  $s_m(t)$ 는 송신된 신호가 채널을 통과한 후의 신호이다.  $E_{TX}$ 는 펄스 당 송신된 에너지이며,  $\varphi_j$ 는  $j$  번째 펄스의 시간 떨림이다. 직접 시퀀스-펄스 진폭 변조의 경우  $\varphi_j = 0$

이다.

### III. 실험 결과

본 논문에서는 송신기가 이진 펄스 위치 변조 신호와 이진 펄스 진폭 변조 신호를 송신하는 것으로 가정하였다. 또한 한 비트에 여러 개의 펄스를 사용하여 통신을 하므로, 오류 확률을 계산할 때 비트 에너지 대 잡음 에너지 비율 ( $E_b/N_0$ )을 기준으로 하지 않고 펄스 에너지 대 잡음 에너지 비율 ( $E_x/N_0$ )을 기준으로 하였다.

그림 4는 이진 펄스 위치 변조-시간 도약 초광대역 무선통신 시스템에서 비트당 펄스의 개수가 변하는 경우, 펄스 에너지 대 잡음 에너지에 따른 비트 오류 확률을 나타낸다. 수신기는 경관정을 내리는 것으로 설정하였다.

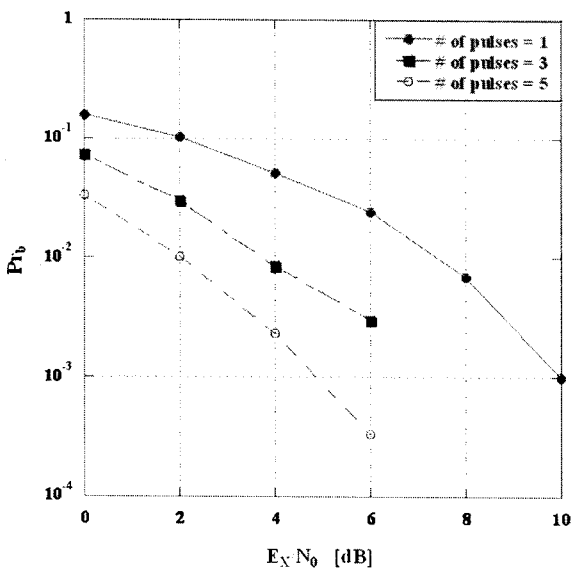


그림 4. 이진 펄스 위치 변조-시간 도약 초광대역 무선통신 시스템에서 비트당 펄스 개수가 1개, 3개 5개인 경우 펄스 에너지 대 잡음 에너지에 따른 오류 확률.

Fig. 4. BER vs.  $E_x/N_0$  performance with one pulse per bit, three pulses per bit, and five pulses per bit for binary PPM-TH UWB systems.

한 비트에 사용하는 펄스의 개수가 증가할수록 한 비트를 전송하는데 필요한 에너지 역시 증가하므로, 비트당 펄스의 개수가 1개에서 3개, 3개에서 5개로 증가할수록 오류 확률 성능은 향상되는 것을 확인할 수 있다. 또한 송신기에서 부호를 반복하는 회수가 곧 펄스의 개수와 동일하다. 그런데 부호 반복을 하는 것은 잉여 비트가 증가하는 것이므로 비트당 펄스의 개수가 증가할수록 오류 확률이 줄어드는 것이다.

그림 5는 이진 펄스 진폭 변조-직접 시퀀스 초광대역 무선통신 시스템에서 비트당 펄스의 개수가 변하는 경우, 펄스 에너지 대 잡음 에너지에 따른 비트 오류 확률을 나타낸다. 앞의 경우와 마찬가지로 수신기는 경관정을 내리는 것으로 설정하였다. 이진 펄스 위치 변조-시간 도약 초광대역 무선통신 시스템에서의 경우와 마찬가지로 이진 펄스 진폭 변조-직접 시퀀스 초광대역 무선통신 시스템에서도 한 비트를 전송하는데 사용하는 펄스의 개수가 증가할수록 오류 확률

성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 4와 비교할 때, 이진 펄스 위치 변조-시간 도약 방식에 비해 이진 펄스 진폭 변조-직접 시퀀스 방식 시스템의 경우에서 펄스의 개수가 증가할수록 시스템 성능 향상 비율이 더 큰 것을 확인할 수 있다.

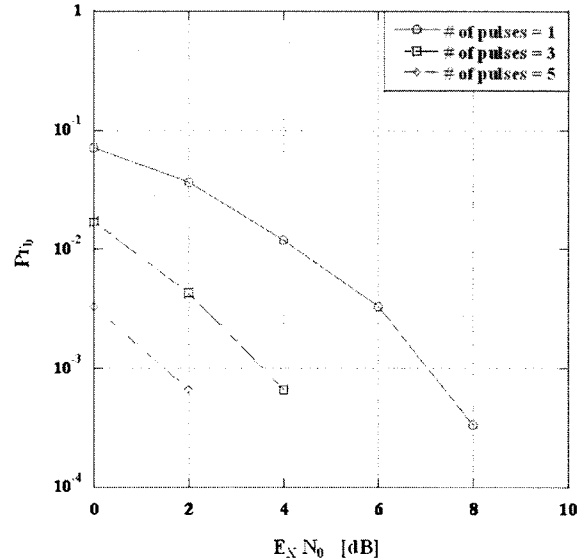


그림 5. 이진 펄스 진폭 변조-직접 시퀀스 초광대역 무선통신 시스템에서 비트당 펄스 개수가 1개, 3개 5개인 경우 펄스 에너지 대 잡음 에너지에 따른 오류 확률.

Fig. 5. BER vs.  $E_x/N_0$  performance with one pulse per bit, three pulses per bit, and five pulses per bit for binary PAM-DS UWB systems.

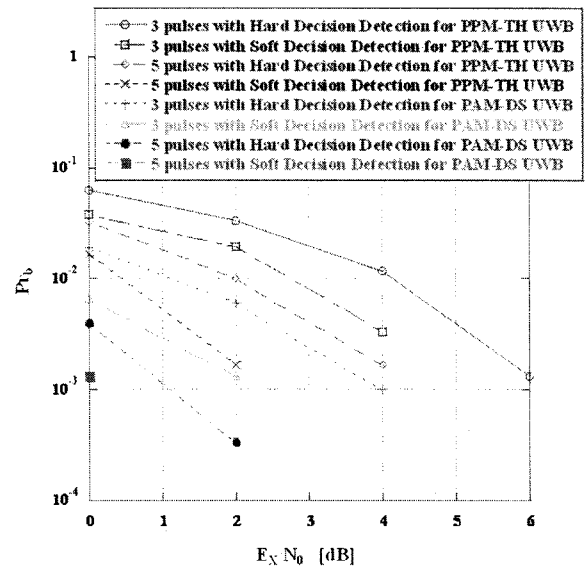


그림 6. 이진 펄스 위치 변조-시간 도약 방식과 이진 펄스 진폭 변조-직접 시퀀스 방식의 초광대역 무선통신 시스템에서 수신기가 경관정을 내리는 경우와 연관정을 내리는 경우 비트당 펄스 에너지 대 잡음 에너지에 따른 오류 확률.

Fig. 6. BER vs.  $E_x/N_0$  performance with hard decision detection and soft decision detection for binary PPM-TH and binary PAM-DS UWB systems.

그림 6은 이진 펄스 위치 변조-시간 도약 방식과 이진 펄스 진폭 변조-직접 시퀀스 방식의 초광대역 무선통신 시스템에서 수신기가 경관정을 내리는 경우와 연관정을 내리는 경우, 펄스 에너지 대 잡음 에너지에 따른 비트 오류 확률을 나타낸다. 가우시안 잡음이 존재하는 상황에서 연관정을 내리는 경우가 경관정을 내리는 경우보다 시스템 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 또한 송신 출력이 동일한 경우, 펄스 위치 변조-시간 도약 방식보다 이진 펄스 진폭 변조-직접 시퀀스 방식의 초광대역 무선통신 시스템이 시스템 오류 성능에서 약 3 dB 정도 이득을 가지는 것을 알 수 있다.

IV. 결론

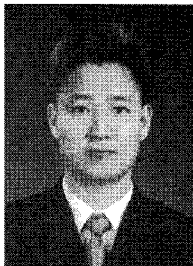
본 논문에서는 실내 무선 채널에서 초광대역 무선통신 시스템의 성능을 송신 신호의 형태 및 수신기에서 수신된 신호를 판단하는 방식에 따라 분석하였다. 이 때 초광대역 무선통신 시스템은 이진 펄스 위치 변조-시간 도약 방식과 이진 펄스 진폭 변조-직접 시퀀스 방식의 시스템을 모두 고려하였다. 또한 실내 무선 채널 모델은 IEEE802.15.SG3a의 초광대역 무선통신 시스템의 채널 모델로 설정하였다. 시스템 성능을 비교할 때, 단위 비트당 펄스의 개수가 변하므로 비트 에너지 대 잡음 에너지가 아닌 펄스 에너지 대 잡음 에너지를 기준으로 하였다.

실험 결과 송신기에서 비트당 펄스의 개수를 증가할수록 송신 전력이 증가하고 잉여 비트가 증가하므로 시스템 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 수신기가 연관정을 내리는 경우가 경관정을 내리는 경우보다 시스템 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 비트당 펄스의 개

수가 고정되어 있는 경우, 즉 송신 전력이 고정되어 있는 경우 이진 펄스 진폭 변조-직접 시퀀스 방식의 초광대역 무선통신 시스템이 이진 펄스 위치 변조-시간 도약 방식의 초광대역 무선통신 시스템보다 3dB 정도의 뛰어난 성능을 가지는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] K. Siwiak and D. McKeown, *Ultra-wideband radio technology*, John Wiley and Sons Ltd., 2004.
- [2] I. Oppermann, M. Hamalainen, and J. Iinatti, *UWB theory and applications*, John Wiley and Sons Ltd., 2004.
- [3] 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. 679-689, Apr. 2000.
- [4] F. R. Mireles, "Performance of ultrawideband SSMA using time hopping and M-ary PPM," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 19, no. 6, pp. 1186-1196, June 2001
- [5] M Z, Win and R. A. Scholtz, "On the robustness of ultra-wide bandwidth signals in dense multipath environments," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, no. 2, pp. 51-53, Feb. 1998.
- [6] A. F. Molisch , J. R. Foerster, and M. Pendergrass, "Channel models for ultra wideband personal area networks," in *Proc. of IEEE Wireless Commun.*, vol. 10, no. 6, pp. 14-21, Dec. 2003.



**김 은 철**  
 2003년 광운대학교 전자공학부 (공학사). 2005년 광운대학교 전파공학과 (공학석사), 2005년 ~ 현재 광운대학교 전파공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 이동통신, 디지털통신, 동기화.



**우 상 규**  
 2006년 성균관대학교 전기전자컴퓨터 (공학박사). 2006년 ~ 현재 KT 인프라연구소 선임연구원. 관심분야는 WiBro 펌토셀, MIMO, 통신 채널.



**양 재 수**  
 1981년 한국항공대학교 통신공학과 (공학사). 1985년 건국대학교 전자공학과 (공학석사). 1993년 미 NJIT 전기 및 컴퓨터공학 (공학박사). 1991년 서울대 MBA 수료. 2006년 ~ 현재 광운대학교 교수. 2007년 ~ 현재 경기도 정보화보좌관. 관심분야는 디지털통신, RFID/USN, 차세대 이동통신.



**김 진 영**  
 1998년 서울대 전자공학과 (공학박사). 1998년 ~ 2000년 미국 Princeton University, Research Associate. 2000년 ~ 2001년 SK텔레콤 네트워크 연구원 책임연구원. 2001년 ~ 현재 광운대학교 전파공학과 교수. 관심분야는 디지털통신, 신호처리, 채널 부호화.