

실내 무선채널에서 안테나 다이버시티를 적용한 펄스위치변조-시간도약 초광대역 무선통신 시스템의 성능 분석 Performance Analysis of Pulse Position Modulation-Time Hopping Ultra Wide Band Systems with Antenna Diversity in Indoor Wireless Channel

김은철*, 김성일**, 박재성*, 김진영*
(Eun Cheol Kim*, Sung-Il Kim**, Jae Sung Park*, Jin Young Kim*)

Abstract : In this paper, we analyze the performance of pulse position modulation-time hopping ultra wide band (PPM-TH UWB) systems with antenna diversity technique in indoor wireless channel. A modified Saleh and Valenzuela (SV) model is adopted as a UWB indoor channel model. Perfect synchronization between a transmitter and a receiver is assumed. Therefore, coherent equal gain combining (EGC) scheme to collect the energy available in the multipath components is investigated. It is shown that the performance is improved by increasing the number of antennas at the receiver. The results of this paper can be applied to the applications of UWB.

Keywords: Antenna diversity, equal gain combining (EGC), modified Saleh and Valenzuela (SV) model, pulse position modulation-time hopping ultra wide band (PPM-TH UWB) systems.

I. 서론

무선 채널의 페이딩 현상이 심하여 채널에서 신호의 감쇄가 큰 경우, 수신기에서는 오류가 발생한다. 이 때 송신기가 동일한 정보를 가지고 있는 신호를 여러 번 송신하고, 이 송신된 신호들이 각각 독립적인 채널을 통과하면, 수신기는 채널의 페이딩 현상으로 인한 오류를 극복할 수 있다. 왜냐하면 모든 채널의 신호 성분이 동시에 채널 페이딩 현상에 의한 영향을 받을 확률은 작기 때문에, 각 채널로 수신된 신호 중 상태가 좋은 부분만을 적절히 선택한다면 원래 송신된 신호를 복구할 수 있기 때문이다. 따라서 수신되는 신호의 신호대 잡음비 (SNR : signal to noise ratio)를 향상시킬 수 있다. 이것이 다이버시티 (diversity) 기술의 원리이다 [1-2].

다이버시티 기술에는 시간 (time) 다이버시티, 주파수 (frequency) 다이버시티, 분극 (polarization) 다이버시티, 공간 (space) 다이버시티 등이 있는데, 본 논문에서는 공간 다이버시티 중 하나로써 수신기에 여러 개의 안테나를 이용한 안테나 다이버시티를 펄스위치변조-시간도약 초광대역 무선통신 (PPM-TH UWB : pulse position modulation-time hopping ultra wide band) 시스템에 적용하여 실내 무선채널 환경에서 비트 오류율 (BER : bit error rate) 성능을 분석하였다. 분석 과정에서 실내 채널 모델은 IEEE 802.15.3a에서 제안된 변형된 SV (Saleh and Valenzuela) 모델 [3]을 이용하였다. 이 때 수신기는 송신기와 정확히 동기가 일치한다고 가정하였다. 또한 여러 개의 수신 안테나로 들어온 다중 경로 신호에 존재하는 에너지를 결합하는 방법으로 코히어런트 (coherent) 동일 이득 결합 (EGC : equal gain combining) 기법을 수신기에 적용하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 II장은 펄스위치변조-시간도약 초광대역 무선통신 시스템의 송·수신기 및 채널 모델을 나타내었고, 오류율 성능 분석 결과를 제 III장에서 제시하였다. 제 IV장에서는 모의 실험 결과를 보여주고, 본 논문의 결론을 제 V장에서 제시하였다.

II. 시스템 모델

1. 송신기 모델

그림 1은 펄스위치변조-시간도약 방식 초광대역 무선통신 시스템의 송신기 구조를 나타낸다 [4].

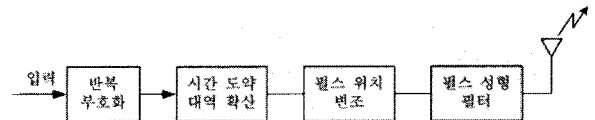


그림 1. 펄스 위치 변조-시간 도약 초광대역 무선통신 송신기.

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.

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

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,

* 책임저자(Corresponding Author)

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

김은철 : 광운대학교 전파공학과

(eun6210@kw.ac.kr)

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

$\{a_j\}$ 는 동일 비율의 이진 심볼로 구성된 광의의 정적 랜덤 프로세스로 모델링된 데이터 시퀀스이다. ε 은 변조 인자로서, 시스템 성능을 최적화 하기 위해 $c_j T_c + \varepsilon < T_s$ 를 만족하여야 한다.

2. 채널 모델

본 논문에서는 IEEE802.15.SG3a 에서 초광대역 무선통신 시스템의 채널 모델로 선택한 변형된 SV 모델 [5]을 실내 무선 채널 모델로 선택하였다. 모든 경로의

이산 시간 다중경로 채널 총적 응답은 식 (2)와 같다.

$$h(t) = X \sum_{l=1}^N \sum_{k=1}^{K(n)} \alpha_{nk} \delta(t - T_n - \tau_{nk}) \quad (2)$$

여기서 α_{nk} 는 n 번째 클러스터의 k 번째 다중 경로 계수이다. 이는 식 (3)과 같이 정의할 수 있다.

$$\alpha_{nk} = p_{nk} \beta_{nk} \quad (3)$$

여기서 p_{nk} 는 +1와 -1의 값이 동일 확률로 분포하는 이산 랜덤 변수이고, β_{nk} 는 클러스터 n 에 속한 다중 경로 k 와 관련된 로그 노말 채널 계수이다. β_{nk} 는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\beta_{nk} = 10^{\frac{x_{nk}}{20}} \quad (4)$$

여기서 x_{nk} 는 평균이 μ_{nk} 이고 분산이 σ_{nk}^2 인 가우시안 랜덤 변수이다. x_{nk} 는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$x_{nk} = \mu_{nk} + \xi_n + \zeta_{nk} \quad (5)$$

여기서 ξ_n 와 ζ_{nk} 는 각각 클러스터와 채널에서 채널 계수의 변화를 나타내는 가우시안 랜덤 변수이다.

T_n 은 n 번째 클러스터의 도착 시간을 나타내며, τ_{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	Λ (1/ns)	λ (1/ns)	Γ	γ	σ_ξ (dB)	σ_ζ (dB)	σ_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

그림 2는 안테나 다이버시티를 적용한 초광대역 무선통신 시스템 수신기 구조를 나타낸다. 이 수신기는 안테나 다이버시티를 구현하기 위해서 L 개의 안테나로 구성되어 있다. 여기서 각 안테나는 충분히 멀리 떨어져 있다고 가정한다. 따라서 각 안테나로 수신되는 신호는 각각 독립적으로 페이딩이 발생한다. 다이버시티 결합 기법은 더해진 신호의 신호대 잡음비를 향상시킨다. 따라서 그림 2의 L 이 증가할수록 비트 오류율과 같은 시스템 성능이 향상됨을 예상할 수 있다.

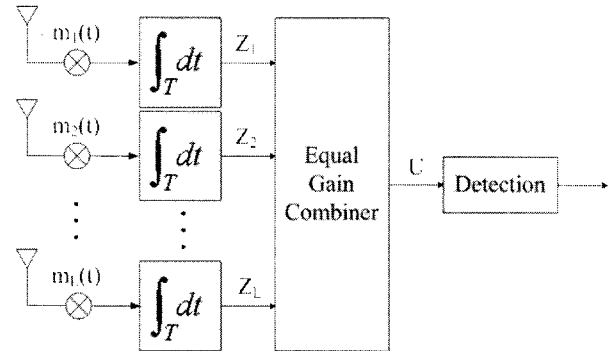


그림 2. 안테나 다이버시티를 적용한 초광대역 무선통신 시스템의 수신기 구조.

Fig. 2. Block diagram of UWB system receiver with antenna diversity.

각 안테나로 수신된 신호는 상관 마스크 $m_l(t)$, $l=1,2,\dots,L$,와 곱해진 후 적분기를 통과하며, $m_l(t)$ 는 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$m_l(t) = m(t - \tau_l) \quad (6)$$

여기서 τ_l 는 l 번째 전송 경로의 지연값이다.

L 개의 적분기 출력 Z_l 은 동일 이득 결합기를 통하여 더해진 후, 결정 변수 U 를 생성한다.

수신 신호 $r(t)$ 는 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = \sqrt{E_{RX}} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K(n)} \alpha_{nk} a_j p(t - jT_s - \phi_j - \tau_{nk}) + n(t) \quad (7)$$

여기서 $E_{RX} = X^2 E_{TX}$ 는 하나의 송신된 펄스에 대한 전체 수신된 에너지이고, E_{TX} 는 펄스당 송신 에너지이며, a_j 는 j 번째 송신된 펄스의 진폭으로, 본 논문에서는 PPM 변조된 신호이므로 $a_j = 1$ 이다. 그리고 ϕ_j 는 j 번째 펄스의 시간상에서 흔들림을 나타낸다. $n(t)$ 는 수신기 입력단에서의 부가 백색 가우시안 잡음(AWGN : additive white Gaussian noise)으로 평균은 0이고 표준편차는 σ 이다.

III. 성능 분석

L 개의 안테나를 가지고 있는 수신기 출력이 동일 이득 결합기를 통과한 출력 U 의 조건부 확률 밀도 함수는 식 (8)과 같다.

$$f_U(u|\mu_U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_U^2}} \exp\left(-\frac{(v-\mu_U)^2}{2\sigma_U^2}\right) \quad (8)$$

$$\mu_U = \sum_{l=0}^{L-1} \mu_{Zl} \quad (9)$$

$$\sigma_U^2 = \sum_{l=0}^{L-1} \sigma_{Zl}^2 \quad (10)$$

여기서 μ_{Zl} 과 σ_{Zl}^2 은 적분기 출력의 평균과 분산이다.

송신된 신호가 로그노말 분포를 갖는 채널을 통과하여 수신되고, 이 수신된 신호가 다시 동일 이득 결합기를 통과하여 더해진 것이 결정 변수, U , 이므로, 결정 변수의 확률 밀도 함수를 계산하기 위해서는 로그노말 함수의 확률 밀도 함수를 구하여야 한다. 이를 [6]의 Wilkinson' method를 이용하여 계산하면 식 (11)과 같다.

$$f(\mu_U) = \frac{1}{\mu_U \sqrt{2\pi\sigma_Y^2}} \exp\left(-\frac{(\ln\mu_U - \mu_Y)^2}{2\sigma_Y^2}\right) \quad (11)$$

$$\mu_Y = \ln\left(\frac{E_{L1}^2}{\sqrt{E_{L2}}}\right) \quad (12)$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\ln\left(\frac{E_{L2}}{E_{L1}^2}\right)} \quad (13)$$

$$E_{L1} = \sum_{l=1}^L \exp\{2(\mu_{Zl} + \sigma_{Zl}^2)\} \quad (14)$$

$$E_{L2} = \sum_{l=1}^L \exp\{4(\mu_{Zl} + 2\sigma_{Zl}^2)\} + 2 \sum_{b=2}^{L-1} \sum_{c=b+1}^L \exp\{2(\mu_{Zb} + \mu_{Zc} + \sigma_{Zb}^2 + \sigma_{Zc}^2)\} \quad (15)$$

따라서 U 의 확률 밀도 함수는 식 (16)과 같이 유도할 수 있다.

$$f_U(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f_U(u|\mu_U) f(\mu_U) d\mu_U \quad (16)$$

그리고 수신 신호에 대한 비트 오류율은 식 (17)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$P_E = \int_{-\infty}^{\infty} f_U(u) du \quad (17)$$

IV. 실험 결과

이번 장에서는 펄스위치변조-시간도약 초광대역 무선통신 시스템에 안테나 다이버시티를 적용한 경우의 성능을 모의 실험을 통하여 보인다. 변형된 SV 채널 모델 파라미터에서

LOS (line of sight) 경우인 Case A가 실험에 적용되었다. 또한 초광대역 무선통신 시스템의 평균 송신 전력은 -30 dBm으로 설정하고, 비트당 펄스의 개수는 1개로 하였으며, 심볼간 간섭은 발생하지 않는 것으로 가정하였다. 또한 송·수신기 사이의 거리는 2m로 설정하였다.

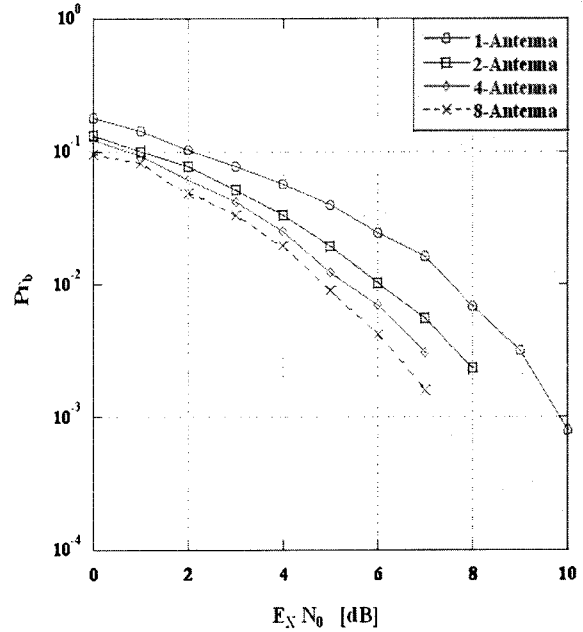


그림 3. 다양한 수신기의 안테나 개수에 대하여 펄스 에너지 대 잡음 에너지에 따른 비트 오류율.

Fig. 3. Bit error probability versus E_X/N_0 performance with various antennas.

그림 3은 다양한 수신기의 안테나 개수에 대하여 펄스 에너지 대 잡음 에너지에 따른 비트 오류율 성능을 보인 것이다. 예상한 바와 같이 안테나 다이버시티에 의해 수신된 신호의 신호대 잡음비가 증가하기 때문에 수신기의 안테나의 개수가 1개에서 2개, 2개에서 4개로 증가할수록 시스템 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 시스템의 성능이 증가하는 비율은 감소하는 것을 알 수 있다.

그림 4와 그림 5는 각각 20 ps와 40 ps의 시간 오프셋이 있는 경우 다양한 수신기 안테나 개수에 대하여 펄스 에너지 대 잡음 에너지에 따른 비트 오류율 성능을 보인 것이다. 그림 4에서 시간 오프셋이 20 ps 만큼 발생하면 안테나를 1개 사용한 경우는 시간 오프셋이 없는 경우보다 당연히 성능이 감소한다. 하지만 안테나 다이버시티를 적용하면 신호대 잡음비의 증가로 인해 시간 오프셋이 없는 경우보다 성능이 더 향상되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 그림 5에서 시간 오프셋이 40ps 만큼 발생하면 안테나 다이버시티를 적용하더라도 시간 오프셋이 없는 경우보다 성능이 더 향상되지 않는 것을 알 수 있다. 이는 너무 큰 시간 오프셋으로 인해 발생한 오류가 다이버시티 이득보다 더 크기 때문이다.

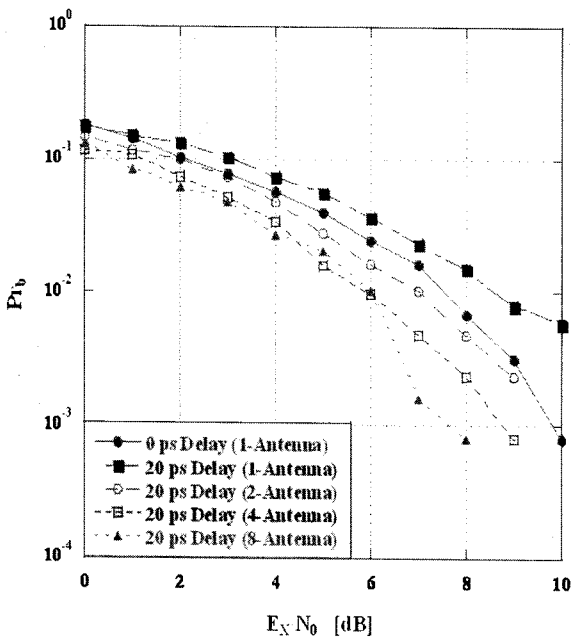


그림 4. 20 ps의 시간 오프셋이 존재하는 경우 다양한 수신기 안테나 개수에 대하여 펄스 에너지 대 잡음 에너지에 따른 비트 오류율.

Fig. 4. Bit error probability versus E_x/N_0 performance with various antennas (20 ps time offset).

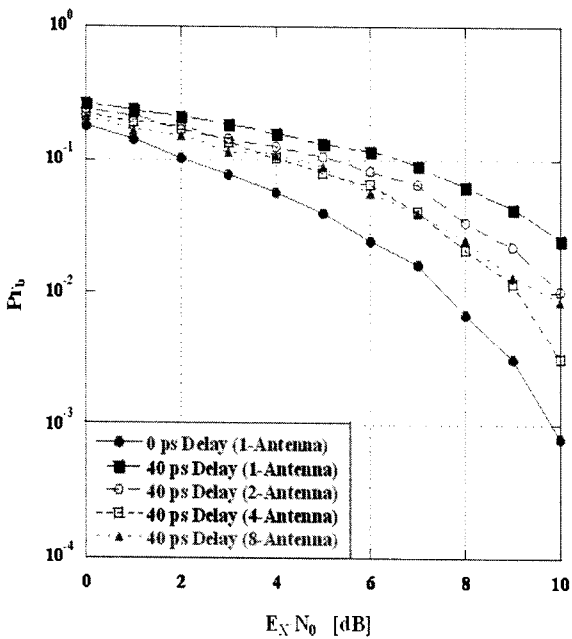


그림 5. 40 ps의 시간 오프셋이 존재하는 경우 다양한 수신기

안테나 개수에 대하여 펄스 에너지 대 잡음 에너지에 따른 비트 오류율.

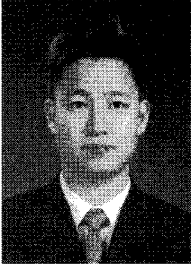
Fig. 5. Bit error probability versus E_x/N_0 performance with various antennas (40 ps time offset).

V. 결론

본 논문은 실내 무선 채널에서 안테나 다이버시티를 적용한 펄스위치변조시간도약 초광대역 무선통신의 성능을 분석하였다. 성능 분석 결과 안테나 다이버시티를 적용하면 수신 신호의 신호대 잡음비 향상으로 인해 시스템 성능이 향상되는 것을 알 수 있었다. 또한 일정 수준 이하의 시간 오프셋이 발생하여도 안테나 개수를 증가시키면 시간 오프셋이 없는 경우보다 더 성능이 개선되는 것을 확인하였다. 본 논문의 결과는 초광대역 무선통신 시스템의 수신단을 구현하는데 활용될 수 있다.

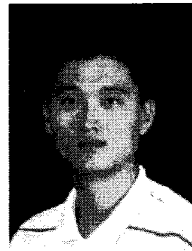
참고문헌

- [1] J. G Proakis, *Digital Communications*, 4th ed. New York: McGraw-Hill 2001.
- [2] R. E. Zimmer and R. L. Peterson, *Digital Communications and Spread Spectrum Systems*, New York: Macmillan, 1985.
- [3] 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.
- [4] M. G D. Benedetto and G Giancola, *Understanding Ultra Wide Band Radio Fundamentals*, New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- [5] 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.
- [6] N. C. Beaulieu, A. A. Abu-Dayya, and P. J. McLane, "Estimating the distribution of a sum of independent log-normal Random variables," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 43, no. 12, pp. 2869-2873, Dec. 1995.



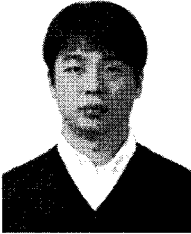
김 은 철

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



김 성 일

2002년 고려대학교 전기공학과 (공학사). 2007년 고려대학교 전자컴퓨터공학과 (공학석사). 2004년 ~ 현재 KT 인프라연구소 선임연구원. 관심분야는 WiBro 망구조 연구



박 재 성

2008년 광운대학교 전자공학부 (공학사). 2008년 ~ 현재 광운대학교 전파공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 MIMO, 채널 부호화, 동기화.



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 디지털 통신, 신호처리, 채널 부호화.