

논문 2007-44TC-4-7

새로운 DBO-CSS 수신기 구조

(A new noncoherent detection algorithm for DBO-CSS)

윤 상 훈*, 정 정 화*

(Sang-hun Yoon and Jong-wha Chong)

요 약

본 논문에서는 DBO-CSS를 위한 새로운 수신기 구조를 제안한다. DBO-CSS에서는 정보가 인접한 서브칩(sub-chirp)간의 차분 위상이 아니라 인접한 풀칩(full-chirp) 내의 동일 위치에 있는 서브칩간의 차분위상에 실리게 된다. 따라서, DBO-CSS의 BER 성능 향상을 위해 일반적인 MSDD(multiple symbol differential detection) 알고리즘 등은 바로 적용할 수 없다. 본 논문에서는 부분적 MSD(multiple symbol detection)와 viterbi 알고리즘에 기반한 새로운 차분 검출 알고리즘을 제안한다. 실험결과, 제안하는 구조는 기존의 차분 검출 방식과 biorthogonal 복호기로 구성된 수신기에 비해 BER=10⁻⁵일 때 약 2.5dB의 SNR이 향상됨을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we propose a new decoding method for differentially biorthogonal chirp spread spectrum (DBO-CSS). In DBO-CSS, the information is carried on the differential phase not between the adjacent sub-chirp symbols but between the sub-chirp symbols in the same position of adjacent full-chirp symbol. So, the conventional multiple symbol differential detection (MSDD) algorithms to enhance the BER performance can not be applied to the DBO-CSS directly. In this paper, we propose a new differential detection algorithm based on a partial MSD(multiple symbol detection) and a viterbi algorithm. It is shown that the performance gain of the proposed algorithm when compared with that of the conventional detection algorithm is around 2.5dB at BER = 10⁻⁵.

Keywords : DBO-CSS, Viterbi, biorthogonal 부호

I. 서 론

최근, 유비쿼터스의 개념이 일반화 되면서 유비쿼터스 센서 네트워크의 센서 후보들이 많이 나타나고 있다. 이와 같은 센서 후보의 하나로 IEEE802.15 TG4a에서는 IR-UWB방식과 ISM DBO-CSS방식을 표준으로 제정하였다^[1]. 그중 ISM DBO-CSS (differentially

biorthogonal chirp spread spectrum)는 그 이름에서 나타나있는 바와 같이 biorthogonal 부호화 후 이 결과를 차분 변조하고 그 결과를 칩 확산하는 방식을 취하고 있다^[2,3].

DBO-CSS는 기본적으로 WPAN을 위해 만들어진 방식으로 기본적으로 소형 및 저전력 소모를 기본으로 하고 있지만, 차분 복조 시 noncoherent 방식을 사용하게 되면 많은 책들^[4,5]에서 언급되어 있는 바와 같이 coherent 방식을 사용했을 때에 비해 좋지 않은 BER특성을 나타내게 되므로, 응용 시스템이 고성능을 필요로 할 때에는 두 방식의 성능 차를 극복하기 위해 DF-DPD (decision feedback differential phase detection)^[6,7], viterbi-DD (viterbi differential detection)^[8], MSDD (multiple symbol differential detection)^[9] 등의 방식들을 적용하게 된다.

* 정회원, 한양대학교 전자공학과
(Hanyang University)

※ "This research was supported by the MIC (Ministry of Information and Communication), Korea, under the ITRC (Information Technology Research Center) support program supervised by the IITA(Institute of Information Technology Assessment)"(IITA-2006-C1090-0603-0019)

접수일자: 2007년3월8일, 수정완료일: 2007년4월16일

하지만, 이와 같은 방식들은 biorthogonal 부호화가 포함되는 DBO-CSS에 바로 적용될 수 없으며, biorthogonal 부호의 이득을 완전히 얻어내기 위한 새로운 방식의 연구가 필요하다. 본 논문에서는 이와 같이 viterbi의 trellis를 이용하여 biorthogonal 부호의 이득을 완전히 얻어내기 위한 방법을 제안한다.

II. 일반적인 구조

DBO-CSS에서는 그림 1과 같이 biorthogonal 부호화된 후, 인접한 부호인 $\{c_{k,0}, c_{k,1}, c_{k,2}, c_{k,3}\}$ 와 $\{c_{k-1,0}, c_{k-1,1}, c_{k-1,2}, c_{k-1,3}\}$ 의 같은 위치, 즉, $c_{k,0}$ 와 $c_{k-1,0}$, $c_{k,1}$ 와 $c_{k-1,1}$ 간의 차분 변조가 이루어져 $\{d_{k,0}, d_{k,1}, d_{k,2}, d_{k,3}\}$ 를 만들어 내고, 이 값은 다시 [2]에 정의된 서브칩들에 의해 확산되는 과정을 거치게 된다.

이와 같은 DBO-CSS의 수신기를 설계하기 위해서는 다음과 같은 구조들이 고려되어질 수 있다. 그 중 하나로 그림 2(a)에 나타난 것과 같이 샘플간의 차분 복조를 수행하고, 그 결과를 서브칩 구간만큼 누적시켜 확산된 칩을 역확산한 후 그 결과를 biorthogonal 복호하는 방식이 있을 수 있다. 이 구조는 간단하지만 서브칩들의 밴드가 바뀌는 DBO-CSS의 특성 때문에 차분 복조 시 그림 3의 빗금 친 부분의 잡음이 포함되기 때문에 성능의 열화를 피할 수 없다. 그림 2(b)는 이와 같은 상이 밴드 잡음을 줄이기 위해 matched 필터를 사용한 구조이다. 이 경우 서로 다른 네 개의 서브칩에 대한 필터가 필요하기 때문에 그림 2(a)의 구조에 비해 하드웨어는 증가하는 반면 성능은 향상되는 결과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 아직 DBO-CSS 수신기로 제안된 논문을 찾을 수 없기 때문에, 그림 2(b)의 구조를 일반 구조로 하여 제안구조와 비교하도록 하겠다.

일반적으로 이와 같이 차분 변조한 신호를 복조 하는 경우, coherent 구조와 noncoherent 구조가 존재하게

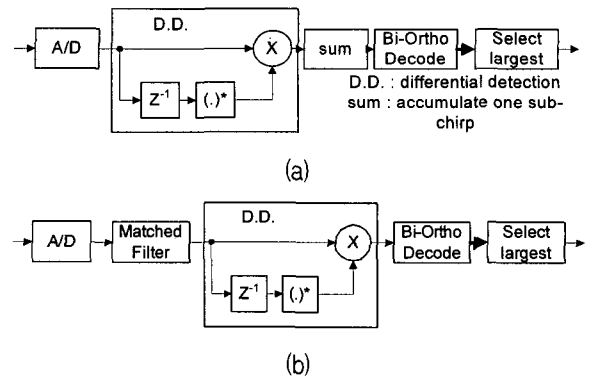


그림 2. DBO-CSS수신기의 예
Fig. 2. An example of a receiver for DBO-CSS.

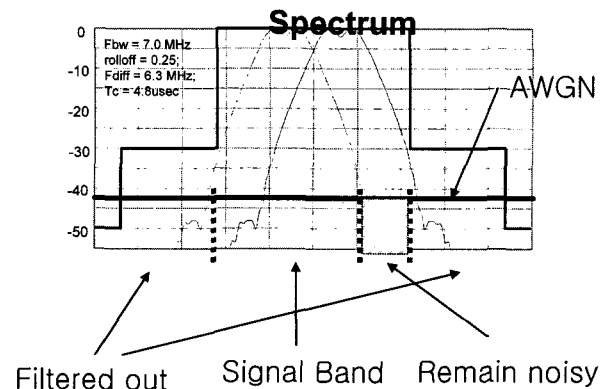


그림 3. DBO-CSS 서브칩의 주파수 스펙트럼
Fig. 3. Frequency spectrum of a sub-chirp of DBO-CSS.

되며 두 구조의 성능 차이를 줄이기 위하여, 많은 논문들이 발표되었다. 따라서 그림 2(b)의 구조는 noncoherent 구조를 기반으로 하고 있으므로, 발표되었던 기존의 알고리즘 등을 이용하여 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 하지만, 기존의 DF-DPD 나 viterbi-DD 등은 차분복조의 결과가 하드하게 결정된 값이 되므로 biorthogonal 복호화 하는데 도움을 주지 못하므로, 바로 DBO-CSS에 적용할 수 없다.

III. 제안하는 구조

A. 트래리스 다이어그램

차분적 biorthogonal 부호 이득(differentially biorthogonal coding gain)을 얻기 위하여 본 논문에서는 viterbi-DD 방식에서와 같이 차분관계를 이용한 트래리스(trellis)를 사용하였다. 그림 4는 제안구조에 사용된 트래리스를 나타낸다. 여기서, 각 스테이지(stage)는 각 폴침을 나타내며, 각 상태(state)에는 폴침의 첫 번째 서브칩을 기준으로 나머지 서브칩의 상대적인 위상

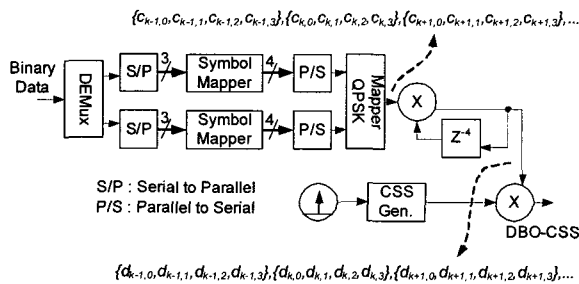


그림 1. 1Mbps 모드의 송신 블록다이어그램
Fig. 1. Block diagram of a transmitter of 1Mbps mode.

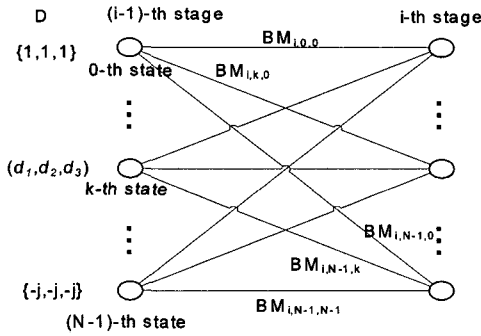


그림 4. 제안된 트렐리스 다이어그램
Fig. 4. Proposed trellis diagram.

들의 조합이 할당 된다. 예를 들어 송신하기 위한 폴첩의 위상이 $[e^{ja}, e^{jb}, e^{jc}, e^{jd}]$ 라면, 이 폴첩의 상태는 $[e^{j(b-a)}, e^{j(c-a)}, e^{j(d-a)}]$ 가 된다. DBO-CSS에서 서브칩간의 위상차는 $[0, \pi/2, \pi, -\pi/2]$ 의 네 가지가 가능하므로 총 상태의 수는 $4^3=64$ 가 된다.

B. Correlation Metric (CM)

제안하는 수신기가 수행하는 첫 번째 작업은 식 1과 같이 이루어지며, 이 식은 발생가능한 모든 상태값과 수신 신호간의 상관도를 구하게 된다. 여기서, CM중 최대의 에너지를 가지는 경우가 가장 가능성 있는 서브칩의 조합에 해당하게 된다.

$$CM_{i,l} = r_{i,0} + \sum_{k=1}^3 r_{i,k} \cdot e^{-j\pi \text{floor}(l/4^{(k-1)})} \quad (1)$$

여기서, i 는 폴첩 번호, l 은 상태번호, $r_{i,k}$ 는 수신된 i 번째 폴첩의 k 번째 서브칩신호를 나타낸다. 식 (1)에 의하여 송신신호와 같은 상태값으로 CM을 계산하게 되면 신호의 에너지가 그림 5와 같이 0번째 서브칩과 같은 방향으로 모이게 되는 결과를 얻게 된다. 이와는 다르게 송신신호와 다른 상태값으로 CM을 계산하게 되면, 위상이 첫 번째 서브칩과 다르고, 신호의 크기가 감소된 형태로 나타난다.

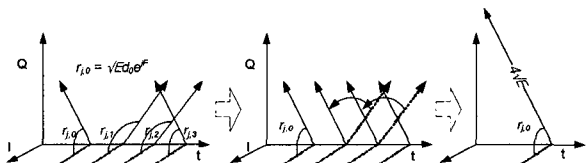


그림 5. CM의 예
Fig. 5. An example of CM.

C. Branch Metric (BM)

CM의 계산이 끝나면 인접 스테이지와 차분 위상을

표 1. biorthogonal 부호
Table 1. biorthogonal code.

Decimal Code	Bi-Orthogonal Code word C (c ₀ ,c ₁ ,c ₂ ,c ₃)
0	1 1 1 1
1	1 -1 1 -1
2	1 1 -1 -1
3	1 -1 -1 1
4	-1 -1 -1 -1
5	-1 1 -1 1
6	-1 -1 1 1
7	-1 1 1 -1

계산하여 BM을 구성한다. DBO-CSS에서는 폴첩 단위의 차분 변조가 이루어지며, 차분 변조시 각 서브칩에 할당되는 차분 위상값은 biorthogonal 관계를 유지하므로, 본 논문에서는 biorthogonal 관계에 있는 인접 스테이지의 각 상태간의 차분 위상을 계산하였다. 식 (2)는 BM에 대한 계산식을 나타내고, 표 1은 DBO-CSS 1Mbps 모드에 사용된 biorthogonal 부호를 나타낸다. 여기서, 송신신호와 같은 상태값으로 계산된 CM간의 BM값은 다른 경우에 비하여 최대 에너지를 가지며, 그 위상은 0번째 서브칩간의 위상차이에 해당하는 $[0, \pi/2, \pi, -\pi/2]$ 중 하나가 된다. 식 (2)에서 I 는 biorthogonal 지시자로 각 상태간의 관계가 biorthogonal 하면 1, 아니면 0을 나타낸다.

$$BM_{i,j,k} = CM_{i,j} CM_{i-1,k}^* I_{j,k}$$

$$I_{j,k} = \begin{cases} 1, & \text{re}(d_{j,0}d_{k,0}^*, d_{j,1}d_{k,1}^*, d_{j,2}d_{k,2}^*, d_{j,3}d_{k,3}^*) \in C \\ & \text{and} \\ & \text{im}(d_{j,0}d_{k,0}^*, d_{j,1}d_{k,1}^*, d_{j,2}d_{k,2}^*, d_{j,3}d_{k,3}^*) \in C \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

여기서, i 는 폴첩 번호, j 는 i 번째 폴첩의 서브칩 번호, k 는 $(i-1)$ 번째 폴첩의 서브칩 번호에 해당된다.

BM의 계산이 완료되면 일반적인 차분 위상 복호기에 사용되는 결정 방식^[9]을 적용하여 식(3)에 따라 신호를 복호할 수도 있다.

$$\text{re}\{BM_{i,j,k} e^{-j\Delta\hat{\phi}_m}\} \text{이 최대인 } \{\Delta\hat{\phi}_m, j, k\} \text{ 선택} \quad (3)$$

여기서, $\Delta\hat{\phi}_m \in \{0, \pi/2, \pi, -\pi/2\}$.

D. Path Metric (PM)

본 논문에서는 최대의 신호에너지를 이용하여 신호를 복호하기 위해, viterbi 알고리즘을 적용한 수신기 구조를 제안한다. BM 을 이용해 식 (4)와 같이 PM 을 계산하고, 최대 에너지 경로를 찾아 역추적하게 되면 수신기의 성능을 최대한 올릴 수 있는 수신기를 구성할 수 있다.

$$PM_{i,j} = \max_k \{ PM_{i-1,k} + \max(|re(BM_{i,j,k})|, |im(BM_{i,j,k})|) \} \quad (4)$$

여기서, $re(x)$ 은 x 의 실수값을, $im(x)$ 은 x 의 허수값을 의미한다.

또한, 다중 경로 채널을 위한 식(3)을 식(5)와 같이 변경하여 레이크 수신기를 구성할 수 있다.

$$BM_{i,j,k} = \left(\sum_{l=1}^L CM_{i,j,l} \cdot CM_{i-1,k,l}^* \right) \cdot I_{j,k} \quad (5)$$

여기서, l 은 다중 경로 번호, L 은 핑거의 수를 의미한다.

PM 의 계산 이후에 traceback, data decoding등의 과정을 수행하여야 하지만 이런 과정들은 수신기의 성능을 결정하는 부분은 아니므로 본 논문에서는 생략한다. 단, traceback의 길이는 사용된 풀칩의 길이와 같게 하여 시뮬레이션 하였다.

IV. Simulation Results

본 논문에서는 제안하는 수신기 구조의 성능을 비교, 검증하기 위하여 II장에서 제시한 일반적인 수신기구조, BM 만을 이용한 수신기 구조, BM 과 PM 을 이용한 수신기 구조를 시뮬레이션 하였으며, 성능의 기준으로서 biorthogonal 부호화후에 coherent QPSK 변조하고, coherent하게 수신한 구조를 시뮬레이션 하였다. 실험

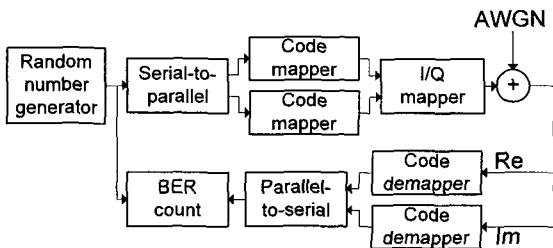


그림 6. biorthogonal 부호화 및 QPSK 시스템 시뮬레이션 모델
 Fig. 6. biorthogonal encoding and simulation model for QPSK system simulation.

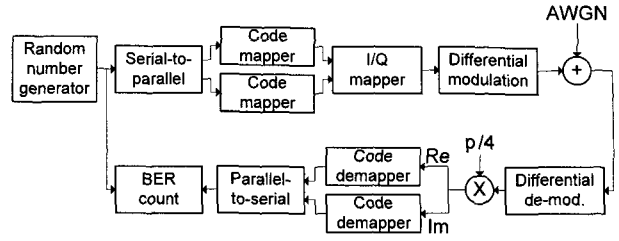
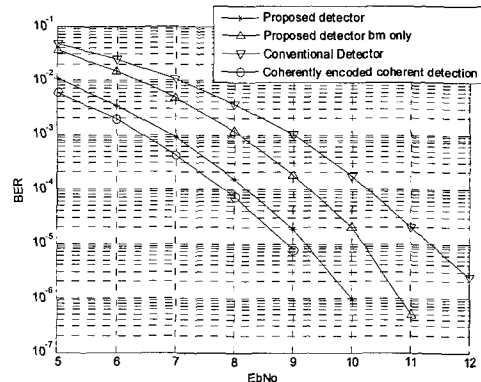
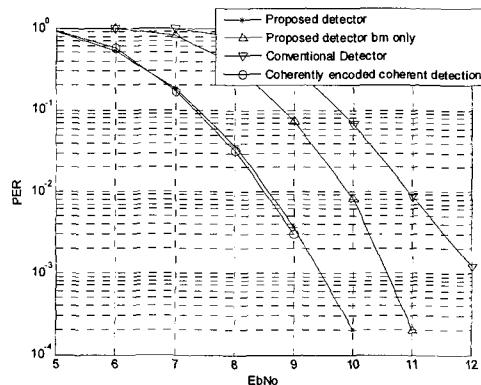


그림 7. 일반적인 DBO-CSS 수신기 시뮬레이션 모델
 Fig. 7. Simulation model for conventional DBO-CSS receiver.



(a)



(b)

그림 8. AWGN 채널에서의 성능
 (a) BER, (b) PER

Fig. 8. Performance in AWGN channel.
 (a) BER, (b) PER

은 100byte 단위의 packet 10,000개에 대하여 수행하였으며, 1Mbps 모드를 대상으로 하였다. 실험의 입력 데이터는 matched 필터 출력을 가정하였고, 주파수 오프셋 및 동기는 완벽하다고 가정하였다. 그림 6과 7은 각각 coherent 하게 변조한 참조 모델과 일반적인 수신기 구조의 시뮬레이션 모델을 나타낸다.

그림 8은 AWGN channel 환경에서 시뮬레이션한

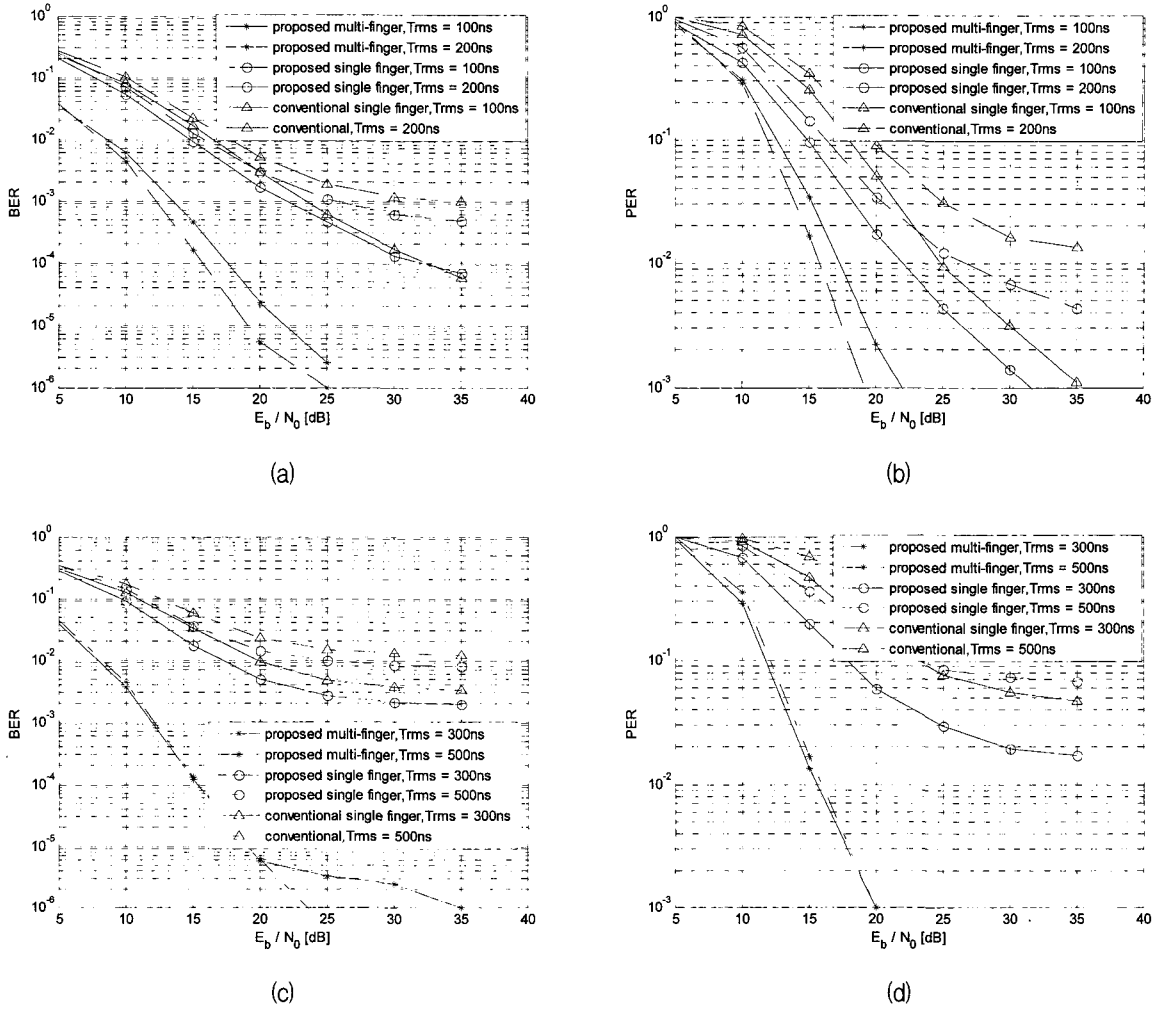


그림 9. 다중 경로 환경에서의 성능

(a) BER, $T_{rms} = 100, 200$ ns (b) PER, $T_{rms} = 100, 200$ ns (c) BER, $T_{rms} = 300, 500$ ns (d) PER, $T_{rms} = 300, 500$ ns

Fig. 9. Performance in multipath channel.

(a) BER, $T_{rms} = 100, 200$ ns (b) PER, $T_{rms} = 100, 200$ ns (c) BER, $T_{rms} = 300, 500$ ns (d) PER, $T_{rms} = 300, 500$ ns

결과로 제안하는 구조가 일반적인 수신기에 비해 약 2.5dB의 SNR 성능 향상을 가져옴을 확인할 수 있었다. BER의 경우 coherent하게 변조한 방식에 비하여 동일 $E_b N_0$ 에서 약 2배의 BER을 가지는 것은 coherent하게 수신한 DQPSK와 QPSK의 BER성능 차이와 동일하였다.

그림 9는 다중 경로 환경에서의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 시뮬레이션은 [10]에서 정의된 'diffuse exponential channel' 모델을 사용하였으며, T_{rms} 는 0~500ns까지로 하였다. 시뮬레이션은 제안하는 단일 핑거 구조, 다중 핑거 구조와 일반적인 구조에 대하여 수행하였으며, 그 결과 다중 경로 환경에서도 우수한 성능을 유지하는 것을 확인하였다.

V. Conclusion

본 논문에서는 새로운 IEEE의 새로운 표준인 IEEE802.15.4a ISM DBO-CSS 수신기 구조를 제안하였다. 제안하는 구조는 AWGN 환경 뿐 만 아니라, 다중 경로 환경에서도 우수한 성능을 나타내었으며, 고 성능을 필요로 하는 서버 수신기 등에서 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 하지만, 큰 하드웨어 복잡도는 상태 제한 등의 방법을 통해 줄여나가야 하는 부분으로 남아있다.

참고 문헌

- [1] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4a.html>
- [2] IEEE P802.15.4aTM/D5, Sep. 2006.
- [3] J. Lampe, R. Hach, L. Menzer, K. Lee, J. Chong, S. Yoon, J. Jeong, S. Kim, H. Lee, *doc:IEEE-15-05-0126-01-004a*
- [4] B. Sklar, *Digital Communication Fundamentals and applications*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.
- [5] J. G. Proakis, *Digital Communications*. New York, NY:McGraw-Hill, 2001.
- [6] C. Kim, J. Yoon, J. Chong, "An Architecture of Decision Feedback Differential Phase Detection of M-ary DPSK Signals," *TENCON 99*, Vol. 1, pp.49-52, Sep. 1999.
- [7] F. Adachi., M. Sawahashi, "Decision Feedback Differential Phase Detection of M-ary DPSK Signals," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, Vol. 44, pp.203-210, May 1995.
- [8] F. Adachi, M. Sawahashi, "Viterbi-decoding differential detection of DPSK," *Electronics Letters*, Vol. 28,pp. 2196~2198 Nov. 1992.
- [9] D. Divsalar, M.K.Simon, "Multiple-Symbol Differential Detection of MPSK," *IEEE Trans. on Comm.* Vol. 38, no. 3, pp.300-308, Mar. 1990.
- [10] P. Gorday, *doc:IEEE802.15-04-0337-00-004b*

저자 소개



윤 상 훈(정회원)
1996년 한양대학교 전자공학과
학사 졸업.
1998년 한양대학교 전자공학과
석사 졸업.
<주관심분야 : 통신, 신호처리, 반
도체>



정 정 화(정회원)
1975년 한양대학교 전자공학과
학사 졸업.
1977년 한양대학교 전자공학과
석사 졸업.
1981년 와세다대학교 전자통신공
학과 박사 졸업.
<주관심분야 : 통신, CAD, 영상처리, 반도체>