

CDSK 변조 방식과 카오스 송수신기의 지연시간에 따른 Boss Map의 BER 성능 평가

이 준 현*, 금 흥 식*, 이 동 형**, 유 흥 균^o

BER Performance Evaluation of Boss Map According to Delay Time in CDSK Modulation Scheme and Chaos Transceiver

Jun-Hyun Lee*, Hong-Sik Keum*, Dong-Hyung Lee**, Heung-Gyoon Ryu^o

요 약

카오스 통신 시스템은 카오스 신호를 이용하여 시스템의 보안성을 향상시킨다. 또한, 도청 확률을 줄일 수 있으며, 간섭 신호나 재밍 신호에 강한 특징을 가진다. 하지만 디지털 통신 시스템보다 BER(Bit Error Rate) 성능이 좋지 않은 단점을 가진다. 이런 이유로 인해 카오스 통신 시스템의 BER 성능을 향상시키기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 우리는 이전 연구에서 BER 성능을 향상시키기 위해 새로운 카오스 맵을 제안하고 이 카오스 맵을 'Boss map'이라 불렀다. 또한, 새로운 카오스 송수신기 구조를 제안하여 BER 성능을 향상시켰다. 하지만 BER 성능은 송수신기에서 사용하는 지연 시간에 따라 다르게 평가된다. 따라서 Boss map을 효과적으로 사용하기 위해서는 CDSK(Correlation Delay Shift Keying) 방식과 제안된 카오스 송수신기의 최적의 지연시간을 찾아야 한다. 본 논문에서는 Boss map을 사용했을 때, CDSK 방식과 새로운 송수신기 구조의 지연시간에 따른 BER 성능을 평가한다. 지연 시간에 따른 BER 성능을 평가한 후, CDSK 방식과 새로운 송수신기 구조에서 최적의 BER 성능을 가질 수 있는 지연 시간을 확인한다.

Key Words : CDSK system, BER performance, Delay time, Boss map, Chaos communication.

ABSTRACT

Chaos communication system is possible to improve the system security by using chaos signal. Further, it is possible to reduce the possibility of eavesdropping, and have strong characteristics from interference signal and jamming signal. However, BER(Bit Error Rate) performance of chaos system is worse than digital communication system. By this reason, researches in order to improve the BER performance of chaos communication system are being actively studied. In previous studies, we proposed a novel chaos map for BER performance improvement, and called it 'Boss map'. Also, we proposed a novel chaos transceiver for BER performance improvement. However, BER performance is evaluated differently according to delay time in transceiver. Therefore, in order to use Boss map effectively, we should find the optimal delay time in proposed chaos transceiver. In this paper, when Boss map is used, we evaluate BER performance of CDSK(Correlation Delay Shift Keying) system and novel chaos transceiver according to delay time. After evaluation of BER performance according to delay time, we find a delay time that is possible to have best BER performance in CDSK system and novel chaos transceiver.

* 이 논문은 2012년도, 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2012017339), (No.2013R1A2A2A01005849).

• First Author : Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, toogee89@nate.com, 학생회원

o Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, ecomm@cnu.ac.kr, 정회원

* 한국전파진흥협회, hskeum@rapa.or.kr, ** SK Telecom, danny92@nate.com, 정회원

논문번호 : KICS2014-03-094, Received March 18 2014; Revised June 3, 2014; Accepted June 20, 2014

I. 서 론

기존의 디지털 통신 기술에는 성능을 지속적으로 개선하기 위하여 선형 시스템 이론과 필수적으로 선형성을 이용하였으며 비선형 시스템은 선형 시스템의 특정한 수준을 달성하기 위하여 선형화하여 사용하였다. 하지만 이 기술이 기본적인 한계에 도달함으로써 비선형 시스템에 카오스 통신 시스템을 적용하여 비선형적인 통신 시스템의 성능을 개선하기 시작하였다^[1]. 카오스 통신 시스템은 비선형 시스템으로 비주기성, 광대역성, 비예측성 그리고 구현의 용이성 등의 특징을 가지고 있다. 또한 카오스 신호는 초기조건이 미세하게 변하면 전혀 다른 카오스 신호가 되기 때문에 초기조건에 민감한 특징을 가지며, 초기조건을 정확하게 알지 못하면 미래의 값을 예측할 수 없다^[2]. 이런 특징으로 인해 카오스 통신 시스템은 보안성이 우수하게 평가되며 도청 확률을 줄일 수 있으며 다른 사용자의 전송 신호 감지가 어렵고 재밍 신호에 대해 강한 특징을 갖는 항재밍 특성을 갖는다^[3].

일반적으로 카오스 통신 시스템은 다른 시스템에 비해 보안성이 우수하지만 BER(Bit Error Rate) 성능은 좋지 않다. CDSK(Correlation Delay Shift Keying) 방식의 경우에는 카오스 신호가 레퍼런스 신호로 가산된 후에 전송되기 때문에 많은 자기 간섭 신호를 가지며, 이로 인해 BER 성능이 나쁘게 평가된다^[4]. 이런 단점을 개선하기 위해 카오스 통신 시스템의 BER 성능을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존 카오스 통신 시스템에 관한 연구를 보면, 여러 가지 카오스 맵과 변조 방식의 BER 성능을 평가하고 그 중에서 BER 성능이 가장 좋은 카오스 맵과 카오스 변조 방식을 찾았었다. 또한, 카오스 신호를 이용한 암호화 시스템이나 보안 시스템에 적용하는 연구가 지속적으로 이루어졌다. 기존 연구에서, 우리는 카오스 통신 시스템의 BER 성능을 향상시키기 위한 카오스 맵의 PDF(Probability Density Function) 경향을 분석하고, 이를 토대로 새로운 카오스 맵을 제안했다^[5]. 그리고 제안한 카오스 맵을 'Boss map'이라고 이름 붙였다. CDSK 변조 방식에서 Boss map의 BER 성능이 Tent map의 BER 성능보다 약 5dB 더 좋은 것을 알 수 있다^[5]. 또한, 우리는 CDSK 방식의 자기 간섭 신호를 줄임으로써 BER 성능을 향상시키기 위해 새로운 카오스 송수신기를 제안했다^[6]. 제안한 카오스 송수신기를 사용할 경우에 다른 디지털 시스템의 BER 성능만큼 BER 성능이 향상된다^[6]. 하지만 Boss map을 사용할 때, CDSK 방식과 새로운

카오스 송수신기에서 지연 시간에 따라 BER 성능이 변한다. 따라서 Boss map을 효과적으로 사용하기 위해서는 CDSK 방식과 제안된 카오스 송수신기의 최적의 지연시간을 찾아야한다.

따라서 본 논문에서는 Boss map을 사용했을 때, CDSK 방식과 새로운 송수신기 구조의 지연시간에 따른 BER 성능을 평가한다. 지연 시간에 따른 BER 성능을 평가한 후, CDSK 방식과 새로운 송수신기 구조에서 최고의 BER 성능을 가질 수 있는 지연 시간을 확인한다.

II. Boss Map

보안성을 향상시킬 수 있는 카오스 통신 시스템에서 가장 중요한 요인은 카오스 맵이라고 할 수 있다. 카오스 신호는 카오스 맵 방식에 의해 발생되며, 카오스 맵의 종류나, 초기조건, 매개변수에 따라 카오스 신호가 완전히 다른 신호로 변하기 때문에 통신 성능에 있어서 중요한 요인이라고 할 수 있다. 이전 연구에서 우리는 카오스 신호를 PDF로 나타내고 초기조건, 매개변수 및 방정식을 변화시키면서 BER 성능을 향상시킬 수 있는 PDF의 경향을 알아본 후, 이 결과를 토대로 BER 성능이 우수한 새로운 카오스 맵을 제시했다.

BER 성능을 향상시킬 수 있는 PDF 경향은 크게 2가지가 있다. 첫 번째는 낮은 신호 전력을 가져야 한다. 왜냐하면 낮은 신호 전력을 평균 신호 전력 1로 스케일링 하게 되면 심볼간의 거리가 더 멀어지기 때문이다. 두 번째는 0 근처 값의 확률이 적어야 한다. CDSK 변조 방식의 경우에는 임계값 0을 기준으로 데이터를 판별하기 때문에 카오스 신호의 값이 0 근처에 많이 없어야 BER 성능이 좋게 나타난다^[5]. 하지만 BER 성능을 개선시키는 2가지의 PDF 경향은 서로 반대되는 결과라는 것을 알 수 있다. 따라서 BER 성능을 향상시키기 위해서는 이 2가지의 PDF 경향의 적절한 Trade Off가 필요하다. 우리는 적절한 Trade Off를 통해 새로운 카오스 맵을 제안하였으며, 새로운 카오스 맵을 'Boss map'이라고 정의하였다. 그리고 CDSK 방식에서 Boss map은 Tent map보다 약 5dB 더 좋은 BER 성능을 가진다.

Tent map의 궤적은 삼각형 모양으로 나타나며, 현재의 입력값으로 이전의 출력값을 사용하는 간단한 비선형 방정식이다. 그리고 Tent map은 0부터 1까지의 값이 거의 균일한 확률을 가지는 것이 특징이다^[5].

그럼 1은 BER 성능 향상을 위해 제안한 카오스 맵

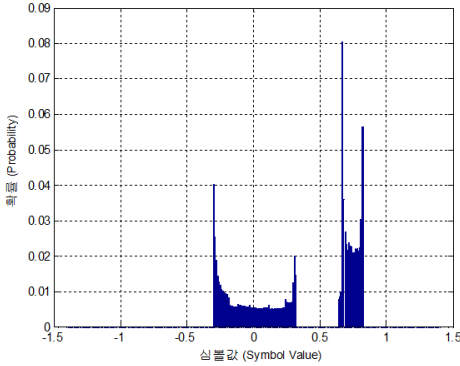


그림 1. Boss map의 PDF.
Fig. 1. PDF of Boss map.

인 Boss map의 PDF이다. 앞에서 설명한 BER 성능에 영향을 미치는 두 가지 요인의 Trade Off를 통해 그림 1과 같은 PDF를 생성했다^[5]. 카오스 맵의 PDF를 통해서, 카오스 신호의 어떤 값이 얼마나 발생하는지에 대한 경향을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= \alpha |0.45 - |0.503 - x_n|| \\ y_n &= x_n - 0.3 \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)은 Boss map의 카오스 방정식을 나타낸 것이다. 식(1)은 Tent map의 방정식을 변형시킨 것이며 초기 값은 0.1, α 가 2.5일 때, 그림 2와 같은 궤적을 그린다. 그림 2에서 x축은 x_n , y축은 y_n 을 의미하며, Tent map과 다르게 피라미드 모양으로 그려진다^[5]. 카오스 맵의 궤적은 발생한 카오스 신호를 선으로 이은 것이며, 카오스 맵의 종류마다 궤적이 다르다. Tent map의 경우에는 삼각형 모양으로 나타나며, Logistic map은 중을 얹어놓은 모양으로 나타나는 특징이 있다^[5].

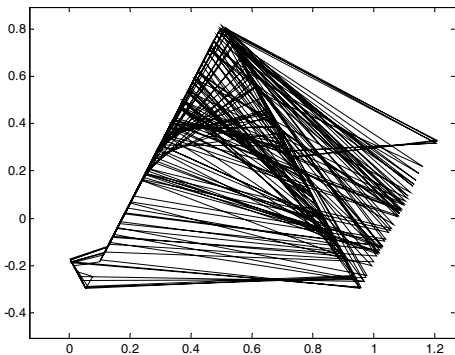


그림 2. Boss map의 궤적.
Fig. 2. Trajectory of Boss map.

III. 제안한 카오스 송수신기

기존의 CDSK 방식은 카오스 신호에 정보신호를 곱하고, 지연된 카오스 신호를 더해서 전송하는 방식으로 구성된다. 하지만 CDSK 방식은 자기 간섭 신호가 굉장히 많기 때문에 BER 성능이 나쁘게 평가되는 단점이 있다^[6]. 그래서, 우리는 이전 연구에서 BER 성능 향상을 위해 새로운 카오스 송수신기를 제안했다. 제안한 카오스 송수신기는 자기 간섭 신호를 획기적으로 줄임으로써 BER 성능을 향상시킬 수 있다^[6].

그림 3은 제안하는 수신기뿐만 정보 신호를 복원할 수 있도록 만든 새로운 카오스 송수신기를 나타낸다. 기존 송신기의 구조와는 거의 비슷하지만 기존 송신기와는 다르게 카오스 신호를 일정 값만큼 이동시키는 과정이 추가된다. 그림 4는 BER 성능 향상을 위해 제안한 카오스 수신기를 나타낸 것이다. 제안하는 수신기는 카오스 신호의 정보를 모두 알고 있어야 한다.

$$S_i = b_i x_{i-L} + x_{i+K} \quad (2)$$

식(2)는 제안하는 송신기의 송신신호를 나타낸다. 여기서 b_i 는 정보 신호를 의미하며, x_{i-L} 이나 x_{i+K} 는 i 나 k 만큼 지연시키고 시프트시킨 카오스 신호를 의미한다. 제안하는 송신기의 전송 신호는 정보신호가 사상된 지연 카오스 신호와 특정 값만큼 이동시킨 카오스 신호의 합으로 나타난다^[6].

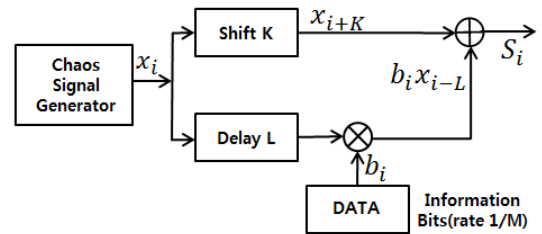


그림 3. 제안한 카오스 송신기.
Fig. 3. Proposed chaos transmitter.

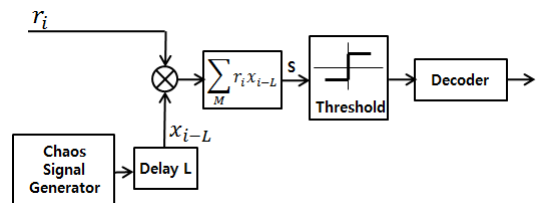


그림 4. 제안한 카오스 수신기.
Fig. 4. Proposed chaos receiver.

$$S = \sum_{i=1}^M (x_i + b_i x_{i-L} + n_i) x_{i-L} \tag{3}$$

$$= b_i \sum_{i=1}^M x_{i-L}^2 + \sum_{i=1}^M \xi_i$$

$$\xi_i = x_i x_{i-L} + n_i x_{i-L} \tag{4}$$

식(3)과 식(4)는 제안하는 카오스 수신기의 상관기 출력력을 수식으로 표현한 것이다. 여기서 n_i 는 잡음을 의미하고, ξ_i 는 잡음과 자기 간섭 신호를 의미한다. 식(3)을 보면, 두 개의 항 중에 첫 번째 항이 원하는 신호이며 두 번째 항이 잡음처럼 더해지는 신호이다. 식(4)를 보면, 수신된 신호와 카오스 신호를 곱하게 되면 간섭 신호나 잡음 요인이 CDSK 수신기보다 굉장히 적어지는 것을 알 수 있다⁶⁾.

IV. 시뮬레이션

Boss map과 제안한 카오스 송수신기를 사용하면 BER 성능은 굉장히 향상된다. 하지만 Boss map을 사용할 때, CDSK 방식과 새로운 카오스 송수신기에서 지연 시간에 따라 BER 성능이 변하기 때문에 최고의 BER 성능을 가질 수 있는 지연 시간을 찾아야한다.

CDSK 방식에서 Boss map을 사용하는 경우 Tent map, Logistic map, Henon map보다 훨씬 더 향상된 BER 성능을 가진다⁵⁾. CDSK 방식은 카오스 신호와 정보 신호가 곱해진 지연된 카오스 신호를 가산하여 전송하는 방식이다⁷⁾.

그림 5를 보면, CDSK 방식에서 지연 시간이 4인 경우와 5일 때, Boss map의 BER 성능을 나타낸다.

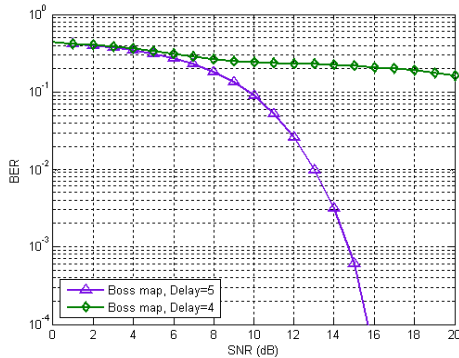


그림 5. CDSK 방식에서 지연 시간에 따른 Boss map의 BER 성능.
Fig. 5. BER performance of Boss map according to delay time in CDSK system.

지연이 5인 경우에는 향상된 BER 성능을 가지지만 지연이 4인 경우에는 굉장히 열화된 BER 성능을 가진다.

CDSK 방식에서는 신호를 전송하기 전에 평균 전력 신호를 1로 스케일링하는 표준화(Normalization) 과정을 거친다. 그림 6을 보면, 지연 시간에 따라 전송 심볼의 값이 달라지며, 표준화 이후에도 변하게 된다. 두 개의 심볼을 예로 들었을 때, 표준화 이후의 두 심볼은 지연 시간이 5인 경우가 더 멀리 떨어지게 되어 BER 성능이 좋은 것이다. 그림 6은 두 심볼을 예로 보여주지만, 실제로 Boss map의 BER 성능이 지연 시간에 따라 달라지는 것은 이런 경향으로 인한 것이다.

그림 7과 그림 8은 지연 시간에 따른 표준화 이후의 전송신호를 PDF로 나타낸 것이다. 지연 시간이 5인 경우에는 전송 신호가 0 근처에 거의 분포하지 않기 때문에 비트 에러가 발생할 확률이 굉장히 낮아진다. 하지만 지연 시간이 4인 경우에는 전송 신호가 0 근처에 분포하고 있기 때문에 잡음이나 간섭 신호로 인해 비트 에러가 발생할 확률이 높아진다.

위의 시뮬레이션에서는 지연 시간이 4인 경우와 5인 경우의 BER 성능만 평가하였지만, 실제로 지연 시간이 홀수인 경우에는 BER 성능이 향상되며, 짝수인 경우에는 BER 성능이 열화되는 경향을 가진다. 따라서 Boss map을 CDSK 방식에서 사용하는 경우에는 지연 시간을 홀수 값으로 설정하는 것이 가장 최고의 BER 성능을 가질 수 있다. 본 논문에서는 CDSK 변조 방식을 포함하여 제안한 카오스 송수신기에 Boss map을 적용하였을 때, 지연시간에 따른 BER 성능을 평가한다. 제안한 카오스 송수신기는 두 개의 지연 시

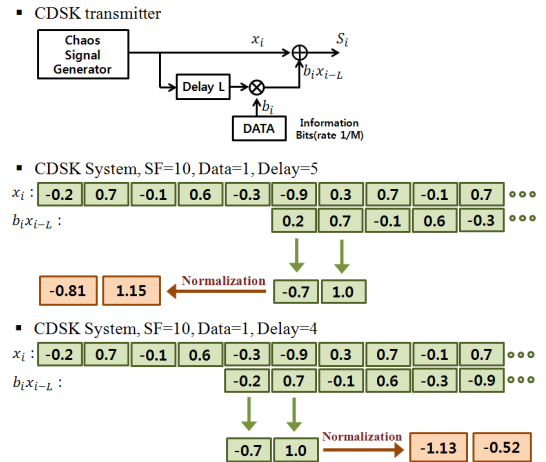


그림 6. 지연 시간에 따른 전송 심볼.
Fig. 6. Transmitted symbols according to delay time.

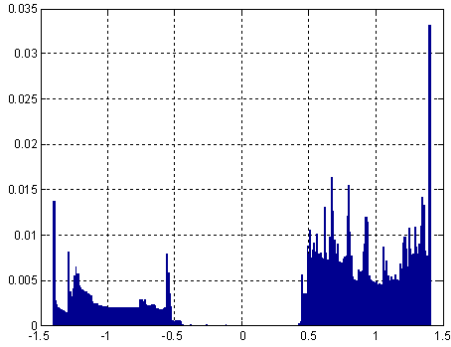


그림 7. 표준화 이후의 PDF. (지연 시간 = 5)
Fig. 7. PDF after normalization. (Delay time = 5)

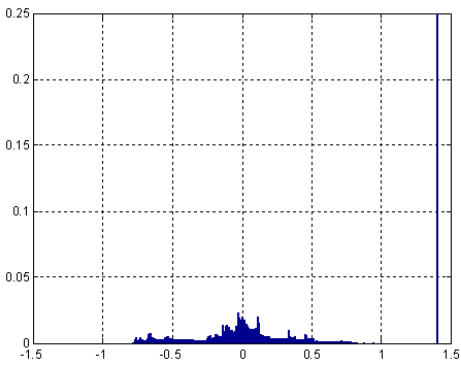


그림 8. 표준화 이후의 PDF. (지연 시간 = 4)
Fig. 8. PDF after normalization. (Delay time = 4)

간을 설정하는데, 두 개의 지연 시간에 따라 BER 성능이 변화한다.

그림 4를 통해, 제안한 카오스 송수신기는 두 개의 지연 시간을 설정할 수 있다는 것을 알 수 있다. 그림 9는 두 개의 지연 시간에 따른 Boss map의 BER 성능을 나타낸다. 그림 9를 보면, 설정된 두 개의 지연 시간의 차가 홀수인 경우에는 BER 성능이 향상되며, 짝수인 경우에는 BER 성능이 열화되는 것을 알 수 있다. 이는 그림 6에서 설명한 것과 유사하게 표준화 이후에 심볼 거리가 설정된 두 개의 지연 시간의 차가 홀수인 경우에 더 멀어지기 때문이다. 따라서 제안한 카오스 송수신기에 Boss map을 사용하는 경우에는 송신기의 두 개의 지연 시간의 차이가 홀수 값을 가질 수 있도록 설정해야 최고의 BER 성능을 가질 수 있다.

그림 10과 그림 11은 지연시간과 시프트시간의 차이가 짝수인 경우와 홀수인 경우의 PDF를 나타낸다. 차이가 짝수인 경우의 전송 신호 PDF를 보면, 0 근처의 값을 가지는 심볼이 굉장히 많기 때문에 BER 성능이 나쁘게 평가된다. 하지만 차이가 홀수인 경우에

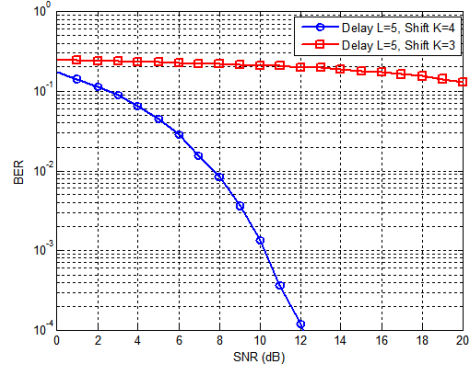


그림 9. 제안한 카오스 송수신기에서 두 개의 지연 시간에 따른 Boss map의 BER 성능.
Fig. 9. BER performance of Boss map according to two delay time in proposed chaos transceiver.

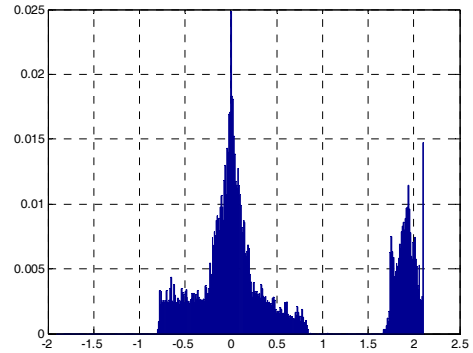


그림 10. 두 지연 시간의 차이가 짝수인 경우의 전송 신호의 PDF.
Fig. 10. PDF of transmitted signal when difference of two delay time is even number.

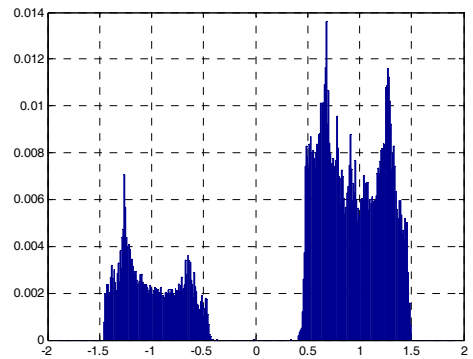


그림 11. 두 지연 시간의 차이가 홀수인 경우의 전송 신호의 PDF.
Fig. 11. PDF of transmitted signal when difference of two delay time is odd number.

는 0 근처의 값을 가지는 심볼이 거의 존재하지 않기 때문에 BER 성능이 좋게 평가된다. 이러한 이유로 인

해, 두 개의 지연 시간의 차이가 홀수 값을 가질 수 있게 설정해야한다.

V. 결론

Boss map은 기존의 카오스 맵보다 굉장히 향상된 BER 성능을 가진다. 따라서 Boss map을 효과적으로 사용하기 위해서는 CDSK 방식과 제안된 카오스 송수신기의 최적의 지연시간을 찾아야한다. 따라서 본 논문에서는 Boss map을 사용했을 때, CDSK 방식과 새로운 송수신기 구조의 지연시간에 따른 BER 성능을 평가하고 CDSK 방식과 제안된 송수신기 구조에서 최고의 BER 성능을 가질 수 있는 지연 시간을 찾는다. 시뮬레이션 결과, CDSK 방식에서 Boss map을 사용하는 경우에는 최고의 BER 성능을 가질 수 있도록 지연 시간을 홀수 값으로 설정해야한다. 또한, 제안된 카오스 송수신기에서 Boss map을 사용하는 경우에는 두 개의 지연 시간의 차이가 홀수 값을 가질 수 있게 설정해야한다.

References

[1] N. F. Rulkov and M. M. Sushchik, "Digital communication using chaotic pulse position modulation," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, vol. 48, pp. 1436-1444, 2001.

[2] W. M. Tam, F. C. M. Lau, and C. K. Tse, "Generalized correlation-delay-shift-keying scheme for noncoherent chaos-based communication systems," *IEEE Trans. Circuits and Syst. I: Regular Papers*, vol. 53, no. 3, pp. 712-721, Mar. 2006.

[3] X. Li, W. Pan, B. Luo, and D. Ma, "Mismatch robustness and security of chaotic optical communications based on injection-locking Chaos Synchronization," *IEEE J. Quantum Electronics*, vol. 42, no. 9, pp. 953-960, Sept. 2006.

[4] M. Sushchik, L. S. Tsimring, and A. R. Volkovskii, "Performance analysis of correlation-based communication schemes utilizing chaos," *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Fundam. Theory Appl.*, vol. 47, no. 12, pp. 1684-1691, Dec. 2000.

[5] J.-H. Lee and H.-G. Ryu, "New chaos map for

BER performance improvement in chaos communication system using the CDSK system," *J. KICS*, vol. 38, no. 8, pp. 629-637, Aug. 2013.

[6] J.-H. Lee and H.-G. Ryu, "A novel transmitter and receiver design of CDSK-based chaos communication system," *J. KEES*, vol. 24, no. 10, pp. 987-993, Oct. 2013.

[7] S. I. Hong and E. Y. Jang, "FPGA implementation of digital transceiver using chaotic signal," *Korea Inst. Inf. Technol. Rev.*, vol. 8, no. 8, pp. 9-15, Aug. 2010.

이 준 현 (Jun-Hyun Lee)



2013년 2월: 충북대학교 전자공학과(공학사)
2013년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 석사과정
<관심분야> 보안 통신, 이동통신 시스템

금 흥 식 (Hong-Sik Keum)



1994년 2월: 충북대학교 전자공학과(공학석사)
2009년 3월~현재: 한국전파진흥협회 전자과학기술원
<관심분야> 디지털 통신 시스템, EMC, 기술 기준 및 표준화

이 동 형 (Dong-Hyung Lee)



1999년 2월: 충북대학교 전자공학과(공학사)
2001년 2월: 충북대학교 전자공학과(공학석사)
2001년~현재: SK Telecom 근무
2007년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> 무선통신 시스템

유 흥 균 (Heung-Gyoon Ryu)



1988년~현재 : 충북대학교 전자
공학과 교수

2002년 3월~2004년 2월 : 충북
대학교 컴퓨터정보통신연구
소 소장

1996년~현재 : IEEE, IET 논문
심사위원

2002년 : 한국전자과학회 학술상 수상

2008년 : ICWMC 2008 국제학술대회 “Best Paper
Award” 수상

2009년 : SPACOMM 2009 국제학술대회 “Best Paper
Award” 수상

<관심분야> 무선 통신 시스템, 위성통신, B4G/5G
이동통신 시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호
처리