

논문 2014-51-5-6

CDSK 변조 방식에서 제안한 카오스 맵의 특성 분석

(Characteristic Analysis of Proposed Chaos Map in CDSK System)

이 준 현*, 유 흥 균**

(Jun-Hyun Lee and Heung-Gyoon Ryu[Ⓢ])

요 약

카오스 통신 시스템은 보안성을 향상시키기 위해 적용하는 보안 알고리즘 중에 하나이다. 카오스 신호는 비선형적이며 초기 조건에 따라 불규칙하게 생성된다. 또한, 카오스 통신 시스템은 비주기성, 광대역성, 비예측성, 구현의 용이성 등의 특성을 가지고 있다. 그래서 카오스 통신 시스템은 보안성이 우수하고 낮은 도청 확률과 좋은 항재밍 특성을 갖는다. 하지만 BER 성능은 디지털 통신 시스템보다 나쁘게 평가되는데, CDSK 방식의 경우에는 많은 자기 간섭 신호로 인해 BER 성능이 열화된다. 이런 단점을 개선하기 위해, 우리는 이전 연구에서 BER 성능을 향상시킬 수 있는 PDF 경향을 분석하고 이를 통해 카오스 맵을 제안하였다. 그리고 제안한 카오스 맵은 Boss map이라고 정의하였다. 일반적으로, 카오스 맵의 초기값과 매개변수, 확산인자에 따라 BER 성능이 달라진다. 따라서, 본 논문에서는 BER 성능을 향상시킬 수 있는 PDF 경향을 소개하고, Boss map에 대해 설명한다. 또한, Boss map의 초기값과 매개변수, 확산인자에 따른 BER 성능을 평가하여 Boss map의 특성을 분석한다. 그 결과, Boss map은 유사한 BER 성능을 유지하면서 초기값을 0부터 1.2까지 선택할 수 있으며, 매개변수 알파값은 2.5일 때 가장 좋은 BER 성능을 보인다. 또한, 확산인자 값이 50일 때 가장 좋은 BER 성능을 가진다.

Abstract

Chaos communication system is one of the security algorithms that is applied to improve the security. Chaos signal is non-linear, and it is generated randomly according to the initial conditions. Also, chaos communication system has characteristics such as non-periodic, wide-band, non-predictability of signals and easy implementation. So, security of chaos communication system is superior, and it has low interception probability and good anti-jamming characteristic. However, BER performance is worse than digital communication system, because it has many self interference signal in case of CDSK system. To improve these disadvantages, we analyze the PDF trend which can improve the BER performance in existing study, and we proposed a chaos map. And, proposed chaos map was defined as the 'Boss map'. Generally, BER performance is changed according to initial values, parameters and spreading factors. Therefore, in this paper, we will introduce PDF trends which can improve the BER performance, and will describe about Boss map. Also, characteristics of Boss map is analyzed by evaluating the BER performance of Boss map according to initial values, parameters and spreading factors. As a result, while maintaining the similar BER performance, initial value of Boss map can be selected from 0 to 1.2, and BER performance is best when parameter alpha is 2.5. Also, BER performance is best when spreading factor is 50.

Keywords : BER performance improvement, Chaos map, Boss map, PDF, Chaos communication system.

* 학생회원, ** 정회원, 충북대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: ecomm@cbu.ac.kr)

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2012017339).

접수일자: 2014년2월24일, 수정일자: 2014년3월23일

수정완료: 2014년4월29일

I. 서 론

최근 무선통신분야의 고도화에 따라 그 이용도가 날로 증가되어 풍부한 정보를 주고받고 있다. 하지만 동시에 정보 수집 수단의 고도화로 적의 도청 및 정보 수

집이 용이해졌다. 이로 인해 무선 통신 분야에서 보안성은 중요한 요인으로 평가되고 있으며, 보안성을 향상시키기 위한 암호화 알고리즘에 대한 연구가 활발히 진행 중이다^[1]. 카오스 통신 시스템은 카오스 신호를 이용하여 시스템의 보안성을 향상시킬 수 있는 보안 알고리즘 중에 하나이다. 카오스 통신 시스템은 확산 스펙트럼 기법을 이용하여 다중경로 전파나 다른 장치로부터의 간섭과 같은 까다로운 환경에서 보안성을 향상시키고 도청의 낮은 확률을 갖게 한다^[2].

카오스 통신 시스템은 카오스 신호를 이용하여 정보 신호의 보안성을 향상시키는데, 이 신호는 비선형적이며 불규칙적으로 생성된다^[3]. 또한, 초기 조건이 조금만 바뀌어도 완전히 다른 신호가 되기 때문에 초기 조건에 민감한 특징을 갖는다. 그리고 카오스 통신 시스템은 비주기성, 광대역성, 신호의 비예측성, 구현의 용이성 등의 특성을 가지고 있다^[4-5]. 이러한 장점들로 인해, 카오스 통신 시스템은 보안성이 우수하게 평가되지만 통신 시스템의 중요한 성능 요소인 BER 성능은 디지털 통신 시스템보다 나쁘게 평가된다. 기존 연구를 보면, 카오스 맵에 따른 BER 성능을 평가하여 가장 좋은 BER 성능을 갖는 카오스 맵 찾거나, 변조 방식이나 확산인자에 따른 BER 성능을 평가하여 최고의 BER 성능을 갖는 변조 방식이나 확산인자를 찾는다^[6-7]. 또한, 우리는 이전연구에서 CDSK 시스템을 기반으로 한 새로운 구조를 제안함으로써 BER 성능을 대폭 향상시켰다. 카오스 통신 시스템의 BER 성능이 나쁘다는 단점을 개선하려는 연구는 매우 중요하며 지속적으로 진행되어야 한다.

이전 연구에서 우리는 CDSK 시스템의 BER 성능을 향상시키기 위해 새로운 카오스 송수신기를 제안하거나 가장 좋은 BER 성능을 갖는 카오스 맵을 찾았었다. 그리고 각 카오스 맵마다 BER 성능이 다른 점을 인지하고 확률밀도함수를 통해 새로운 카오스 맵을 제안하였다. 카오스 맵을 확률밀도함수로 나타내면, 각 카오스 맵 종류마다 확률밀도함수의 모양이 다르게 나타난다. 그래서 우리는 여러 가지 카오스 맵의 확률밀도함수를 통해 BER 성능을 향상시킬 수 있는 확률밀도함수의 경향을 분석하고 그 경향을 통해 새로운 카오스 맵을 제안하였다^[8]. 그리고 제안한 카오스 맵을 'Boss map'이라고 이름 붙였다. CDSK 시스템에서 Boss map은 Tent map보다 5dB 더 좋은 성능을 가진다. 앞에서 설

명했듯이, 카오스 신호는 초기 조건이 조금만 바뀌어도 완전히 다른 신호가 되기 때문에 초기 조건에 민감한 특징을 갖는다. 만약, 특정 초기값을 가질 때만 BER 성능이 좋게 나온다면 초기값 선택폭이 낮은 것이며, 이는 굉장히 제한적인 카오스맵이라고 할 수 있다. 따라서 초기값이나 매개변수에 따른 시스템 성능 변화에 대한 평가는 반드시 필요하다.

본 논문에서는 BER 성능을 향상시킬 수 있는 PDF 경향을 소개하고, Boss map에 대해 설명한다. 또한, Boss map의 초기값과 매개변수, 확산인자에 따른 BER 성능을 평가하여 가장 좋은 BER 성능을 가지는 확산인자 값을 찾고, 초기값 및 매개변수의 선택폭을 평가하고 Boss map의 특성을 분석한다.

II. 시스템의 개요

1. CDSK 시스템

CDSK 시스템의 송신기와 수신기는 그림 1의 (a)와 (b)처럼 구성되며, 송신기의 Adder가 특징인 시스템이다. CDSK 시스템의 송신 신호는 카오스 신호와 정보 신호가 곱해진 지연된 카오스 신호의 합으로 표현된다. 그리고 정보 신호는 수신 신호와 지연된 수신 신호의 곱을 확산인자만큼 더하여 복구할 수 있다.

$$S_i = x_i + b_i x_{i-L} \quad (1)$$

$$S = \sum_{i=1}^M r_i r_{i-L} \quad (2)$$

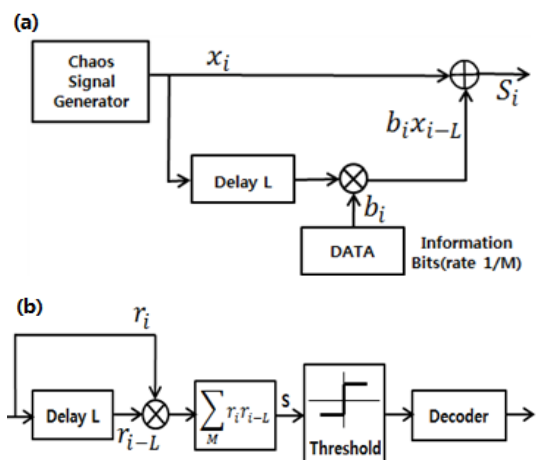


그림 1. CDSK 시스템 블록도. (a) 송신기 (b) 수신기
Fig. 1. Block diagram of CDSK system.
(a) Transmitter (b) Receiver

식(1)은 송신기에서 출력되는 송신신호를 나타낸다. 정보신호 b_i 는 BPSK 변조 방식을 기반으로 하여 -1과 1로 구성된다. 식(2)는 수신기의 상관기 출력을 수식으로 나타낸 것이다. CDSK 수신기에서 수신 신호(r_i)와 지연된 수신신호(r_{i-L})의 곱을 확산인자만큼 더하여 Threshold를 거친 후에 Decoding을 통해 정보신호를 복구한다.

2. Boss map

CDSK 시스템의 BER 성능은 자기 간섭 신호로 인해 나쁘게 평가된다. 따라서 BER 성능을 향상시키는 연구는 굉장히 중요하다. 카오스 맵은 여러 종류가 존재하며 각 카오스 맵마다 BER 성능이 다르게 평가된다. 이는 카오스 맵에 따라 자기 간섭 신호에 대한 영향이 다르기 때문이다. 따라서 우리는 이전 연구에서 카오스 맵의 확률밀도함수를 나타내고 BER 성능을 향상시킬 수 있는 확률밀도함수의 경향을 평가하였다. 그 후, 그 경향을 토대로 새로운 카오스 맵을 제안하였으며^[8], 우리는 제안한 카오스 맵을 'Boss map'이라고 이름 붙였다.

카오스 맵의 확률밀도함수를 평가한 결과, BER 성능을 향상시킬 수 있는 확률밀도함수의 경향은 크게 2가지로 나타난다. 첫 번째 경향은 0 근처 값의 확률이 낮아야 한다는 것이다^[8]. CDSK 수신기에서는 데이터를 임계값 0을 기준으로 판단하게 된다. 하지만 카오스 신호가 0 근처 값으로 이루어질 높은 확률을 가진다면 잡음에 더 민감하게 영향을 받기 때문에 임계값 0에 대한 판정 오류 확률이 높아진다. 따라서 0 근처 값의 확률이 낮아야 한다. 두 번째 경향은 낮은 신호전력을 가져야 한다는 것이다^[8]. CDSK 시스템의 전송 신호는 Normalization 과정을 통해 평균 신호 전력을 1로 조정한다. 낮은 신호 전력을 가진 카오스 신호가 Normalization 과정을 거치면 인접 심볼간의 거리가 더 멀어지기 때문에 인접 심볼 오류 확률이 낮아지며 이런 이유로 인해 BER 성능이 향상된다. 카오스 신호가 낮은 신호 전력을 가진다는 것은 확률밀도함수에서 0 근처 값의 확률이 많다는 것을 의미한다.

이전 연구에서 발견한 BER 성능을 향상시킬 수 있는 2가지의 확률밀도함수 경향은 서로 반대되는 결과이다. 레퍼런스 신호나 잡음으로 인해 발생하는 오류 확률을 줄이기 위해서는 0 근처 값의 확률이 낮아야 하지

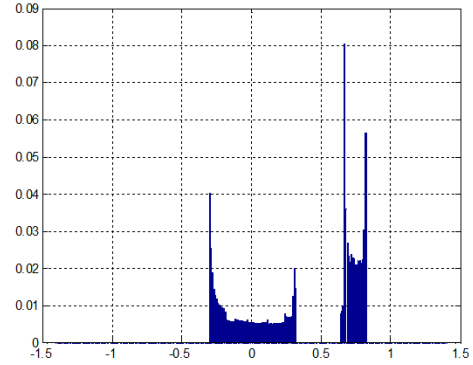


그림 2. Boss map의 확률밀도함수.

Fig. 2. Probability density function of Boss map.

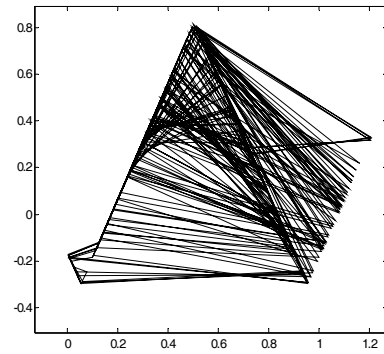


그림 3. Boss map의 궤적.

Fig. 3. Trajectory of Boss map.

만 인접 심볼간의 거리를 멀게 하여 심볼간의 오류를 줄이기 위해서는 0에 근접한 값의 확률을 높게 하여 낮은 신호 전력을 갖도록 해야 한다. 따라서 BER 성능을 향상시킬 수 있는 카오스 맵을 제안하기 위해서는 2가지의 확률밀도함수 경향에 대한 적절한 Trade-Off가 고려되어야 한다^[8].

그림 2는 BER 성능 향상을 위해 제안한 확률밀도함수를 나타낸다. 이 확률밀도함수는 BER 성능을 향상시킬 수 있는 2가지의 확률밀도함수 경향의 Trade-Off를 통해 만들어졌다. 그리고 제안한 확률밀도함수를 수식으로 나타내면 식(3)과 같이 나타낼 수 있다^[8].

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= \alpha |0.45 - |0.503 - x_n|| \\ y_n &= x_n - 0.3 \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)은 제안한 카오스 맵인 Boss map의 방정식을 나타내며 그림 3은 Boss map의 궤적을 나타낸다. 초기 값이 0.1이고 매개변수 α 가 2.5 일 때 그림 3과 같은 궤적을 그리며 x축은 x_n , y축은 y_n 을 의미한다^[8].

III. 성능 평가

카오스 신호는 초기 조건에 따라 완전히 다른 신호가 되기 때문에 초기 조건에 민감한 특징을 갖는다. BER 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 카오스 맵을 제안하더라도 초기값이나 매개변수에 따른 성능 변화를 평가할 필요가 있다. 만약, 특정 초기값을 가질 때만 BER 성능이 좋게 나온다면 초기값 선택폭이 낮은 것이며, 이는 카오스 맵 사용에 제한적일 수밖에 없다. 따라서 초기값이나 매개변수, 확산인자에 따른 시스템 성능 변화 평가는 반드시 필요하다.

Boss map은 BER 성능을 향상시킨 새로운 카오스 맵이다. 그림 4는 CDSK 시스템에서 Boss map을 사용했을 때의 BER 성능을 나타낸다. SF는 확산인자를 의미하며, 그림 4를 통해서 Boss map의 BER 성능이 Tent map보다 더 좋다는 것을 알 수 있다.

CDSK 시스템에서 Boss map을 사용했을 때, 전송 신호의 확률밀도함수는 그림 5로 나타난다. Boss map을 사용하면 BER 성능이 향상되는 이유는 그림 5만 봐도 알 수 있다. 그림 5를 통해, CDSK에서 Boss map이 사용될 때 전송 신호는 0 근처의 값이 아닌 -1과 1 근처의 값으로 생성됨을 알 수 있다. 전송 신호가 0 근처의 값이 아닌 -1과 1 근처의 값으로 생성된다는 것은 잡음으로 인해 발생할 오류 확률을 줄일 수 있다는 의미이고 이런 이유로 인해 BER 성능이 향상되는 것이다.

그림 6은 SNR이 15dB일 때, 초기값에 따른 Boss map의 BER 성능을 나타낸다. 그림 6을 보면, 0부터 1.2

이외의 초기값들은 에러 확률이 1인 것을 알 수 있다. 에러 확률이 1이 되는 초기값들은 카오스 신호의 값이 측정 불가능할 정도로 작거나 큰 값들로 생성되기 때문에 카오스 신호 자체가 생성이 안된다. 이런 이유로 인해, 에러 확률이 1로 측정되는 것이다. 하지만 0부터 1.2까지의 초기값들은 거의 유사한 BER 성능을 가진다는 것을 알 수 있다. 물론, 각각의 초기값에 따라 카오스 신호는 전혀 다른 신호가 되어 생성된다. 즉, BER 성능이 거의 유사하기 때문에 Boss map은 0부터 1.2중의 하나를 초기값으로 설정할 수 있다.

그림 7은 SNR이 15dB일 때, 매개변수 알파값에 따른 Boss map의 BER 성능을 나타낸 것이다. 그림 6과 마찬가지로, 에러 확률이 1이 되는 알파값들은 카오스

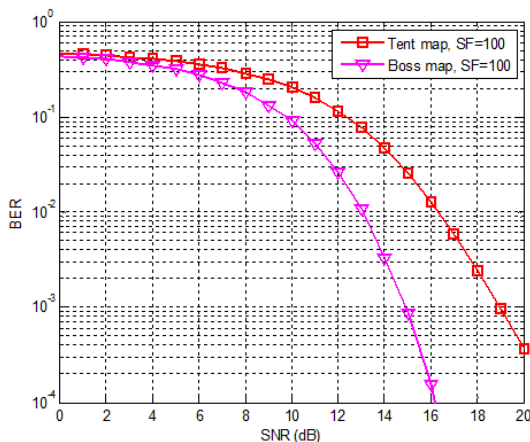


그림 4. Boss map의 BER 성능.
Fig. 4. BER performance of Boss map in CDSK system.

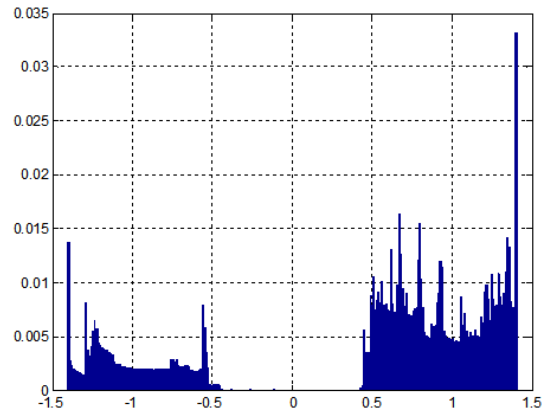


그림 5. Boss map을 사용했을 때 CDSK 시스템의 전송 신호의 확률밀도함수.
Fig. 5. Probability density function of transmission signal in CDSK system when Boss map is used.

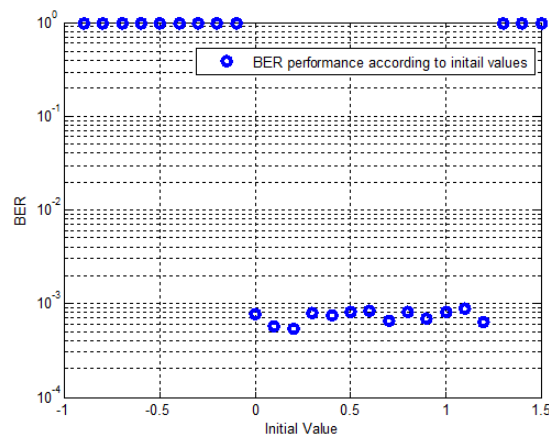


그림 6. 초기값에 따른 Boss map의 BER 성능.
Fig. 6. BER performance of Boss map according to initial values.

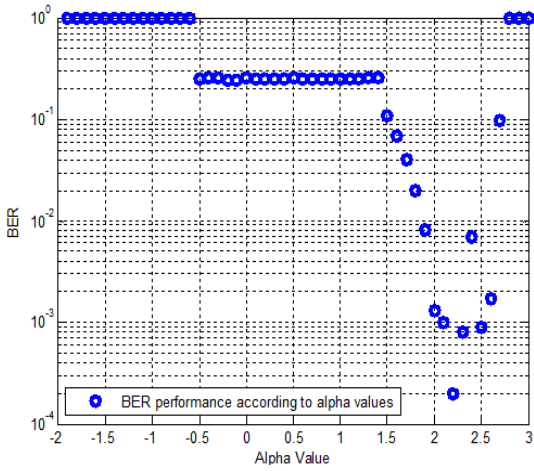


그림 7. 매개변수 알파값에 따른 Boss map의 BER 성능.
Fig. 7. BER Performance of Boss map according to values of parameter alpha.

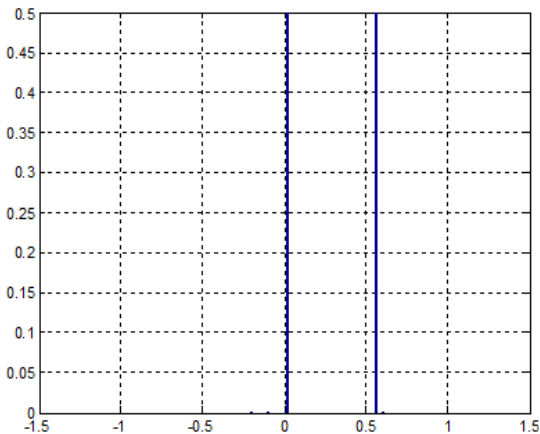


그림 8. 알파값이 2.2일 때, Boss map의 확률밀도함수.
Fig. 8. Probability density function of Boss map when value of parameter alpha is 2.2.

신호의 값이 측정 불가능할 정도로 작거나 큰 값들로 생성된다. 알파값을 -0.5부터 1.4중에 설정한다면 BER 성능이 나쁘게 평가되며, 알파값이 2.2일 때 BER 성능이 가장 좋다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 알파값이 2.2로 설정되었을 때 Boss map의 확률밀도함수를 나타낸다. 그림 8을 보면, 알파값이 2.2 일 때 카오스 신호는 단 두 개의 값으로만 이루어져 있따는 것을 알 수 있다. 그림 7을 통해, 알파값이 2.2로 설정되면 가장 좋은 BER 성능을 가진다는 것을 확인했다. 하지만 Boss map의 알파값이 2.2로 설정되면 카오스 신호는 두 개의 값이 서로 번갈아가면서 생성되기 때문에 비선형적이고 불규칙하게 생성되는 특징을 갖는

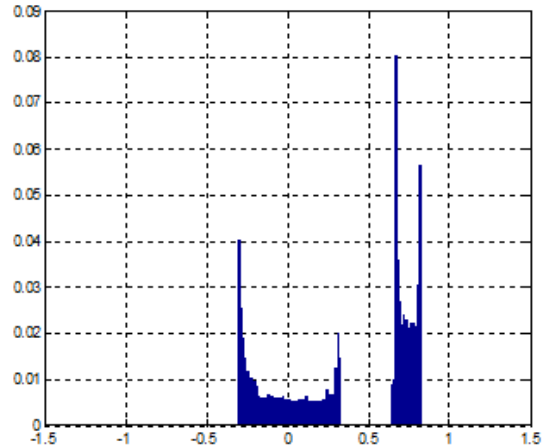


그림 9. 알파값이 2.5일 때, Boss map의 확률밀도함수.
Fig. 9. Probability density function of Boss map when value of parameter alpha is 2.5.

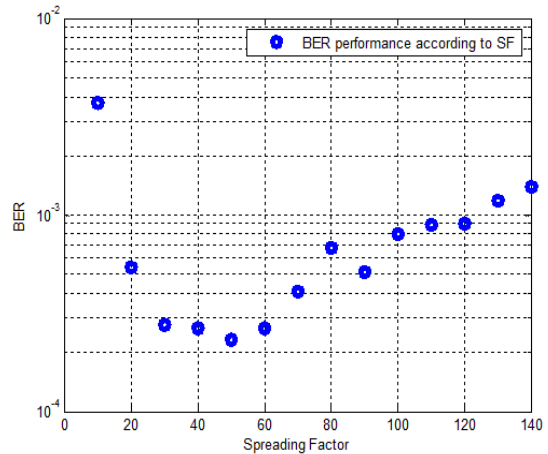


그림 10. 확산 인자에 따른 Boss map의 BER 성능.
Fig. 10. BER Performance of Boss map according to spreading factors.

카오스 신호라고 말 할 수 없다.

그림 7을 보면, 알파값이 2.2일 때 다음으로 좋은 BER 성능을 갖는 알파값은 2.3이다. 하지만 알파값이 2.3일 때 두 개의 값이 반복되는 신호가 생성된다. 따라서 Boss map의 알파값으로 2.2와 2.3은 설정해서는 안 된다. 알파값이 2.3일 때 다음으로 좋은 BER 성능을 갖는 알파값은 2.5인데, 알파값이 2.5일 때 Boss map의 확률밀도함수는 그림 9와 같이 나타난다. 따라서 가장 좋은 BER 성능을 갖는 Boss map의 매개변수 알파값은 2.5이다.

그림 10은 SNR이 15dB일 때, 확산인자에 따른 Boss map의 BER 성능을 나타낸 것이다. 그림 10을 보면, 확산인자가 50으로 설정되었을 때가 가장 좋은 BER 성능

을 가진다는 것을 알 수 있다. 확산인자가 커질수록 확산 이득으로 인해 BER 성능이 향상되지만 어느 확산 인자 값을 기점으로 확산 이득보다 자기 간섭 신호의 영향이 더 커지게 되어 BER 성능이 열화된다. 즉, Boss map의 가장 좋은 BER 성능을 위해서는 확산인자를 50으로 설정해야 한다.

V. 결 론

본 논문에서는 CDSK 시스템에서 BER 성능을 향상시킨 새로운 카오스 맵인 Boss map을 소개한다. 또한, Boss map의 초기값과 매개변수, 확산인자에 따른 BER 성능을 평가하여 가장 좋은 BER 성능을 가지는 확산인자 값을 찾고, 초기값 및 매개변수의 선택폭을 평가하고 Boss map의 특성을 분석한다. 평가 결과, Boss map은 초기값을 0부터 1.2까지 설정할 수 있으며, 각 초기값에 대해 거의 유사한 BER 성능을 갖는다. 그리고 각각의 초기값에 따라 전혀 다른 카오스 신호가 생성되기 때문에 Boss map의 초기값 선택폭은 0부터 1.2까지라고 할 수 있다. Boss map의 매개변수로는 α 가 있는데, 가장 좋은 BER 성능을 갖는 알파값은 2.2이다. 하지만 알파값으로 2.2를 설정하면 두 개의 값이 번갈아가면서 나오기 때문에 이 신호를 카오스 신호로 보기 어렵다. 따라서 비선형적이고 불규칙적인 카오스 신호의 특성을 가지면서 가장 좋은 BER 성능을 갖는 알파값을 찾아야 하며, 시뮬레이션 결과로 그 값이 2.5라는 것을 알 수 있다. CDSK 시스템에서는 BER 성능은 확산인자에 따라 다르게 평가된다. 시뮬레이션 결과, Boss map을 사용할 때 확산인자를 50으로 설정할 때 가장 좋은 BER 성능을 가진다는 것을 확인할 수 있다.

REFERENCES

[1] G. Kaddoum, D. Roviras, P. Charge, and D. Fournier-Prunaret, "Performance of multi-user chaos-based DS-CDMA system over multipath channel," in Proc. IEEE Int. Symp. Circuits Syst. (ISCAS), Taipei, Taiwan, pp. 2637-2640, May 2009.

[2] Xiaofeng Li, Wei Pan, Bin Luo, and Dong Ma, "Mismatch robustness and security of chaotic optical communications based on injection-locking Chaos Synchronization," IEEE JOURNAL

OF QUANTUM ELECTRONICS, Vol. 42, No. 9, Sep. 2006.

[3] M. Sushchik, L.S. Tsimring, and A.R. Volkovskii, "Performance analysis of correlation-based communication schemes utilizing chaos," IEEE Transactions on, Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, vol. 47, no. 12, pp. 1684-1691, Dec. 2000.

[4] C. YiPing, S. Ying, and Z. Dianlun, "Performance of differential chaos-shift-keying digital communication systems over several common channels," in Proc. 2010 2nd Int. Conf. Future Comput. Commun. (ICFCC), vol. 2, pp. 755-759, May 2010.

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

[6] Junyeong Bok, and Heung-Gyoon Ryu, "Digital chaotic communication system based on CDSK modulation," J. Korean Inst. Commun. Inform. Sci. (KICS), vol. 38A, no. 6, pp. 479-485, June 2013.

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

[8] Jun-Hyun Lee, and Heung-Gyoon Ryu, "New chaos map for BER performance improvement in chaos communication system using the CDSK system," Korea Institute of Communication Sciences on, vol. 38, no. 8, pp. 629-637, Aug. 2013.

 저 자 소 개



이 준 현(학생회원)
 2013년 충북대학교 전자공학과
 공학사
 2013년~현재 충북대학교
 전자공학과 석사과정
 <주관심분야 : 보안 통신, 이동
 통신 시스템>



유 흥 균(정회원)
 1988년~현재 충북대학교
 전자공학과 교수
 2002년 3월~2004년 2월 충북대학
 교 컴퓨터정보통신연구소
 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
 <주관심분야 : 무선통신시스템, 위성통신,
 B4G/5G 이동통신 시스템, 통신회로 설계 및 통신
 신호 처리>