

논문 2014-51-1-4

고레벨 변조를 위한 새로운 카오스 송수신기의 성능 평가

(Performance Evaluation of a Novel Chaos Transceiver for the High Level Modulation)

이 준 현*, 유 흥 균**

(Jun-Hyun Lee and Heung-Gyoon Ryu[©])

요 약

초기조건에 민감한 특징을 가지는 카오스 통신 시스템은 보안성이 디지털 통신 시스템보다 우수하게 평가되지만 BER 성능은 나쁘게 평가되기 때문에 BER(Bit Error Rate) 성능을 향상시키는 연구가 중요하다. 이전 연구에서 제안한 카오스 송수신기는 원하는 신호에 잡음과 같이 더해지는 요소가 매우 적기 때문에 기존 CDSK(Correlation Delay Shift Keying) 방식보다 BER 성능이 굉장히 많이 향상된다. 카오스 통신 시스템은 카오스 맵 특성에 따라 정보 신호를 확산시키고 전송하기 때문에 전송 심볼의 수가 많다. 따라서 카오스 통신 시스템의 데이터 전송 속도를 좋게 하는 연구가 필요하다. 기존의 카오스 변조 방식은 BPSK 방식을 기반으로 정보 신호를 -1과 1로 변조시킨다. 하지만 BPSK 방식 대신에 QPSK나 QAM과 같은 고레벨 변조 방식을 기반으로 한다면 한 번에 더 많은 데이터를 전송할 수 있기 때문에 카오스 통신 시스템의 데이터 전송 속도를 좋게 만드는 것이 가능하다. 본 논문에서는 이전 연구에서 제안한 카오스 송수신기를 사용하며 이 시스템에 QPSK와 16QAM을 적용했을 때, SER(Symbol Error Rate) 성능을 평가하고 각 성능을 비교한다. 또한, 제안한 카오스 송수신기에서 정보신호를 QPSK와 16QAM을 기반으로 변조시켰을 때, 제안한 카오스 송수신기가 항재밍 성능을 갖는지 평가한다.

Abstract

Security of chaos communication system that has characteristic of sensitive initial conditions is superior to digital communication systems, but BER(Bit Error Rate) performance is evaluated badly. So, studies in order to improve the BER performance is important. existing studies, BER performance of proposed chaos transceiver is possible to improve than the CDSK(Correlation Delay Shift Keying) system because it has characteristic that has very few addition elements like noise signal except for the desired signal. Chaos communication system has many symbols because it spreads according to characteristic of chaos map. Therefore, study that can have the good data rate in chaos communication system is required. Information bits of existing chaos modulation system are modulated as -1 and 1 on the basis of BPSK system. However, instead of BPSK system, if chaos communication system is applied high level modulation systems such as QPSK system and 16QAM system, it is possible to have good data rate because more data are transmitted at a time. In the paper, when QPSK system and 16QAM system are applied to proposed chaos transceiver in existing study, we evaluate the SER(Symbol Error Rate) performance and compare the each performance. Also, when QPSK system and 16QAM system are applied to proposed chaos transceiver, we evaluate the anti-jamming performance of proposed system.

Keywords : Chaos System, Novel Transceiver, BER performance, High Level Modulation, Anti-Jamming.

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

[©] Corresponding Author(E-mail: ecomm@cbu.ac.kr)

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

접수일자: 2013년9월6일, 수정완료일: 2013년12월23일

I. 서 론

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^[1]. 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^[2]. 항재밍 특성은 시스템의 신뢰성과 안정성을 결정짓는 중요한 척도이다.

하지만 카오스 통신 시스템은 BER(Bit Error Rate) 성능이 좋지 않다는 단점을 갖고 있다. 따라서 BER 성능을 향상시키는 연구가 필요하다. 기존 연구를 보면 BER 성능을 향상시킬 수 있는 PDF 경향을 분석하여 향상된 BER 성능을 갖는 카오스 맵을 찾거나 변조 방법 또는 확산 인자에 따라 BER 성능을 평가한다^[3~5]. 또한, 항재밍 특성을 평가하여 시스템의 신뢰성 및 안정성을 평가한다^[6]. 반면에 시스템 구조를 바꿈으로써 BER 성능을 향상시키기 위한 연구는 활발히 진행되지 않고 있다. 우리는 이전 연구에서 자기 간섭 신호를 줄임으로써 BER 성능을 향상시키기 위해 새로운 카오스 송수신기를 제안하고 BER 성능을 평가하였다^[7]. 제안한 카오스 송수신기를 사용하면 원하는 신호 외에 간섭 신호로 더해지는 요소가 굉장히 적어지기 때문에 CDSK(Correlation Delay Shift Keying) 방식보다 제안한 카오스 송수신기의 BER 성능이 굉장히 좋아진다^[7]. 따라서 카오스 통신 시스템의 BER 성능이 안 좋다는 단점을 해결하기 위해서 제안한 카오스 송수신기를 사용해야 한다.

카오스 통신 시스템은 카오스 신호에 따라 정보신호를 확산하여 전송하기 때문에 전송 심볼의 수가 많다. 이런 이유로 인해 카오스 통신 시스템의 데이터 전송 속도를 좋게 하는 연구가 필요하다. 기존 CDSK 방식은 BPSK 방식을 기반으로 정보 신호를 -1과 1로 변조시켜 카오스 신호와 곱해지는 구조를 가진다^[8]. 따라서 하나의 데이터를 하나의 심볼에 담아서 전송하는데, 고레벨 변조 방식을 사용하면 한 심볼에 더 많은 데이터를 담을 수 있기 때문에 카오스 통신 시스템의 데이터 전송 속도를 좋게 만들 수 있다.

기존 카오스 통신 시스템은 BPSK 방식을 기반으로 정보신호를 변조하지만 데이터 전송 속도를 좋게 하기 위해 QPSK 방식과 16QAM 방식을 적용해야 한다. 본 논문에서는 이전 연구에서 제안한 카오스 송수신기가

사용되며 QPSK 변조 방식과 16QAM 변조 방식을 적용한다. 또한, QPSK 변조 방식과 16QAM 변조 방식을 적용한 CDSK 방식의 SER 성능을 평가한다. 마지막으로 제안한 카오스 송수신기에 QPSK 변조 방식과 16QAM 변조 방식을 적용하였을 때, 시스템의 신뢰성 및 안정성 평가를 위해 항재밍 특성을 평가한다.

II. 제안한 카오스 송수신기

기존 연구에서는 기존 카오스 방식의 BER 성능이 좋지 않다는 단점을 보완하기 위해 새로운 카오스 송수신기를 제안하였다. 기존 카오스 변조 방식은 원하는 신호를 제외한 간섭 신호가 굉장히 많기 때문에 BER 성능이 열화 된다. 하지만 제안한 카오스 송수신기를 사용하면 간섭 신호를 굉장히 줄일 수 있기 때문에 BER 성능 향상이 가능하다.

그림 1은 제안한 카오스 송수신기를 나타낸다. 이 수신기는 CDSK 방식의 기존 수신기와 다르게 카오스 신호 발생기에서 생성된 카오스 신호를 더하는 것이 아닌 시프트 시켜서 더해준다. 기존의 송수신기를 사용하여 데이터를 전송하는 경우에 제안한 카오스 수신기뿐만 아니라 기존 수신기로도 정보 신호를 복원할 수 있기 때문에 제안한 카오스 수신기를 사용할 때만 정보 신호를 복원할 수 있게 전송하는 새로운 송수신기가 필요하다.

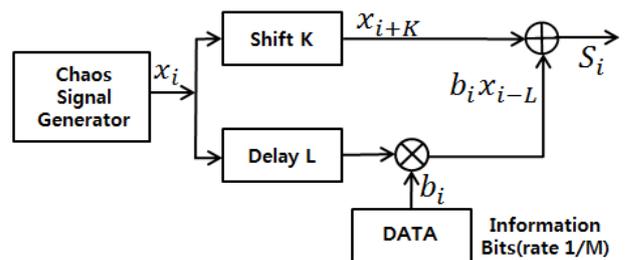


그림 1. 제안한 카오스 송신기
Fig. 1. Proposed chaos transmitter.

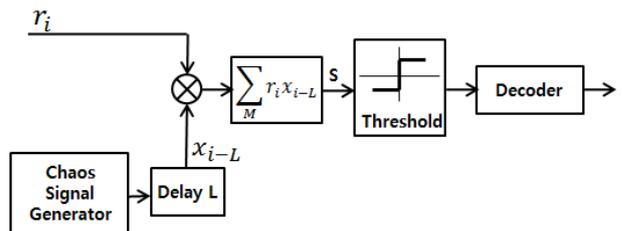


그림 2. 제안한 카오스 수신기
Fig. 2. Proposed chaos receiver.

만약 그림 1과 같은 수신기를 사용할 때에 기존 수신기에서는 정보 신호를 복원할 수 없다.

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

식(1)은 제안한 카오스 송신기의 전송신호를 나타낸다. 이 때, L은 딜레이 시간을 의미하며 K는 시프트 시간을 의미한다. 이 송신기의 전송 신호는 정보신호가 사상된 지연 카오스 신호와 특정 값만큼 이동시킨 카오스 신호의 합으로 나타난다.

그림 2는 제안한 카오스 수신기를 나타낸다. 제안한 카오스 수신기는 기존 수신기와는 다르게 송신단에서 사용한 카오스 신호의 정보가 필요하다. 카오스 신호의 정보가 정확하지 않다면 정보신호의 복원이 불가능하기 때문에 이 수신기는 CDSK 수신기보다 더 높은 보안성을 가진다.

$$\begin{aligned} S &= \sum_{i=1}^M (x_i + b_i x_{i-L} + \xi_i)(x_{i-L} + b_i x_{i-2L} + \xi_{i-L}) \\ &= b_i \sum_{i=1}^M x_{i-L}^2 + \sum_{i=1}^M n_i \\ n_i &= x_i x_{i-L} + \xi_i x_{i-L} + b_i x_i x_{i-2L} + b_i^2 x_{i-L} x_{i-2L} \\ &\quad + \xi_i b_i x_{i-2L} + x_i \xi_{i-L} + b_i x_{i-L} \xi_{i-L} + \xi_i \xi_{i-L} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} S &= \sum_{i=1}^M (x_{i+K} + b_i x_{i-L} + \xi_i) x_{i-L} \\ &= b_i \sum_{i=1}^M x_{i-L}^2 + \sum_{i=1}^M n_i \\ n_i &= x_{i+K} x_{i-L} + \xi_i x_{i-L} \end{aligned} \quad (3)$$

식(2)는 기존 CDSK 방식의 상관기 출력을 나타낸다. 식(2)를 보면, CDSK 방식의 상관기 출력에는 원하는 신호를 제외한 간섭 신호(n_i)가 굉장히 많다는 것을 알 수 있다. 카오스 통신 시스템의 BER 성능이 디지털 시스템보다 안 좋게 평가되는 것은 이 간섭 신호가 많기 때문이다. 그러므로 이 간섭 신호를 줄일 수 있다면 카오스 통신 시스템의 BER 성능을 향상시킬 수 있다. 식(3)은 제안한 카오스 수신기의 상관기 출력을 나타낸다. 간섭 신호가 CDSK 방식의 간섭 신호보다 굉장히 적어지는 것을 알 수 있다. 즉, 제안한 카오스 수신기를 사용하는 경우에 BER 성능이 향상된다.

III. 성능 평가

기본적으로 카오스 통신 시스템의 CDSK 방식과 제안한 카오스 송수신기는 정보 신호를 -1과 1로 변조시키는 BPSK 방식을 기반으로 하고 있다. 하지만 카오스 통신 시스템은 카오스 신호에 따라 확산시켜 심볼을 전송하기 때문에 데이터 전송 시간이 오래 걸린다. 따라서 고레벨 변조 방식을 적용하여 데이터 전송 시간을 좋게 할 필요가 있다. 본 논문에서는 제안한 카오스 송수신기에 QPSK 변조 방식과 16QAM 변조 방식을 적용했을 때, SER 성능을 평가한다. 또한, 이 때의 항재밍 특성을 평가하여 시스템의 신뢰성과 안정성을 평가한다.

그림 3은 제안한 카오스 송수신기를 사용하는 경우의 BER 성능을 나타낸 것이다. 기존 CDSK 방식을 사용하는 경우보다 제안하는 송수신기를 사용할 때 BER 성능이 약 8.5dB 정도 향상되는 것을 알 수 있다. 이는 앞장에서 서술한대로 제안한 카오스 수신기의 구조가 간섭 신호를 식(3)처럼 줄일 수 있기 때문이다. 또한, 기존 카오스 수신기는 확산인자 값과 지연 시간만 알 수 있다면 신호의 복구가 가능하지만, 제안한 카오스 송수신기를 사용하면 송신기에서 사용한 카오스 신호를 알아야만 신호를 복원시킬 수 있다.

그림 4는 제안한 카오스 송수신기에 QPSK 변조 방식을 적용했을 때의 SER(Symbol Error Rate) 성능을 나타낸 것이다. 그림 4를 보면, 제안한 카오스 송수신기

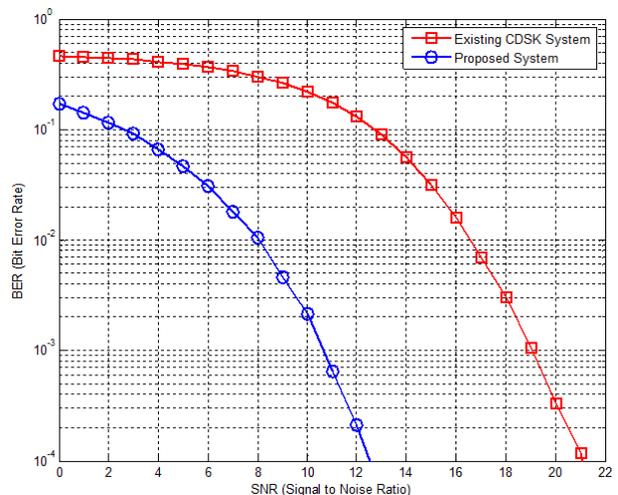


그림 3. 제안한 카오스 송수신기의 BER 성능
Fig. 3. BER performance of proposed chaos transceiver.

에서 정보 신호를 QPSK 방식으로 변조하는 경우 데이터 전송 속도는 2배 빨라진다. 그리고 정보 신호를 QPSK 방식으로 변조하면 BPSK 방식으로 변조하는 것보다 SER 성능이 나빠지지만 CDSK 방식보다는 훨씬 좋은 SER 성능으로 평가된다.

그림 5는 CDSK 방식에서 정보 신호를 QPSK 방식과 16QAM 방식으로 변조했을 때의 SER 성능을 나타낸다. CDSK 방식에서 정보 신호가 16QAM 방식으로 변조되는 경우 SER 성능이 굉장히 나쁜 것을 알 수 있

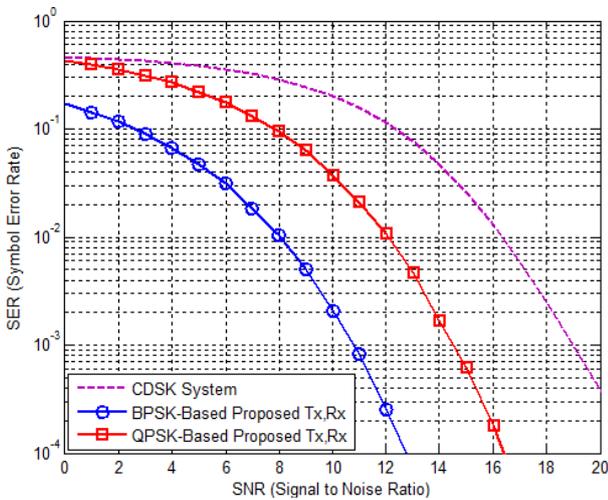


그림 4. QPSK 방식을 기반으로 하는 제안한 카오스 송수신기의 SER 성능 평가

Fig. 4. SER performance of proposed chaos transceiver on the basis of QPSK system.

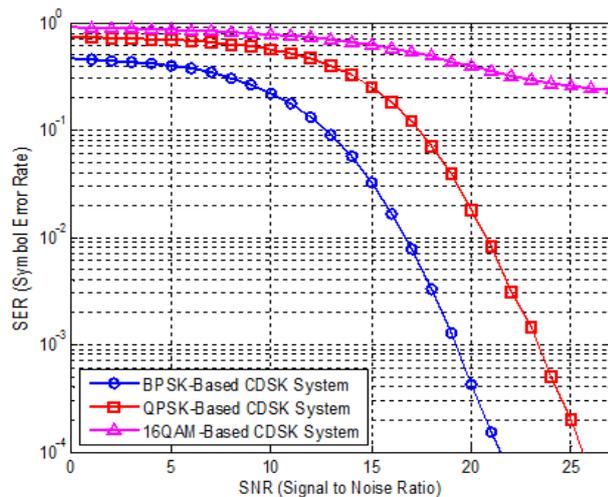


그림 5. 16QAM 방식을 기반으로 하는 CDSK 방식의 SER 성능 평가

Fig. 5. SER performance of CDSK system on the basis of QPSK system.

다. BPSK 변조 방식의 제안한 카오스 송수신기의 성능 평가는 BER 성능으로 평가했다. 하지만 BPSK 변조 방식인 경우에는 한 심볼이 하나의 데이터이므로 BER과 SER은 같다.

그림 6은 제안한 카오스 수신기에서 정보 신호를 16QAM 방식으로 변조시켰을 때의 SER 성능을 나타낸 것이다. 그림 6을 보면 16QAM 방식을 적용하면 BPSK 방식을 적용했을 때보다 SER 성능은 나빠지지만 데이터 전송 속도는 4배 좋아진다. 또한, 그림 5와 비교해보면, CDSK 방식에 16QAM 방식을 적용하는 것보다 제안한 카오스 송수신기에 적용할 때의 SER 성능이 더 좋은 것을 알 수 있다. 16QAM 변조 방식을 제안한 카오스 송수신기에 적용했을 때, 높은 수준의 SNR에서 SER 성능이 좋지 않다. 하지만 기존 CDSK 방식과 비교해보면 SER 성능이 굉장히 좋다는 것을 알 수 있다.

카오스 통신 시스템의 항재밍 특성은 카오스 통신 시스템이 갖는 장점 중에 하나이다. 그림 7은 제안한 카오스 송수신기의 항재밍 특성을 평가한 것이다. 그림 7을 보면, SJR(Signal to Jammer Ratio)이 0dB와 5dB일 때, 제안한 카오스 송수신기가 재밍 신호에 강하다는 것을 알 수 있다. 즉, 제안한 카오스 송수신기는 항재밍 특성을 가진다.

따라서 고레벨 변조 방식을 적용하였을 때도 그 카오스 통신 시스템이 항재밍 특성을 갖는지를 평가해야한다. 그림 8은 QPSK 방식을 적용한 제안한 카오스 송수

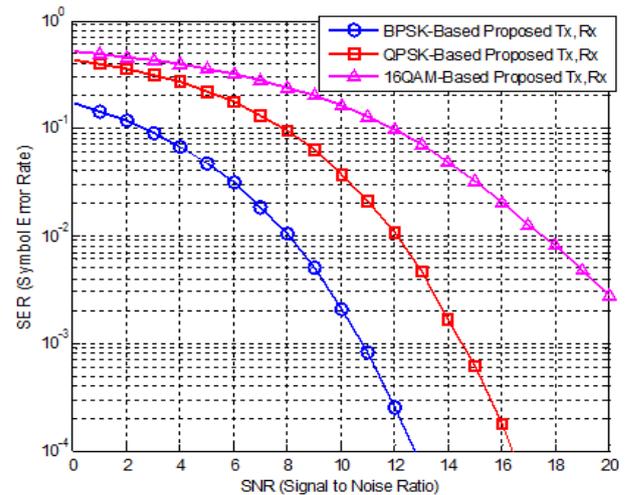


그림 6. 16QAM 방식을 기반으로 하는 제안한 카오스 송수신기의 SER 성능 평가

Fig. 6. SER performance of proposed chaos transceiver on the basis of 16QAM system.

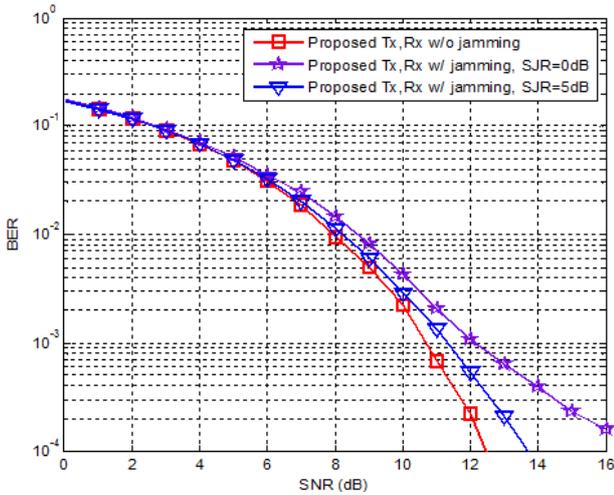


그림 7. 제안한 카오스 송수신기의 항재밍 성능 평가
Fig. 7. Anti-jamming performance of proposed chaos transceiver.

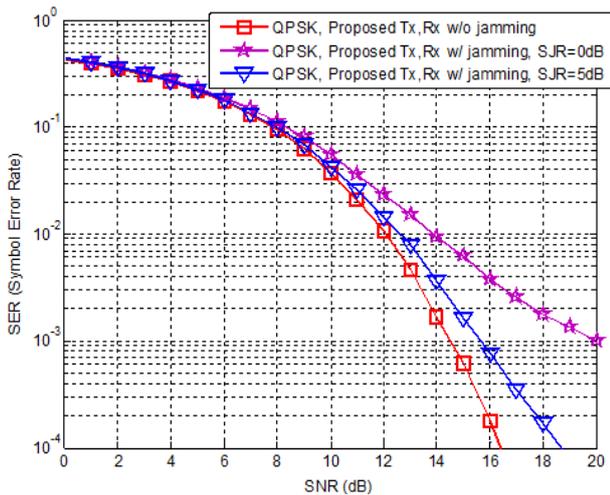


그림 8. QPSK 방식을 기반으로 하는 제안한 카오스 송수신기의 항재밍 성능 평가
Fig. 8. Anti-jamming performance of proposed chaos transceiver on the basis of QPSK system.

신기의 항재밍 특성을 평가한 것이다. 그림 7과 그림 8을 비교해보면, QPSK를 적용한 제안한 카오스 송수신기는 항재밍 특성을 갖는다는 것을 알 수 있다. 그림 7은 BER 성능을 평가했지만 BPSK 변조 방식은 BER 성능과 SER 성능이 같다.

그림 9는 제안한 카오스 송수신기에 16QAM 방식을 적용했을 때의 항재밍 특성을 평가한 것이다. 그림 9를 보면, 제안한 카오스 송수신기에 16QAM 방식을 적용하더라도 항재밍 특성을 가진다는 것을 알 수 있다.

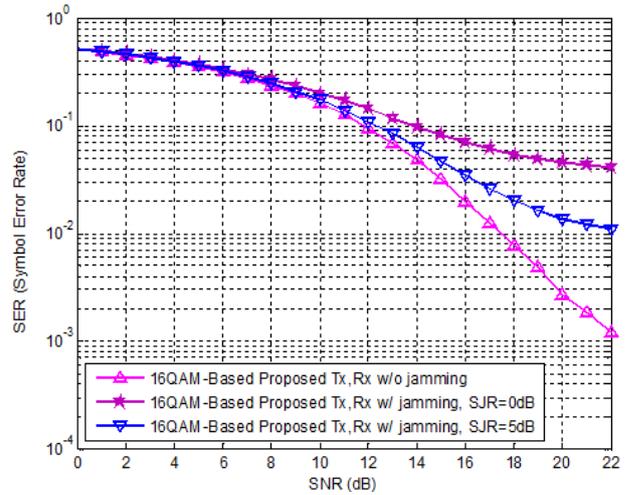


그림 9. 16QAM 방식을 기반으로 하는 제안한 카오스 송수신기의 항재밍 성능 평가
Fig. 9. Anti-jamming performance of proposed chaos transceiver on the basis of 16QAM system.

IV. 결 론

본 논문에서는 제안한 카오스 송수신기에서 정보 신호를 QPSK 방식과 16QAM 방식으로 변조할 때의 SER 성능을 평가한다. 또한, BPSK 방식과 QPSK 방식 그리고 16QAM 방식을 적용했을 때, 카오스 통신 시스템의 장점 중에 하나인 항재밍 특성을 평가한다. 제안한 카오스 송수신기를 사용하는 경우 CDSK 방식보다 SER 성능이 굉장히 향상된다. 제안한 카오스 송수신기에 데이터 전송 속도를 좋게 하기 위해서 QPSK 방식을 적용하면 비록 SER 성능은 나빠지게 되지만 CDSK 방식의 SER 성능보다는 좋은 SER 성능을 갖는다. 또한 데이터 전송 속도는 BPSK 방식보다 2배 좋아지는 장점을 갖는다. 제안한 카오스 송수신기에 16QAM을 적용하는 경우의 SER 성능은 CDSK 방식의 SER 성능과 비슷하게 나오며 데이터 전송 속도는 BPSK 방식을 적용하는 것보다 4배 좋아진다. 그리고 제안한 카오스 송수신기에 QPSK 방식과 16QAM 방식을 적용했을 때에 항재밍 특성을 평가하였다. 그 결과, BPSK 방식과 QPSK 방식 그리고 16QAM 방식 모두 재밍 신호에 강한 성능을 갖는다는 것을 알 수 있다. 즉, 제안한 카오스 송수신기에 QPSK, 16QAM을 적용하면 기존 CDSK 방식의 SER 성능보다 좋거나 비슷한 SER 성능을 가지면서 데이터 전송 속도를 2배, 4배 더 좋게 만들 수 있

으며 QPSK, 16QAM을 적용한 제한한 카오스 시스템도 항재밍 특성을 갖는다는 것을 알 수 있다.

REFERENCES

- [1] M. Sushchik, L.S. Tsimring and A.R. Volkovskii, "Performance analysis of correlation-based communication schemes utilizing chaos," Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, IEEE Transactions on, vol. 47, no. 12, pp. 1684-1691, Dec. 2000.
- [2] Sung Il Hong and Eun Young Jang, "FPGA implementation of digital transceiver using chaotic signal," Korea Institute of Information Technology Review, vol. 8, no. 8, pp. 9-15, Aug. 2010.
- [3] Junyeong Bok and Heung-Gyoon Ryu, "Digital chaotic communication system based on CDSK modulation," The Journal of the Korean Institute of Communications and Information Sciences, vol. 38A, no. 6, pp. 479-485, June 2013.
- [4] M.A. Ben Farah, A. Kachouri and M. Samet, "Design of secure digital communication systems using DCSK chaotic modulation," Design and Test of Integrated Systems in Nanoscale Technology, 2006. DTIS 2006. International Conference on, pp. 200-204, Sept. 2006.
- [5] Chen YiPing, Shi Ying and Zhang Dianlun, "Performance of differential chaos-shift-keying digital communication systems over several common channels," Future Computer and Communication (ICFCC), 2010 2nd International Conference on, vol. 2, pp. 755-759, May 2010.
- [6] Jun-Hyun Lee and Heung-Gyoon Ryu, "Anti-jamming performance of chaos communications system using DCSK and CDSK modulation method," The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, vol. 24, no. 4, pp. 417-425, Apr. 2013.
- [7] Jun-Hyun Lee and Heung-Gyoon Ryu, "A Novel Design of CDSK Receiver for Improving the BER Performance," The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, vol. 38, no. 8, Aug. 2013.
- [8] Q. Ding and J. N. Wang, "Design of frequency-modulated correlation delay shift keying chaotic communication system," Communications, IET, vol. 5, no. 7, pp. 901-905, May 2011.

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>