

CDSK 방식의 카오스 통신 시스템의 새로운 송·수신기 설계

A Novel Transmitter and Receiver Design of CDSK-Based
Chaos Communication System

이 준 현 · 유 흥 균

Jun-Hyun Lee · Heung-Gyoon Ryu

요 약

카오스 통신 시스템은 신호의 비예측성, 광대역성, 비주기성, 구현의 용이성 등의 특징을 가지고 있다. 또한, 카오스 방식의 초기 조건이 미세하게 변함에 따라 카오스 신호는 전혀 다른 신호가 되기 때문에, 카오스 통신은 초기 조건에 민감하다는 특징을 갖는다. 이런 특징으로 인해 카오스 통신 시스템은 다른 디지털 통신 시스템보다 보안성이 우수하게 평가된다. 하지만 기존 카오스 통신 시스템의 송수신기는 레퍼런스 신호나 잡음에 많은 영향을 받기 때문에, BER(Bit Error Rate) 성능은 다른 디지털 시스템보다 나쁘게 평가된다. 그래서 카오스 통신 시스템의 BER 성능 향상과 관련된 연구는 지속적으로 활발하게 이루어지고 있다. 본 논문에서는 BER 성능 향상을 위한 새로운 CDSK(Correlation Delay Shift Keying) 수신기를 제안한다. 그리고 기존 수신기와 제안한 수신기의 BER 성능 비교를 통해서 제안한 수신기의 BER 성능 향상을 평가한다. 하지만 제안하는 수신기를 사용하는 경우 BER 성능은 크게 향상되지만, 기존의 송신기를 사용하면 제안하는 수신기뿐만 아니라, 비록 BER 성능은 안 좋더라도 기존의 수신기로도 정보 신호를 복원할 수 있다. 따라서 제안하는 수신기의 보안성을 향상시키기 위해서는 제안하는 수신기로만 정보 비트를 복원할 수 있는 새로운 CDSK 송신기를 제안한다. 제안하는 송신기를 이용하여 정보 신호를 전송하는 경우에 기존의 수신기로는 정보 신호를 복원할 수 없고, 제안한 수신기를 사용해야 정보 신호를 복원할 수 있다.

Abstract

Chaos communication system has characteristics of non-periodic, non-predictability, broadband signal and easy implementation. Also, chaos communication system is sensitive to the initial value, because completely another signal is generated when initial value of chaos equation is changed subtly. By these characteristics, security of chaos communication system is generally evaluated better than other digital communication systems. However, BER(Bit Error Rate) performance is worse than other digital communication systems, because transmitter and receiver of existing chaos communication system are strongly influenced by reference signal and noise. So, studies in order to improve the BER performance of chaos communication system is continuously performed. In this paper, We will propose a new CDSK (Correlation Delay Shift Keying) receiver in order to improve the BER performance. After we compare to the performance of existing receiver and proposed receiver, BER performance of proposed receiver evaluate. A novel receiver has characteristic that BER performance is better than existing receiver. However, if existing transmitter is used, existing receiver is possible to recover information bits even though BER performance is bad. Therefore, we propose a novel

「이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2012017339)」
충북대학교 전자공학과(Department of Electronics and Engineering, Chungbuk National University)

· Manuscript received July 16, 2013 ; Revised September 11, 2013 ; Accepted September 23, 2013. (ID No. 20130716-061)

· Corresponding Author : Heung-Gyoon Ryu (e-mail : ecomm@cbu.ac.kr)

CDSK transmitter in order to improve the security of proposed receiver. When information bits are transmitted by using proposed transmitter, existing receiver is impossible to recover information bits, and proposed receiver is possible to recover information bits.

Key words : CDSK Transmitter, CDSK Receiver, Security, BER Performance Improvement, Spreading Factor

I. 서 론

기존 디지털 통신에 대한 연구는 시스템 성능 향상을 위해 선형 시스템에 대해 연구하였다. 하지만 성능의 향상을 위해 연구를 진행한 선형 시스템은 성능 향상에 대한 기본적인 한계에 부딪히게 되면서 비선형 통신 시스템의 연구가 시작되었다. 카오스 통신 시스템의 큰 특징은 신호의 비예측성, 비주기성, 광대역성, 구현의 용이성 등이 있다. 그리고 카오스 신호는 무작위로 생성되는 신호지만 원리적으로는 예측이 가능하며, 미래의 값은 과거의 값으로 구할 수 있다. 따라서 초기조건을 정확히 모른다면 미래의 값을 예측할 수 없기 때문에, 카오스 통신 시스템은 초기조건에 민감한 특징을 갖는다^{[1][2]}.

이러한 특징으로 인해 카오스 통신 시스템의 보안성은 다른 디지털 통신 시스템보다 우수하게 평가된다. 또한, 신호가 카오스 신호에 의해 확산되어 전송되므로 중간에서 신호 감지가 어렵고, 전파 방해에 강하다는 특징을 갖는다^[3]. 또한, 도청 확률을 줄일 수 있기 때문에 카오스 통신 시스템의 보안성이 높게 평가되는 것이다^{[4][5]}. 하지만 카오스 통신 시스템은 다른 디지털 시스템보다 BER(Bit Error Rate) 성능이 나쁘다는 단점을 가진다^[6]. 카오스 통신 시스템의 BER 성능이 나쁜 특성으로 인해 카오스 통신 시스템 사용자들은 BER 성능을 향상시키기 위한 연구를 지속적으로 수행하고 있다. 기존 연구를 보면, 카오스 통신 시스템의 항재밍 특성을 평가하거나^[7], 카오스 맵에 따른 BER 성능을 평가하여 가장 좋은 BER 성능을 보이는 카오스 맵 또는 확산인자 값을 찾는다^{[3][6][7]}. 또, 카오스 변조 방식에 따른 BER 성능을 평가하거나^{[8][9]} 카오스 맵의 확률밀도함수를 분석하여 최고의 BER 성능을 갖는 새로운 카오스 맵을 제안하는 연구가 있다.

가장 좋은 BER 성능을 갖는 카오스 맵이나 확산인자, 변조 방식을 찾는 기존 연구에서 BER 성능 향

상에는 한계가 존재한다. 따라서 BER 성능을 크게 향상시킬 수 있는 연구가 필요하다. 기존의 수신기 구조는 원하는 신호 이외에 잡음과 같이 더해지는 요인이 많기 때문에, 카오스 통신 시스템의 BER 성능이 나쁘게 평가된다. 따라서 본 논문에서는 새로운 CDSK(Correlation Delay Shift Keying) 수신기 제안한다. 기존 연구에서는 잡음과 같은 요인에 가장 크게 영향을 받는 카오스 맵이나 확산인자 값을 찾는다. 제안하는 수신기는 BER 성능을 나쁘게 하는 근본적인 원인을 줄임으로써 BER 성능을 향상시킨다. 그렇기 때문에 제안하는 수신기는 디지털 통신 시스템의 BER 성능과 비슷한 수준까지 BER 성능을 향상시킬 수 있다. 또한, 본 논문에서는 제안하는 수신기로만 정보 신호를 복원할 수 있는 새로운 송신기도 제안한다. 기존 송신기를 사용하여 정보 신호를 전송하는 경우, 제안하는 수신기와 기존 수신기 모두 정보 신호를 복원할 수 있다. 따라서 제안하는 수신기의 보안성을 향상시키기 위해 제안하는 수신기로만 정보 신호를 복원할 수 있게 하는 새로운 CDSK 송신기가 필요하다.

II. Correlation Delay Shift Keying System

기존 카오스 변조 방식에서는 송신기에 스위치가 존재하여 두 번 전송이 이루어진다. 그래서 이로 인해 전력 낭비와 도청의 문제점이 발생한다^[8]. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 제안된 기법이 CDSK 방식이다. CDSK 방식은 이전 변조 방식의 송신기에 있는 스위치를 가산기로 대체한 시스템이며, 가산기로 대체함으로써 송신된 신호가 결코 반복되지 않는다는 특징을 가진다.

그림 1은 CDSK 방식의 송신기를 나타낸 것이다. CDSK 방식의 송신 신호는 카오스 신호 발생기에서 발생시킨 카오스 신호와 정보 신호가 곱해진 지연된 카오스 신호의 합으로 나타난다.

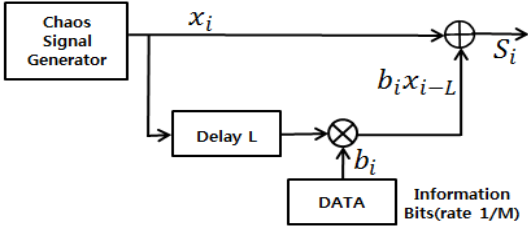


그림 1. 기존 CDSK 방식의 송신기
Fig. 1. Existing CDSK transmitter.

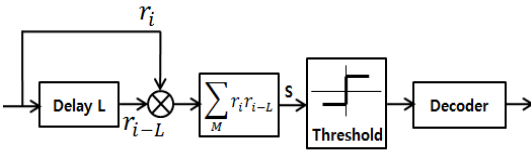


그림 2. 기존 CDSK 방식의 수신기
Fig. 2. Existing CDSK receiver.

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

식 (1)은 송신기에서 출력되는 송신 신호(S_i)를 나타낸 것이다. 식 (1)에서 정보 신호 b_i 는 1과 0이 아닌 1과 -1로 구성되어 있으며, 1과 -1을 카오스 신호로 사상시킨다.

그림 2는 CDSK 방식의 수신기를 나타낸 것이다. CDSK 방식은 확산 인자와 지연 시간이 동일하지 않다는 특징을 가지고 있다.

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

식 (2)는 CDSK 방식의 수신기의 상관기 출력을 방정식으로 나타낸 것이다. CDSK 수신기에서 수신 신호(r_i)와 지연된 수신 신호(r_{i-L})의 곱을 확산인자 만큼 더하여 Threshold를 거쳐 정보 신호를 복원한다.

III. Proposed CDSK Transmitter and Receiver

그림 2를 보면 알 수 있듯이 기존 CDSK 수신기는 수신 신호와 지연된 수신 신호를 곱하는 구조로 구성되어 있다. 따라서 기존 CDSK 수신기 구조는 원하는 신호 외에 다른 요소들이 8개의 항으로 구성되어 있기 때문에 BER 성능이 나쁘게 평가된다.

$$S = \sum_{i=1}^M (x_i + b_i x_{i-L} + \xi_i)(x_{i-L} + b_i x_{i-2L} + \xi_{i-L})$$

$$= b_i \sum_{i=1}^M x_{i-L}^2 + \sum_{i=1}^M n_i \quad (3)$$

$$n_i = x_i x_{i-L} + \xi_i x_{i-L} + b_i x_i x_{i-2L} + b_i^2 x_{i-L} x_{i-2L} + \xi_i b_i x_{i-2L} + x_i \xi_{i-L} + b_i x_{i-L} \xi_{i-L} + \xi_i \xi_{i-L} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)는 기존 수신기의 상관기 출력을 방정식으로 나타낸 것이다. 식 (3)을 보면, ξ_i 는 잡음 신호를 의미하며, 두 개의 항 중에 첫 번째 항이 원하는 신호이며, 두 번째 항이 잡음처럼 더해지는 신호이다. 식 (4)는 잡음처럼 더해지는 두 번째 항의 요소들을 나타낸 것이다. 식 (3)과 식 (4)를 보면, 원하는 신호를 제외한 나머지 신호들이 모두 잡음처럼 더해지는 요소가 많고, 이 요소들이 원하는 신호 향에 영향을 미치는 것이다.

만약, 식 (4)의 항의 수를 줄인다는 것은 원하는 신호에 미치는 영향을 줄일 수 있으며, 이를 통해 CDSK 시스템 성능에 미치는 영향을 최소화 시킬 수 있다는 것이다.

그림 3은 BER 성능 향상을 위해 제안하는 CDSK 수신기를 나타낸 것이다. 기존 수신기는 카오스 신호의 정보가 필요 없으며, 수신 신호와 지연된 수신 신호를 곱하여 정보 신호를 복원한다. 하지만 제안하는 수신기는 카오스 신호의 정보를 모두 알고 있어야 한다. 그림 3을 보면, 기존 수신기와는 다르게 수신 신호와 지연된 카오스 신호를 곱하는 구조로 구성되어 있다. 제안하는 수신기로 정보 신호를 복원하기 위해서는 카오스 신호의 정보와 송신기에서 사용한 지연 시간, 확산 인자 값을 알아야만 정보 신호의 복원이 가능하다.

$$S = \sum_{i=1}^M (x_i + b_i x_{i-L} + \xi_i) x_{i-L} = b_i \sum_{i=1}^M x_{i-L}^2 + \sum_{i=1}^M n_i \quad (5)$$

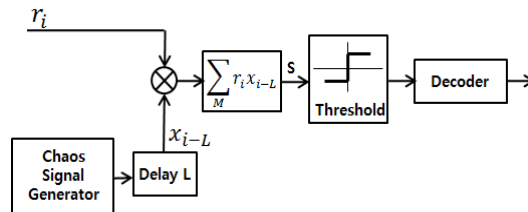


그림 3. 제안하는 CDSK 방식의 수신기
Fig. 3. Proposed CDSK receiver.

$$n_i = x_i x_{i-L} + \xi_i x_{i-L} \tag{6}$$

식 (5)와 식 (6)은 제안하는 수신기의 상관기 출력을 방정식으로 표현한 것이다. 식 (5)를 보면, 식 (3)과 마찬가지로 두 개의 항 중에 첫 번째 항이 원하는 신호이며, 두 번째 항이 잡음처럼 더해지는 신호로 구성되어 있다. 식 (6)을 보면, 수신 신호와 지연된 카오스 신호를 곱하는 구조에서는 잡음과 같이 더해지는 요인이 8개의 항에서 2개의 항으로 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 제안하는 수신기를 사용하면 잡음처럼 더해지는 요인을 줄일 수 있기 때문에 BER 성능을 향상시킬 수 있다.

하지만 기존의 송신기를 사용하여 정보 신호를 전송하는 경우, 제안하는 수신기가 우수한 BER 성능을 가지고 있더라도 기존의 수신기로도 정보 신호를 복원할 수 있다는 단점을 가진다. 즉, 제안하는 수신기의 보안성은 좋지 않다는 것이다. 따라서 제안하는 수신기로만 정보 신호를 복원할 수 있고, 기존의 수신기로는 정보 신호를 복원할 수 없는 새로운 송신기가 필요하다.

그림 4는 제안하는 수신기로만 정보 신호를 복원할 수 있도록 만든 새로운 CDSK 송신기를 나타낸다. 기존 송신기의 구조와는 거의 비슷하지만 기존 송신기와는 다르게 카오스 신호를 일정 값만큼 이동시키는 과정이 추가된다.

$$S_i = b_i x_{i-L} + x_{i+K} \tag{7}$$

식 (7)은 제안하는 송신기의 송신 신호를 나타낸다. 기존 송신기의 전송 신호는 정보 신호가 사상된 지연 카오스 신호와 카오스 신호를 더한 형태로 나타난다. 반면에 제안하는 송신기의 전송 신호는 정보 신호가 사상된 지연 카오스 신호와 특정 값만큼

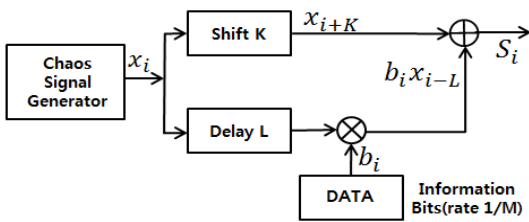


그림 4. 제안하는 CDSK 방식의 송신기
Fig. 4. Proposed CDSK transmitter.

이동시킨 카오스 신호의 합으로 나타난다.

$$\begin{aligned} S &= \sum_{i=1}^M (x_{i+K} + b_i x_{i-L} + \xi_i)(x_{i+K-L} + b_i x_{i-2L} + \xi_{i-L}) \\ &= \sum_{i=1}^M (x_{i+K} x_{i+K-L} + b_i x_{i+K} x_{i-2L} + x_{i+K} \xi_{i-L} \\ &\quad + b_i x_{i-L} x_{i+K-L} + b_i^2 x_{i-L} x_{i-2L} + b_i x_{i-L} \xi_{i-L} \\ &\quad + \xi_i x_{i+K-L} + \xi_i b_i x_{i-2L} + \xi_i \xi_{i-L}) \end{aligned} \tag{8}$$

제안하는 송신기를 이용하여 신호를 전송하고, 기존 수신기를 사용한 경우의 상관기 출력은 식 (8)과 같이 나타난다. 식 (3)의 첫 번째 항은 가장 중요한 원하는 신호를 의미하며, 정보 신호를 복원하기 위해서는 반드시 존재해야 하는 항이다. 하지만 식 (8)을 보면, 원하는 신호를 의미하는 항이 존재하지 않는다. 즉, 정보 신호를 복원할 수 없다는 것을 의미한다. 따라서 제안하는 송신기를 이용하여 신호를 전송할 때, 기존 수신기를 사용한다면 정보 신호를 복원할 수 없다.

$$\begin{aligned} S &= \sum_{i=1}^M (x_{i+K} + b_i x_{i-L} + \xi_i) x_{i-L} \\ &= b_i \sum_{i=1}^M x_{i-L}^2 + \sum_{i=1}^M n_i \\ n_i &= x_{i+K} x_{i-L} + \xi_i x_{i-L} \end{aligned} \tag{9}$$

제안하는 송신기를 이용하여 신호를 전송하고, 제안하는 수신기를 사용한 경우의 상관기 출력은 식 (9)와 같이 나타난다. 식 (9)를 보면, 원하는 신호를 제외한 잡음처럼 더해지는 요소가 2개의 항으로 되어 있는 반면, 기존의 수신기를 사용했을 때에는 8개의 항으로 되어 있다. 즉, 제안하는 수신기를 사용하는 경우 잡음처럼 더해지는 요소가 8개에서 2개로 적어지는 것을 알 수 있다. 또한, 식 (6)과 비교를 해 보면, 기존의 송신기를 사용할 때와 새로운 송신기를 사용할 때 모두 잡음처럼 더해지는 요소가 2개의 항으로 이루어진 것을 알 수 있다.

IV. 성능 평가

제안하는 송·수신기의 성능 평가는 AWGN 환경에서 실시한다. 성능 평가시 사용한 카오스 맵은 Logistic Map이며, 확산인자는 100으로 설정하였다.

그림 5는 기존의 수신기와 제안하는 수신기를 사용했을 때의 BER 성능을 비교한 것이다. 그림 5를 보면, 제안하는 수신기를 사용하면 BER 성능이 월등히 향상된다는 것을 알 수 있다. 제안하는 수신기의 성능이 좋은 이유는 원하는 신호를 제외한 잡음과 같이 더해지는 요소가 적기 때문이다. 이런 이유로 제안한 수신기를 사용할 경우에 디지털 시스템의 BER 성능과 거의 비슷하게 BER 성능을 향상시킬 수 있다.

그림 6은 제안하는 수신기를 사용했을 때의 확산 인자에 따른 BER 성능을 나타낸 것이다. 그림 6을

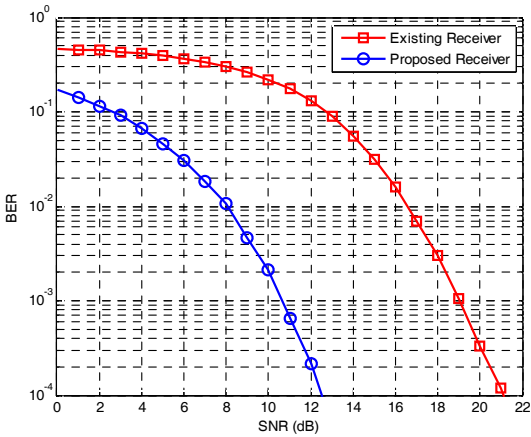


그림 5. 제안하는 CDSK 수신기의 BER 성능
Fig. 5. BER performance of proposed CDSK receiver.

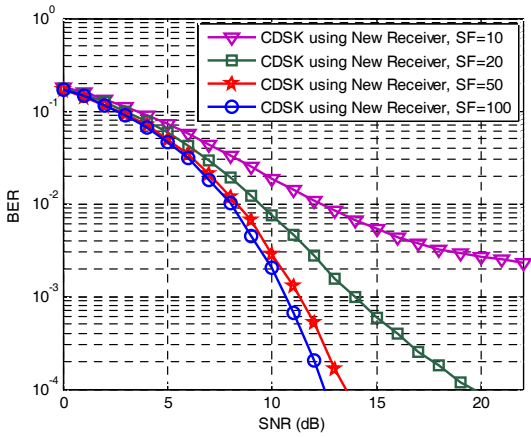


그림 6. 확산 인자에 따른 제안하는 수신기의 BER 성능
Fig. 6. BER performance of proposed receiver according to spreading factors.

보면, 확산인자 값이 커짐에 따라 BER 성능은 향상 되는 것을 알 수 있다. 확산 기법을 사용하는 경우에는 원신호(S)에 확산코드(C)를 곱하여 원신호를 넓은 대역으로 확산시킨 후에 채널을 통과한다. 이를 수식으로 나타내면 $S \times C + N$ 로 나타나며, 원신호(S)를 수신단에서 정상 복구하기 위해 확산코드(C)를 곱하면 $S + N \times C$ 가 된다. 이 때, 원신호는 확산 이득만큼 크기가 커지며, 잡음은 확산코드(C)가 곱해져 넓게 확산된다. 이로 인해 확산 인자의 값이 커질수록 잡음의 영향을 감소시킬 수 있다. 하지만 계속 커질수록 자기 간섭 신호의 영향을 많이 받게 되어 너무 큰 확산 인자의 값을 설정했을 경우에는 성능이 더 저하된다.

그림 7은 기존 수신기를 사용했을 때의 확산 인자에 따른 BER 성능을 나타낸 것이다. 그림 7을 보면, 기존 수신기를 사용할 경우, 확산인자가 100일 때 가장 좋은 BER 성능을 가진다. 또한, 확산인자가 커짐에 따라 BER 성능이 좋아지다가 100을 기점으로 저하되는 것을 알 수 있다. 즉, Logistic Map을 사용하며 기존 수신기를 사용할 때는 확산인자 값을 100으로 설정해야 가장 좋은 BER 성능을 얻을 수 있다. 확산 인자가 커지면 확산 이득으로 인해 BER 성능이 좋아지게 되지만, 확산 인자가 너무 커지면 간섭의 영향을 많이 받게 되어 BER 성능이 저하된다. 이런 이유로 인해 기존 수신기를 사용했을 때, 확산인

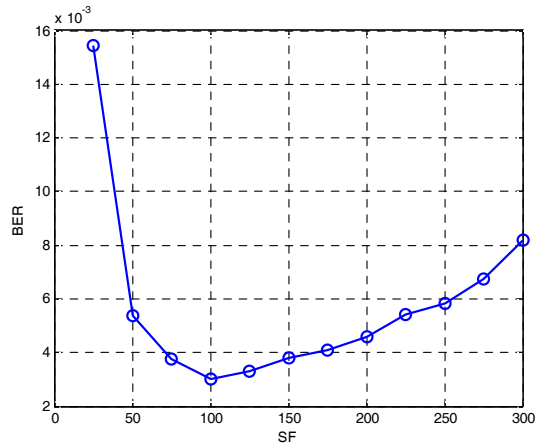


그림 7. 확산인자에 따른 기존 수신기의 BER 성능.
Fig. 7. BER performance of existing receiver according to spreading factors.

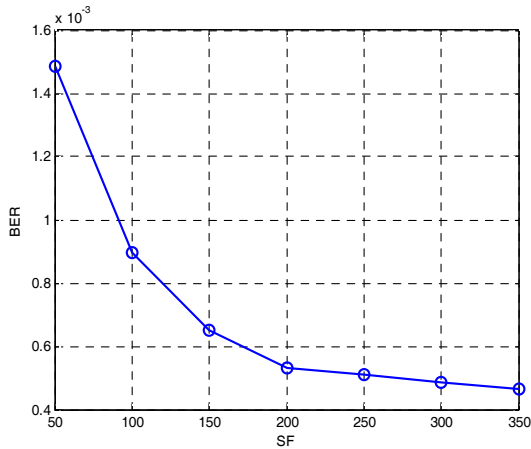


그림 8. 최고의 BER 성능을 가지는 확산인자에 대한 성능평가

Fig. 8. Performance evaluation about spreading factors for best BER performance.

자가 커짐에 따라 BER 성능이 좋아지다가 저하되는 결과를 나타내는 것이다.

그림 8은 제안하는 수신기를 사용했을 때, 확산인자에 따른 BER 성능을 나타낸 것이다. 그림 8을 보면, 확산인자가 커짐에 따라 BER 성능이 계속 향상되는 것을 알 수 있다. 그림 7과 그림 8을 비교해 보면, 기존 수신기를 사용하면 확산인자가 100일 때 가장 좋은 BER 성능을 가진다. 하지만 제안하는 수신기를 사용할 때는 확산인자가 커질수록 BER 성능이 좋아진다.

확산 인자가 많이 커지게 되면 간섭의 영향을 많이 받게 되며, 이로 인해 BER 성능이 저하된다. 반면에 제안하는 수신기를 사용하면 원하는 신호 이외에 잡음처럼 더해지는 요소가 적기 때문에, 확산 인자가 계속 커져도 BER 성능이 향상되는 것이다. 기존 수신기를 사용할 때는 가장 좋은 BER 성능을 가지게 하는 확산 인자를 선택적으로 사용해야 한다. 하지만 제안하는 수신기를 사용한다면 큰 확산인자 값을 설정하면 되기 때문에 상황에 맞게 폭넓은 확산인자의 선택이 가능하다.

기존의 송신기를 사용하여 정보 신호를 전송하는 경우, 제안하는 수신기뿐만 아니라 기존 수신기로도 정보 신호를 복원할 수 있다. 이로 인해, 새로운 송신기가 필요하다. 또한, 제안하는 수신기를 사용할

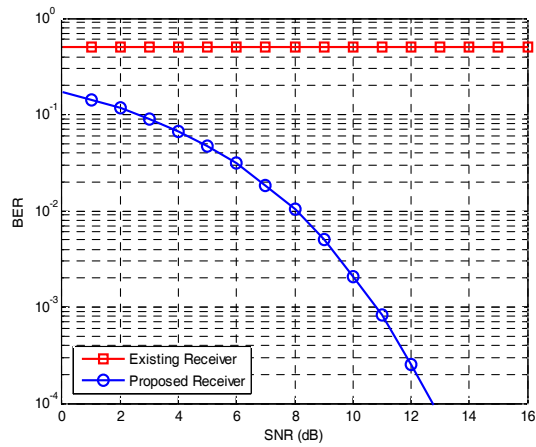


그림 9. 새로운 CDSK 송신기를 사용했을 때, 제안하는 CDSK 수신기의 BER 성능 평가

Fig. 9. BER performance of proposed CDSK receiver when a novel CDSK transmitter is used.

때, 새로운 송신기를 사용해도 향상된 BER 성능을 보여야 한다.

그림 9는 새로운 CDSK 송신기를 사용하였을 때, 제안하는 수신기의 BER 성능 평가를 나타낸 것이다. 그림 9를 보면, 제안하는 송신기를 사용할 경우, 기존 수신기를 사용할 때 정보 신호를 제대로 복원할 수 없다는 것을 알 수 있다. 반면에 제안하는 수신기를 사용할 때는 그림 5와 마찬가지로 향상된 BER 성능을 보인다.

V. 결 론

본 논문에서는 BER 성능 향상을 위해 새로운 CDSK 수신기를 제안하며, 보안성을 위하여 새로운 CDSK 송신기도 제안한다. 제안한 수신기를 사용하였을 때 BER 성능이 향상되는 것을 알 수 있는데, 이는 원하는 신호 외에 자기 간섭 신호의 영향이 적기 때문이다. 기존 수신기를 사용하였을 때, 확산인자 값이 100으로 설정해야 가장 좋은 BER 성능을 가질 수 있지만, 제안한 수신기를 사용한 경우에는 확산인자가 커질수록 BER 성능이 향상된다. 이로 인해 기존의 수신기를 사용하는 경우보다 제안한 수신기를 사용할 경우, 확산인자의 선택폭이 굉장히 넓다. 또한, 제안하는 수신기의 보안성을 위해 제안한 새로운 송신기를 사용할 경우, 기존 수신기는 정

보 신호를 제대로 복원하지 못하지만 제안하는 수신기는 향상된 BER 성능을 보인다. 따라서 제안하는 송신기와 수신기를 사용하는 경우, BER 성능과 보안성을 모두 향상시킬 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", *IEEE International Symposium on Circuits and Systems(ISCAS), Taipei, Taiwan, 2009*.

[2] Young Guen Seo, "The world of chaos", *Dept. of Electronic Engineering Graduate School, Dong-A University Busan, Korea*, vol. 29, pp. 520-524, 1989.

[3] Jun-Hyun Lee, 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.

[4] Eun Young Jang, J. Wright, "FPGA implementation of chaos-based digital communication system using CPPM", *Dept. of Electronic Engineering Graduate School, Dong-A University Busan, Korea*, Dec. 2007.

[5] G. Kaddoum, P. Charge, D. Roviras, and D. Fournier-Prunaret, "A methodology for bit error rate prediction in chaos-based communication systems", *Springer, Birkhauser Circuits Systems and Signal Processing*, vol. 28, pp. 925-944, 2009.

[6] Chan-Ho Jin, Heung-Gyoon Ryu, "Performance evaluation of chaotic CDSK modulation system with different chaotic maps", *2012 International Conference on ICT Convergence(ICTC)*, pp. 603-606, pp. 15-17, Oct. 2012.

[7] Junyeong Bok, 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, Jun. 2013.

[8] Mikhail Sushchik, Lev S. Tsimring, and Alexander R. Volkovskii, "Performance analysis of correlation-based communication schemes utilizing chaos", *IEEE Transactions on Circuits and Systems (ISCAS)*, vol. 47, no. 12, Dec. 2000.

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

[10] N. F. Rulkov, M. A. Vorontsov, and L. Illing, "Chaotic free-space laser communication over turbulent channel", *Phys. Rev. Lett.* vol. 89, pp. 277-905, 2002.

이 준 현



2013년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학사)
 2013년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 보안 통신, 이동 통신 시스템

유 흥 균



1988년~현재: 충북대학교 전자공학과 교수
 2002년 3월~2004년 2월: 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장
 1996년~현재: IEEE, IET 논문 심사 위원
 2002년: 한국전자과학회 학술상 수상
 2008년: ICWMC 2008 국제학술대회 "Best Paper Award" 수상
 2009년: SPACOMM 2009 국제학술대회 "Best Paper Award" 수상
 [주 관심분야] 무선통신시스템, 위성통신, B4G/5G 이동통신 시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리