

상관지연편이변조 방식의 혼돈(Chaos) 통신 방식에서 비트오류율 성능 향상을 위한 새로운 혼돈 지도

이 준 현*, 유 흥 균^o

New Chaos Map for BER Performance Improvement in Chaos Communication System Using CDSK

Jun-Hyun Lee*, Heung-Gyoon Ryu^o

요 약

혼돈(Chaos) 통신 방식은 비주기성, 광대역성, 신호의 비예측성, 구현의 용이성 등의 특성을 가지고 있다. 이런 특성으로 인해 혼돈 신호를 사용하는 디지털 통신 방식에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 하지만 혼돈 통신 방식은 보안성이 우수하며 도청의 낮은 확률과 같은 장점을 가지고 있지만 다른 방식에 비해서 비트오류율(Bit Error Rate, BER) 성능이 안 좋다는 단점을 가진다. 기존의 혼돈 통신 방식 사용자는 여러 가지 혼돈 지도의 비트오류율 성능을 평가하고 비트오류율 성능이 좋은 혼돈 지도를 선택적으로 적용할 뿐 혼돈 지도의 확률밀도함수(Probability Density Function, PDF) 특성을 변화시킴으로써 비트오류율 성능을 개선시키려는 시도는 이루어지지 않고 있다. 본 논문에서는 혼돈 신호를 확률밀도함수로 나타내고 초기조건, 매개변수 및 방정식을 변화시키면서 확률밀도함수의 변화를 측정한다. 상관지연편이변조 방식에서는 확률밀도함수가 변하면 혼돈 지도의 특성(혼돈 신호)이 변하고 이에 따라 비트오류율 성능도 변하게 된다. 따라서 비트오류율 성능을 좋게 하는 혼돈 신호의 확률밀도함수 경향을 알아보고 이 결과를 토대로 비트오류율 성능이 우수한 새로운 혼돈 지도를 제안한다.

Key Words : Chaos Map, Probability Density Function, PDF, PDF Trend, CDSK

ABSTRACT

Chaos communication systems have the characteristics such as non-periodic, wide-band, non-predictability of signals and easy implementation. There have been many studies about chaos communication systems because of these advantages. But, chaos communication systems have low BER(Bit Error Rate) compare to general digital communication system. Existing researches on chaos communication systems only analyze BER performance according to various chaos maps. There are no studies on analysis of BER performance according to PDF(Probability Density Function) of chaos maps. In this paper, we analyze the BER performance according to changing parameter, equation, and initial values of chaos map's PDF. In addition, we propose new chaos map to improve BER performance. Simulation results show that BER performance of CDSK(Correlation Delay Shift Keying) is changed when PDF of chaos map changed. And the proposed chaos map has a better BER performance compare to previous chaos maps such as Tent map, Logistic map, and Henon map.

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

◆ 주저자 : 충북대학교 전자공학과, toogee89@nate.com, 학생회원

○ 교신저자 : 충북대학교 전자공학과, ecomm@cbu.ac.kr 정회원

논문번호 : KICS2013-04-179, 접수일자 : 2013년 4월 19일, 최종논문접수일자 : 2013년 7월 31일

I. 서 론

일반적으로 무선 디지털 통신 소자는 데이터 전송률, 비트오류율(Bit Error Rate, BER), 대역폭, 복잡도, 비용과 같은 여러 가지 요구 조건을 가지고 있다. 하지만 다중경로 전파나 다른 장치로부터 간섭과 같은 까다로운 환경에서 추가적으로 희망하는 특징들은 보안, 도청의 낮은 확률, 확산 스펙트럼 등을 포함한다. 이러한 특징들은 확산 스펙트럼 기법을 이용하면 교환이 가능하다^[1]. 혼돈(Chaos) 신호는 비주기성, 광대역성, 신호의 비예측성, 구현의 용이성 등의 특성을 가지고 있다. 그래서 이런 특징을 이용한 혼돈 신호를 사용하는 디지털 통신 방식에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다^[2-3]. 혼돈 신호의 특성은 신호 발생기에서 사용되는 방정식의 초기조건에 의해 결정되며 초기 조건이 미세하게 변하더라도 전혀 다른 신호가 되기 때문에 초기 조건에 민감한 특징을 갖는다. 이는 다른 사용자 신호의 감지를 어렵게 하며, 다중 경로 채널과 전파 방해에 강한 특성을 갖게 한다^[2-3]. 혼돈 신호는 비선형적이면서 확률적으로 생성되는 신호로써 원리적으로 예측이 가능하며 미래의 값은 과거의 값으로 구할 수 있다. 하지만 혼돈 신호는 초기 조건에 민감한 특징을 가지고 있기 때문에 초기 조건을 정확히 모른다면 미래의 값을 예측할 수 없다^[4-5]. 그렇기 때문에 혼돈 신호 발생기에서 사용할 혼돈 신호의 종류를 선택하고 이에 따른 방정식의 초기조건을 선택함에 따라서 혼돈 신호의 특성을 조절하고 다른 사용자가 미래의 값을 예측할 수 없게 만드는 것이 가능하다.

일반적으로 혼돈 통신 방식은 다른 방식에 비해 보안성이 우수하지만 비트오류율 성능은 좋지 않다. 혼돈 통신 방식은 혼돈 신호를 이용하여 정보신호를 넓은 범위로 사상시키기 때문에 전파 방해나 다른 사용자 신호의 감지가 어려워지지만 넓은 범위로 사상시키는 특징으로 인해 잡음에 영향을 많이 받는다. 또한, 상관 지연편이변조(Correlation Delay Shift Keying, CDSK) 방식의 경우에는 혼돈 신호가 참조 신호로 가산된 후에 전송되기 때문에 다른 방식에 비해 비트오류율 성능 열화가 나타난다. 즉, 혼돈 지도에 대한 혼돈 신호가 비트오류율 성능에 영향을 미치는 요인 중에 하나이며, 혼돈 지도의 특성 변화로 비트오류율 성능을 변화시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. 기존의 혼돈 통신 방식 사용자는 여러 가지 혼돈 지도의 비트오류율 성능을 평가하여 그 중에서 비트오류율 성능이 가장 좋은 혼돈 지도를 선택적으로 사용하였다. 또한, 기존 혼돈 통신 방식에 관한 연구를 보면 혼돈 지도에 따른 비

트오류율 성능을 평가하거나 보안성을 평가^[5]할 뿐 혼돈 지도의 특성을 변화시킴으로써 비트오류율 성능을 개선시키려는 시도는 이루어지지 않고 있다.

확률밀도함수(Probability Density Function, PDF)는 불규칙 신호의 확률적 분포를 빈도수에 따라 나타낸 신호 성분의 밀도를 나타낸 것이다^[6]. 혼돈 지도의 종류나 특성을 변화시킨다는 것은 확률밀도함수의 모양과 경향이 변한다는 것을 의미한다. 즉, 비트오류율 성능이 좋게 나오게 하는 확률밀도함수의 모양과 경향을 찾는다면 비트오류율 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 혼돈 지도를 제안할 수 있다는 것이다. 그래서 본 논문에서는 혼돈 신호를 확률밀도함수로 나타내고 초기조건, 매개변수 및 방정식을 변화시키면서 확률밀도함수의 변화를 측정한다. 상관지연편이변조 방식에서는 확률밀도함수가 변하면 혼돈 지도의 특성(혼돈 신호)이 변하고 이에 따라 비트오류율 성능도 변하게 된다. 따라서 비트오류율 성능을 좋게 하는 혼돈 신호의 확률밀도함수 경향을 알아보고 이 결과를 토대로 비트오류율 성능이 우수한 새로운 혼돈 지도를 제안한다.

II. 시스템 모델

이번 장에서는 상관지연편이변조 방식을 정의하고 혼돈 신호의 확률밀도함수에 대한 이론에 대해 서술한다.

2.1. 상관지연편이변조 방식

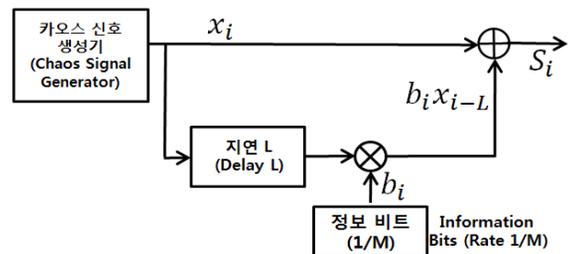


그림 1. 상관지연편이변조 방식의 송신기.
Fig. 1. CDSK transmitter system.

상관지연편이변조는 송신기에 가산기가 있다는 것이 특징이다. 송신기에 스위치가 있는 차동혼돈편이변조(Differential Chaos Shift Keying, DCSK)는 두 번 전송이 필요하기 때문에 이 방식에서는 전력 낭비와 도청의 가능성이 있다. 또한, 송신기에서 지연 요소와 스위치 또는 동일한 혼돈 순차를 재생성할 수 있는 발생기를 요구하는데, 이러한 문제점을 개선하기 위해 가산기를 사용한 것이 상관지연편이변조 방식이다. 그림 1은 상관지연편이변조 방식의 송신기를 나타낸 것이

다. 상관지연편이변조 방식의 송신신호는 혼돈 신호 발생기에서 발생시킨 혼돈 신호와 전송된 심볼에 의해 변조된 혼돈 신호의 지연의 합이다. 그러므로 송신된 신호는 참조 신호와 정보를 포함한 신호 모두를 가지게 된다. 이러한 결과로 송신기에서 출력되는 송신 신호(s_i)는 식(1)로 나타난다.

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

식(1)에서 L 은 지연된 시간을 의미하며 식에서도 상관지연편이변조 방식의 송신신호가 혼돈 신호와 전송된 심볼에 의해 변조된 혼돈 신호의 지연의 합임을 알 수 있다.

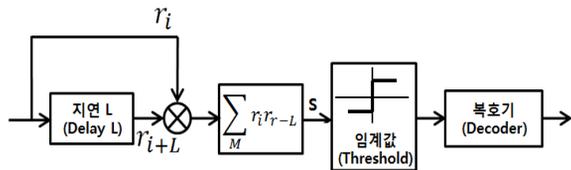


그림 2. 상관지연편이변조 방식의 수신기.
Fig. 2. CDSK receiver system.

그림 2는 상관지연편이변조 방식의 수신기를 나타낸 것이다. 상관지연편이변조 방식의 수신기는 상관기 기반의 수신기로 심볼을 복구하기 위하여 수행된다.

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

식(2)는 상관지연편이변조 방식의 수신 신호를 수식으로 나타낸 것이며 L 은 지연된 시간을 의미하고 M 은 확산인자(Spreading Factor, SF)를 의미한다. 상관지연 편이변조 방식은 차동혼돈편이변조 방식과 다르게 지연 시간과 확산 순차 길이가 동일하지 않다는 특징을 가진다.

2.2. 혼돈 지도의 확률밀도함수

혼돈 통신 방식은 보안성과 다른 사용자의 신호 감지를 어렵게 하는 등의 장점을 가지지만 다른 방식에 비해 비트오류율 성능이 좋지 않다. 혼돈 통신 방식은 혼돈 신호를 이용하여 정보신호를 넓은 범위로 사상시키기 때문에 전파 방해나 다른 사용자 신호의 감지가 어려워지지만 넓은 범위로 사상시키는 특징으로 인해 잡음에 영향을 많이 받는다. 즉, 혼돈 지도에 대한 혼돈 신호가 비트오류율 성능에 영향을 미치는 요인 중에 하나이며, 혼돈 지도의 특성 변화로 비트오류율 성

능을 변화시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. 확률밀도함수는 불규칙 신호의 확률적 분포를 빈도수에 따라 나타낸 신호 성분의 밀도이며 그 확률의 합은 항상 1이다. 혼돈 지도의 종류를 변화시키거나 매개변수나 초기값, 방정식을 변화시켜 혼돈 신호 발생기에서 출력되는 값이 달라지게 함으로써 혼돈 지도의 특성을 변화시킨다는 것은 확률밀도함수의 모양과 경향의 변화에 영향을 미친다. 즉, 비트오류율 성능이 좋게 나오게 하는 확률밀도함수의 모양과 경향을 찾는다면 비트오류율 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 혼돈 지도를 제안할 수 있다는 것이다.

$$x_{n+1} = \begin{cases} \alpha x_n & x_n < \frac{1}{2} \text{ 일 때} \\ \alpha(1-x_n) & \frac{1}{2} \leq x_n \text{ 일 때} \end{cases} \quad (3)$$

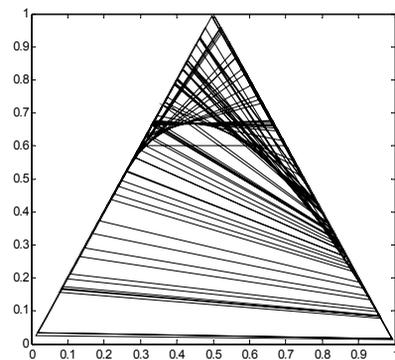


그림 3. 천막 지도의 궤적.
Fig. 3. Trajectory of Tent map.

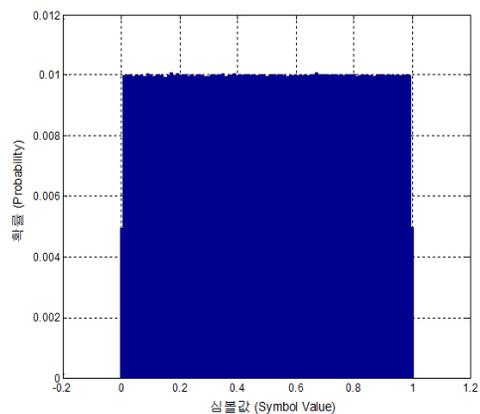


그림 4. 천막 지도의 확률밀도함수.
Fig. 4. PDF of Tent map.

천막 지도(Tent Map) 방정식은 현재의 입력 값으로 이전의 출력 값을 사용하는 간단한 비선형 방정식이며 식(3)과 같이 표현된다. 또한, 매개 변수 α 값이 1.9999

일 때 천막 지도는 x축이 x_n , y축이 x_{n+1} 로 표현되는 그림 3과 같은 궤적을 그린다.

그림 4는 매개 변수 α 의 값이 1.9999일 때 천막 지도 방정식의 확률밀도함수를 나타낸 것이다. 천막 지도의 확률밀도함수를 보면 0부터 1까지의 값들이 거의 균일한 확률을 갖는다는 것을 알 수 있으며, 대부분이 0.01의 확률을 가짐으로서 천막 지도의 확률밀도함수는 사각형 모양을 갖는 것을 알 수 있다.

$$x_{n+1} = Rx_n(1-x_n) \quad (4)$$

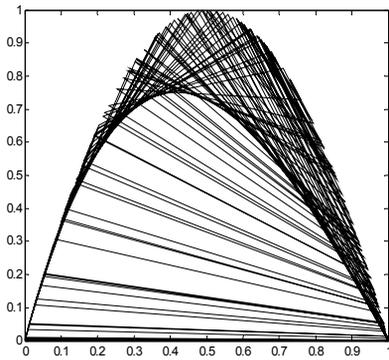


그림 5. 로지스틱 지도의 궤적.
Fig. 5. Trajectory of Logistic map.

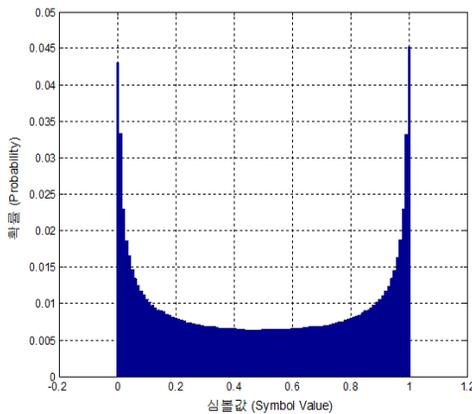


그림 6. 로지스틱 지도의 확률밀도함수.
Fig. 6. PDF of Logistic map.

로지스틱 지도(Logistic Map)는 수학자 Robert May가 제안한 방정식으로 환경적인 요소에 의해서 독립적으로 증가할 수 없고 포화, 발진하기 때문에 선형적인 특성뿐만 아니라 비선형적인 특성까지 갖는다⁹⁾. 로지스틱 지도도 천막 지도와 마찬가지로 이전의 출력 값을 현재의 입력 값으로 사용하는 방정식이며, 식(4)와 같이 표현된다. 또한, 매개 변수 R 의 값이 3.9999일 때 로지스틱 지도는 x축이 x_n , y축이 x_{n+1} 로 표현되는 그림 5와 같은 궤적을 그린다.

는 그림 5와 같은 궤적을 그린다.

그림 6은 매개 변수 R 의 값이 3.9999일 때 로지스틱 지도 방정식의 확률밀도함수를 나타낸 것이다. 로지스틱 지도의 확률밀도함수를 보면 0에서 0.5까지는 확률이 급격하게 낮아지다가 0.5부터 1까지는 확률이 급격하게 높아지는 것을 알 수 있으며, 0과 1 근처 값의 확률이 다른 값의 확률보다 훨씬 높게 나오는 것을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= 1 + y_n - a(x_n)^2 \\ y_{n+1} &= bx_n \end{aligned} \quad (5)$$

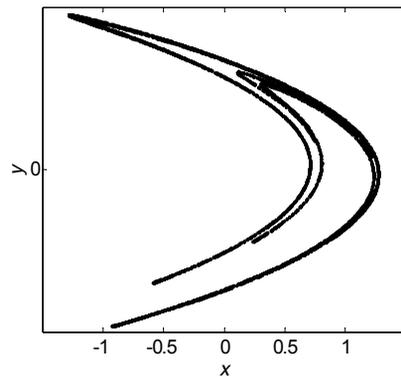


그림 7. 해논 지도의 궤적.
Fig. 7. Trajectory of Henon map.

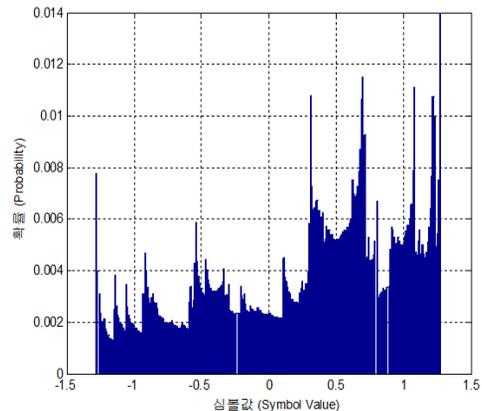


그림 8. 해논 지도의 확률밀도함수.
Fig. 8. PDF of Henon map.

해논 지도(Henon Map)는 2개의 매개변수를 사용하는 2차원인 이산 시간의 동적 방식이며 식(5)와 같이 표현된다. 두 매개 변수인 a 와 b 가 각각 1.4, 0.3일 때의 해논 지도 방정식을 표준 해논 지도 방정식이라 하며, 두 매개 변수인 a 와 b 를 각각 1.4, 0.3으로 설정했을 때의 해논 지도는 x축이 x_n , y축이 x_{n+1} 로 표현되는 그림 7과 같은 궤적을 그린다.

그림 8은 두 매개변수 a 와 b 의 값이 각각 1.4, 0.3 일 때 해논 지도의 확률밀도함수를 나타낸 것이다. 해논 지도의 확률밀도함수를 보면 범위가 0부터 1까지인 천막 지도나 로지스틱 지도에 비해 해논 지도는 약 -1.3부터 1.3까지의 넓은 범위의 값이 존재한다는 것을 알 수 있다. 또한, 천막 지도와 로지스틱 지도에 비해 0근처의 값이 나올 확률이 낮고 천막 지도와 로지스틱 지도와 같은 규칙성이 없다는 것을 알 수 있다.

III. 비트오류율 성능 향상을 위한 확률밀도함수

이번 장에서는 상관지연편이변조 방식에서 비트오류율 성능을 개선할 수 있는 확률밀도함수의 경향을 제안하고, 제안한 확률밀도함수를 상관지연편이변조 방식에 적용하여 비트오류율 성능을 평가한다. 혼돈 지도에 따라서 비트오류율 성능이 다른 이유는 각각의 혼돈 지도에 따라 출력되는 값의 특징이 다르기 때문이다. 즉, 혼돈 지도에 따라 출력되는 값의 확률을 확률밀도함수로 나타내고 비트오류율 성능이 향상되는 확률밀도함수의 조건을 찾는다면 비트오류율 성능을 개선시킬 수 있는 새로운 혼돈 지도를 제안할 수 있다.

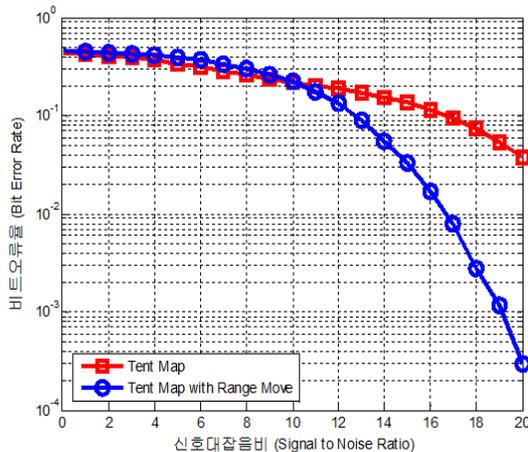


그림 9. 범위 이동에 따른 천막 지도의 비트오류율 성능.
Fig. 9. BER performance of Tent map according to range move.

그림 9는 0부터 1까지의 범위를 갖는 원래의 천막 지도와 -0.5부터 0.5까지의 범위를 갖는 천막 지도의 비트오류율 성능을 평가한 것이다. 그림 9를 보면, 천막 지도의 확률밀도함수가 0부터 1까지의 범위를 가질 때보다 -0.5부터 0.5까지의 범위를 가질 때, 비트오류율 성능이 좋은 것을 알 수 있다. 이것은 신호전력과 관련이 있다.

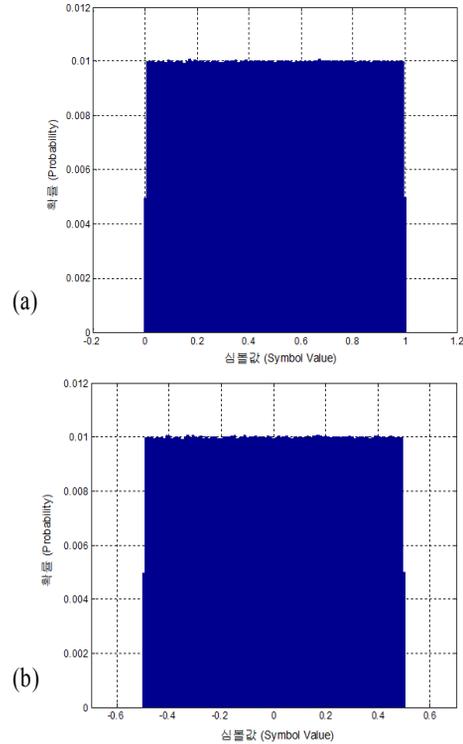


그림 10. 범위 이동을 한 천막 지도의 확률밀도함수.
(a)천막 지도 (b)범위 이동을 한 천막 지도
Fig. 10. PDF of Tent map according to range move.
(a)Tent map. (b)Tent map with range move.

그림 10은 원래의 천막 지도와 범위 이동을 한 천막 지도의 확률밀도함수를 나타낸 것이다. 천막 지도의 확률밀도함수는 원래 0부터 1까지의 범위를 갖는다. 하지만 이 범위의 값을 그대로 사용하면 비트오류율 성능이 굉장히 나빠지는 것을 그림 9를 통해 알 수 있다.

상관지연편이변조 방식에서 신호는 채널 통과 전에 평균 신호 전력을 1로 맞춰주는 조정(Scaling) 과정을 거친다. 이때, 낮은 신호 전력을 가지는 심볼들을 평균 신호 전력 1로 조정하게 되면 높은 신호 전력을 갖는 심볼들에 비해 넓게 분포하게 되고 그만큼 심볼간 거리가 멀어지게 된다. 심볼간 거리가 멀다는 것은 그만큼 인접 심볼간의 오류 발생이 감소한다는 것을 의미하며, 낮은 신호 전력을 가져야 조정 후에 인접 심볼간의 오류가 줄어들게 되어 비트오류율 성능이 좋아지는 것을 알 수 있다.

0부터 1까지의 범위를 갖는 천막 지도는 약 0.66의 신호 전력을 가지며, -0.5부터 0.5까지의 범위를 갖는 천막 지도는 약 0.16의 신호 전력을 갖는다. 만약, 0.3, 0.4로 사상된 2개의 심볼이 있을 때, 신호 전력이 0.16 이면 두 심볼은 각각 0.75, 1로 조정되며 신호 전력이 0.66이면 0.37, 0.49로 조정된다. 즉, 낮은 신호 전력을 평균 신호 전력 1로 조정하게 되면 심볼간 거리가 더

떨어지는 것을 알 수 있다. 따라서 확률밀도함수에서는 0에 근접한 값의 확률이 높을수록 낮은 신호 전력을 갖게 되며 이로 인해 비트오류율 성능이 향상된다.

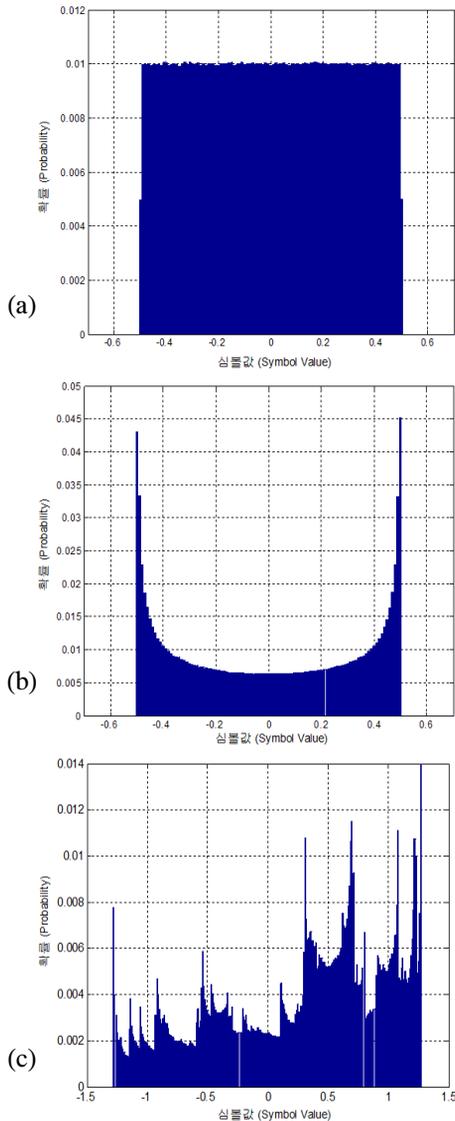


그림 11. 여러 가지 혼돈 지도의 확률밀도 함수.
 (a)천막 지도. (b)로지스틱 지도. (c)해논 지도.
 Fig. 11. PDF of Chaos maps.
 (a)Tent map. (b)Logistic map. (c)Henon map.

그림 11은 범위 이동을 한 천막 지도, 로지스틱 지도와 해논 지도의 확률밀도함수를 나타낸 것이다. 로지스틱 지도는 천막 지도에 비해 0 근처 값의 확률이 낮고 -0.5와 0.5 근처 값의 확률이 굉장히 높은 것이 특징이다. 해논 지도의 경우에는 0 근처 값의 확률이 로지스틱 지도보다 낮지만 -1.3부터 1.3까지 넓은 범위로 분포되어 있다. 즉, 3개의 혼돈 지도 중에서는 천막 지도와 로지스틱 지도가 낮은 신호 전력을 가지며, 해논 지도가 가장 높은 신호 전력을 가진다.

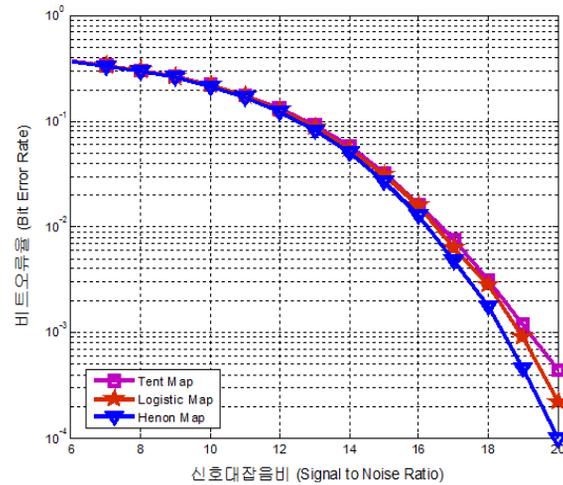


그림 12. 혼돈 지도에 따른 비트오류율 성능.
 Fig. 12. BER performance according to chaos maps.

그림 12는 천막 지도, 로지스틱 지도와 해논 지도의 비트오류율 성능을 평가한 것이다. 비트오류율 성능은 해논 지도가 가장 좋고 천막 지도가 가장 나쁜 것을 알 수 있다. 그림 11의 확률밀도함수를 살펴보면 천막 지도가 해논 지도에 비해 낮은 신호 전력을 가지는 것을 알 수 있지만 비트오류율 성능은 해논 지도가 더 좋다. 이는 해논 지도가 확률밀도함수에서 0 근처 값의 확률이 천막 지도보다 낮기 때문이다. 실제로 0 근처 값의 확률이 낮은 순서대로 나열하면 해논 지도, 로지스틱 지도, 천막 지도 순인데, 이 순서는 비트오류율 성능이 좋은 순서와 일치한다.

상관지연편이변조 방식에서는 참조 신호인 혼돈 신호와 정보신호가 사상된 혼돈 신호가 더해진 후에 송신된다. 상관지연편이변조 방식의 수신기에서는 확산인자만큼 신호를 더한 후에 임계값 0을 기준으로 판정하는데, 0 근처 값이 많은 혼돈 신호를 이용하여 정보신호를 사상시킨다면 각각의 송신 신호는 참조 신호와 잡음에 의해 더 민감하게 영향을 받으며 수신된 각각의 수신 신호를 확산인자만큼 가산하면 임계값 0에 대한 판정 오류 확률이 높아진다. 즉, 확률밀도함수에서 0 근처 값의 확률이 낮아야만 비트오류율 성능이 향상되는 것을 알 수 있다.

앞에서 알아본 비트오류율 성능을 개선시키는 2가지의 확률밀도함수 경향은 서로 반대되는 결과라는 것을 알 수 있다. 참조 신호나 잡음으로 인해서 발생하는 오류를 줄이기 위해서는 0 근처 값의 확률이 낮아야한다. 하지만 인접 심볼간의 거리를 멀게 하여 심볼간의 오류를 줄이기 위해서는 0에 근접한 값의 확률을 높게 하여 낮은 신호 전력을 갖도록 해야 한다.

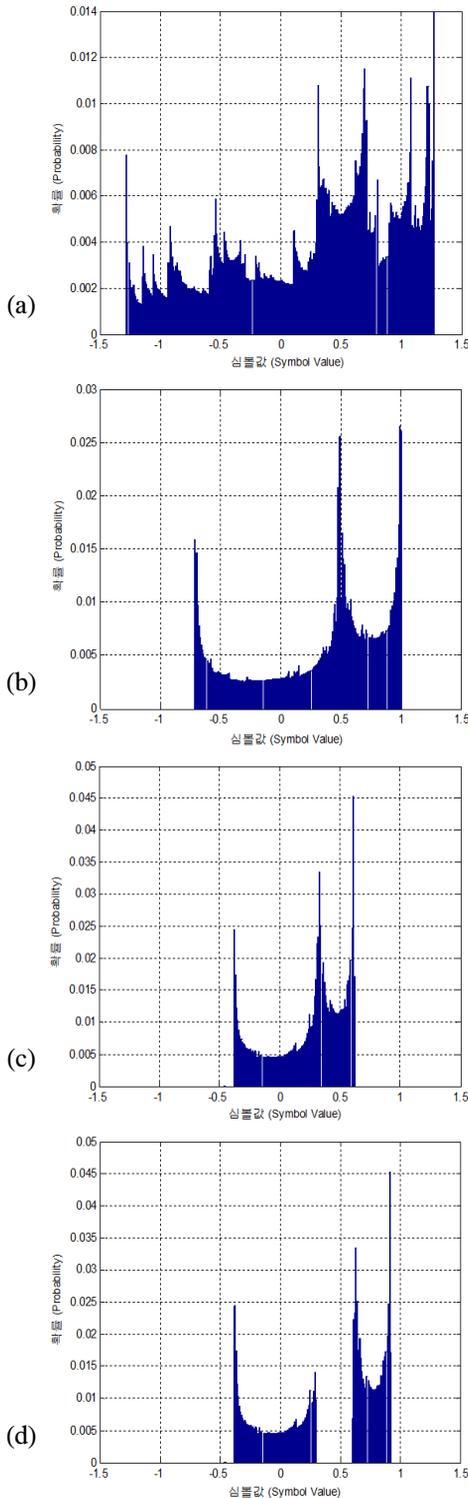


그림 13. 초기 값, 매개변수, 방정식을 변화시킨 다양한 확률 밀도함수.
Fig. 13. Various of PDF by changing the initial value, equation and parameter.

그림 13은 혼돈 지도의 초기 값과 매개변수, 방정식을 변화시켜 발생시킨 새로운 혼돈 신호의 확률밀도함수를 나타낸다. 그림 13(a)와 그림 13(b)를 비교해보면 그림 13(b)는 0 근처 값의 확률이 그림 13(a)에 비해서

조금 높아졌지만 전체적인 확률밀도함수의 범위를 줄임으로서 상대적으로 낮은 신호 전력을 가지게 만들었다. 마찬가지로 그림 13(c)는 그림 13(b)보다 0 근처 값의 확률이 높지만 전체적인 범위를 더 줄여 더 낮은 신호 전력을 가지게 만들었으며, 그림 13(d)는 그림 13(c)보다 1 근처 값의 확률을 높게 하여 상대적으로 0 근처 값의 확률은 낮추었지만 높은 신호 전력을 갖는다.

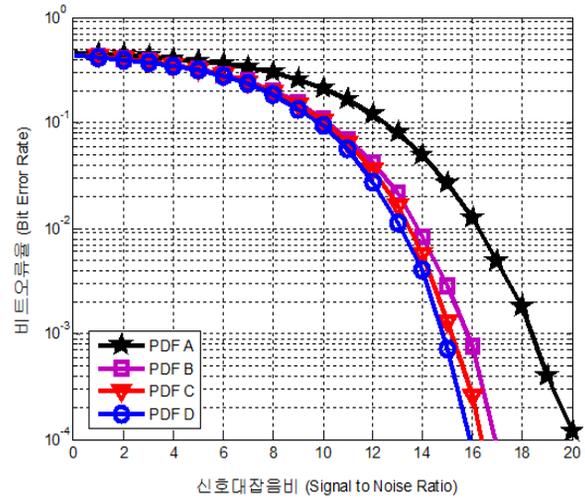


그림 14. 새로운 확률밀도함수에 따른 비트오류율 성능.
Fig. 14. BER performance according to trend of PDF.

그림 14는 그림 13에서 나타낸 확률밀도함수의 비트오류율 성능을 나타낸 것이다. 그림 14를 보면, 그림 13(a)가 비트오류율 성능이 가장 안 좋으며 그림 13(b),(c),(d) 순으로 비트오류율 성능이 좋은 것을 알 수 있다. 그림 14를 통해, 확률밀도함수에서 0 근처 값의 확률이 조금 높아지더라도 전체적인 범위를 줄임으로서 상대적으로 낮은 신호 전력을 가지게 하면 비트오류율 성능이 좋아지는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 13(c)와 그림 13(d)를 보면 상대적으로 높은 신호 전력을 가지더라도 상대적으로 0 근처 값의 확률을 낮추고 1 근처 값의 확률을 높게 함으로서 비트오류율 성능이 좋아지는 것을 알 수 있다.

정리하면, 확률밀도함수에서 0 근처 값의 확률이 높아지면 낮은 신호 전력을 가지게 되지만 상대적으로 높은 신호 전력을 가지더라도 0 근처 값의 확률을 낮춘다면 비트오류율 성능을 향상시킬 수 있다. 즉, 비트오류율 성능을 개선시킬 수 있는 2가지의 확률밀도함수 경향은 서로 반비례적인 관계를 가진다. 또한, 비트오류율 성능을 향상시키려면 이 2가지의 확률밀도함수 경향에 대한 적절한 상충관계의 고려가 필요하다.

IV. 제안하는 확률밀도함수의 비트오류율 성능 평가

백색 정규 잡음(Additive White Gaussian Noise, AWGN) 환경에서 제안한 확률밀도함수에 대한 혼돈 신호를 상관지연편이변조 방식에 적용하여 비트오류율 성능을 평가하며, 확산 인자의 값은 100으로 한다.

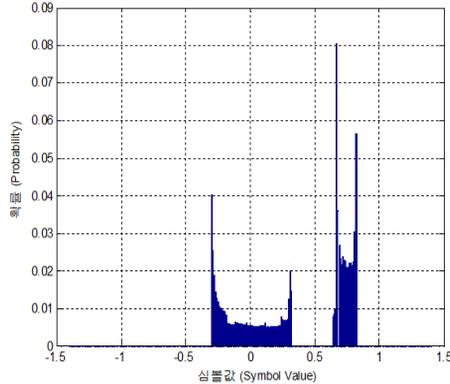


그림 15. 비트오류율 성능 개선을 위해 제안한 확률밀도함수 경향.
Fig. 15. Trend of proposed PDF for BER performance improvement.

그림 15는 비트오류율 성능 개선을 위해 제안하는 확률밀도함수이다. 앞 절에서 설명한 비트오류율 성능에 영향을 미치는 두 가지 요인의 상충관계를 고려하여 그림 15와 같은 확률밀도함수를 생성하였다.

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= \alpha |0.45 - |0.503 - x_n|| \\ y_n &= x_n - 0.3 \end{aligned} \quad (6)$$

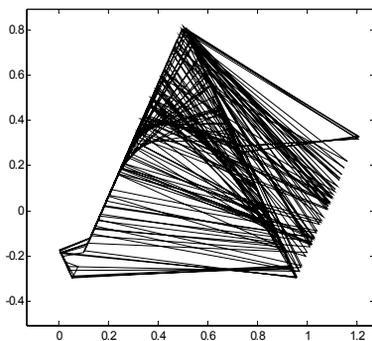


그림 16. 제안한 확률밀도함수의 궤적.
Fig. 16. Trajectory of proposed PDF.

식(6)은 그림 13의 확률밀도함수를 그리는 혼돈 지도 방정식을 나타낸 것이다. 식(6)은 천막 지도의 방정식을 변형시킨 것이며 초기 값은 0.1, α 가 2.5일 때, 그림 16과 같은 궤적을 그리며 그림 15와 같은 확률밀

도함수를 갖는다. 그림 16에서 x축은 x_n , y축은 y_n 을 의미하며, 기존 천막 지도와 다르게 피라미드 모양으로 그려진다.

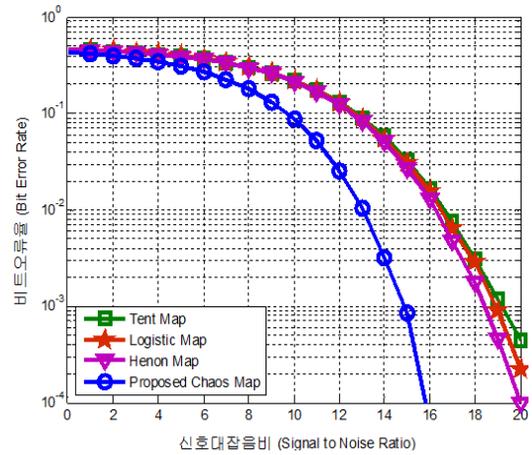


그림 17. 제안한 확률밀도함수의 비트오류율 성능.
Fig. 17. BER performance of proposed PDF.

그림 17은 제안한 혼돈 지도를 상관지연편이변조 방식에 적용하여 비트오류율 성능을 평가한 것이다. 그림 17을 보면 비트오류율이 10^{-4} 일 때, 천막 지도와 로지스틱 지도에 비해 약 5dB, 해논 지도보다 약 4dB 정도 성능이 좋은 것을 알 수 있다. 즉, 비트오류율 성능을 향상시킬 수 있는 확률밀도함수의 경향을 파악한 후에 제안한 새로운 혼돈 지도를 상관지연편이변조 방식에 적용함으로써 더 좋은 비트오류율 성능을 얻을 수 있었다.

V. 결 론

일반적으로 혼돈 통신 방식은 다른 방식에 비해 보안성이 우수하지만 비트오류율 성능은 좋지 않다. 기존의 혼돈 통신 방식의 사용자는 여러 가지 혼돈 지도의 비트오류율 성능을 평가하여 그 중에서 비트오류율 성능이 가장 좋은 혼돈 지도를 선택적으로 사용할 뿐, 혼돈 지도의 특성을 변화시키므로써 비트오류율 성능을 개선시키려는 시도는 이루어지지 않고 있다. 상관지연 편이변조 방식에서는 혼돈 지도의 변화에 따라 확률밀도함수가 변하고 이에 따라 비트오류율 성능도 변하게 된다. 본 논문에서는 혼돈 신호를 확률밀도함수로 나타내고 초기조건, 매개변수 및 방정식을 변화시키면서 비트오류율 성능을 향상시킬 수 있는 확률밀도함수의 경향을 알아본 후, 이 결과를 토대로 비트오류율 성능이 우수한 새로운 혼돈 지도를 제안한다. 비트오류율 성능을 개선시킬 수 있는 2가지의 확률밀도함수 경향은 서

로 반비례 관계이며, 적절한 상충관계 고려를 통해 비트오류율 성능을 향상시킬 수 있다. 적절한 상충관계 고려를 통해 얻은 새로운 혼돈 지도를 제안한 후, 이 혼돈 지도를 상관지연편이변조 방식에 적용하여 비트오류율 성능을 평가한 결과, 비트오류율이 10^{-4} 일 때 천막 지도나 로지스틱 지도 보다 약 5dB, 해논 지도보다 약 4dB정도 더 좋게 평가되었다. 따라서 혼돈 지도의 확률밀도함수의 경향을 파악하여 새로운 혼돈 지도를 제안하고, 이 혼돈 지도를 상관지연편이변조 방식에 적용함으로써 향상된 비트오류율 성능을 얻을 수 있다.

References

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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.

[4] N. F. Rulkov, M. M. Sushchik, L. S. Tsimring, and A. R. Volkovskii, "Digital communication using chaotic-pulse-position modulation," *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Fundam. Theory Appl.*, vol. 48, no. 12, pp. 1436-1444, Dec. 2001.

[5] J. Bok and H.-G. 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.

[6] L. M. Berliner, "Statistics, probability and chaos," *Statistical Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 69-90, Feb. 1992.

[7] N. F. Rulkov, M. A. Vorontsov and L. Illing "Chaotic free-space laser communication over

turbulent channel," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 89, no. 27, pp. 277-905, Nov. 2002.

[8] H. Li and H. Liu, "Novel multiple access scheme for CDSK chaotic communication system," *J. Computational Inform. Syst.*, vol. 8, no. 18, pp. 7693-7698, Sep. 2012.

[9] J.-H. Lee and H.-G. Ryu, "Anti-jamming performance of chaos communications system using DCSK and CDSK modulation method," *J. Korean Inst. Electromagnetic Eng. Sci. (KIEES)*, vol. 24, no. 4, pp. 417-425, Apr. 2013.

이 준 현 (Jun-Hyun Lee)



2013년 2월 충북대학교 전자공학
학과(공학사)
2013년 3월~현재 충북대학교
전자공학과 석사과정
<관심분야> 보안 통신, 이동
통신 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> 무선통신시스템, 위성통신, B4G/5G 이
동통신시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리