

# 카오스 변조와 역지향성 안테나를 이용한 통신 보안 향상 기법

## The Communication Security Improvement Technology Using Chaos Modulation and Retrodirective Array Antenna

복 준 영 · 김 기 영\* · 유 흥 균

Junyeong Bok · Gi-Young Kim\* · Heung-Gyoon Ryu

### 요 약

본 논문에서는 통신의 보안성과 수신 성능 향상을 위해서 역지향성 안테나를 이용한 CDSK 변조 방식을 제안한다. 카오스 신호는 신호의 비주기성과 비예측성으로 향상된 보안성을 제공한다. 그러나 카오스 변조 방식은 자기 신호와 간섭 신호로 인해서 수신 성능 열화가 발생한다. 본 논문에서는 카오스 신호 기반 CDSK 변조 방식을 사용하면서도 수신 성능을 유지할 수 있도록 역지향성 안테나를 적용한 카오스 통신 시스템의 성능을 분석한다. 시뮬레이션 결과, 5개의 배열 안테나 소자를 사용하여 역지향성 안테나를 구성할 경우, 제안한 시스템은 향상된 보안성을 제공하며, BPSK 변조를 사용한 통신 시스템과 동일한 수신 성능을 얻는 것을 확인할 수 있다.

### Abstract

In this paper, we propose a chaotic correlation delay shift keying(CDSK) using digital retrodirective array antenna (RDA) for improving security and receive performance. Chaotic signals provide improved security due to non-periodic and non-predictable performance of chaotic signals. However, the receive performance of these chaotic signals is degraded due to self-interference and interference signals. Therefore, this paper, we analyze the receive BER performance of chaos communication system which has digital RDA based on CDSK modulation schemes for improving security without receive performance degradation. Simulation results show that the proposed system can get the same receiving performance compared to BPSK modulation schemes when array elements of RDA are 5.

Key words : DCSK, CDSK, Retrodirective Array Antenna, Tent Map, Security

### I. 서 론

최근 통신 시스템은 LTE, Wi-max 등과 같은 이동 모바일 환경에서부터 위성 통신이나 수중 통신에 이르기까지 다양한 환경에서 고속의 데이터 전송을 위한 통신 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

고속의 데이터 전송이 가능해지면서 사람들의 정보 서비스 이용은 더욱 보편화 되고 있다. 스마트 폰, 태블릿 등과 같은 장비들의 등장으로 인하여 정보 서비스의 이용은 급격히 증가하였다. 정보 서비스 이용의 증가로 인하여 통신 보안 문제는 중요한 연구 화두가 되고 있다.

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

\*미래창조과학부 중앙전파관리소 전파계획과(Raio-Wave Planning Part, Central Radio Management Office, Ministry of Science, ICT and Future Planning)

· Manuscript received November, 27, 2012 ; Revised February 27, 2013 ; Accepted March 6, 2013. (ID No. 20121127-134)

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

이러한 요구를 만족시키기 위해서 향상된 통신 보안성을 가질 수 있도록 카오스 신호를 적용한 다양한 통신 방식에 대해서 연구가 진행되고 있다<sup>[1]~[3]</sup>. 카오스 신호는 연속적인 왜곡 신호 파형과 비 주기적인 특성으로 인하여 마치 잡음과 유사한 형태를 가지며, 특정 스펙트럼 대역에서만 광대역의 스펙트럼 에너지가 존재하므로 보안성이 크게 증대된다.

카오스 신호가 가지는 불규칙한 현상을 적용하여 정보를 효율적으로 부호화 하는 방법에 대한 연구가 진행되었다. 특히 차동 카오스 변조(Differential Chaos Shift Key: DCSK) 기법과 상관 지연 편이 변조(Correlation Delay Shift Keying: CDSK) 기법은 매우 잘 알려진 카오스 변조 기법이다<sup>[4]</sup>. 카오스 변조 기법은 비주기적인 특성으로 인하여 QAM 변조 방식에 비해서 수신 성능이 열화되는 단점을 가진다. 보안성과 수신 성능을 확보할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다<sup>[5]~[7]</sup>.

현재 통신 시스템에서는 송수신 성능 향상을 위해 다중 안테나를 사용한 다이버시티 기법이나 빔포밍 기법과 같은 다양한 방법들이 연구되고 있다. 빔포밍 기술은 배열 안테나를 사용하여 원하는 방향의 신호만을 높은 이득으로 수신하고, 원하지 않는 방향으로 낮은 이득을 줌으로써 간섭의 크기를 효과적으로 줄일 수 있는 기법이다.

특히 디지털 역지향성 안테나 기술은 송수신기에 대한 사전 위치 정보 없이 고속의 빔 추적이 가능하다. 따라서 디지털 역지향성 안테나 기술을 사용하면 복잡한 신호 처리 없이 수신기의 이동상황에서 자율적으로 송신단의 위치를 추적할 수 있다<sup>[8],[9]</sup>.

카오스 변조 기법의 낮은 수신 성능과 보안성을 향상시키기 위해서, 본 논문에서는 카오스 변조 기반 디지털 역지향성 안테나를 적용한 통신 시스템을 제안한다.

본 논문에서는 카오스 변조 방식 중에 하나인 CDSK 변조를 사용하여 보안성을 향상시키고, 사전 위치 정보 없이 수신 신호를 수신 방향 그대로 재전송 가능한 디지털 역지향성 안테나 기법을 사용하여 수신 성능을 향상시키는 통신 시스템을 제안한다.

카오스 변조 방식과 디지털 역지향성 안테나의 장점만을 이용하여 보안성과 수신 성능을 개선할 수 있는 시스템을 제안한다. 제안된 통신 시스템은 송

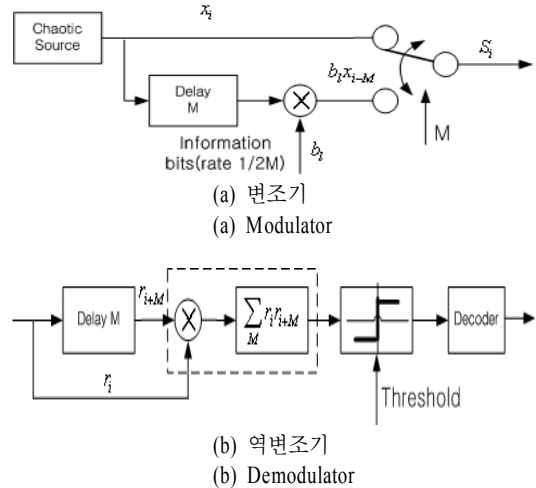


그림 1. DCSK의 변조기와 역변조기  
Fig. 1. Modulator and demodulator of DCSK.

수신기가 이동하지 않고 고정된 무선 통신 시스템에서 적용하기에 용이할 것으로 생각된다.

## II. 카오스 변조 기법을 이용한 통신시스템

그림 1은 차동 카오스 편이 변조(DCSK)기와 역변조기의 블록도를 나타낸다. DCSK 변조는 길이가  $M$ 인 카오스 신호  $x_i$ 와 이진 정보 비트  $b_i = \pm 1$ 의 곱셈 과정을 통해서 변조된다. 다시 말해 정보 비트는  $M$ 의 길이를 가지는 카오스 신호에 의해서 대역 확산된다. 카오스 신호는 다양한 카오스 맵을 사용하여 변조된다.

송신 신호  $s_i$ 는 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_i = \begin{cases} x_i, & 0 < i \leq M \\ b_i x_{i-M}, & M < i \leq 2M \end{cases} \quad (1)$$

DCSK의 수신기에서 수신된 신호  $r_i$ 에 지연된 신호를 곱하게 되면, 대역 확산 코드의 길이  $M$ 에 대하여 평균인 신호를 수신하게 된다. 상관기의 출력 신호는 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다.

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

위 식에서 수신된 신호  $r_i$ 에 백색 가우시안 잡음(Additive White Gaussian Noise: AWGN)만 존재한다고 가정하면,  $r_i = s_i + n_i$ 로 표현할 수 있다. 임의 시

간  $i$ 와  $j$ 에 대해서 AWGN을 고려한 상관기의 출력은 식 (3)과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 S &= \sum_{i=1}^M (s_i + n_i)(s_{i+M} + n_{i+M}) \\
 &= \sum_{i=1}^M (b_i x_i^2 + x_i(n_{i+M} + b_i n_i) + n_i n_{i+M}) \\
 &= b_i \sum_{i=1}^M x_i^2 + \sum_{i=1}^M x_i((n_{i+M} + b_i n_i) + n_i n_{i+M}) \quad (3)
 \end{aligned}$$

상관기의 출력 신호는 식 (3)과 같이, 원하는 신호인 첫 번째 항과 잡음 그리고 간섭 항으로 나타낼 수 있다. 잡음과 간섭 항은 가우시안 분포를 가지므로 평균은 0이고, 분산은  $\sigma^2$ 을 갖는다.

2-1 CDSK 변조 기법

앞 절에서 설명한 DCSK 방식은 동일한 카오스 신호를 두 번 반복해서 보내야 된다. 그 결과, DCSK 방식은 대역 효율이 저하되는 문제점이 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해 제안된 방법이 상관 지연 편이 변조(Correlation Delay Shift Keying: CDSK) 방식이다.

그림 2은 상관 지연 편이 변조(CDSK)를 위한 변조기와 역변조기의 블록도이다. CDSK 변조 기법은 송신된 카오스 신호와 이진 정보 비트  $b_i = \pm 1$ 에 의해 곱해진 신호로 표현 가능하다. CDSK 변조 방식은 DCSK의 스위치 대신 가산기를 사용한다. 그 결과, 동일한 신호를 반복하지 않고 전송 가능하므로 대역

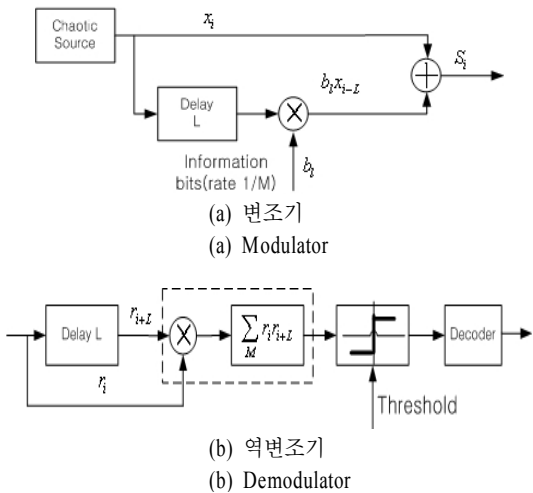


그림 2. CDSK의 변조기와 역변조기  
Fig. 2. Modulator and demodulator of CDSK.

효율 저하 문제를 해결하였다. CDSK 복조를 위한 상관기 출력  $S$ 는 아래 식과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 S &= \sum_{i=1}^M (x_i + b_i x_{i-L} + n_i)(x_{i-L} + b_{i-1} x_{i-2L}) \\
 &= b_i \sum_{i=1}^M x_{i-L}^2 + \sum_{i=1}^M \eta_i \quad (4)
 \end{aligned}$$

위 식에서  $\eta_i$ 는 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 \eta_i &= x_i x_{i-L} + b_{i-1} x_i x_{i-2L} + b_i b_{i-1} x_{i-L} x_{i-2L} + x_i n_{i-L} \\
 &\quad + b_i x_{i-L} n_{i-L} + x_{i-L} n_i + b_{i-1} x_{i-2L} n_i + n_i n_{i-L}
 \end{aligned}$$

식 (4)의 첫 번째 항은 원하는 신호 항이며, 두 번째 항은 상관기의 잡음과 유한시간에 대한 상관 카오스 신호로부터 나온다. 추가적인 간섭은 DCSK 변조 기법에 비해서 CDSK 변조 기법의 수신 성능 열화가 발생하는 요인이다. CDSK 변조를 사용한 시스템에 대한 비트 오차율은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다<sup>[10]</sup>.

$$BER = \text{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{8N_0} \left( 1 + \frac{19}{20M} \frac{E_b}{N_0} + \frac{M}{4} \frac{N_0}{E_b} \right)^{-1}} \right) \quad (5)$$

III. 디지털 역지향성 안테나를 사용한 카오스 통신시스템

카오스 변조 기법을 사용하게 되면 보안성이 향상되게 된다. 그러나 BPSK 신호의 정상도는 (1, -1)로 일정한 해밍거리를 가지지만, 카오스 변조 신호는 랜덤 값을 가지므로 BPSK 신호에 비해서 해밍거리가 짧아지게 된다. 그 결과, 수신 BER 성능이 열화된다. 이 논문에서는 수신 성능 향상을 위해서 디지털 역지향성 안테나를 적용한다.

그림 3은 임의의 입사각  $\theta$ 를 가지고 데이터가 수신될 경우, 디지털 역지향성 안테나의 개념도를 나타낸다. 그림 3처럼 역지향성 안테나 소자에 수신된 신호는 서로 다른 시간 지연 ( $0, \tau_1, \tau_2, \tau_3$ )로 인하여 서로 다른 위상 지연 ( $0, \phi, 2\phi, 3\phi$ )을 가진다. 즉 다시 말해서  $N$ 개의 배열 안테나 소자를 가질 경우, 각각의 수신 배열 안테나 소자를 통해 수신된 신호는 아래 식과 같은 위상 지연을 가지게 된다.

$$\Delta(n-1)\phi = 2\pi f \frac{d}{c} \sin \theta, \quad n = 1, \dots, N \quad (6)$$

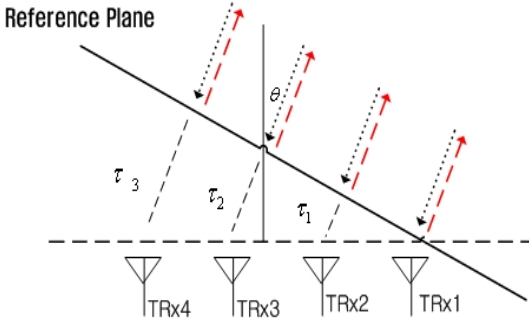


그림 3. 디지털 역지향성 안테나를 사용한 카오스 통신 시스템

Fig. 3. Chaos communication system using digital retrodirective array antenna.

식 (6)에서  $\Delta\phi$ 는 두 인접 안테나 사이의 위상지연을 나타내며,  $f$ 는 신호의 주파수,  $c$ 는 빛의 속력,  $d$ 는 안테나 사이의 거리,  $\theta$ 는 신호의 입사각을 나타낸다.

안테나 사이의 거리가 동일할 경우, 두 인접 안테나의 위상 지연은 동일하게 나타난다. 이때, 수신 신호의 위상 정보에 공역을 취해서 재전송하면 수신된 방향 그대로 신호가 재전송된다. 이를 식으로 표현하면 아래 식과 같다.

$$\phi_{Tx} = -\phi_{Tx} \quad (7)$$

수신 신호의 위상 정보에 공역을 해주기 위해서는 위상 검출 과정이 중요하다.

그림 4는 기저 대역에서의 디지털 위상 검출 방법이다. QPSK 변조를 사용한 경우의 위상 검출 기법을 소개한 후 DCSK나 CDSK와 같은 카오스 변조를 통해 확산된 신호의 위상 검출 기법을 소개한다.

그림 4(a)와 같이 QPSK 신호는 레퍼런스 안테나를

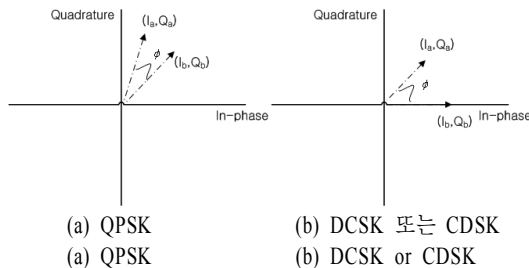


그림 4. 기저 대역 위상 검출  
Fig. 4. Phase detection based on base band.

통해 수신된 신호( $I_b, Q_b$ )와 인접 안테나의 수신 신호( $I_a, Q_a$ )로 표현할 수 있다. 레퍼런스 안테나는  $n=1$ 일 경우이며, 이때 수신 신호의 위상 지연은 0도를 가지게 된다.

이 경우, 인접 안테나 소자를 통해 수신된 신호의 위상 차이  $\phi$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$e^{j\phi} = e^{j(\phi_a - \phi_b)} \quad (8)$$

식 (8)은 식 (9)와 같이 다시 정리할 수 있다.

$$e^{j\phi} = \frac{I_a}{\sqrt{I_a^2 + Q_a^2}} \frac{I_b}{\sqrt{I_b^2 + Q_b^2}} + \frac{Q_a}{\sqrt{I_a^2 + Q_a^2}} \frac{Q_b}{\sqrt{I_b^2 + Q_b^2}} + j \left( \frac{Q_a}{\sqrt{I_a^2 + Q_a^2}} \frac{I_b}{\sqrt{I_b^2 + Q_b^2}} - \frac{Q_b}{\sqrt{I_b^2 + Q_b^2}} \frac{I_a}{\sqrt{I_a^2 + Q_a^2}} \right) \quad (9)$$

QPSK 신호의 경우, 크기는  $\sqrt{I_b^2 + Q_b^2} = \sqrt{2}$ 를 가진다. 위 식은 아래 식과 같이 ( $\phi \approx \sin\phi$ ) 근사화할 수 있다.

$$\phi \approx \sin\phi = \frac{1}{2\sqrt{(I_a^2 + Q_a^2)}} (I_b Q_a - I_a Q_b) \quad (10)$$

식 (10)에서 위상 정보만을 추출하면 아래와 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\phi = (I_b Q_a - I_a Q_b) \quad (11)$$

DCSK나 CDSK 변조는 카오스 신호를 변조하는 기법이다. 카오스 신호는 카오스 맵에 의해서 생성된다. 카오스 맵에 의해 생성된 카오스 신호는 이진 정보 비트가 곱해짐으로써 신호가 생성된다. 그러므로 카오스 변조 기법은 그림 4(b)와 같이 QPSK 변조 신호와 다르게 실수 신호(in-phase signal) 성분만을 가지게 된다. 즉 다시 말해서(quadrature signal) 허수 성분은 0을 가지게 된다. 결국 카오스 변조 기법을 사용한 경우에 인접 안테나 소자를 통해 수신된 신호의 위상 차이  $\phi$ 는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\phi = I_a Q_b \quad (12)$$

카오스 변조 기법의 경우, 각 인접 배열 안테나를 통해서 수신된 신호의 위상 차이는 식 (12)을 통해서 검출 가능하다. QPSK 변조 기법의 위상 검출 기법에 비해서 카오스 변조 기법의 위상 검출 방식은 더

욱 간단해진다.

디지털 위상 검출기에서 검출된 위상 정보는 수신된 신호의 입사각에 의한 위상 지연정보이므로, 재전송할 경우 위상에 공액을 취해서 재전송한다. 재송신된 신호는 송신기 방향으로 전송된다. 디지털 역지향성 안테나를 사용함으로써 송신기와 수신기 방향으로 자동적으로 빔을 형성하며 통신을 할 수 있기 때문에, 수신 성능 및 보안성을 향상시킬 수 있게 된다.

#### IV. 시뮬레이션

본 논문에서는 향상된 보안성을 제공하는 CDSK 변조 기법의 수신 성능을 향상을 위해 디지털 역지향성 안테나를 적용한 보안 통신 시스템의 수신 성능을 분석하였다. 디지털 역지향성 안테나 기술을 사용함으로써 송신단의 위치에 대한 정보 없이 수신된 방향 그대로 재전송함으로써 통신 링크를 유지한다. 표 1과 같은 시뮬레이션 환경을 고려하였으며, 카오스 맵으로는 Tent 맵을 사용하였다.

카오스 통신 시스템의 성능을 분석하기 위해서 그림 5와 같은 Tent 맵을 사용하였다. 이때, Tent 맵의 이득은  $\alpha$  값에 따라 변화하며, 아래 식과 같은 Tent 맵 방정식을 사용하였다.

$$x_{n+1} = \alpha|0.5 - |0.5 - x_n|| \quad (13)$$

그림 6(a)은 기준 안테나 소자( $n=1$ )와 인접 안테나 소자( $n=2$ )를 통해 수신된 신호의 위상 차이를 검출한 결과이다. 디지털 역지향성 안테나의 배열 소자가 2개일 경우 신호의 위상 지연  $\phi=10$ 도를 정확하게 검출하는 것을 확인할 수 있다. 기저대역에서 식 (12)를 이용하여 시뮬링크 블록도를 구성하여 검출한 결과 값이다.

그림 6(b) 위상 검출기를 통해 검출된 위상 지연

표 1. 시뮬레이션 환경

Table 1. Simulation parameters.

Parameters	Values
Modulation	CDSK
Spreading factor( $M$ )	10, 20, 50, 100
Chaos map	Tent map

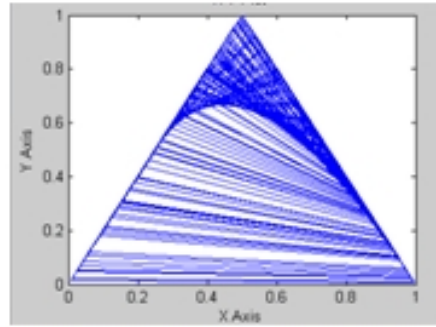
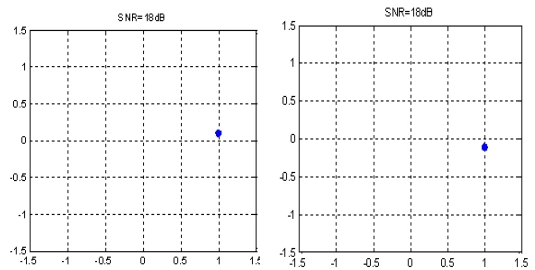


그림 5. Tent 맵의 출력 값( $\alpha=1.99$ )  
Fig. 5. The output of Tent map( $\alpha=1.99$ ).



(a) 위상 검출기 검출 값 (b) 위상 공액후 정상도  
(a) The output of PD (b) Phase information after PC  
그림 6. 위상 검출기 결과 값과 위상 공액 공액 후 위상 정보( $\phi=10$ 도일 경우)  
Fig. 6. The output value of phase detector(PD) and phase information after phase conjugation(PC), ( $\phi=10$ ).

값에 공액을 취한 결과이다. 위상 검출기를 통해 검출된 결과인 그림 6(a)와 공액 위상을 취한 결과 값인 그림 6(b)의 관계는 공액 관계에 있다.

그림 7는 CDSK 변조 방식에서 확산 인자  $M$ 의 변화에 의한 수신 BER 성능을 분석한 것이다. 확산인자  $M$ 의 길이가 길어질수록 수신 BER 성능은 향상된다. 그러나 확산인자  $M$ 이 길어질수록 주파수 효율은 저하한다. 또한, CDSK 변조는 BPSK 변조 방식에 비해서 주기성을 가지지 않기 때문에 보안성은 향상되지만, 수신 BER 성능이 열화된다.

그림 8은 디지털 역지향성 배열 안테나 소자 수의 변화에 따른 수신 BER 성능을 분석하였다. 본 논문에서는 향상된 CDSK의 보안성을 유지하면서도 수신 BER 성능 저하의 문제를 해결하기 위해서 디지털 역지향성 안테나를 적용한 시스템의 수신 성능을

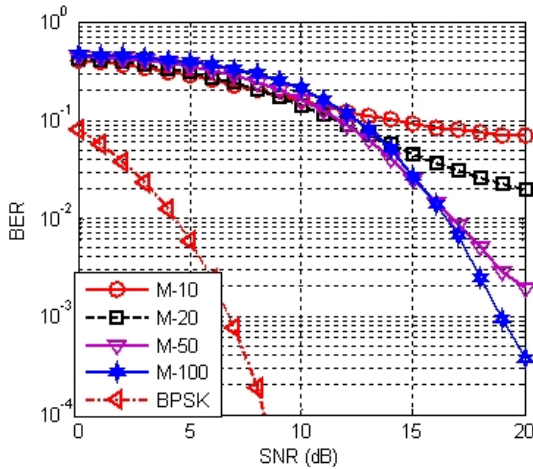


그림 7.  $M$ 에 의한 CDSK 수신 성능 비교  
 Fig. 7. Comparison of receive performance in CDSK by size  $M$ .

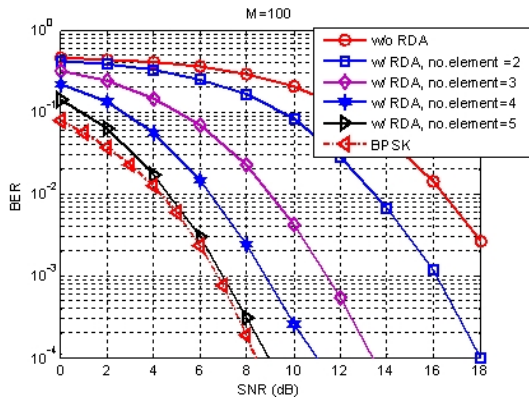


그림 8. 제안하는 시스템을 사용한 경우 수신 BER 성능 비교  
 Fig. 8. Comparison of BER performance w/ RDA and w/o RDA.

분석하였다.

시뮬레이션 결과, 최소 5개 이상의 안테나 소자를 사용하여 디지털 역지향성 안테나를 구성하여 CD- SK 변조의 통신을 하게 되면 BPSK 변조의 통신 방식과 비슷한 수신 BER 성능을 얻을 수 있었다. 디지털 역지향성 안테나를 통해 형성된 빔으로 인한 추가적인 안테나 이득을 얻을 수 있기 때문이다.

### V. 결 론

본 논문에서는 카오스 통신 시스템이 가지는 보

안성은 유지하면서도 수신 BER 성능을 향상시키기 위한 방법으로 디지털 역지향성 안테나를 적용한 카오스 통신 방식에 대해서 설계하고 성능을 분석하였다. 카오스 신호 변조를 위해서 Tent 맵 기반의 CD- SK 변조를 사용하였다. 시뮬레이션 결과, 배열 안테나를 사용하여 빔을 형성할 경우, 최소 5개 이상의 안테나 소자를 사용하여 빔을 형성하면 BPSK 변조 방식과 비슷한 수신 BER 성능을 얻을 수 있었다.

본 논문에서는 디지털 역지향성 안테나 기법을 사용하여 카오스 신호가 가지는 수신 성능 열화 문제를 해결하였다. 대신 디지털 역지향성 안테나를 사용하기 위해서는 추가적인 안테나 소자가 필요하다는 단점을 가진다.

카오스 맵 기반의 CDSK 변조 기법은 향상된 보안성을 제공하지만, 확산인자  $M$ 만큼의 대역폭 효율이 감소되는 문제점을 가진다. 따라서 차후 카오스 변조 기법의 대역폭 효율을 감소시키기 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

- [1] N. F. Rulkov, M. M. Sushchik, "Digital communication using chaotic pulse position modulation", *IEEE Trans. Circuits Syst.*, vol. 48, pp. 1436-1444, 2001.
- [2] 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.
- [3] 장은영, "CPPM을 이용한 카오스 기반 디지털 통신 시스템의 FPGA 구현", 동아대학교 박사학위논문, 2008.
- [4] Yungil Kim, Jaehwan Kim, Jae-Hyon Kim, and Joonhyuk Kang, "Comparison of DCSK receiver and enhanced DCSK receiver with synchronization error", *VTC 2006-spring IEEE 63rd*, vol. 5, pp. 2261-2265, 2006.
- [5] W. M. Tam, F. C. M. Lau, and C. K. Tse, "Generalized correlation-delay-shift-keying scheme for noncoherent chaos-based communication systems", *Circuits and Systems I: Regular Papers, IEEE Tr-*

*ansactions on*, vol. 53, no. 3, pp. 712-721, Mar. 2006.

[6] Q. Ding, 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.

[7] Hua Yang, Guo-Ping Jiang, "High-efficiency differential-chaos-shift-keying scheme for chaos-based non-coherent communication", *Circuits and Systems II: Express Briefs, IEEE Transactions on*, vol. 59, no. 5, pp. 312-316, May 2012.

[8] Ji Sun, "A bandpass sampling retrodirective antenna array for time division duplex communications", *M. A.Sc. Thesis*, Dalhousie University, Halifax, NS, Canada, 2007.

[9] J. Sun, X. Zeng, and Z. Chen, "A direct RF-under-sampling retrodirective array system", in *Proceedings of IEEE Radio and Wireless Symposium(RWS-'08)*, pp. 631-634, Jan. 2008.

[10] 배영철, "비선형 시스템과 카오스를 이용한 디지털 통신", 월간 자동화 기술, 연재 116회, pp. 74-79, 2010년 4월.

복 준 영



동 통신 시스템

2010년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학사)  
 2012년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2012년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 박사과정  
 [주 관심분야] 무선 통신 시스템, 이

유 흥 균



상

1988년~현재: 충북대학교 전자공학과 교수  
 2002년 3월~2004년 2월: 충북대학교 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  
 [주 관심분야] 무선통신시스템, B4G/5G 이동통신 시스템, 위성통신, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리

김 기 영



[주 관심분야] OFDM

1995년 2월: 한밭대학교 전자공학과 (공학사)  
 2000년 3월~2002년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2010년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 박사과정  
 1996년 8월~현재: 중앙전파관리소  
 통신 시스템, DAB 및 VSB 등 방송 시스템