퍼지 및 지능시스템학회 논문지 2003, Vol. 13, No. 3, pp. 310-315

임베딩 구동 동기화를 이용한 비밀통신

Secure Communication using Embedding Drive Synchronization

배영철, 김주완, 김이곤, 손영우
oungchul Bae, Juwan Kim, Yigon Kim, YoungWoo Shon

여수대학교 전자통신, 전기 · 반도체공학부, 김포대학 컴퓨터계열
Youngchul Bae, Juwan Kim, Yigon Kim, YoungWoo Shon
Yosu National University, Kimpo College
E-mail : ycbae@yosu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 SC-CNN의 특성을 이용한 임베딩 구동 카오스 동기화(Embedding Drive Synchronization) 방법을 소개하고 이 동기화 방법을 통한 비밀통신을 제안한다. 새로 제안한 임베딩 구동동기는 일반적인 구동동기 방법에서 모든 상태 변수를 구동시키는 방법과 달리 상태 변수 중 한 성분만을 구동시키는 방법이다. 본 논문에서는 SC_CNN에서 임베딩 구동 동기화를 먼저 이룬 후 비밀통신에 적용하였다.

Abstract

In this paper, We introduce an embedding driven synchronization method using SC-CNN(State-Controlled Cellular Neural Network) which has the purpose to secure communication method through the embedding driven synchronization method in the SC-CNN. we proposed new embedding driven synchronozation that this method is only using one state variable compare to the general driven synchronization methods which is using all state variables. In this papper, We achieved the usage of embedding driven synchronization and we also applied it to secure communication.

Key Words : SC-CNN, 카오스 동기화, 카오스 비밀 통신, 임베딩 구동 동기화

1. 서 론

최근에 카오스 현상에 대한 관심이 물리학, 화학, 생물학, 공학 등에서 높아지고 있으며 이에 대한 응용이 활발하게 진행되고 있다. Chua 회로는 매우 단순한 자율, 3차 시스템으로 가역성을 가지며 1개의 비선형 소자인 3 구분 선형 저항(3-segment piecewise-linear resistor)과 4개의 선형 소자인 (R, L, C1, C2)로 구성되는 발진회로다.

Chua 회로는 확률적 공진(stochastic resonance), 신호 증폭, 1/f 잡음 현상, 카오스 간헐성(intermittency), 주기 배증(periodic doubling), 주기 가산(periodic Adding), autowave, 나선형파(spiral wave), 자기유사성(self-similarity), 보편성(university) 등의 현상이 관찰되고 있어 카오스 및 그 응용 연구에 중요한 역할을 하고 있다.

Matsumoto에 의해 제안된 Chua 회로[1]을 그림 1에 나타냈으며 상태방정식은 식(1)과 같이 표시된다.

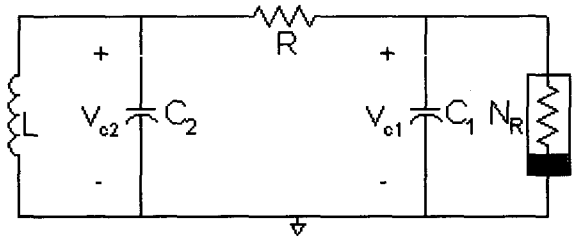


그림 1. Chua 회로
Fig. 1 Chua's circuit

$$\begin{aligned} C_1\frac{dv_{C_1}}{dt} &= G\,(v_{C_2}-v_{C_1})-g(v_{C_1}) \\ C_2\frac{dv_{C_2}}{dt} &= G\,(v_{C_1}-v_{C_2})+i_L \\ L\frac{di_L}{dt} &= -v_{C_2} \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 $G = 1/R$, $g(v_{c_1})$는 식 (2)와 같이 표현되는 3구분 선형 함수(3-segment piecewise-linear function)이며 그림 2에 나타내었다.

$$g(v_R)=m_0v_R+\frac{1}{2}(m_1-m_0)[|v_R+B_P|-|v_R-B_P|] \tag{2}$$

접수일자 : 2003년 4월 14일
완료일자 : 2003년 5월 28일
본 연구는 한국과학재단 지역대학우수과학자 지원연구(R05-2003-000-10618-0)지원으로 수행되었음

여기서 m_0는 외부 영역의 기울기, m_1은 내부 영역의 기울기, $\pm B_P$는 break-point이다.

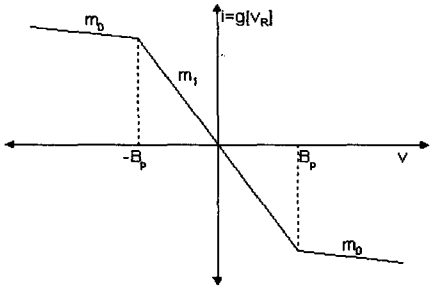


그림 2. 비선형 저항의 전압 전류 특성
Fig. 2 V-I characteristic of nonliner resistor

Chua 회로는, 잡음과 유사한 카오스 특성을 이용하여 카오스 신호에 정보 신호를 혼합하여 송신부에서 전송한 후 수신부에서 정보 신호와 카오스 신호를 분리하는 카오스 비밀통신에 주로 이용하고 있다[5,6].

카오스 신호를 이용한 카오스 비밀통신을 위해서는 동기화가 선행되어야 하며 이를 위한 동기화 기법으로 결합동기, 구동동기 방법[9,10] 등이 제시되어 있다. 결합동기는 시스템이 안정하지 않으면 결합저항을 찾지 못하는 단점과 구동동기는 송신부와 수신부의 파라미터 값에 따라 구동하지 못하는 결점을 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 Chua 회로를 기반으로 구성된 SC-CNN(State-Controlled CNN) 회로를 이용하여 카오스 회로를 구성하고 새로운 임베딩 구동 동기를 제안하였으며, 이 방식을 이용한 비밀통신기법을 제안하였다.

2. SC-CNN 회로

2.1 N-double scroll 회로

SC-CNN 회로를 얻기 위하여 Chua 회로의 변형인 N-double scroll 어트렉터를 고려하였다. n-double scroll을 얻기 위한 전기회로는 Arena[12]에 의해 구현되었으며 상태방정식은 식(3)과 같이 주어지고 비선형 저항의 관계식은 식(4)에 나타내었다.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \alpha[y - h(x)] \\ \dot{y} &= x - y + z \\ \dot{z} &= -\beta y \end{aligned} \tag{3}$$

$$h(x) = m_{2n-1}x + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{2n-1}(m_{i-1} - m_i)(|x + c_i| - |x - c_i|) \tag{4}$$

식(4)는 2(2n-1)개의 breakpoint를 가지며 $\alpha = 9, \beta = 14.286$라 할 때, 식(4)에서의 기울기와 파라미터의 값에 따라 다음과 같은 여러 가지 n-double scroll이 발생하게 된다.

1) 1-double scroll
$m_0 = -1/7, \quad m_1 = 2/7, \quad c_1 = 1$

2) 2-double scroll
$m_0 = -1/7, \quad m_1 = 2/7, \quad m_2 = -4/7,$
$m_3 = m_1, \quad c_1 = 1, \quad c_2 = 2.15, \quad c_3 = 3.6$

3) 3-double scroll
$m_0 = -1/7, \quad m_1 = 2/7, \quad m_2 = -4/7,$
$m_3 = m_1, \quad m_4 = m_2, \quad m_5 = m_3, \quad c_1 = 1,$
$c_2 = 2.15, \quad c_3 = 3.6, \quad c_4 = 8.2, \quad c_3 = 13$

그림 3에 2-double scroll 어트렉터와 비선형 저항을 나타내었다.

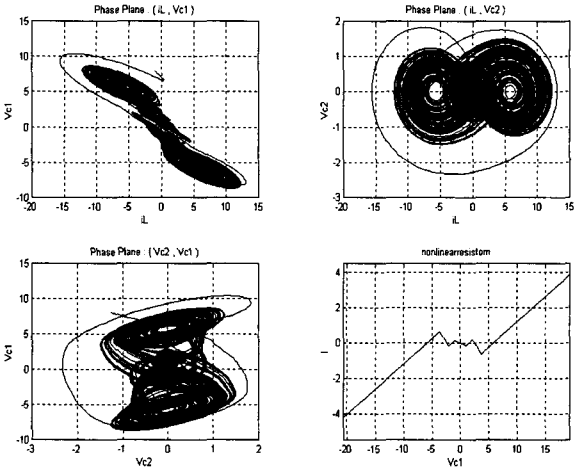


그림 3. 2-double scroll 위상공간과 비선형 저항
Fig. 3 phase plane of 2-double scroll and nonlinear resistor

2.1 SC-CNN 모델[12,13]

문헌[12,13]에서 다음과 같은 일반화된 셀 모델을 만들 수 있다.

$$\dot{x}_j = -x_j + a_j y_j + G_o + G_s + i, \tag{5}$$

여기서 j는 셀 수, x_j는 상태 변수, y_j는 상태변수의 비선형 출력을 나타낸다 i_j는 임계값(threshold value)이다. 식(5)에서 G_{oj}는 상태변수의 선형 조합이며, G_s는 연결 셀의 상태 변수의 선형조합이다. 비선형 출력은 식(6)과 같은 새로운 출력 PWL 방정식을 이용한다.

$$y_j = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{2n-1} n_k(|x + b_k| - |x - b_k|) \tag{6}$$

여기서 b_k는 차단점(break point)이며 n_k는 선형 구간의 기울기와 관련된 계수이다.

SC-CNN 셀은 상태 방정식(5)과 비선형 출력 방정식(6)의 조합으로 식 (7)과 같은 n-Double scroll을 만들 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -x_1 + a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + a_{13}y_3 + \sum_{k=1}^{3} s_{1k}x_k + i_1 \\ \dot{x}_2 &= -x_2 + a_{21}y_1 + a_{22}y_2 + a_{23}y_3 + \sum_{k=1}^{3} s_{2k}x_k + i_2 \\ \dot{x}_3 &= -x_3 + a_{31}y_1 + a_{32}y_2 + a_{33}y_3 + \sum_{k=1}^{3} s_{3k}x_k + i_3 \end{aligned} \tag{7}$$

여기서 x_1, x_2, x_3는 상태 변수이며, y_1, y_2, y_3는 이에 대응한 출력 변수이다.

2-double scroll 회로를 만들기 위해서는 $a_{12} = a_{13} = a_{21} = a_{22} = a_{23} = a_{32} = a_{33} = a_{31} = 0, \quad s_{13} = s_{31} = s_{22} = 0, i_1 = i_2 = i_3 = 0$으로 하면 식(7)과 같은 형태로 바뀌게 된다.

식(7)에 기초한 PSpice를 이용한 CNN회로를 그림 4에 나타내었다.

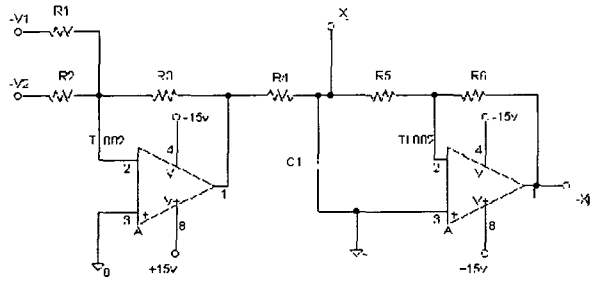


그림 4. CNN 회로도
Fig. 4 CNN circuit

그림 4의 상태방정식을 세우면 식 (8)과 같다.

$$C_j\dot{x_j}=-\frac{x_j}{R_4}+\frac{R_3}{R_1R_4}V_1+\frac{R_3}{R_2R_4}V_2 \tag{8}$$

2.2 Embedding Drive Synchronization

N-double Scroll 회로를 SC-CNN의 Dimensionless 형태로 바꾸어 표현하면 다음과 같다.

송신부의 상태 방정식

$$\begin{aligned}\dot{x}_1&=-x_1+x_1+\alpha(x_2-g)\\ \dot{x}_2&=-x_2+x_1+x_3\\ \dot{x}_3&=-x_3-\beta x_2+x_3\\ g_1&=m_3x_i+\frac{1}{2}\sum_{k=0}^{2}(m_k+m_{k+1})(|x_1+c_k|-|x_1-c_k|)\end{aligned} \tag{9}$$

수신부의 상태 방정식

$$\begin{aligned}\dot{x}_4&=-x_1+x_1+\alpha(x_2-g_2)\\ \dot{x}_5&=-x_5+x_4+x_6\\ \dot{x}_6&=-x_6-\beta x_5+x_6\\ g_1&=m_3x_i+\frac{1}{2}\sum_{k=0}^{2}(m_k+m_{k+1})(|x_1+c_k|-|x_1-c_k|)\end{aligned} \tag{10}$$

$\dot{x}_4$의 전개 항을 보면 x_2가 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 방법으로 미분방정식에서 오른쪽 항의 일부에만 전송신호를 임베딩 하여 동기화를 시도하는 방법을 제안하였으며 임베딩 구동 동기화(embedding synchronization)라 명하였다.

식(9)과 식(10)에서 x_1,x_2,x_3가 송신부가 되고 x_4,x_5,x_6가 수신부가 된다. 식(9)과 식(10)의 임베딩 구동 동기화의 결과는 그림 5, 그림 6, 그림 7과 같다. 그림 5는 송신부의 어트렉터를 그림 6은 수신부의 어트렉터를, 그림 7은 송신부와 수신부의 위상 일치도를 나타내었다.

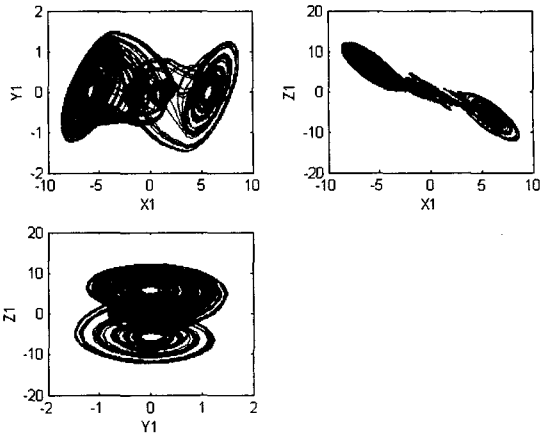


그림 5. 송신부 SC-CNN의 2-double scroll 어트랙터
Fig. 5 Attractor of 2-double scroll of SC-CNN

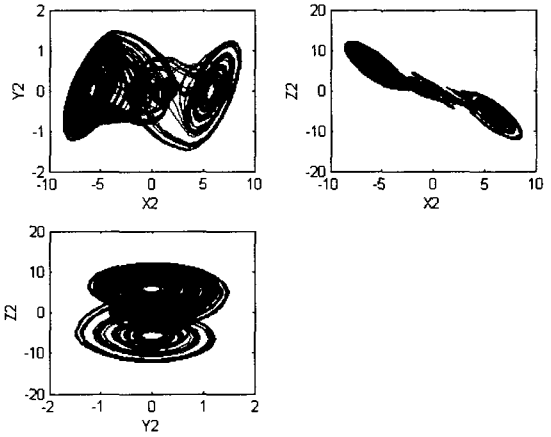


그림 6. 수신부 SC-CNN의 2-double scroll 어트랙터
Fig. 6 Attractor of 2-double scroll of SC-CNN

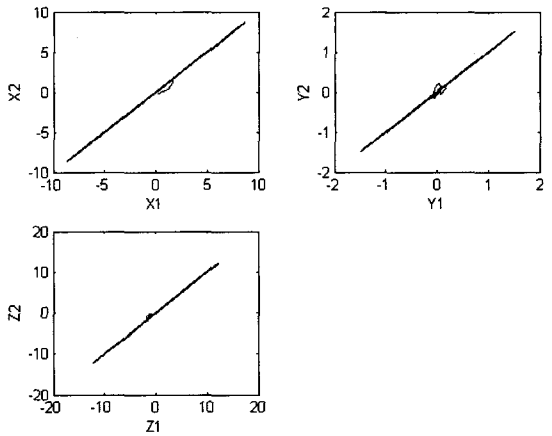


그림 7. 송신부와 수신부 SC-CNN의 위상일치도
Fig. 7 Phase portrait of synchronization of signals of transmitter and receiver

그림 7의 송신부와 수신부의 위상 일치도에서 CNN 사이에 임베딩에 의한 동기화가 이루어 진 것을 확인할 수 있다.

2.3 임베딩 동기화를 통한 비밀통신

식 (9)과 식 (10)의 동기화의 결과를 통하여 다음과 같이 송신부의 식(6)의 상태변수 x_2에 그림 8와 같은 정현파 $\sin(2\pi\times 10t)$를 정보신호로 임베딩하여 입력하였다.

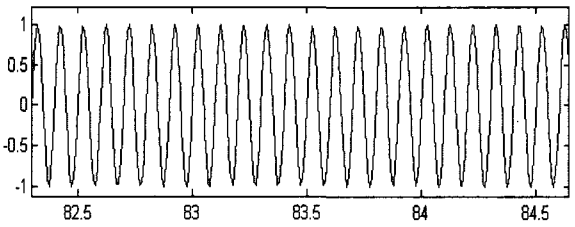


그림 8. 정보 신호
Fig. 8 Information signal

임베딩 동기화를 통한 비밀 통신의 개념을 그림 9에 나타내었다. 임베딩 그림 9는 송수신부의 모든 상태 변수를 구동시키는 기법을 이용하는 대신 하나의 상태 변수만을 송신부에서 임베딩하여 적용한 것이다.

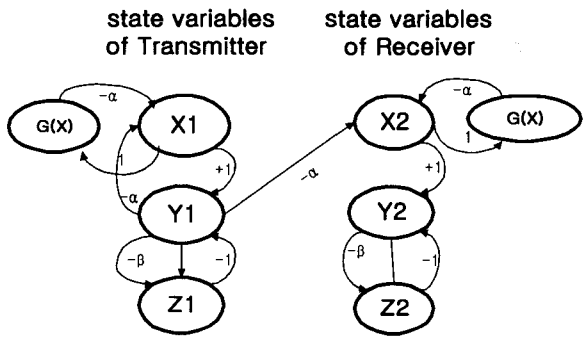
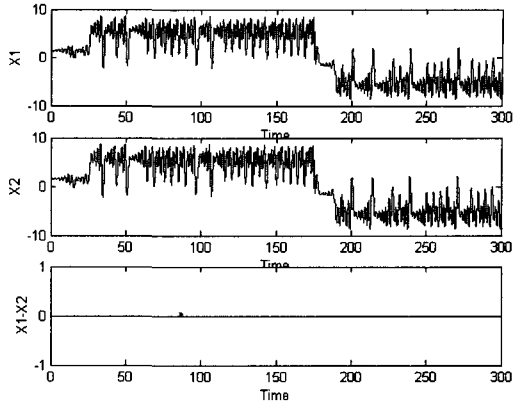


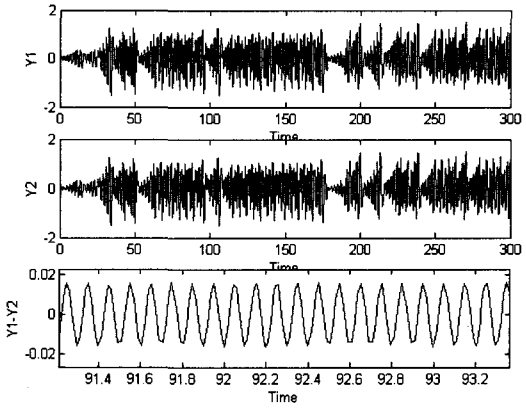
그림 9. 비밀통신 신호 흐름도
Fig. 9 The flow chart of signals of secure communication

그림 10은 임베딩 동기화에 수신부에서 정보를 복원한 결과를 나타내었다. 그림 10에서 $X1, X2, X3$는 각각 송신부의 상태변수 x_1, x_2, x_3를 나타내며, $X2$, $Y2$, $Z2$는 각각 수신부의 상태변수 x_4, x_5, x_6를 나타낸다. 그림 10의 (a)를 살펴보면 x_1과 x_4의 신호는 완전히 일치하여 정보신호를 찾을 수 없는 반면 (b),(c)에서는 x_2와 x_5 그리고 x_3과 x_4의 차이 신호에서 정보신호를 복원할 수 있었다.

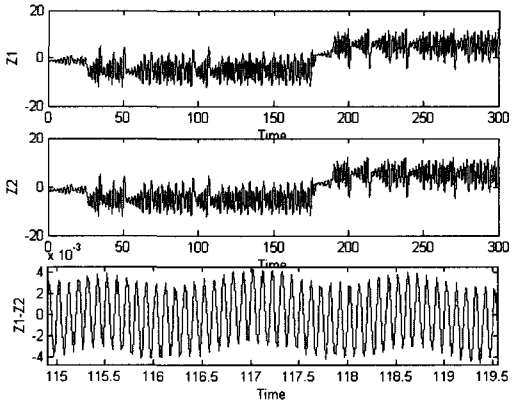
그림 11에 정보신호와 복원된 정보신호를 비교하여 나타내었다. 그림 11의 (a)는 $\sin(2\pi 10t)$를 입력신호로 사용하였을 때이며, (b)는 $5\sin(2\pi 10t)$ 를 사용하였을 때이다. 그림 11의 결과를 보면 (a), (b)모두 복원된 정보신호는 입력된 정보 신호의 약 1/60 인 것을 알 수 있다. 즉 카오스 신호에서 시스템 신호와 다른 성질의 신호를 강하게 제거하는 필터의 역할을 하고 있음을 알 수 있다.



(a)



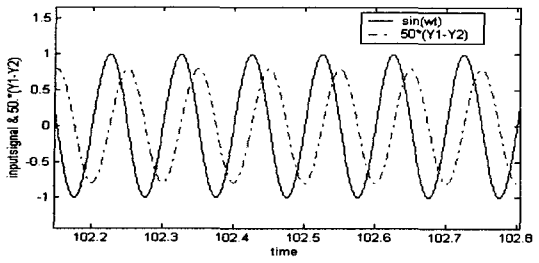
(b)



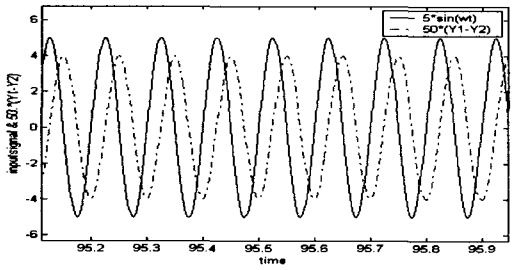
(c)

그림 10. 정보 신호가 포함되었을 때의 각 상태 변수의 신호 비교 (a) x_1과 x_4 (b) x_2과 x_5 (b) x_3과 x_6

Fig. 10 Comparison of the signal of each state variables of both sides when information signal included.(a) x_1 and x_4 (b) x_2 and x_5 (b) x_3 and x_6



(a)



(b)

그림 11. 정보신호와 복원신호의 비교. 입력신호가 (a) $\sin(2\pi 10t)$ (b) $5\sin(2\pi 10t)$일 때

Fig. 11 comparison of transmitted and received signals when (a) $\sin(2\pi 10t)$, (b) $5\sin(2\pi 10t)$ was applied as information signal

그림 11의 결과를 통하여 일반적으로 Chua 회로에서 정보를 담기 위해서는 정보신호의 크기를 카오스 신호에 충분히 숨길 수 있도록 작게 해야 한다[5]는 내용과 달리 본 연구에서는 아주 큰 진폭을 가진 신호를 정보 신호로 사용할 수 있다는 결과를 얻을 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 카오스 회로의 동기화 방법으로 널리 알려진 결합 동기나 구동 동기 기법과 다른새로운 임베딩 구동 동기를 제안하고, 비밀 통신에 이용하는 방법을 제시하였다. 임베딩 구동 동기 기법은 일반적인 구동동기 기법과 유사한 결과를 가지고 있음을 확인할 수 있었으며 이를 이용하여 비밀통신에 적용한 결과 만족할 만한 결과를 얻었다.

참고문헌

[1] T. Matsumoto, "A Chaotic Attractor from Chua's circuit", IEEE Trans. on Circuit and System, vol. CAS-31, pp. 1055 - 1058, 1984.

[2] 배영철, 고재호, 임화영, "Chua회로에서의 Bifurcation과 Attractor", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp..664 - 666, 1995.

[3] 배영철, 고재호, 임화영, "구분 선형 함수의 최적 구현에 관한 연구", 한국자동제어학술 회의 논문집, pp. 370 - 373, 1995.

[4] 배영철, 고재호, 임화영, "Chua 회로에서의 파라미터 변화에 의한 Period-doubling과 Bifurcation에 관한 연구", 한국 자동제어 학술 회의 논문집, pp. 482 - 485, 1995.

[5] L. Kocarev, K. S. Halle, K. Eckert and L. O. Chua, " Expermental Demonstration of Secure Communication via Chaotic Synchronization" Int. J. Bifurcation and Chaos, vol. 2, no. 3, pp. 709-713, 1992.

[6] K. S. Halle, C. W. Wu, M. Itoh and L. O. Chua, " Spread Spectrum Communication through Modulation of Chaos " Int. J. Bifurcation and Chaos, vol. 3, no. 2, pp. 469-477, 1993.

[7] J.A.K.Suykens, "n-Double Scroll Hypercubes in 1-D CNNs" Int. J. Bifurcation and Chaos, vol. 7, no. 8, pp. 1873-1885, 1997.

[8] L. O. Chua "Chua's circuit 10 Years Later", Int. J. Circuit Theory and Application, vol. 22, no. pp 79-305, 1994

[9] M. Itoh, K. Komeyama, A. Ikeda and L. O. Chua, "Chaos Synchronization in Coupled Chua Circuits", IEICE. NLP. 92-51. pp. 33-40. 1992.

[10] K. M. Cuomo, " Synthesizing Self - Synchronizing Chaotic Arrays", Int. J.Bifurcation and Chaos, vol. 4, no. 3, pp. 727-736, 1993.

[11] L. M. Pecora and T. L. Carroll "Synchronization in Chaotic System" Phy. Rev. Lett., vol. 64, no. 8, pp. 821-824, 1990.

[12] P.Arena, P.Baglio, F.Fortuna & G.Manganaro, " Generation of n-double scrolls via cellular neural networks," Int. J. Circuit Theory Appl, 24, 241-252, 1996.

[13] P. Arena, S. Baglio, L. Fortuna and G..Maganaro, Chuas circuit can be generated by CNN cell, IEEE Trans. Circuit and Systems I, CAS-42, pp. 123-125. 1995.

[14] M. Itoh, H. Murakami and L. O. Chua, "Communication System Via Chaotic Modulations" IEICE. Trans. Fundamenrtals. vol. E77-A, no. 6, pp. 1000-1005, 1994.

[15] K. M. Short, "Unmasking a modulated chaotic communications scheme", Int. J. Bifurcation and Chaos, vol. 6, no. 2, pp. 367-375, 1996.

[16] L. Kocarev, Chaos-based cryptography: A brief overview, IEEE, pp. 7-21. 2001.

저 자 소 개

배영철(Young-Chul Bae)
1984년 2월 : 광운대학교 전기공학과 졸업
1997년 : 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)
1986-1991 : 한국전력공사
1991-1997 : 산업기술정보원 책임연구원
1997-현재 여수대학교 전기공학과 조교수

관심분야 : 퍼지 및 신경망, 카오스

김주완(Kim Ju Wan)
1998년 2월 : 순천대학교 전자공학과 (공학사)
2001년 2월~: 여수대학교 대학원 석사과정

관심분야 : 카오스 동기화 및 암호화

손영우(Young-Woo Shon)
1981년 : 광운대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
1983년 : 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
2000년 : 광운대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)
1991년~1997년 : 산업기술정보원 책임연구원
1998년 현재 김포대학 컴퓨터계열 조교수

관심분야 : 영상처리, Chaos 공학, 패턴인식,

김이곤(Yigon Kim)
1988년 : 한국항공대학 대학원 항공전자공학과졸(공학석사)
1993년 : 전남대학교 대학원 전기공학과 졸(공학박사)
1990년 : 일본동경공대 객원연구원
2001년 : 미국 아이오와주립대 교환교수
현재 여수대학교 전기및반도체공학과 부교수

관심분야 퍼지모델링, 신호처리, 지능제어