

BVP 모델을 내장한 카오스 로봇에서의 목표물 탐색

The Target Searching Method in the Chaotic Mobile Robot Embedding BVP Model

배영철, 김이곤, 구영덕*

Youngchul Bae, Yigon Kim, Youngduk Koo

전남대학교 공학대학 전기·전자통신·컴퓨터공학부, *KISTI

요 약

본 논문은 Arnold 방정식, Chua's 방정식과 같은 여러 종류의 카오스 회로를 이동 로봇에 내장하여 카오스 이동 로봇을 구성하고 이 카오스 이동 로봇이 어느 임의의 평면을 카오스 궤적을 가지고 탐색하다가 장애물을 만나거나 근접하게 되면 장애물을 회피하는 방법과 목표물을 만나면 목표물을 집중 탐색하는 방법을 제시하고 그 결과를 검증하였다. 장애물 회피를 위해서 장애물을 고정 장애물과 BVP 모델을 이용한 은닉 장애물로 장애물을 가정하여 카오스 궤적을 가지고 회피하도록 하는 알고리즘을 개발하고 목표물 탐색을 위해서 BVP 모델을 이용하여 목표물로 가정하여 카오스 궤적을 가지고 집중적으로 탐색하도록 하는 알고리즘을 개발하고 그 결과를 검증하였으며 이에 대한 타당성을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we composed chaos mobile robot by embedding many type of chaos circuit including Arnold Equation and Chua's Equation and proposed method of evaluation of obstacles when it meets or approaches an obstacle while the mobile robot searches an any plane with chaos trajectory and method of concentrating search when it faces target and verified these results. For obstacles avoidance, we developed algorithm that evades an obstacles with chaos trajectory by assuming fixed obstacle, obstacles using VDP model, hidden obstacles using BVP model as obstacles and for searching an object, we developed algorithm of searching with a chaos trajectory by assuming BVP model as an object, verified the results and confirmed reasonability of them.

Key Words : 카오스 로봇, 장애물 회피, 목표물 탐색, BVP 모델

1. 서 론

카오스 이론은 거의 20년 동안 과학 분야에서 큰 관심을 받아 왔었다. 최근에 물리나 수학으로부터 실세계 공학 응용에 적용하고자 하는 시도에 대한 연구 노력이 활발하게 진행되고 있다. 카오스의 응용은 카오스 제어[2], 카오스 동기화, 비밀/암호 통신[3-5], 화학[6], 생물학

[7], 로봇과 로봇에 관련된 영역[10]과 같은 분야에 대한 활발한 연구가 있었다. 최근에 Nakamura, Y. et al[1]은 아놀드 방정식으로 표현되는 카오스 이동 로봇을 소개하고 이 카오스 로봇이 가지는 궤적이 카오스적인 특성이 있음을 연구하였다. 이 논문에서는 아놀드 방정식을 내장한 카오스 로봇이 카오스적인 특성과 고정 장애물을 두어 고정 장애물을 카오스 로봇이 피해 가는 방법을 제공하였으며, 배영철[15-19] 등은 카오스 이동 로봇에서 고정 장애물뿐만 아니라 은닉 장애물과 이동 장애물이 있을 때 이를 피해가는 방법을 제시하였으나 목표물 부근과 목표물을 카오스 로봇이 집중적인 탐

색을 행하는 방법에 대한 연구는 진행하지 못하였다. 본 논문은 Arnold 방정식, Chua's 방정식과 같은 여러 종류의 카오스 회로를 이동 로봇에 내장하여 카오스 이동 로봇을 구성하고 이 카오스 이동 로봇이 어느 임의의 평면을 카오스 궤적을 가지고 탐색하다가 장애물을 만나거나 근접하게 되면 장애물을 회피하는 방법과 목표물을 만나면 목표물을 집중 탐색하는 방법을 제시하고 그 결과를 검증하였다. 장애물로는 고정 장애물과 은닉 장애물로서 BVP(Bonhoeffer Van der Pol) 오실레이터를 모델로 사용하였으며, 목표물 탐색을 위해서 BVP 모델을 이용하여 목표물로 가정하여 카오스 궤적을 가지고 집중적으로 탐색하도록 하는 알고리즘을 개발하였다.

2. 카오스 이동 로봇 방정식

2.1 이동 로봇

이동 로봇의 수학적 모델을 설계하기 위하여 그림 1에 2 바퀴를 가진 이동 로봇을 가정하여 나타내었다.

교신저자 : 배 영철

접수일자 : 2006년 10월 21일

완료일자 : 2007년 4월 2일

감사의 글 : 본 연구는 정보통신부 대학기초연구사업 프로젝트에 의해 일부 지원 받았습니다.

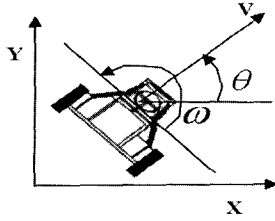


그림 1. 이동 로봇
Fig. 1 Mobile Robot

로봇의 선형 속도를 $v[m/s]$, 각속도 $w[rad/s]$ 를 시스템의 입력이라 놓으면 이동 로봇의 상태 방정식은 식(1)과 같이 표현된다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{y}_1 \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ w \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서 $(x[m], y[m])$ 는 로봇의 위치, $\theta[rad]$ 은 로봇의 각도이다.

2.2 Arnold 방정식

Arnold 방정식을 이용하면 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A \sin x_3 + C \cos x_2 \\ B \sin x_1 + A \cos x_3 \\ C \sin x_2 + B \cos x_1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

여기서, A, B, C는 상수들이다.

2.3 Arnold 방정식을 UAV에 내장

UAV 속에 Arnold 방정식을 내장하기 위하여 다음과 같은 상태 변수를 이용하여 정의하였다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= D\dot{y} + C \cos x_2 \\ \dot{x}_2 &= D\dot{x} + B \sin x_1 \\ \dot{x}_3 &= \theta \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 B, C, D는 상수이다.

식(2)를 식(3)에 대입하면 식(4)과 같은 x_1, x_2, x_3 의 상태 방정식을 얻는다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= Dv + C \cos x_2 \\ \dot{x}_2 &= Dv + B \sin x_1 \\ \dot{x}_3 &= w \end{aligned} \quad (4)$$

입력을 식 (5)와 같이 설계하면

$$\begin{aligned} v &= \frac{A}{D} \\ w &= C \sin x_2 + B \cos x_1 \end{aligned} \quad (5)$$

결론적으로 UAV의 상태 방정식은 식(6)과 같이 된다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A \sin x_3 + C \cos x_2 \\ B \sin x_1 + A \cos x_3 \\ C \sin x_2 + B \cos x_1 \\ v \cos x_3 \\ v \sin x_3 \end{pmatrix} \quad (6)$$

식(6)은 Arnold 방정식을 포함한다.

2.4 Chua's 방정식

식(7)에 Chua's 방정식의 상태방정식을 나타내었다.

$$\begin{aligned} C_1 \frac{dv_{c_1}}{dt} &= G(v_{c_2} - v_{c_1}) - g(v_R) \\ C_2 \frac{dv_{c_2}}{dt} &= G(v_{c_1} - v_{c_2}) + i_L \\ L \frac{di_L}{dt} &= -v_{c_2} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 v_{c_1}, v_{c_2} 는 각각 캐패시터 C_1, C_2 의 양단 전압, i_L 은 인덕터 L 에 흐르는 전류, $G=1/R, g(\cdot)$ 는 비선형 저항으로써 식(8)과 같이 표현된다.

$$g(v_R) = m_0 v_R + \frac{1}{2} (m_1 - m_0) [|v_R + B_p| - |v_R - B_p|] \quad (8)$$

여기서 m_0 는 외부 영역의 기울기, m_1 은 내부 영역의 기울기, $\pm B_p$ 는 break-point이다.

2.5 Chua's 방정식을 이동로봇에의 내장

이동 로봇 속에 Chua's 방정식을 통합하기 위하여 다음과 같은 상태 변수를 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= a(x_2 - g(x_1)) \\ \dot{x}_2 &= x_1 - x_2 + x_3 \\ x_3 &= \theta \end{aligned} \quad (9)$$

또한 입력을 다음과 같이 놓으면

$$\begin{aligned} \omega &= -\beta x_2 \\ v &= \text{arbitrary constant} \end{aligned} \quad (10)$$

마지막으로, Chua's 회로에 통합하는 식은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= a(x_2 - g(x_1)) \\ \dot{x}_2 &= x_1 - x_2 + x_3 \\ \dot{x}_3 &= -\beta x_2 \\ \dot{x} &= v \cos x_3 \\ \dot{y} &= v \sin x_3 \end{aligned} \quad (11)$$

3. BVP 모델과 장애물

카오스 이동 로봇에서 은닉 장애물을 표시하기 위하여 BVP 모델을 은닉 장애물로 가정하였다.

3.1 BVP 모델

2개의 변수를 가진 여기된 신경막과 신경 세포막에 전기적 임펄스와 전압 펄스의 지연을 다음과 같이 2개의 방정식

으로 나타낼 수 있으며 이를 Bonhoeffer-Van der pol(BVP) 모델이라 부른다.

$$\dot{x} = x - x^3/3 - y + I(t) \quad (12)$$

$$\dot{y} = c(x + a - by) \quad (13)$$

여기서 x 는 막전위, y 는 자극으로부터 막의 회복을 나타내는 시정수에 관련된 변수, $I(t)$ 는 외부에서 가한 주기적 자극전류, a 는 막의 반경, b 는 막의 내부에 흐르는 비저항(저항률), c 는 온도요소를 나타낸다. 식(12)과 식(13)에서 주기적 자극전류 $I(t) = A_1 \cos \omega t$ 를 인가하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\dot{x} = x - x^3/3 - y + A_1 \cos \omega t \quad (14)$$

$$\dot{y} = c(x + a - by) \quad (15)$$

식(14)과 식(15)에서 a, b, c 는 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

$$b < 1 \quad (16)$$

$$3a + 2b \geq 3 \quad (17)$$

$$b < c^2 \quad (18)$$

3.2 파라미터 변화에 따른 위상 공간

식 (14)과 식 (15)에서 주기적 자극전류 $I(t) = A_1 \cos \omega t (\omega = 1.0)$ 을 $A_1 > 0$ 의 조건이 되는 A_1 의 크기를 변화하였을 때 위상 공간을 조사하였다.

3.2.1 $0 < A_1 < 0.6070$ 일 때

그림 2에서 보는바와 같이 $0 < A_1 < 0.6070$ 범위에서는 주기적 자극 전류를 가하지 않은 상태인 그림1과 비슷한 결과를 얻었으며 1주기 운동을 하고 있다.

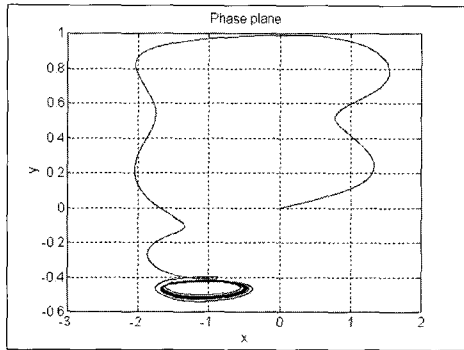


그림 2. $A_1 = 0.6070$ 일 때의 위상 공간
Fig. 2 Phase portrait when $A_1 = 0.6070$

3.2.2 $0.6070 < A_1 < 0.7182$ 일 때

$0.6070 < A_1 < 0.7182$ 범위에서는 그림2에서 보는바와 같이 2주기 운동이 이루어짐을 확인 할 수 있으며 A_1 의 값이 커질수록 4주기, 8주기 등의 주기배증 과정이 이루어진다.

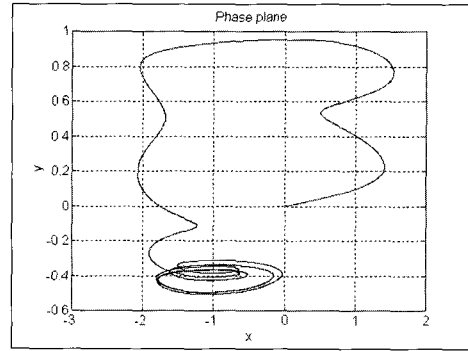


그림 3. $A_1 = 0.7181$ 일 때의 위상 공간
Fig.3 Phase plane when $A_1 = 0.7181$

3.2.3 $0.7182 < A_1 < 0.792$ 및 $1.09 < A_1 < 1.302$ 일 때

$0.7182 < A_1 < 0.792$ 및 $1.09 < A_1 < 1.302$ 범위에서는 그림3에서 보는바와 같이 카오스 운동이 이루어짐을 확인할 수 있다. 그림3은 A_1 이 0.76, 그림 4는 A_1 이 1.28 일 때의 위상공간에 대한 카오스 현상을 나타내었다.

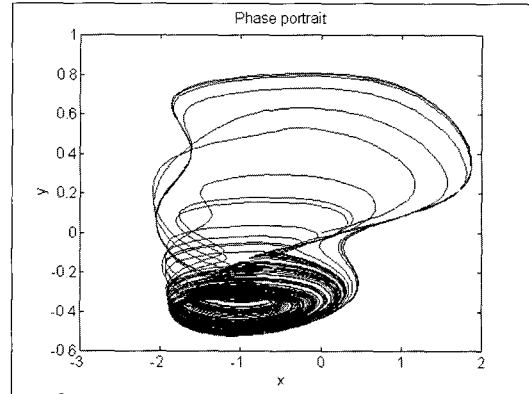


그림 4. $A_1=0.76$ 일 때의 위상 공간
Fig.4. Phase plane when $A_1=0.76$

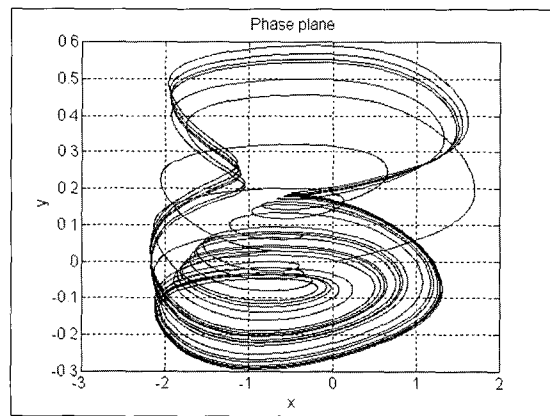


그림 5. $A_1=1.28$ 일 때의 위상 공간
Fig.5. Phase plane When $A_1=1.28$

3.2.4 $A_1 > 1.29$ 일 때

진폭 A_1 값을 1.29보다 큰 값으로 변화하면 카오스 운동에서 주기운동으로 바뀐다. BVP 모델은 A_1 값에 따라 주기 운동에서 카오스 운동으로 카오스 운동에서 주기운동으로의 역현상이 일어남을 알 수 있다.

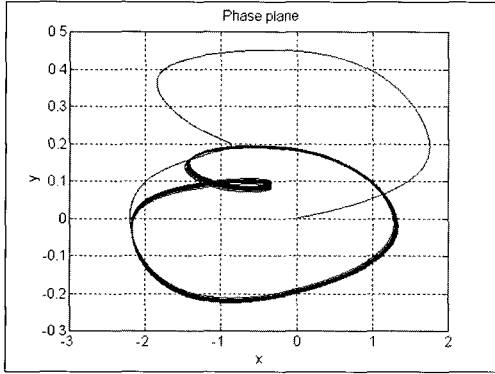


그림 6. $A_1=1.62$ 일 때의 위상 공간
Fig.6. Phase plane when $A_1=1.62$

3.3 장애물

3.3.1 VDP 모델에 의한 장애물

카오스 이동 로봇에서 고정 장애물을 표시하기 위하여 식 (7)로 표시하는 VDP(Van der Pol) 방정식을 이동 로봇의 장애물로 가정하였다.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= y \\ \dot{y} &= (1 - y^2)y - x \end{aligned} \quad (19)$$

식 (19)로부터 그림 7와 같은 리미트 사이클을 얻을 수 있으며, 이 리미트 사이클을 고정 장애물로 가정하였다.

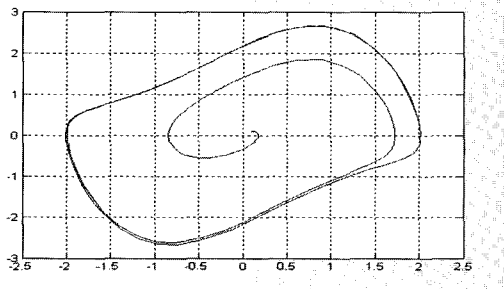


그림 7. VDP의 리미트 사이클
Fig. 7 Limit cycle of VDP

3.3.2 BVP 모델에 의한 장애물

BVP 모델에 의한 장애물을 표시하기 위해 그림 2에서 부터 그림 6까지에 나타난 파라미터 변화에 의한 위상 공간을 장애물로 가정하였다.

4. 카오스 이동 로봇에서의 장애물 회피 및 목표물 탐지

4.1 Arnold 로봇에서의 장애물 회피

본 연구에서는 로봇이 주행할 때 장애물 즉 벽과 같은 고정 장애물이나 VDP 또는 BVP 모델에 의한 장애물이 나타나면 이 장애물을 회피하는 알고리즘을 개발하였다. 기본적인 알고리즘은 로봇이 장애물에 접근할 때 접근 각도를 이용하여 각도가 90도일 때 식(20)을 90가 아닐 때 식(21)을 사용하도록 적용하였다.

$$A = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ \sin \theta & -\cos \theta \end{pmatrix} \quad (20)$$

$$A = \frac{1}{1+m} \begin{pmatrix} 1-m^2 & 2m \\ 2m & -1+m^2 \end{pmatrix} \quad (21)$$

식(6), 식(11)과 식(14), 식(15), 식(20), 식(21)을 이용하여 로봇이 장애물을 회피해 가는 결과를 그림 8, 그림9, 그림 10에 각각 나타내었다.

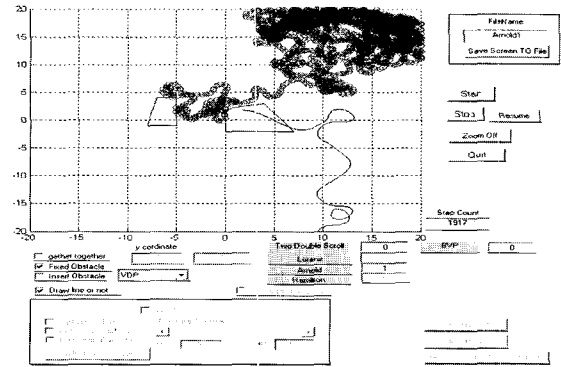


그림 8. Arnold 로봇에서 고정 장애물을 가진 카오스 이동 로봇 궤적

Fig. 8 Trajectory of chaotic mobile robot with fixed obstacle in the Arnold robot

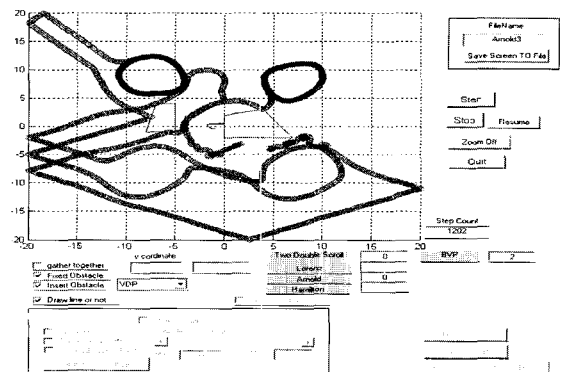


그림 9. Arnold 로봇에서 VDP 장애물을 가진 카오스 이동 로봇 궤적

Fig. 9 Trajectory of chaotic mobile robot with VDP obstacle in the Arnold robot

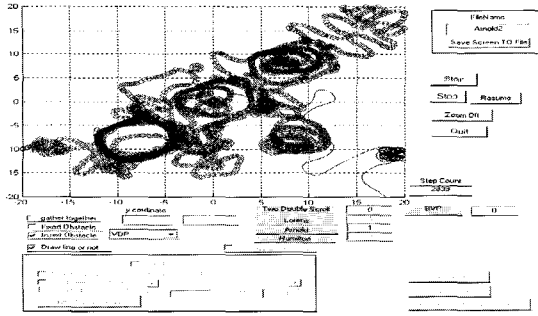


그림 10. Arnold 로봇에서 BVP 은닉 장애물을 가진 카오스 이동 로봇 궤적
Fig. 10 Trajectory of chaotic mobile robot with BVP obstacle in the Arnold robot

그림 8, 그림 9, 그림 10에서 카오스 로봇이 장애물을 정확하게 회피해 감을 확인할 수 있다.

4.2 Arnold 로봇에서의 목표물 탐지

그림 7의 VDP 방정식의 특성은 두 가지로 나타낼 수 있다. 하나는 안정한 리미트 사이클의 특성이고 다른 하나는 불안정한 리미트 사이클의 특성이다. 불안정한 리미트 사이클의 특성을 이용하여 장애물로 가정하여 장애물 회피에 이용하였다. VDP 방정식의 안정한 특성을 이용하면 이를 목표물로 이용할 수 있으며 Chua 로봇에 적용한 결과를 그림 11, 그림 12에 각각 나타내었다.

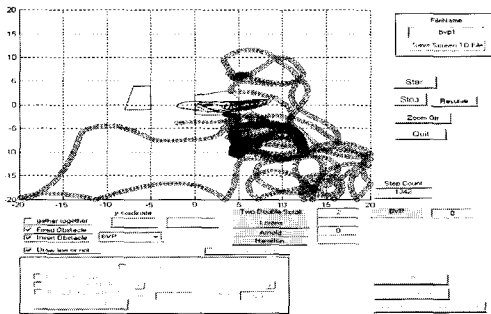


그림 11. Chua's 로봇에서 고정 장애물을 가지고 탐색한 결과
Fig. 11 Result of searching with fixed obstacle in the Chua's robot

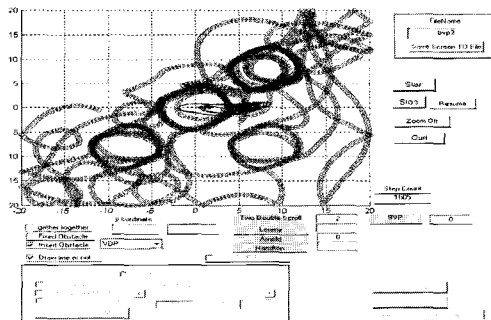


그림 12. Chua's 로봇에서 은닉 장애물을 가지고 집중 탐색한 결과
Fig. 12 Result of searching with hidden obstacle in the Chua's robot

그림 11, 그림 12을 통하여 완벽하지 않지만 정해진 영역의 목표물을 탐색해 감을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 Arnold 방정식과 Chua's 방정식을 이동 로봇에 내장하여 카오스 이동 로봇을 구성하고 BVP 모델을 이용하여 은닉 장애물을 만든 후 카오스 이동 로봇이 어느 임의의 평면을 카오스 궤적을 가지고 탐색하다가 고정과 은닉 장애물에 근접하거나 만나게 되면 이 장애물을 회피하는 방법과 집중 탐색하는 알고리즘을 제시하고 그 결과를 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Yoshihiko Nakamura and Akinori Sekiguchi, "The Chotic Mobil Robot", IEEE Trans. Robotics and Automation, Vol.17, No.6. pp898-904. 2001.
- [2] T. Shinbrot, C.Grebogi, E.Ott, and J.A.Yorke, "Using small perturbations to control chaos," nature, vol.363, pp.411-417, 1993
- [3] K. Cuomo, A.V.Oppenheim, and S.H.Strogatz, "Synchronization of lorenz-based chaotic circuits with application to communications," IEEE Trans. Circuits Syst. II vol.40, pp.626-633, Oct. 1993.
- [4] T.Ushio, " Chaotic synchronization and controlling chaos based on contraction mappings, " Phys.Lett.A, vol.198, no. 1, pp.14-22, 1995
- [5] K.Aihara, T.Takabe, and M.Toyoda, "Chaotic neural networks," Phys.Lett.A, vol.144, no.6,7,pp.333-340, 1990
- [6] Y.Yao and W.J.Freeman, "Model of biological pattern recognition with spatially chaotic dynamics," Neural Networks, vol.3,pp.153-170, 1990
- [7] I.Tsuda, "Can stochastic renewal of maps be a model for cerebral cortex?," Physica D, vol.75,pp 165-178, 1994
- [8] I.Tokuda, T.Nagashima, and K.Aihara, "Global bifurcation structure of chaotic neural networks and its application to traveling salesman problems, " Neural Networks, vol.10,no9, pp.1673-1690, 1997.
- [9] H.Okamoto and H.Fuji, Nonlinear Dyamics, Iwanami Lectures of applied Mathematics (in Japanese) Iwanami, Tokyo, 1995, vol.14.
- [10] S.Wiggins, Introduction to applied Nonlinear Dynamical Systems and Chaos: Springer -Verlag, 1990.
- [11] G. L. Baker and J. P. Gollub, Chaotic Dynamics an Introduction. Cambridge, U.K: Cambridge Univ.Press, 1990.
- [12] I. Shimada and T. Nagashima, "A numerical approach to ergodic problem of dissipative dynamical systems, "Prog. Theor. Phys., vol. 61, no. 6, pp. 1605-1616, 1979.
- [13] K. Umeno, "Chaos and computing" (in Japanese),

Math Sci, no. 415, pp.60-68, Jan. 1998.

[14] S.Wiggins, Introduction to applied Nonlinear Dynamical Systems and Chaos: Springer -Verlag, 1990.

[15] 배영철,김주완,최남섭,“ The Collision Avoidance Method in the Chaotic Robot with Hyperchaos Path”, 한국해양정보통신학회 2003년 추계 종합 학술 대회, 7권 2호, pp.584-588, 2003.

[16] 배영철,김주완,최남섭,“ The Analysis of Chaotic Behaviour in the Chaotic Robot with Hyperchaos Path ov Van der Pol(VDP) Obstacle”, 한국해양정보통신학회 2003년 추계 종합 학술 대회, 7권 2호, pp.589-593, 2003.

[17] Y. C. Bae, J.W. Kim, Y.I. Kim,“ Chaotic Behaviour Analysis in the Mobile of Embedding some Chaotic Equation with Obstacle”, 퍼지 및 지능시스템 학회 논문지, 12권 6호, pp.729-736, 2003.

[18] Y. C. Bae, J.W. Kim, Y.I. Kim,“ Obstacle Avoidance Methods in the Chaotic Mobile Robot with Integrated some Chaotic Equation”, International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent System, vol. 3, no. 2. pp. 206-214, 2003.

[19] Y. C. Bae, J.W. Kim, Y.I. Kim,“ The Obstacle Collision Avoidance Methods in the Chaotic Mobile Robots”, ISIS 2003 Proceeding of the 4th International symposium on Advanced Intelligent System, pp. 591-594, 2003.

[20] 배영철,김천석, “카오스 로봇에서의 상호 연동 제어”, 한국해양정보통신학회2005춘계종합학술대회, pp. 942-946. 2005.

저 자 소 개



배영철(Youngchul Bae)

1984년 2월 : 광운대학교 전기공학과 졸업
 1997년 2월: 광운대학교 대학원
 전기공학과 졸업(공학박사)
 1986~1991 : 한국전력공사
 1991~1997 : 산업기술정보원 책임연구원
 1997~2006 : 여수대학교
 전자통신전기공학부 교수

2006~ 현재 : 전남대학교 공학대학
 전기·전자통신·컴퓨터 공학부 교수

※관심분야 : 퍼지 및 신경망, 카오스

김이곤(Yigon Kim)

현재 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터 공학부 교수

구영덕(Youngduk Koo)

현재 과학기술정보연구원(KISTI) 선임연구원