

# 고정밀 위치 탐색을 위한 카오스 로봇에서의 방위각 센서 설계

배 영철

<sup>a</sup> Division of Electronic Communication and Electrical Engineering, Chonnam Nat'l University  
San 96-1, Dundeok-Dong, Yeosu-Si, Jennam, 550-749, Korea  
Tel: +82-61-659-3315, Fax: +82-61-659-3310, E-mail: ycbae@chonnam.ac.kr

전남대학교 공학대학 전자통신전기공학부  
전남 여수시 둔덕동 산 96-1, 550-749

Tel: +82-61-659-3315, Fax: +82-61-659-3310, E-mail: ycbae@chonnam.ac.kr

## Abstract

카오스 로봇의 하드웨어 구현에서 로봇의 차체 또는 바퀴가 정확하기 자기 위치를 인식하고 지시한 방향과 거리만큼 이동하는 것이 가장 중요하다. 본 논문에서는 고정밀 위치 측정이 가능한 카오스 로봇에서의 방위각 센서를 설계하기 위한 VF 컨버터와 방위각 센서를 설계하는 기법을 제시하였다.

**Keywords:** 카오스 로봇, 방위각 센서, 고정밀 위치 측정, 각속도 센서

## 서론

카오스 이론은 거의 20년 동안 과학 분야에서 큰 관심을 받아 왔었다. 최근에 물리나 수학으로부터 실제 세계 공학 응용에 적용하고자 하는 시도에 대한 연구 노력이 활발하게 진행되고 있다. 카오스의 응용은 카오스 제어, 카오스 동기화, 비밀/암호 통신, 화학, 생물학, 로봇과 로봇에 관련된 영역과 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, 배 영철[2-5] 등은 카오스 이동 로봇에서 고정 장애물뿐만 아니라 은닉 장애물과 이동 장애물이 있을 때 이를 피해가는 방법과 목표물 부근과 목표물을 카오스 로봇이

집중적인 탐색을 행하는 방법을 제시하였으며 2대 이상의 로봇이 서로 동기화 하여 협조를 할 수 있는 방법[5] 등도 제시되어 있으며 이를 하드웨어로 실제 구현한 경우도 있었다.

카오스 로봇의 하드웨어 구현에서 로봇의 차체 또는 바퀴가 정확하기 자기 위치를 인식하고 지시한 방향과 거리만큼 이동하는 것이 가장 중요하다. 이를 위해 정확한 방향을 움직일 수 있는 센서가 로봇에서 매우 중요한 위치를 차지한다. 방위 측정을 위해 지금까지는 주로 마그네틱 자이로 센서를 사용하였으나 마그네틱 자이로 센서가 주변의 자성체로 인한 영향으로 인하여 오차가 많이 발생하는 문제점을 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 자성체의 영향으로 인하여 발생하는 오차를 줄이기 위해 각속도 센서로 대체한 정확한 방위 측정이 가능한 방위각 센서를 설계하였다. 이 방위각 센서를 설계하기 위해서는 정확하게 전압을 주파수로 바꾸어 주는 전압 대 주파수 컨버터를 설계하고 이를 기반으로 방위각 센서를 설계하고 고 카오스 로봇을 하드웨어에 적용하였다.

## 이동 로봇 방정식과 카오스 방정식

### 이동 로봇

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

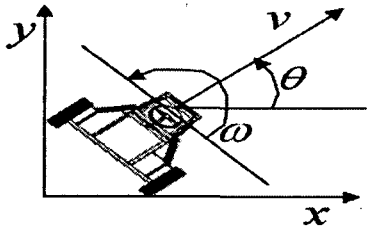


그림 1. 이동 로봇

로봇의 선형 속도를  $v$ , 각속도  $\omega$  를 시스템의 입력이라 놓으면 이동 로봇의 상태 방정식은 식(1)과 같이 표현된다.

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

여기서  $(x,y)$ 는 로봇의 위치,  $\theta$ 은 로봇의 각도이다.

아놀드 방정식 [1]

이동 로봇에서 카오스 운동을 만들기 위하여 아놀드 방정식을 이용하면 식(2)와 같이 나타낼 수 있다

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

여기서, A, B, C 는 상수들이다. 아놀드 방정식은 식(3), (4)과 같은 3 차원(3D) Euler 방정식의 정상해로서 기술할 수 있다.

$$\frac{\partial v_i}{\partial t} + \sum_{k=1}^3 v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + f_i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^3 \frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0 \quad (4)$$

식(3),(4)는 3 차원 토러스 공간상의 미압축 완전 유체의 거동으로 표현된다.  $(x_1, x_2, x_3)$ 와  $(v_1, v_2, v_3)$ 는 입자의 위치와 속도,  $p$ 와,  $(f_1, f_2, f_3)$ ,  $\rho$  는 압력, 외부 힘, 밀도를 각각 나타낸다.

식(3),(4)는 상수가 하나 일 때 즉 C 또는 0 보다 작을 때 주기운동, C가 0보다 클 때 카오스 운동을 가지는 것으로 알려져 있다[10].

### 츄아 방정식

이동 로봇에서 카오스 운동을 생성하기 위하여 츄아 방정식 식(5),(6)과 같이 정의하였으며 식(5)과 비선형 항수 (6)을 그림 2, 3에 각각 나타내었다..

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \alpha (x_2 - g(x_1)) \\ \dot{x}_2 &= x_1 - x_2 + x_3 \\ \dot{x}_3 &= -\beta x_2 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서

$$g(x) = m_{2n-1}x + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{2n-1} (m_{k-1} - m_k)(|x+c_k| - |x-c_k|) \quad (6)$$

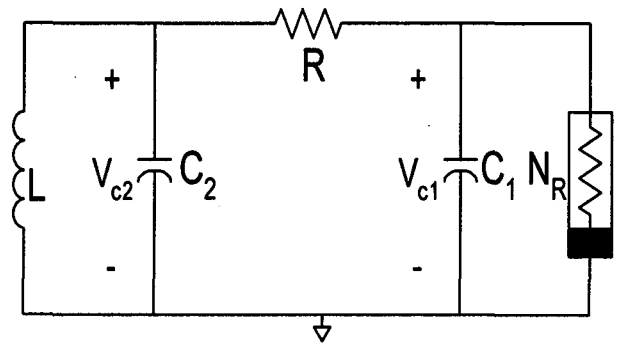


그림 2. 츄아 회로

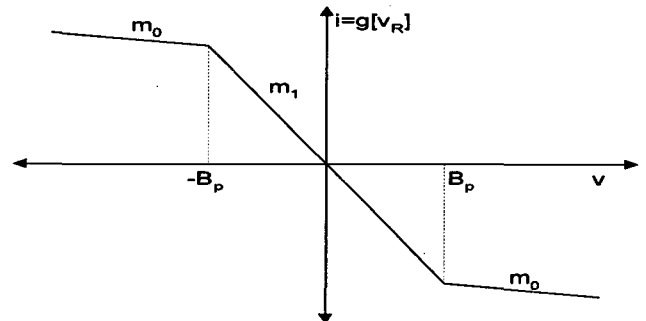


그림 3. 츄아 회로의 비선형 저항

### 로렌츠 방정식

로렌츠 방정식을 식(7)과 같이 정의 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \sigma (y - x) \\ \dot{y} &= \gamma x - y - xz \\ \dot{z} &= xy - bz \end{aligned} \quad (7)$$

여기서  $\sigma = 10, r = 28, b = 8/3$  이다.

### 카오스 이동 로봇 방정식

#### 카오스 아놀드 로봇 방정식

이동 로봇 속에 Arnold 방정식을 통합하여 위해서 다음과 같은 상태 변수를 이용하여 정의하였다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= D \dot{y} + C \cos x_2 \\ \dot{x}_2 &= D \dot{x} + B \sin x_1 \\ \dot{x}_3 &= \theta \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 B, C와 D 는 상수이다.

식(1)을 식(5)에 대입하면 식(9)과 같은  $\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_3$  의 상태 방정식을 얻는다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= Dv + C \cos x_2 \\ \dot{x}_2 &= Dv + B \sin x_1 \\ \dot{x}_3 &= \omega \end{aligned} \quad (9)$$

입력을 식 (10)과 같이 설계하면

$$\begin{aligned} v &= A / D \\ \omega &= C \sin x_2 + B \cos x_1 \end{aligned} \quad (10)$$

결론적으로 이동 로봇의 상태 방정식은 식(11)과 같이 된다

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= A \sin x_3 + C \cos x_2 \\ \dot{x}_2 &= B \sin x_1 + A \cos x_3 \\ \dot{x}_3 &= C \sin x_2 + B \cos x_1 \\ \dot{x} &= V \cos x_3 \\ \dot{y} &= V \sin x_3 \end{aligned} \quad (11)$$

식(11)에 의한 아놀드 카오스 로봇의 궤적을 그림 5에 나타내었다.

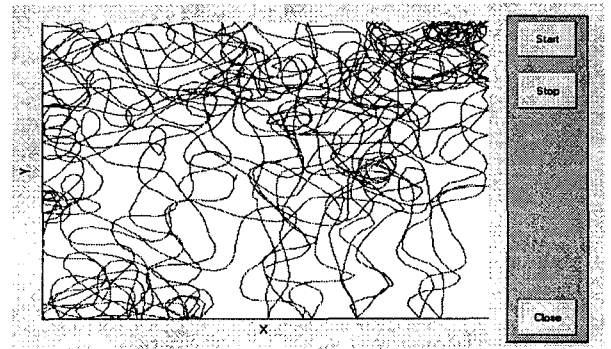


그림 4. 아놀드 카오스 로봇의 궤적

#### 카오스 추아 로봇 방정식

이동 로봇 속에 Chua's 방정식을 통합하기 위하여 식(12)와 같은 상태 변수를 정의할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha (x_2 - g(x_1)) \\ x_1 - x_2 + x_3 \\ -\beta x_2 \\ v \cos x_3 \\ v \sin x_3 \end{pmatrix} \quad (12)$$

식(12)에 의한 추아 카오스 로봇의 궤적을 그림 5에 나타내었다.

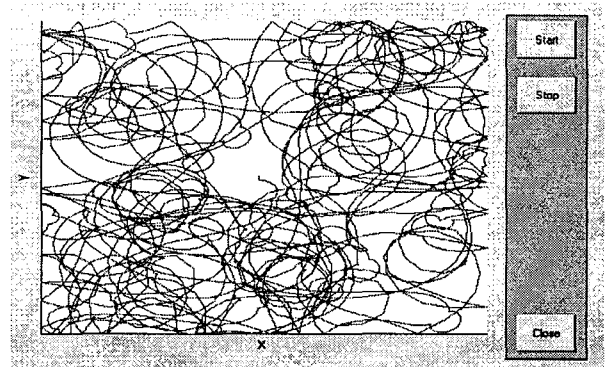


그림 5. 추아 카오스 로봇의 궤적

### 카오스 로렌츠 로봇 방정식

이동 로봇 속에 로렌츠 방정식을 통합하기 위하여 식(13)와 같은 상태 변수를 정의할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma (y - x) \\ \gamma x - y - xz \\ xy - bz \\ v \cos x_3 \\ v \sin x_3 \end{pmatrix} \quad (13)$$

식(13)에 의한 로렌츠 카오스 로봇의 궤적을 그림 6에 나타내었다.

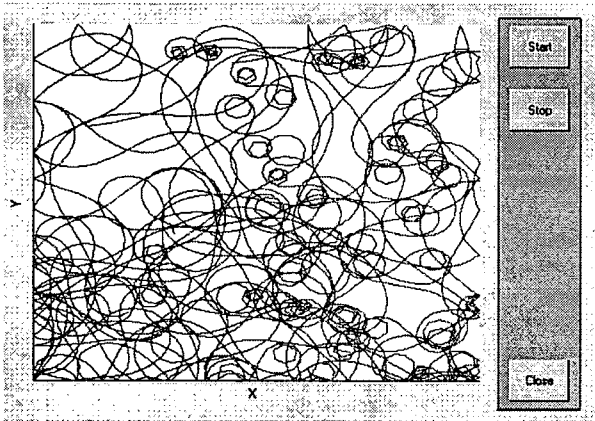


그림 6. 로렌츠 카오스 로봇의 궤적

### V/F 컨버터 설계

그림 4-6 와 같이 로봇이 경로를 가지고 자연스럽게 이동하기 위해서는 로봇 차체 또는 바퀴에서 현재 자기 위치와 가고자 하는 방향의 위치를 정확하게 파악하고 있어야 한다. 이를 위해서 정확한 각속도 센서가 필요하며 정확한 각속도 센서를 설계하기 위해서는 정확하게 전압을 주파수로 바꾸어주는 VF(Voltage to Frequency) 컨버터의 설계가 선행되어야 하며 이를 만족하는 것으로 선형성이 보장되어야 한다. 이를 위해 ADVFC32 칩을 이용한 VF 컨버터에 대하여 설명한다.

### ADVFC32칩을 이용한 V/F 컨버터

VF 컨버터의 선형성을 개선하기 위하여 전압 대 주파수 또는 주파수 대 전압 컨버터인 SDVFC32 칩을 이용한 VF 컨버터 그림 7 와 같이 설계하였다.

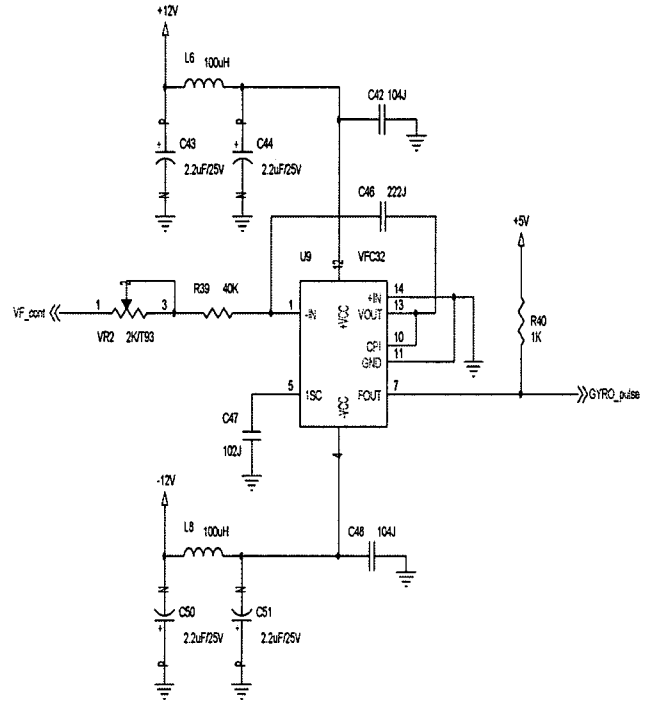


그림 7. ADVFC32 칩을 이용한 VF 컨버터

### 방위각 센서 설계

#### Auto-zero 회로 설계

정확한 각속도 센서를 설계하기 위해서는 로봇 차체가 좌회전이나 우회전을 할 때 정확하게 각속도에 비례한 전압을 VF 컨버터에 넣기 위해서는 로봇의 바퀴가 좌회전으로 기울었으면 좌회전의 값을 우회전으로 기울었으면 우회전의 값을 가르켜 그 위치가 0 이 되지 않도록 하는 회로가 필요하며 본 논문에서 이를 해결하기 위하여 auto-zero 회로를 설계하였으며 그림 8 에

나타내었다.

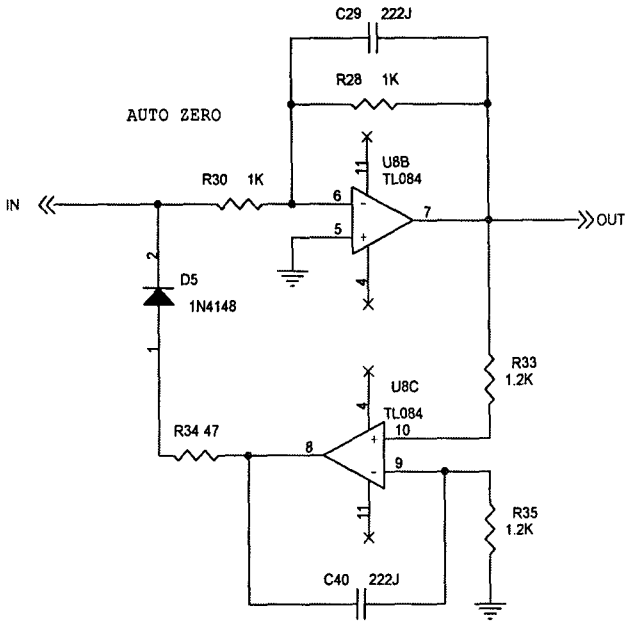


그림 8. Auto-zero 회로도

그림 8을 기반으로 한 방위각 센서를 측정하기 위한 각속도 센서 회로를 그림 9에 나타내었다.

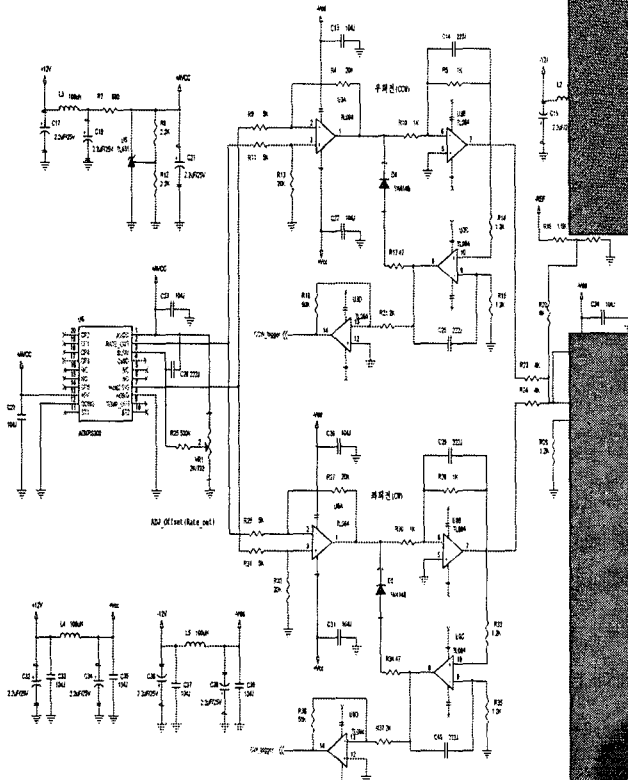


그림 9. 각속도 센서

### 하드웨어에 의한 카오스 로봇 구현

하드웨어로 구성된 카오스 로봇을 그림 10-12에 나타내었다.

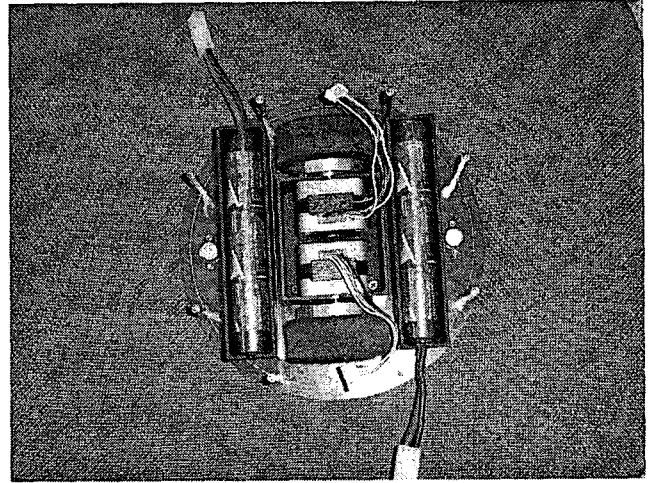


그림 10. 바퀴 및 전원 회로

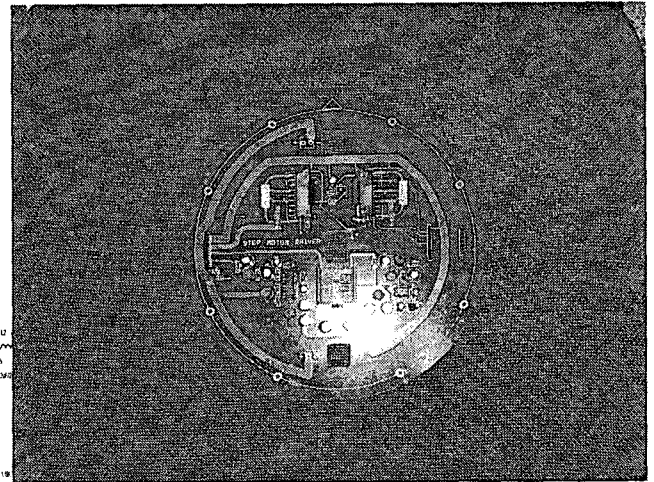


그림 11. 구동 회로

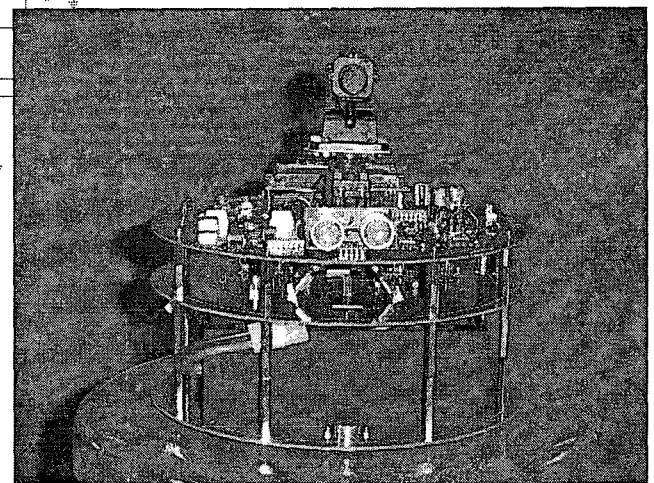


그림 12. 카오스 로봇

## 결론

본 논문에서는 카오스 방정식을 이용한 카오스 회로를 이동 로봇에 내장하여 카오스 이동 로봇을 하드웨어로 구성하고 이 카오스 로봇이 정확한 이동 경로를 가지기 위해서는 정확한 각속도 센서 설계에 대한 기법을 제시하였다. 이 설계는 기존의 마그네틱 자이로 센서가 가지고 있는 자장에 의한 영향을 없애주어 정확한 방위 측정이 가능한 회로로 본 카오스 로봇에 적용하도록 설계하였다.

## 감사의 글

이 논문은 정보통신부의 대학 기초 프로그램의 지원에 의해 수행되었음.

## Reference

- [1] Yoshihiko Nakamura and Akinori Sekiguchi, "The Chotic Mobil Robot", IEEE Trans. Robotics and Automation, Vol.17, No.6. pp.898-904. 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 dyamics," 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 20 03 년 추계 종합 학술 대회, 7 권 2 호, 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 2003 년 추계 종합 학술대회, 7 권 2 호, 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, 12 권 6 호, 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.