

간헐성 카오스를 이용한 이동 로봇의 주행 제어

배영철, 김천석, 조의주, 구영덕*

전남대학교 공학대학 전자통신전기공학부, *한국과학기술정보연구원

Navigation Control Mutual for Mobile Robot using Intermittency chaos

Youngchul Bae, Chunsuk Kim, Euijoo Cho Youngduk Koo

*Chonnam National University, KISTI

E-mail : ycbae@chonnam.ac.kr

Abstract

본 논문에서는 간헐성 카오스를 이용한 장애물 회피 문제를 다루었다. 본 논문은 Chua's 방정식을 이용한 카오스 회로를 이동 로봇에 내장하여 카오스 이동 로봇을 구성하고 이 카오스 이동 로봇이 어느 임의의 평면을 카오스 궤적을 가지고 주행하다가 고정 장애물, 또는 은닉 이동 장애물을 만나면 이를 회피하는 알고리즘을 제시하였다. 간헐성 카오스 로봇의 장애물 회피의 경우 고정 장애물, 이동 장애물, 장애물 위험에 따른 로봇의 접근 등에서 잘 회피됨을 확인하였으며 만족할 만한 결과를 얻었다.

1. 서론

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 방법과 목표물 부근과 목표물을 카오스 로봇이 집중적인 탐색을 행하는 방법을 제시하였으나 2대 이상의 로봇이 서로 동기화 하여 협조를 할 수 있는 방법은 제시되어 있지 않고 있다. 이에 본 논문은 Chua's 방정식을 이용한 카오스 회로를 이동 로봇에 내장하여 카오스 이동 로봇을 구성하고 이 카오스 이동 로봇이 어느 임의의 평면을 카오스 궤적을 가지고 탐색하다가 장애물을 만나면 간헐성 카오스를 이용하여 이를 제어하는 주행 제어 기법을 제시하고 그 결과를 검증하였다.

2. 카오스 이동 로봇 방정식

2.1 이동 로봇

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

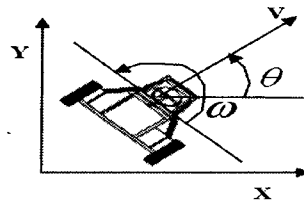


그림 1. 이동 로봇

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 Chua's 방정식

식(2)에 Chua's 방정식의 상태방정식을 나타내었다.

$$\begin{aligned}
 C_1 \frac{dv_{c_1}}{dt} &= G(v_{c_2} - v_{c_1}) - g(v_R) \\
 C_2 \frac{dv_{c_2}}{dt} &= G(v_{c_1} - v_{c_2}) + i_L \\
 L \frac{di_L}{dt} &= -v_{c_2}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

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(3)과 같이 표현된다.

$$g(v_R) = m_0 v_R + \frac{1}{2} (m_1 - m_0) [|v_R + B_p| - |v_R - B_p|]
 \tag{3}$$

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

2.3 Chua's 방정식을 이동로봇에의 내장

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

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_1 &= a(x_2 - g(x_1)) \\
 \dot{x}_2 &= x_1 - x_2 + x_3 \\
 x_3 &= \theta
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

또한 입력을 다음과 같이 놓으면

$$\begin{aligned}
 \omega &= -\beta x_2 \\
 v &= \text{arbitrary constant}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

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

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_1 &= a(x_2 - g(x_1)) \\
 \dot{x}_2 &= x_1 - x_2 + x_3 \\
 \dot{x}_3 &= -\beta x_2 \\
 \dot{x} &= v \cos x_3 \\
 \dot{y} &= v \sin x_3
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

3. 은닉 이동 장애물

카오스 이동 로봇에서 은닉 이동 장애물을 표시하기 위하여 식(7)로 표시하는 VDP(Van der

Pol) 방정식을 이동 로봇의 장애물로 가정하였다.

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= y \\
 \dot{y} &= (1 - y^2)y - x
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

식 (7)로부터 그림 2와 같은 리미트 사이클을 얻을 수 있으며, 이 리미트 사이클을 장애물로 가정하였다.

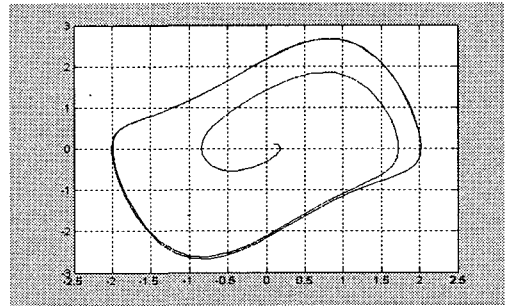


그림 2. VDP의 리미트 사이클

4. 간헐성 카오스를 이용한 전역 최적화 기법 개발

레드 보정을 위한 가능한 한 가지 방법은 네트 위치에서 현재 위치에 기반한 단위 시간 이후에 이들 후보자로부터 다음 위치를 랜덤하게 선택하는 다중 후보자가 될 수 있다고 가정한다. 이들 절차가 간단하고 유용할 지라도 확률 방법으로 얻어진 보정에서 현재 위치를 반영하는 것이 어렵다. 위치에 따라 보다 우수한 보정을 이루기 위하여 1차원 매핑의 동적 시스템으로서 수정된 베르노이 시스템으로 간헐성 카오스를 생성하는데 이용하였다. 간헐성 카오스 매핑과 같은 수정된 베르노이 시스템은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \xi_{k+1} &= g\xi_k \\
 &= \begin{cases} \xi_k + 2^{B-1}(1-2\epsilon)\xi_k^B + \epsilon & (0 \leq \xi_k \leq 0.5) \\ \xi_k - 2^{B-1}(1-2\epsilon)(1-\xi_k)^B - \epsilon & (0.5 < \xi_k \leq 1) \end{cases}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

여기서, ϵ 는 작은 양의 파라미터, B는 1보다 큰 다른 파라미터이다. 그림 3은 파라미터 B가 (a) B=1.0, (b) B=1.5, (c) B=2.0 일 때 탐색점 $\xi_{k+1} - \xi_k$ 의 변화를 보여주고 있다.

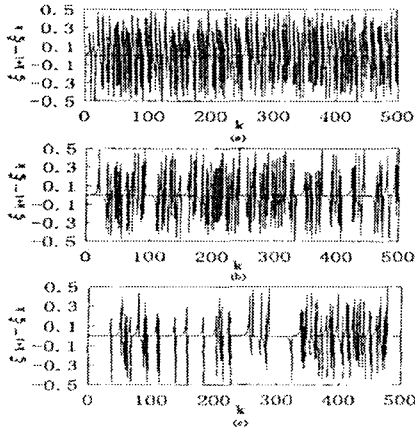


그림 3. 간헐성 카오스 맵에서 변화에 대한 시계열

관측된 변수는 -0.5와 0.5 사이의 값을 취하였다. B의 증가 값을 가지고 0 부근에서 더욱 길어졌으며, 보다 큰 변화는 더욱 더 간헐성이 되었다. 따라서 보다 높은 랜덤 탐색으로부터 국소 최적해로 간헐적으로 수렴하는 탐색을 구현할 수 있다. 제한한 방법에서 이러한 특성을 주목하였고, 간헐성 카오스가 위험의 확장에 따라 궤도 보정에서 y축 방향에서 속도를 보정하는데 사용한다.

5. 장애물 회피 모델 및 회피 결과

간헐성 카오스를 이용한 전역 최적화 기법을 이용하여 이동 장애물 회피 모델을 개발하였다. 작업 공간에서 장애물회피 모델의 한 예를 그림 4에 나타내었다.

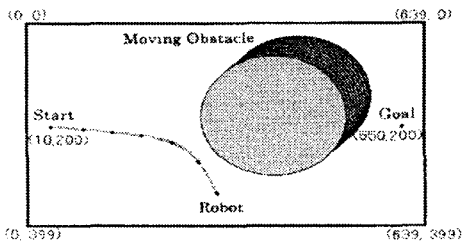


그림 4. 작업 공간에서의 장애물 회피 모델

이동 장애물의 회피를 위해 이동 장애물의 접근성과 위험도에 따라 로봇이 장애물과의 거리를 구하였다.

로봇의 개수가 여러 개인 경우 로봇이 임의의 간헐성 카오스 운동을 하므로 카오스 로봇끼리 충돌할 경우가 발생하게 되므로 이들 로봇이 서로 충돌하지 않도록 각각의 로봇이 어느 일정한 거리 이내로 접근하면 서로 밀어내도록 하기 위하여 식 (9)과 같은 함수를 사용하였다.

$$|D| = \sum_{k=1}^n \frac{0.325 n}{(0.2 D_k + 1) e^{3(0.2 D_k - 1)}} \quad (9)$$

여기서 n 은 이동 로봇에서 일정 거리내의 장애물의 수, D_k 는 각 유효 로봇과 이동 로봇과의 거리이다.

식 (9)과 같이 VDP 장애물 방향 벡터를 계산할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_k \\ \bar{y}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_o - y \\ 0.5(1 - (y_o - y)^2)(y_o - y) - (x_o - x) \end{bmatrix} \quad (10)$$

여기서 x_o, y_o 는 각 장애물의 중심점 좌표이다.

다음에 식(11)와 같이 VDP 방향 벡터의 크기(L), 가상 로봇의 이동 벡터의 크기(I), VDP(x_k, y_k)에서 가상 로봇의 진폭의 확대 좌표(I/2L)를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} L &= \sqrt{(\bar{x}_{vdp})^2 + (\bar{y}_{vdp})^2} \\ I &= \sqrt{(x_k)^2 + (y_k)^2} \\ x_k &= \frac{\bar{x}_k}{L} \frac{I}{2}, \quad y_k = \frac{\bar{y}_k}{L} \frac{I}{2} \end{aligned} \quad (11)$$

마지막으로 종합 왜곡 벡터(Total Distraction Vector; TDV)를 식(12)과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \frac{\sum_k^n ((1 - \frac{D_k}{D_o}) \bar{x} + \frac{D_k}{D_o} \bar{x}_k)}{n} \\ \frac{\sum_k^n ((1 - \frac{D_k}{D_o}) \bar{y} + \frac{D_k}{D_o} \bar{y}_k)}{n} \end{bmatrix} \quad (12)$$

식((9)-(12), 그림 2의 은닉 이동 장애물 모델, 그림 4의 장애물 회피 모델을 이용하여 장애물을 회피한 결과를 그림 5-9에 각각 나타내었다.

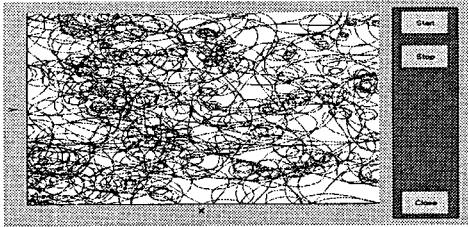


그림 5. 장애물이 없는 경우의 간헐성 카오스 로봇 궤적

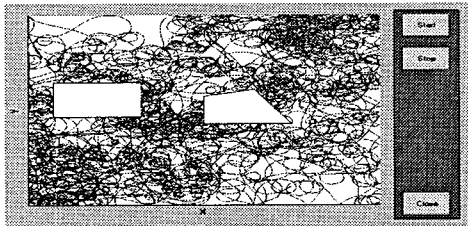


그림 6. 고정 장애물을 가진 간헐성 카오스 로봇 궤적

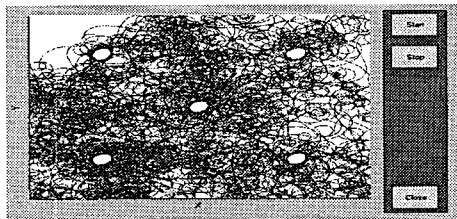


그림 7. 은닉 장애물을 가진 간헐성 카오스 로봇 궤적

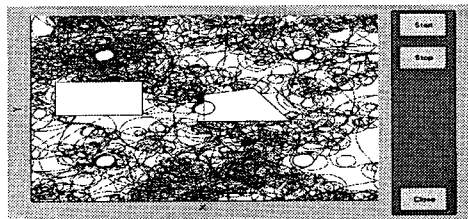


그림 8. 고정 장애물과 은닉 장애물을 가진 간헐성 카오스 로봇

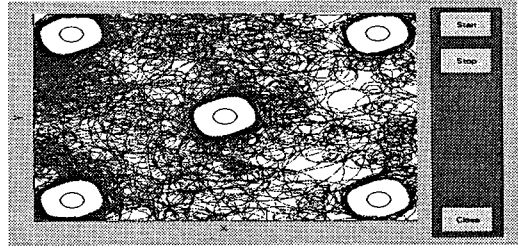


그림 9. 위험 지역 은닉 장애물을 가진 간헐성 카오스 이동 로봇 궤적

6. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 간헐성 카오스 방정식을 이용한 카오스 회로를 이동 로봇에 내장하여 카오스 이동 로봇을 구성하고 장애물을 회피하는 알고리즘을 제시하고 그 결과를 검증하였다.

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. 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 지능 시스템 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.