

다중 카오스 로봇에서의 상호 연동 기법

Mutual Synchronization Method in the Multi Chaotic Robot

배 영철, 김 이곤

여수대학교 전자통신전기공학부

Young-Chul Bae, Yi-Gon Kim

Divi. of Electronic Communication and Electrical Engineering of Yosunational University

E-mail : ycabe@yosu.ac.kr

요 약

본 논문은 Chua's 방정식과 Lorenz 방정식을 이용한 카오스 회로를 이동 로봇에 내장하여 카오스 이동 로봇을 구성하고 이 카오스 이동 로봇이 어느 임의 평면을 카오스 궤적을 가지고 주행 또는 탐색하다가 상호 연동 제어 명령이 내려지면 2개 또는 여러 개의 로봇이 서로 연동되어 동기화 되는 방법을 제시하고 그 결과를 검증하였다. 카오스 로봇 동기화에서는 장애물이 있는 경우와 은닉 장애물이 있는 경우에서 2개의 로봇이 서로 연동되어 움직이는지를 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 로봇에

서 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 연동하여 협조를 할 수 있는 연동 방법은 제시되어 있지 않고 있다.

이에 본 논문은 Chua's 방정식과 Lorenz 방정식을 이용한 카오스 회로를 이동 로봇에 내장하여 카오스 이동 로봇을 구성하고 이 카오스 이동 로봇이 어느 임의 평면을 카오스 궤적을 가지고 탐색하다가 연동에 대한 명령이 로봇에게 요구하면 이 명령에 따라 2대 또는 그 이상의 로봇이 하나의 로봇과 같이 움직이는 연동된 로봇 알고리즘 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.

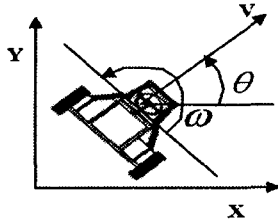


그림 1. 이동 로봇

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.

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

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.

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

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.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \alpha(x_2 - g(x_1)) \\ \dot{x}_2 &= x_1 - x_2 + x_3 \\ \dot{x}_3 &= \theta \end{aligned} \quad (4)$$

또한 입력을 다음과 같이 놓으면

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

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

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

2.4 Lorenz 방정식과 Lorenz 방정식 내장 로봇

식(7)에 로렌츠 회로의 상태 방정식을 나타내었으며 식(1)과 식(4)의 방정식으로부터 얻어진 로렌츠 회로를 내장한 카오스 이동 로봇의 상태 방정식을 식(8)에 나타내었다.

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

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha(y-x) \\ \gamma x - y - xz \\ xy - bz \\ v \cos x_3 \\ v \sin x_3 \end{pmatrix} \quad (8)$$

3. 은닉 장애물

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

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

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

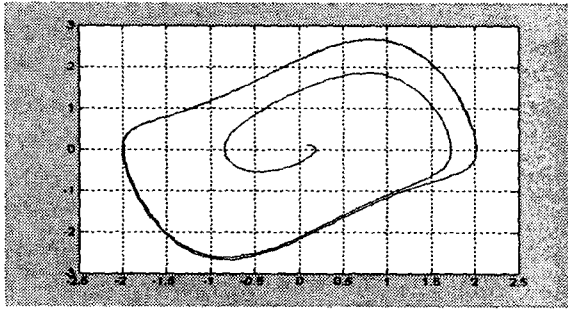


그림 2. VDP의 리미트 사이클

4. 카오스 연동 기법

본 연구에서는 로봇 상호간에 이동하면서 동기화 명령이 내려졌을 때 동기화를 이루는 방법을 제시한다.

4.1 구동동기화 기법

식(8)과 같은 자율 n차원 동역학 시스템을 고려하자.

$$\frac{du}{dt} = F(u) \tag{8}$$

이 시스템을 두 개의 부시스템 ($u = (v, w)$)로 나누면 식(9)과 같이 정리할 수 있다.

$$\frac{dv}{dt} = G(v, w) \quad \frac{dw}{dt} = H(v, w) \tag{9}$$

여기서

$$v = (u_1, \dots, u_m), \quad G = (F_1, \dots, F_m),$$

$$w = (u_{m+1}, \dots, u_n), \quad H = (F_{m+1}, \dots, F_n)$$

이다.

다음에 w 부시스템과 동일한 새로운 부시스템 w' 를 만들면 $(2n-m)$ 차원 시스템으로 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= G(v, w), & \frac{dw}{dt} &= H(v, w), \\ \frac{dw'}{dt} &= H(v, w') \end{aligned} \tag{10}$$

이때 $v-w$ 시스템을 구동 시스템(drive system), w' 부시스템을 응답 시스템(response system)이라 한다. 만약 $w'(t)$ 가 $w(t)$ 에 점근적으로 수렴하게 된다면 동기화가 되었다고 말한다.

4.2 Chua's 내장 카오스 로봇에서의 연동

Chua's 회로를 내장한 2대의 카오스 로봇에서의 동기화를 이루기 위해 각각 식(11),(12)과 같은 상태방정식을 구성하여 적용할 수 있다.

주 로봇의 카오스 상태 방정식

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

보조 로봇의 카오스 상태 방정식

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \alpha(x_2 - g(x_1)) + k' \\ \dot{x}_2 &= x_1 - x_2 + x_3 \\ \dot{x} &= v \cos x_3 \\ \dot{y} &= v \sin x_3 \end{aligned} \tag{12}$$

식(11),(12)을 이용한 두개의 Chua's 카오스 로봇의 동기화 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림3은 고정 장애물 가진 경우의 동기화 결과를 나타내었다.

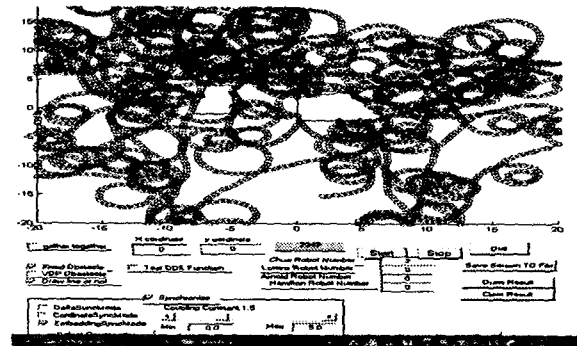


그림 3. 고정 장애물을 가진 2개의 Chua's 카오스 로봇의 연동 결과

4.3 Lorenz 내장 카오스 로봇에서의 연동와 Chua's, Lorenz의 동시 연동 기법

4.2절과 같은 방법으로 Lorenz 내장 카오스 로봇에서의 연동 결과는 그림 4와 같으며, 각각 2대의 고정 장애물과 은닉 장애물을 Chua's 와 Lorenz 내장 카오스 로봇에서의 상호 연동 관계는 그림 5와 같다.

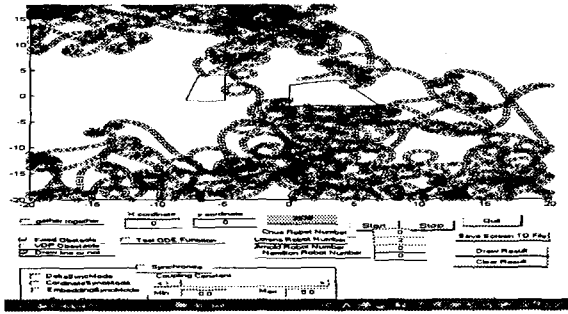


그림 4. 고정 장애물을 가진 2개의 Lorenz 카오스 로봇의 연동 결과

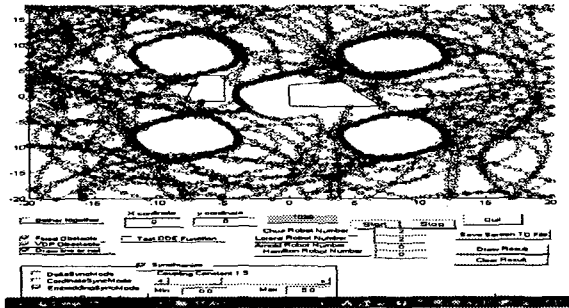


그림 5. 고정 장애물과 이동 장애물을 가진 각각 2개의 Chua's 카오스 로봇과 Lorenz 카오스 로봇의 연동 결과

그림 4와 5에서 각각 연동이 잘 이루어짐을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 카오스 방정식을 이용한 카오스 회로를 이동 로봇에 내장하여 카오스 이동 로봇을 구성하고 2대의 카오스 이동 로봇이 어느 임의 평면을 카오스 궤적을 가지고 탐색하다가 연동 제어 명령이 내려지면 상호 연동을 이루는 기법을 제안하고 그 결과를 확인하였다. 앞으로 실제 로봇에 적용하거나 협조 제어에 적용하는 것이 과제로 남는다.

6. 참고문헌

[1] Yoshihiko Nakamura and Akinori Sekiguchi, "The Chaotic Mobile 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 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 Dynamics, 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 of 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.