
카오스 이론에 기반한 포메이션 제어를 위한 다중 카오스 로봇의 장해물 회피 및 동기화에 관한 연구

배영철^{*} · 박종규^{**}

A Study on Obstacle Avoid Method and Synchronization of multi chaotic robot for Robot Formation Control based on Chaotic Theory

Young-chul Bae^{*} · Jong-kyu Park^{**}

요약

본 논문에서는 여러 대의 카오스 로봇이 운영할 때 이들 로봇 사이의 충돌을 회피하고, 또한 장해물을 피해가기 위한 수학적 알고리즘을 제안한다. 포메이션 제어에 위하여, 로봇과 로봇 사이의 통신에 따른 명령체계를 마련하기 위한 기법의 하나로 로봇 시스템들 간의 동기화 기법을 제시하고 컴퓨터 시뮬레이션으로 그 결과를 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose the mathematical algorithm for collision avoidance between the robots and for the obstacle avoidance during the operation of the several chaotic robotics. For the useful formation control and as one of the method to provide command structure of communication between the robots, we also propose the synchronization method between the robotic system and confirmed the result with the computer simulation.

키워드

Chaos Mobile Robot, Synchronization Methods, Formation Control, Obstacle Avoidance

I. 서 론

21세기 지식 기반 정보화 사회에서 산업 기술, 과학 기술의 발전은 사람들이 상상하기 힘들 정도로 빠르게 진행되고 있다. 특별히 로봇 분야에서의 발전은 급속하게 진행되고 있으며, 로봇을 이용하여 인간을 이롭게 하는 응용 분야는 대단히 넓다. 이러한 시대적 배경에 따라 국가에서도 차세대 신성장 동력 산업으로 로봇을 지정할 만큼 로봇에 대한 관심이 커지고 있다. 의료용 로봇, 가정용 로봇(청소용, 로봇, 오락용 로봇), 산업용

로봇, 군사용 로봇 등 인간이 하기 어려운 일이나 접근하기 곤란한 지역을 탐색하는데 로봇이 이용되고 있으며 앞으로 이용범위가 더욱 커질 것으로 전망하고 있다.

특별히 어떤 특정 지역을 탐색하거나 탐사할 때(예를 들면, 군사적인 목적의 수색이나 지뢰 탐사, 광물 탐사, 지진 등으로 인한 인명 구조 탐사) 인간이 하기에는 힘이 드는 지역에 소형 이동로봇이나 소형 무인 비행체를 배치하여 탐사하게 한다면 효과적이라 생각이 듈다.

최근 로봇은 실생활에서 직접 사용할 수 있는 실용

* 교신저자 : 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부(ycbae@chonnam.ac.kr)

* 한국과학기술정보연구원(jkpark@kisti.re.kr)

접수일자 : 2010. 08. 30

심사(수정)일자: 2010. 09. 20

게재확정일자 : 2010. 10. 12

화 단계에 접어든 것으로 보고 있다. 로봇 시스템에서 주요 현안 문제로는 현재 로봇의 자기 위치를 인식하는 로칼라이제이션(localization), 이동 중 장해물을 만나면 장해물을 피해가는 장해물 회피 알고리즘, 여러 대의 로봇이 하나의 로봇처럼 또는 대형을 유지하도록 하는 포메이션(formation) 제어 등이 중요한 문제의 하나로 남아있어 이에 대한 연구가 지속적으로 필요한 실정이다.

최근에 카오스 이론은 물리, 생물학, 전자공학 등에 활발하게 적용되고 있다.[1-6]. 또한 로봇에 카오스 이론을 적용한 연구[6-12]와 이를 이용하여 장해물을 회피하기 위한 연구가 있었으나 다중 카오스 로봇을 어느 일정한 지역에서 운영할 때 이들 사이의 충돌회피와 장해물을 회피하기 위한 연구는 없었다.

여러 대의 로봇이 이동할 때 장해물을 회피하기 위한 방법에 대한 많은 연구가 진행되어 있으나 완벽한 장해물 회피를 위한 방법은 구현이 어려운 것으로 알려져 있다.[6-12] 또한 기존의 연구[7-12]에서는 단지 장해물 회피와 충돌 방지를 위한 단순한 알고리즘을 적용하여 실제 로봇에서 적용하기 어려운 문제점을 가지고 있어 실제 로봇에서 통신에 적용하여 복수의 로봇과 복수의 장해물이 존재할 때 적용할 수 있는 로봇과 로봇 사이의 통신을 위한 동기화 기법이 필요하다.

이에 본 논문에서는 여러 대의 카오스 로봇이 운영할 때 이들 로봇 사이의 충돌을 회피하고, 또한 장해물을 피해가기 위한 수학적 알고리즘을 제안한다. 또한 앞으로 포메이션 제어에 유용하게 사용할 수 있도록 로봇과 로봇 사이의 통신에 따른 명령 체계를 마련하기 위한 기법의 하나로 로봇 시스템들 간의 동기화 기법을 제시하고 컴퓨터 시뮬레이션으로 그 결과를 확인한다.

II. 카오스 이동 로봇

2.1 이동 로봇

일반적으로 이동 로봇의 개념을 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 본 논문에서는 바퀴가 2개인 이동 로봇을 가정하여 수학적 모델을 구성한다.

그림 1과 같은 로봇에서 선형 속도를 $v[m/s]$, 각속도 $w[rad/s]$ 로 표시하면 이동 로봇의 상태 방정식은 식(1)과 같이 표현된다.

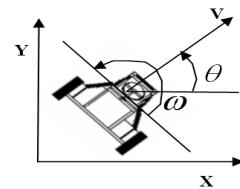


그림 1. 이동 로봇

Fig.1 Mobile robot

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

여기서 $(x[m], y[m])$ 는 로봇의 위치, $\Theta[rad]$ 은 로봇의 각도를 나타낸다.

2.2 카오스 이동 로봇[6]

식 (1)로 표시하는 이동 로봇에 다양한 카오스 회로를 내장한 것을 카오스 로봇이라고 한다. 본 논문에서는 식(1)을 기반으로 간단하게 카오스 로봇의 동력 방정식을 구성할 수 있다. 예를 들어 식(1)에 아놀드 카오스 회로를 내장하면 아놀드 카오스 로봇, Chua's 회로를 내장하면 Chua's 카오스 로봇, 로렌츠 회로를 내장하면 로렌츠 카오스 회로 등으로 불린다[].

식(2)에 아놀드 카오스 로봇, 식(3)에 Chua's 카오스 로봇, 식(4)에 로렌츠 카오스 로봇, 식(5)와 (6)에 하이퍼카오스 로봇에 대한 상태 방정식을 각각 나타내었다[7-12].

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

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha(x_2 - g(x_1)) \\ x_1 - x_2 + x_3 \\ -\beta x_2 \\ v\cos x_3 \\ v\sin x_3 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma(y-x) \\ \gamma x - y - xz \\ xy - bz \\ v \cos x_3 \\ v \sin x_3 \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha[y^{(j)} - h(x^{(j)})] + D_x(x^{(j-1)} - 2x^{(j)} + x^{(j+1)}) \\ x^{(j)} - y^{(j)} + z^{(j)} \\ -\beta y^{(j)} \\ v \cos x_3 \\ v \sin x_3 \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha[y^{(j)} - h(x^{(j)})] \\ x^{(j)} - y^{(j)} + z^{(j)} + D_y(x^{(j-1)} - 2x^{(j)} + x^{(j+1)}) \\ -\beta y^{(j)} \\ v \cos x_3 \\ v \sin x_3 \end{pmatrix}. \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

III. 장해물 회피 기법

3.1 복수 로봇의 충돌 방지 기법

일정한 표면에 복수의 카오스 로봇이 있을 때 이를 각각의 임무를 가지고 움직이면 로봇과 로봇이 서로 충돌할 가능성이 높아 충돌을 방지하기 위한 방안이 고려되어야 한다.

본 논문에서는 로봇과 로봇 사이의 거리가 일정한 범위에 들어서면 로봇과 로봇이 상호 통신하여 선임 로봇이 후임 로봇에게 일정 거리 밖으로 나가도록 명령을 내리는 구조로 충돌을 회피하였다. 이와 관련한 수식은 알고리즘 상에서 다양한 방법으로 구현할 수 있으며 이를 식(7)에 표시하였다.

$$|D| = \sum_{k=1}^n \frac{x_n}{(c D_k + 1) e^{y(z D_k - 1)}} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

여기서 x, y, z 는 상수로서 로봇과 로봇의 충돌을 방지하기 위한 안전한 거리를 결정하는 상수로서

$x = 0.1 - 1, y = 1 - 5, z = 0.1 - 2$ 사이의 범위를 사용하며, n 은 이동 로봇에서 일정 거리내의 장애물의 수, D_k 는 각 유효 로봇과 이동 로봇과의 거리이다. $c = 0.1 - 2$ 의 범위를 갖는 상수이다.

복수 로봇에서 로봇과 로봇의 충돌 방지를 위해서 식(7)에서 정의한 수식을 이용하여 안전한 로봇과 로봇의 충돌을 방지하기 위한 최소 거리를 정의할 수 있으며, 보다 안정성을 요하는 경우와 통신 속도 및 관성 등을 고려하여 설계자가 임의로 상수 값을 설정하면서 충돌을 방지 할 수 있다.

3.2 복수 로봇의 장해물 회피

복수의 로봇이 복수의 장해물이 존재하는 곳을 탐색하거나 이동할 때 장해물을 회피하는 기법이 요구된다. 일반적으로 장해물은 고정 장해물과 이동 장해물로 구별할 수 있는데 고정 장해물의 경우 이동 로봇에서 보았을 때 장해물 자체에 방향성을 가지고 이동하지 않기 때문에 장해물에 대한 이동 방향을 고려할 필요가 없다. 그러나, 이동 장해물의 경우 이동 장해물의 이동 방향에 대한 지식이 필요하므로 식(8)과 같이 이동 장해물에서의 위치를 방향성을 가진 방향벡터로 정의한다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_k \\ \dot{y}_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 - y \\ k(1 - (y_0 - y)^2)(y_0 - y) - (x_0 - x) \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

여기서 $k = 0.1 - 1$ 사이의 상수이며, x_0, y_0 는 각 장애물의 중심점 좌표이다.

또한 이동 장해물의 방향 벡터의 크기를 L , 이동 로봇의 이동 벡터의 크기를 I , 이동 장해물의 임의의 좌표를 \dot{x}_k, \dot{y}_k 라 할 때 이동 로봇에서의 진폭의 확대 좌표와의 관계를 식(9)~식(11)과 같이 구할 수 있다.

$$L = \sqrt{\dot{x}_k^2 + \dot{y}_k^2} \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

$$I = \sqrt{\dot{x}_r^2 + \dot{y}_r^2} \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

$$\dot{x}_k' = \frac{\dot{x}_k}{L}, \quad \dot{y}_k' = \frac{\dot{y}_k}{L} \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

여기서 x_1, y_1 은 이동 장해물의 x 축과 y 축의 위치

벡터, x_r, y_r 은 이동 로봇에서의 x 축과 y 축의 위치 벡터, \dot{x}_k, \dot{y}_k 는 장해물에서 이동 로봇으로 바라본 x 축과 y 축의 위치 벡터이다.

카오스 이동 로봇과 이동 장해물 사이에서는 카오스 이동 로봇에서의 방향성과 이동 장해물에서의 방향성, 로봇과 로봇 사이의 충돌 방지를 피하기 위한 방향성으로 인한 다양한 종류의 방향 왜곡이 발생할 수 있다. 따라서 카오스 이동 로봇과 이동 장해물에서의 위치에 대한 식(9)-식(11)에서 계산한 값과 실제 카오스 이동과 장해물 사이에는 계산 값과 다른 왜곡 값이 나올 수 있기 때문에 이들 사이에 작용하는 왜곡을 줄여 주어야만 한다. 본 논문에서는 이를 위하여 식(12)과 같이 종합 왜곡 벡터(Total Distraction Vector; TDV)를 계산하여 왜곡방향의 오차를 줄여주는데 이용한다.

$$\left| \frac{\sum_k^n ((1 - \frac{D_k}{D_0}) \dot{x}_k + \frac{D_k}{D_0} \dot{x}_k)}{\sum_k^n ((1 - \frac{D_k}{D_0}) \dot{y}_k + \frac{D_k}{D_0} \dot{y}_k)} \right| \dots \dots \dots \quad (12)$$

여기서 D_0 는 기준 로봇과 유효 이동 로봇과의 거리이다.

식(7)-(식(12)의 복수 로봇의 충돌 방지와 복수 로봇의 장해물 회피와 관련된 수식을 이용하여 5개의 이동장해물과 2대의 카오스 로봇이 일정 평면을 이동한다고 가정하여 적용한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 그림2에 나타내었다.

그럼 2에서의 결과를 확인하면 2대의 Chua's 카오스 로봇이 서로 충돌하지 않고 5개의 이동 장해물을 장회피하고 있음을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 적용하고자하는 카오스 로봇의 종류 예를 들면 Chua's, 아놀드, 로렌츠 등에 대해 번호를 부여하고 GUI 환경에서 원하는 로봇의 번호를 선택하도록 하였으며, 여기에 로봇의 개수와 장해물의 개수를 입력하기만 하면 구동하도록 구성하였다.

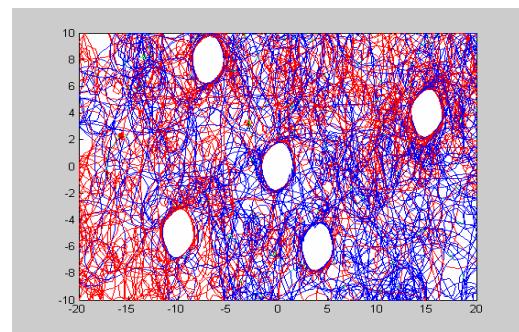


그림 2. Chua's 카오스 로봇 2대와 5개의 이동 장애물을 가진 경우의 장해물 회피에 대한 시뮬레이션 결과

Fig. 2 The Result of computer simulation for obstacle avoidance with 2 Chua's chaos robots and 5 moving obstacle

또한 로봇이 서로 다른 경우 예를 들면 Chua's 로봇 2대, 로렌츠 로봇 3대 등으로 서로 다른 로봇의 경우도 시뮬레이션 할 수 있으며 이동 장해물도 다양한 형태를 가지도록 설계하였으나 본 논문에서는 구체적인 시뮬레이션 결과는 나타내지 않았다.

3.3 복수 로봇에서 포메이션 제어 적용을 위한 로봇 사이의 동기화 기법

복수의 카오스 이동 로봇 사이의 충돌 방지 및 장해물 회피에 대한 앞 절의 알고리즘을 완전하게 이용하기 위해서는 실제 복수의 카오스 로봇 시스템에서 로봇들끼리 서로 통신이 이루어져야 하며, 포메이션 제어를 완성하기 위해서는 동기화 또한 이루어져야만 한다.

본 논문에서는 복수의 카오스 로봇 시스템에서 포메이션 제어에 쉽게 적용되도록 하기 위하여 카오스 동기화기법 중 구동 동기화기법을 변형한 임베딩 구동 동기화 기법을 적용[13]하여 카오스 로봇에서의 동기화를 이루다.

임베딩 구동 동기화는 구동 동기화 기법의 변형 [14,15]으로서 시스템의 여러 개의 파라미터 중 한 개의 파라미터를 정하여 동기화를 이루어도 전체가 동기화되다는 특징을 가지 동기화 기법이다.

본 논문에서는 아놀드 카오스 로봇, Chua's 카오스

전체적인 로봇의 동기화를 적용하였으나 원리가 서로 비슷하여 여기에서는 편의상 하이퍼카오스 로봇에서의 동기화 방법만을 기술한다.

n 개의 하이퍼카오스 로봇에서의 상태방정식은 일반식으로 식(13)과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_{1n} \\ \dot{x}_{2n} \\ \dot{x}_{3n} \\ \dot{y}_n \end{pmatrix} = \begin{cases} (\alpha[y_n^{(j)} - h(x_n^{(j)})] + D_x(x_n^{(j-1)} - 2x_n^{(j)} + x_n^{(j+1)})) \\ x_n^{(j)} - y_n^{(j)} + z_n^{(j)} \\ -\beta y_n^{(j)} \\ v \cos x_{3n} \\ v \sin x_{3n} \end{cases} \quad (13)$$

여기서 n 은 로봇의 개수를 의미하여 1,2,3, n 으로 표시하여, 1은 첫 번째 로봇을 의미한다. 만약 식(13)에서 전체 로봇의 개수가 4개라고 하면 1번 로봇부터 4번 로봇까지 순서적으로 첫 번째 로봇은 11, 두 번째는 12, 세 번째는 13, 네 번째는 14의 아래 침자 번호가 붙여질 것이다. 이 경우 첫 번째 로봇이 송신부이고 두 번째로 로봇이 수신부 로봇이 된다. 두 번째와 세 번째 로봇의 경우에는 두 번째 로봇이 송신부, 세 번째 로봇이 수신부, 세 번째와 네 번째 로봇의 경우 세 번째 로봇이 송신부, 네 번째 로봇이 수신부, 네 번째와 첫 번째 로봇의 경우는 네 번째 로봇이 송신부 첫 번째 로봇이 수신부가 되어 4대의 로봇이 동시에 동기화하게 되는 구조로 구성된다. 이에 대한 설명을 그림 3에 나타내었다.

그림 3에서와 같이 식(13)의 하이퍼카오스 로봇의 상태 방정식을 하이퍼카오스 로봇 1의 송신부와 수신부로 삼고 임베딩 구동 동기화와 충돌 방지 기법을 적용한 후 4번재 로봇까지 적용하면 일반적인 카오스 동기 이론에서와 같이 송신부와 수신부의 신호가 일치하는 동기화 현상을 달성할 수 있으면 본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션으로 이를 적용하였다.

그림 3과 같은 임베딩 구동 동기화 기법을 적용하여 4대의 하이퍼카오스에서의 동기화 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4는 첫 번째 로봇과 네 번째 로봇의 동기화 결과이다. 이 경우 로봇 순서에 관계없이 거의 비슷한 동기화 결과를 얻으며 완벽한 동기화 결과를 얻음을 확인할 수 있다.

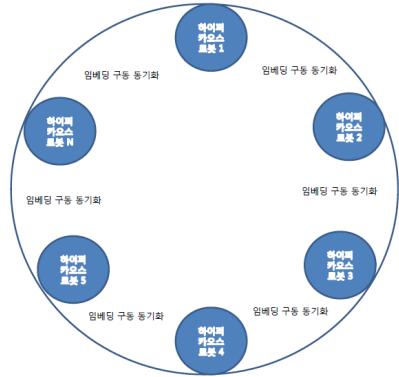


그림 3. 임베딩 구동 동기화의 개념도
Fig. 3 Block diagram of Embedding-driving Synchronization

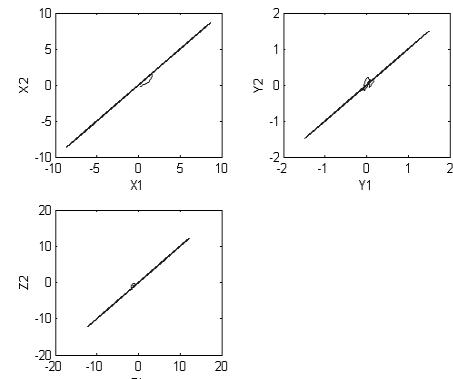


그림 4. 하이퍼카오스 로봇 4대에 적용한 임베딩 구동 동기화 결과
Fig. 4 Synchronization result of embedding-driving applying 4 hyperchaos robots.

그림 4의 시뮬레이션 결과는 로봇의 개수에 관계없이 상태방정식에서 하나의 변수만을 선정하여 동기화시키는 구동 동기 기법의 변형인 임베딩 구동 동기화 기법을 적용한 것으로 완전한 동기화를 이를 수 있음을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 이용하여 그림 4의 동기화에 대한 완전한 결과로부터 카오스 로봇의 포메이션 제어 등에 이 동기화 방법을 적용할 수 있을 것으로 보인다.

IV. 결 론

본 연구에서는 복수의 카오스 로봇에서 장해물을 회피하고 로봇과 로봇의 충돌을 방지할 수 있는 알고리즘을 개발하고, 이를 4대의 하이퍼카오스 로봇에 적용하여 로봇과 로봇의 충돌을 방지하기 위한 최소 거리를 적용할 수 있었으며 로봇과 로봇이 일정한 범위에 들어서면 선임 로봇이 후임 로봇에서 일정 거리 밖으로 나가도록 명령을 내리는 구조로 충돌을 회피하는 우수한 결과를 얻었다. 또한 로봇의 포메이션 제어에 적용하기 위하여, 4대의 하이퍼카오스 회로에 대하여 임베딩 구동 동기화 기법을 적용한 4대의 로봇에서의 동기화 결과를 제시하였다. 제시한 결과를 바탕으로 포메이션 제어나 집단 제어 등에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

앞으로는 실제 포메이션 제어에 적용하는 방법이 연구 과제로 남는다.

감사의 글

본 논문은 이 논문은 2009년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] 배영철, “카오스의 응용” 전자저널, pp.110-112. 1993.1.20.
- [2] 合原一幸, “바이오 카오스 정보와 그 공학적 응용” 電子工業月報, 제34권, 1호, pp. 30-39, 1993.
- [3] 제임스 글레이크 “CHAOS: Making A New Science” 동문사.
- [4] 배영철, 임화영, “주기적 외력을 인가한 Bonhoeffer-Van der Pol 오실레이터 모델에서의 카오스 현상 해석에 관한 연구” 한국통신학회논문지, 20권 11호, pp. 2991 - 3000, 1995.
- [5] T. S. Parker and L. O. Chua, " Chaos: A Tutorial for Engineers" Proc. IEEE vol. 75, no. 8, pp. 982-1008. 1987.
- [6] Yoshihiko Nakamura and Akinori Sekiguchi, "The Chaotic Mobile Robot", IEEE Trans. Robotics and Automation, Vol.17, No.6, pp898-904. 2001.[
- [7] Youngchul Bae,Yigon Kim,Youngdeok Koo, "The target searching method in the chaotic mobile robot embedding BVP model", Journal of Korea Intelligent Information Systems Society, Vol. 17, No. 2, pp. 259-264, 2007.
- [8] Youngchul Bae, "An obstacle avoidance method for chaotic robots using angular degree limitations", LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE , Vol. 3982, pp. 244-250, 2006.
- [9] Youngchul Bae,Cheonseok Kim,Youngdeok Koo, "A study on Synchronization method for Mutual Cooperative Control in the Chaotic UAV ", International Journal of Maritime Information and Communication Sciences, Vol. 4, No. 1, pp. 28-35, 2006.
- [10] Youngchul Bae, "The Synchronization method for cooperative control of chaotic UAV", Journal of Korea Intelligent Information Systems Society, Vol. 11, No. 3, pp. 45-55, 2005.
- [11] Youngchul Bae, Cheonseok Kim,Youngdeok Koo, "The Synchronization Method for Mutual Cooperation Control of Chaotic Mobile Robot ", Journal of the Korean Institute of Maritime Information & Communication Sciences, Vol. 9, No. 7, pp. 1616-1623, 2005.
- [12] Youngchul Bae,Cheonseok Kim, "Obstacle Avoidance technique for Chaotic Mobile Robot ", Journal of the Korean Institute of Maritime Information & Communication Sciences, Vol. 8 No. 8, pp. 1692-1699, 2004.
- [13] Youngchul Bae, Yigon Kim, Juwan Kim, Youngwoo Shon, "Secure Communication using Embedding Drive Synchronization", Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, Vol. 13 No. 3, pp. 310-315, 2003 .1994.
- [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] L. O. Chua, M. Itoh, L. Kocarev, and K. Eckert, "Chaos Synchronization in Chua's Circuit" J. Circuit. Systems and computers, vol. 3, no. 1, pp. 93-108, 1993.

저자 소개



배영철(Young-chul Bae)

1984년 2월 광운대학교 전기공학과

(공학사)

1986년 2월 광운대학교대학원 전기
공학과 (공학석사)

1997년 2월 광운대학교대학원 전기공학과(공학박사)

1986년 ~ 1991년 : 한국전력공사

1991년 ~ 1997년 : 산업기술정보원 책임연구원

1997년 ~ 현재 : 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공
학부 교수

※ 관심분야 : Chaos Control and Chaos Robot, Robot
control etc.



박종규(Jong-kyu Park)

1984년 2월 : 중앙대학교 전자공학
과 (공학사)

1990년 2월 : 순천대학교 전자공학
과(공학석사)

1991년 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 선임연구원

※ 관심분야 : 로봇 제어, 모터 제어, 산업통신망