

퍼지규칙에 의한 자율이동로봇의 군행동 구현

김 서광, 공성곤
 숭실대학교 전기공학과

Implementation of Swarm Intelligence of Fuzzy Rules for Autonomous Mobile Robots

Seo-Kwang Kim, Seong-Gon Kong
 Department of Electrical Engineering, Soongsil University

Abstract - 생명체는 자신을 이루고 있는 단순한 구성 요소들이 적은 수의 근본 규칙들에 의하여 국부적 상호 작용을 함으로써 복잡한 생명 현상을 보이고 있다. 이 연구에서는 생명 현상을 보이고 있는 개체가 많은 수의 단순한 구성 요소들의 집합으로 이루어져 있으며 그러한 구성 요소들이 적은 수의 근본 규칙들에 의하여 서로 국부적인 상호작용을 함으로써 복잡한 행동패턴들을 나타낸다는 가정 아래, 여러 대의 자율이동로봇 (autonomous mobile robot)들의 군지능을 나타낼 수 있는 적은 수의 근본 규칙을 찾아내고 찾아진 근본규칙들을 퍼지규칙으로 표현하는 것을 목표로 한다. 각 자율이동로봇은 기능이 매우 제한되어 있으며, 자신만의 독특한 신호를 발생한다. 이 신호를 "heartbeat"이라 부르며 이를 이용하여 대략적으로 자신의 위치와 현재상태를 다른 개체에 알리는 역할을 한다. 이 논문에서는 "heartbeat"을 이용한 로봇간의 통신과 자재반송이라는 군행동을 퍼지시스템으로 구현하고 이를 평가한다.

1. 서 론

1.1. 자율이동로봇 과 군지능

자율이동로봇은 센서입력을 통하여 인식된 데이터를 바탕으로 스스로 판단하고 이동할 수 있는 로봇을 의미한다. [1] 기능이 단순한 여러 대의 자율이동로봇들이 군지능에 의하여 하나의 개체가 수행할 수 없는 복잡한 문제를 해결할 수 있다. 여기서 군지능 (swarm intelligence)이란 기능이 단순한 여러 개체들이 개체간의 상호작용을 통하여 단독개체로서는 수행할 수 없는 복잡한 기능을 창발(emergence)하는 현상을 의미한다. 군지능을 가지고 있는 자율이동로봇 그룹의 기본적인 특징들은 동질성에 의한 강인함, 로봇수의 증가에 대한 복잡도의 불변, 그리고 소형, 저가격화등이 있다. [2][3][4] 이러한 군지능을 구현하기 위해 여러 대의 자율이동로봇들의 군행동(group behavior)을 지배하는 적은 수의 인공생명 규칙을 퍼지규칙에 의하여 나타내고, 이러한 규칙들을 입출력 데이터로부터 생성해 내며 이를 실제의 로봇에 구현하기 위해 실제 로봇을 바탕으로 제작된 시뮬레이터에 퍼지 추론 시스템을 결합하여 자재운반이라는 임무를 부여하고 임무를 수행하는데 있어 군지능의 성능을 평가하는 것을 목표로 한다.

2. 본 론

2.1. 군지능을 위한 퍼지 시스템

2.1.1. 퍼지 시스템

인공생명의 근본적인 규칙들을 얻는데 있어서 전문가의 지식체계가 존재하는 경우에는 이를 직접 언어적인 형태의 퍼지규칙으로 표현할 수 있으며, [4][5] 이러한 지식이 존재하지 않고 수치 데이터의 형태로 존재하는 경우에는 클러스터링을 통하여 퍼지시스템을 모델링함으로써 인공생명 현상을 지배하는 기본 규칙들을 얻을 수

있다.

2.1.2. 입출력 데이터의 클러스터링

퍼지 모델링에 있어 퍼지규칙의 수와 퍼지규칙을 결정하는 것이 가장 중요한데, 이것은 주어진 입출력 데이터를 클러스터링하여 클러스터의 중심을 구함으로써 결정할 수 있다. 클러스터링은 데이터들이 가지고 있는 유사성의 정도에 따라 데이터들을 몇 개의 그룹으로 분류하는 알고리즘이다. 클러스터링 과정에서 얻는 클러스터의 수가 퍼지규칙의 수가 되며, 클러스터의 중심의 위치에 의해 퍼지규칙의 형태가 결정된다. [4]

2.1.3. 자재운반

2.1.4. 군행동의 구현을 위한 임무

퍼지 규칙을 이용하여 군 행동으로 구현하기 위해 넓은 공간에 여기저기 흩어져 있는 자재를 로봇들이 함께 운반하여 HOME으로 나르는 임무를 부여한다. 자재를 먼저 찾은 로봇은 다른 로봇에게 Broadcast 방식으로 자재의 대략적인 위치를 알린다. 이 신호를 받은 로봇은 신호가 나오는 방향을 향해서 자재를 찾아 나서고 신호를 받지 못한 로봇은 독자적으로 다른 자재를 찾아다닌다. 각 로봇들은 기본적으로 자신의 위치와 HOME의 위치 등 좌표 정보가 없으므로 자신이 가진 8개의 센서를 이용하여 태양을 찾은 후 자신의 위치를 추정하고 HOME을 찾기도 하고 남아있는 자재를 가져오기 위해서 자재가 있는 곳으로 되돌아가기도 한다.

2.1.5. 임무수행을 위한 로봇의 상태

자재 운반이란 그림 1 처럼 4가지 상태가 필요하다. 각 상태는 퍼지 시스템 모듈을 사용하여 동작하며 로봇은 임무가 시작되면 일정한 속도로 전진하면서 물체를 찾고 물체가 나타나면 장애물인지 자재인지를 분석한다. 만일 장애물이면 장애물 회피 알고리즘을 적용하고 자재로 판명되면 자재와 적당한 거리를 유지한 후 장착된 팔 (Gripper)을 이용하여 자재를 들어올리고 HOME으로 복귀한다. 자재를 찾는 중 Heartbeat Signal이 수신되면 수신된 방향으로 방향을 바꿔 자재 찾기를 계속한다.

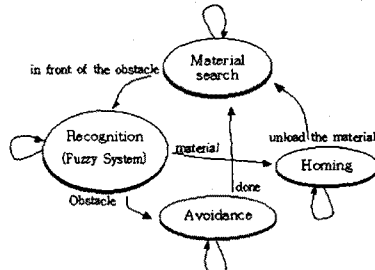


그림 1 : 자재운반의 상태흐름도

2.2. 기준알고리즘과 퍼지시스템

2.2.1. 자체 인식 알고리즘

로봇이 물체를 발견했을 때 벽, 다른 로봇, 장애물을 분류하기 위해 그림 2 처럼 로봇 전방의 4개의 적외선 센서의 차이를 이용하여 벽과 로봇 그리고 장애물을 구분하게 된다.

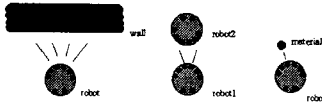
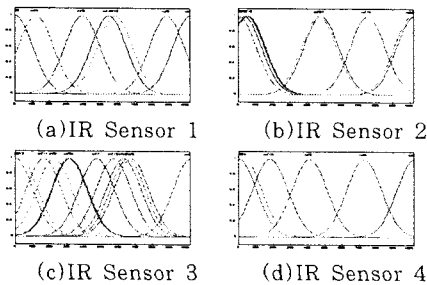


그림 2 : 자체 인식

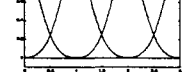
2.2.2. Fuzzy 규칙에 의한 장애물 인식

장애물 판별을 위해 로봇을 판별하고자 하는 물체 앞에서 각각 10번씩 거리별 데이터를 획득하여 클러스터링하였다. 클러스터링 한 결과 각 입력에 대해 19개의 멤버십 함수를 얻었고 출력은 그림 3과 같이 4가지로 모름(0), 벽(1), 장애물(2), 벽(3)을 설정하였다.



(a)IR Sensor 1 (b)IR Sensor 2

(c)IR Sensor 3 (d)IR Sensor 4



(e)Decision(출력)

그림 3 : 자체인식을 위한 퍼지시스템의 멤버십함수

2.2.3. 장애물 회피 알고리즘

장애물 회피는 그림 4 처럼 각 센서마다 서로 다른 가중치를 두고 센서의 값에 따라 모터의 회전방향 및 속도를 식(1)과 같이 결정한다.

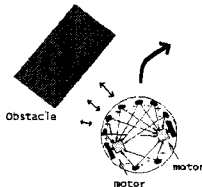


그림 4 : 센서에 의한 장애물 회피

$$v_L = u^T s + v_F \quad (1)$$

$$v_R = w^T s + v_F \quad (2)$$

$$s = [s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7] \quad (3)$$

$$u = [4, 4, 6, -18, -15, -5, 5, 3] \quad (4)$$

$$w = [-5, -15, -18, 6, 4, 4, 3, 5] \quad (5)$$

여기서 u 와 w 는 각센서에 곱해지는 가중치 벡터이며 s 는 센서의 입력 벡터이다. 그리고 v_F 는 정회전 바이어스로 센서에 장애물이 발견되지 않았을 때 로봇을 전진하게 하는 역할을 하는 전진속도이다.

2.2.4. Fuzzy 규칙에 의한 장애물 회피

장애물 회피를 위해 로봇을 장애물이 많은 공간에 두고 센서와 모터의 속도에 대한 데이터를 각각 500개를 얻어 클러스터링 하였다. 클러스터링 결과 아래와 같은 퍼지시스템을 얻었다

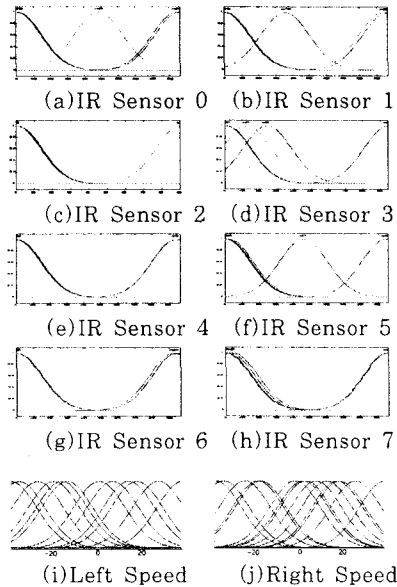


그림 5 : 장애물 회피 퍼지시스템의 멤버십함수

2.3. 자율이동로봇의 모델링

2.3.1. 양바퀴 로봇의 모델링

양 바퀴 구동로봇의 기구학적 모델은 그림 6과 같으며 왼쪽 바퀴와 오른쪽 바퀴의 각 속도를 ω_L, ω_R 이라고 하면 왼쪽 바퀴와 오른쪽 바퀴의 지면과의 속도는 아래와 같다.

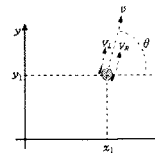


그림 6 : 로봇의 기구학적 모델

$$V_L = r\omega_L, \quad V_R = r\omega_R \quad (6)$$

V_L, V_R 는 각각 모터의 속도이며 이때, 원점에 대한 로봇의 각 속도와 선속도는 (7)식과 같고 로봇의 좌표 변화는 (8)식과 같다.

$$\omega = \frac{V_R - V_L}{L}, \quad v = \frac{V_R + V_L}{2} \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{y}_c \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ w \end{pmatrix} \quad (8)$$

이때 v 는 로봇중심의 선 속도를 의미하며 w 는 반시계 방향으로의 로봇의 각 속도를 나타내며 \dot{x}_c 는 x 축으로의 변화량, \dot{y}_c 는 y 축으로의 변화량 그리고 $\dot{\theta}$ 는 로봇이 향한 각도의 변화량을 나타낸다. L 은 양쪽바퀴 사이의 거리를 의미하며 V_R 과 V_L 은 각각 오른쪽, 왼쪽 바퀴의 선속도 이다.

2.3.2. 적외선 센서의 모델링

로봇에 부착된 8개의 센서는 로봇의 중심으로부터 전후에 위치하고 유효거리 10Cm 와 감지각 30°정도를 가진다. 해당 센서의 측정 영역은 10개의 Scanline을 통해 물체의 유무를 확인한다. 각 Scanline은 3°간격이며 물체가 검출되면 센서와 물체와의 거리를 이용하여 반사되는 빛의 양을 결정하게 된다.

$$S_i = 10 \sum_{j=1}^{10} (10 - O_{jdistance}) + r \quad (9)$$

여기서 i 는 Sensor의 번호이며 j 는 Scanline 번호, $jdistance$ 는 j 번 scanline에서의 로봇과 물체와의 거리이며 r 은 random noise로 실제 센서와 같이 불규칙한 데이터를 위해 사용되었다.

2.3.3. 통신과 프로토콜

자율이동 로봇은 스스로의 판단아래 자유로이 이동할 수 있는 독립적인 개체이지만, 각 개체의 기능은 매우 제한되어 있으므로 다른 개체와 명확한 형태의 통신은 불가능 하지만 암시적 통신방법인 Broadcast방식의 통신이 가능하다. [6] 이는 인공생명 연구에서 생명현상을 특징짓는 중요한 성질중 하나인 기능이 단순한 개체들의 국부적 상호작용에 의한 복잡한 협조행동의 창발(emergence)이라는 연구 목적에 부합되는 최적의 통신 방법으로 사용된 프로토콜은 표 1 과 같고 프로토콜을 "Heartbeat" 이라 부른다.

표 1 : 통신 프로토콜 "Heartbeat"

0xAA	1byte	1byte	1byte	0xFE
Start byte	Sender ID	Sender Status	Check Sum	Stop Byte

로봇의 ID는 로봇의 지문과 같은 것으로 다른 로봇과 구분되는 1byte의 숫자가 된다. 로봇의 상태는 로봇의 현재상태를 나타내며 Check Sum은 에러검출을 위한 정보로 ID와 Status의 상위 nibble와 하위 nibble의 합을 이용한다.

2.4. Simulation 결과

2.4.1. 장애물 회피

그림 8은 기준알고리즘과 퍼지시스템에 의한 장애물 회피의 성능평가를 위한 환경과 평가 결과로 두가지 모두 같은 위치에서 출발하여 장애물을 만났을 때부터 완전 회피 회피했을까까지의 시스템 클럭을 카운트 한다. 평가결과 클러스터링 데이터에 따라 퍼지시스템의 성능은 많은 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

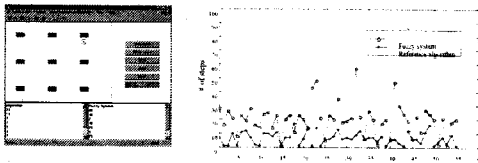


그림 8 : 장애물 회피 시뮬레이션과 성능 평가 결과

2.4.2. 자재운반

로봇의 임무 수행능력을 측정하기 위해 그림 9와 같이 100개의 자재를 운반하는 실험을 로봇을 1, 2, 3, 5, 10대 순으로 각각 3번씩 수행하여 작업 소요시간을 측정하여 보았다. 결과는 그림 10과 같이 작업 소요시간과 수행한 로봇의 개체수의 관계가 비례하지 않고 비선형으로 증가하여 적은 수의 로봇이 임무를 수행할 때 보다 많은 수의 로봇이 임무를 수행

하면 훨씬 나은 성능을 보임을 알 수 있다.

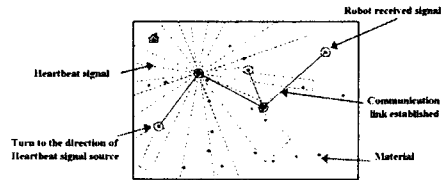
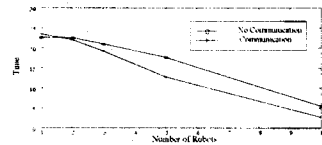
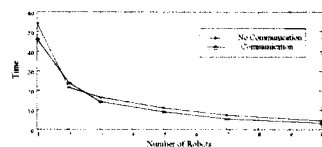


그림 9 : 자재운반 군지능 시뮬레이션



(a) 기준 알고리즘에 의한 실험



(b) 퍼지시스템을 이용한 실험

그림 10 : 임무 수행 소요시간

3. 결론

생명 현상을 보이고 있는 개체는 많은 수의 단순한 구성 요소들의 집합으로 이루어져 있으며 그러한 구성 요소들이 적은 수의 근본 규칙들에 의하여 서로 국부적인 상호작용을 함으로써 복잡한 행동패턴들을 나타낸다는 가정 아래, 여러 대의 자율이동로봇(autonomous mobile robot)들의 군지능을 나타낼 수 있는 적은 수의 근본 규칙을 찾아내고 찾아진 근본규칙들을 퍼지규칙으로 표현한 실험에서 기준 알고리즘에 의한 입출력 데이터를 클러스터링하여 자재인식과 장애물 회피를 위한 퍼지 시스템을 만들고 Broadcasting 방식의 통신을 이용하여 자재운반 임무를 부여하여 성능을 평가하였고 화성 탐사, 심해 광물 탐사, 원자력 발전소의 원자로 내부 작업 등 인간이 접근하기 어려운 곳에서 활약할 수 있는 로봇을 구현하기 위한 첫 단계로 군지능의 퍼지 구현을 이루었다.

[참고 문헌]

- [1] J. Xiao, Z. Michalewicz, L. Zhang, and K. Trojanowski, "Adaptive Evolutionary Planner/ Navigator for Mobile Robots," IEEE Trans. on Evolutionary Computation, Vol. 1, No. 1, pp. 18-28, April 1997.
- [2] M. Sipper, "An Introduction to Artificial Life," Explorations in Artificial Life, pp. 4-8, 1995.
- [3] J.S. Bay, "Design of the 'army-ant' cooperative lifting robot," IEEE Robot. Automat. Mag., vol 2., no.1m Mar.1995
- [4] M.S. Kim, S.G. Kong, "Fuzzy Control System Design based on Data Clustering in Input-Output Space," Journal of the IEEK, vol.34, No.12, pp. 1370-1380, 1997.
- [5] S.G. Kong, "A-Life and Fuzzy System," Journal of the IEEK, vol. 24, No.3, pp. 319-327, 1997.
- [6] K. S. Evans, "A Reactive Coordination Scheme for a many-robot system," IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics, vol. 27 598-610
- [7] M. Sugeno and G. T. Kang, "Fuzzy Identification of Systems and its Application to Modeling and Control," IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 15, pp. 116-132, 1985.
- [8] J.-H. Kim and S.-G. Kong, "Implementation of Group Intelligence Algorithm of Autonomous Mobile Robots by Clustering (Korean)," Journal of the KIEE, Vol. 47, No. 9, pp. 1532-1537, Sept. 1998.