

퍼지 시스템을 이용한 자율 이동 로봇군의 시뮬레이션

Simulation of Collective Autonomous Mobile Robots using Fuzzy Systems

제갈 옥, 조 용근, 강 훈

중앙대학교 공과대학 제어계측학과

(email: hkang@cau.ac.kr, web: http://viking.cie.cau.ac.kr)

ABSTRACT

자율 이동 로봇군은 스스로 주어진 과제를 수행하는 로봇을 말한다. 본 논문에서는 수행 과제로서 등간격원을 형성하게 하였다. 이를 수행하기 위한 알고리즘을 고안하였고 여기에 퍼지를 사용하여 알고리즘의 단점을 보완하였다. 이 알고리즘을 가지고 시뮬레이션을 통해 다양한 행동 양식이 나타남을 알 수 있으며, 또한 카오틱 현상이 일어남을 알 수 있다. 본 논문에서는 알고리즘에 대한 소개를 하며 자율 이동 로봇군이 나타내는 다양한 행동을 살펴 본다.

I. 서론

자율 이동 로봇 에이전트는 인공생명[1]이라는 테두리 내에서 진화전략 및 자기조직이라는 견지에서 군 지능 및 협조 지능의 행동을 조사하기 위해 수년간 연구되어 왔다. 그림 1은 센서와 액츄에이터를 가진 자율이동 로봇 에이전트들의 전형적인 모습을 보이고 있다. 본 논문에서는 퍼지를 이용하여 이러한 군 지능 로봇들의 동적 특성을 나타내었으며 이들이 다양한 행동을 가지고 등간격원을 형성하며 군 지능, 협조 지능 등을 나타내는 것을 보이도록 하였다. 관련된 연구는 군 지능에 관한 창발적인 행동을 실험한 결과들이 있다. [2,3] 자율이동로봇은 또한 카오스적 행동을 보이기도 한다. [4]



그림 1. 자율 이동 로봇 에이전트

II. 본론

1. 자율 이동 로봇의 가정과 입출력

본 논문에서 고려한 자율 이동 로봇에는 다음과 같은 가정이 있다.

- ① 로봇의 이동 속도는 일정하다.
- ② 로봇의 회전각은 제한되어 있다.
- ③ 로봇은 자신만의 좌표계를 가지고 있다
- ④ 로봇은 센서의 반경이 정해져 있다.
- ⑤ 로봇은 센서 반경내에 있는 모든 로봇의 거리와 각도를 알 수 있다.

위의 가정에 의해 로봇의 입력은 가정⑤에 의한 타 로봇의 거리와 각도이고, 출력은 가정①, ②에 의해 회전 각도가 된다.

2. 퍼지를 이용하지 않은 등간격원 형성 알고리즘

알고리즘의 단계는 크게 데이터 처리, 행동 모드 결정, 적합도 판정이다.

2-1. 데이터 처리

데이터 처리 단계에서는 먼저 센서 반경내의 로봇들의 거리와 각도에 대한 데이터를 입력받는다. 이를 가지고 자신의 좌표계를 근거로 하여 타 로봇의 좌표를 결정하는데, 자신의 좌표계는 현재 자신의 진행방향을 양

※ 이 연구는 1996년도 한국과학재단 연구비지원에 의한 결과임(과제번호:96-0102-13-01-3)

의 x축으로 한 직교 좌표계가 된다. 자신의 좌표를 근거로 타 로봇들의 좌표를 알게되면 이 좌표들의 평균으로서 등간격원이 형성될 중심점을 구하게 된다.

2-2. 모드 결정

로봇이 원의 중심점을 결정하면 다음 단계로서 행동 모드를 결정하게 된다. 모드는 4가지로 나뉘는데 기준 모드, 이동 모드, 회전 모드, 준비 모드가 그것이다.

기준 모드는 원주상에 가장 가까운 로봇이 행하게 되며 자신의 위치에서 원의 중심점으로 그은 방사 방향으로 이동하는 모드이다.

이동 모드에서는 등간격원을 형성하기 위해 이웃 로봇을 찾아내어 이 로봇과의 원주상에서의 거리를 참고로 등간격원이 형성되기 위한 회전각을 구한 후 이동하는 모드이다.

회전 모드는 이동 모드나 기준 모드에서 구한 출력값인 회전각이 제한된 범위를 벗어난 경우 이동은 하지 않고 회전만 행하는 모드이며, 준비 모드는 로봇간의 충돌을 피하기 위해 임의의 방향으로 움직이는 모드이다.

2-3. 적합도 판별

행동 모드를 결정한 후 로봇은 모드에 알맞은 행동을 하게 된다. 하지만 현재의 위치가 이미 등간격원을 형성하기 위한 충분한 위치에 있으면 움직일 필요가 없게 된다. 다시 말하면, 현재로봇은 등간격원을 형성하기 위해 자신이 이동해야 할 목적점을 가지고 있는데, 이 목적점을 중심으로 한 반경 ϵ 의 원내에 이미 자신이 위치하고 있다면 로봇은 움직임을 정지하게 된다.

3. 퍼지를 사용한 알고리즘

앞에서 제한한 알고리즘에서는 등간격원을 형성하기 위해 이웃 로봇 하나만을 참고하여 이동하게 된다. 하지만 하나의 로봇보다는 센서 반경내에 있는 모든 로봇을 참고하여 이동하는 것이 효율적일 것이며 또한 로봇의 분포를 고려하여 미리 퍼지면서 원을 형성하면 수렴 시간이 빠를 것이다. 본 연구에서는 퍼지룰을 생성하는데 있어서 센서 반경내에

있는 로봇의 분포를 고려하였다. 현재로봇이 중심점을 바라보는 가상의 선을 eye라고 하여 이 eye를 기준으로 좌우 45°를 F, 왼쪽을 L, 오른쪽을 R, 뒤를 B라고 하여 이 영역 안에 있는 로봇의 수를 참고로 룰을 생성한다. 예로서 만약 오른쪽(R)에 로봇이 많이 분포하면 시계방향(+ $d\theta$)으로 회전하라는 식으로 룰을 만드는 것이다(그림 2-1). 하지만 분포만을 고려하면 그림2-2에서 보듯이 진행방향에 따라 움직이지 않은 결과를 가져올 수도 있다. 그래서 전건부 2로서 진행방향의 eye를 기준으로 한 사분면을 고려한다.

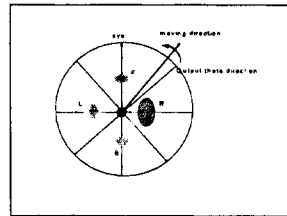


그림 2-1.
전건부 1 :
오른쪽,
전건부 2:
4사분면

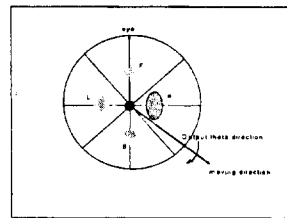


그림 2-1.
전건부 1 :
오른쪽,
전건부 2:
3사분면

표 1은 룰 테이블을 보인 것이다. 룰은 총 24개로 설정하였다.

| 룰# | 전건부1 | 전건부2 | 후건부 | 룰# | 전건부1 | 전건부2 | 후건부 |
|----|------|------|------|----|------|------|------|
| 1 | R | 1 | Zero | 13 | B | 1 | Zero |
| 2 | R | 2 | Zero | 14 | B | 2 | Neg. |
| 3 | R | 3 | Neg. | 15 | B | 3 | Pos. |
| 4 | R | 4 | Pos. | 16 | B | 4 | Zero |
| 5 | F | 1 | Pos. | 17 | R&L | 1 | Pos. |
| 6 | F | 2 | Zero | 18 | R&L | 2 | Neg. |
| 7 | F | 3 | Zero | 19 | R&L | 3 | Pos. |
| 8 | F | 4 | Neg. | 20 | R&L | 4 | Neg. |
| 9 | L | 1 | Neg. | 21 | F&B | 1 | Neg. |
| 10 | L | 2 | Pos. | 22 | F&B | 2 | Pos. |
| 11 | L | 3 | Zero | 23 | F&B | 3 | Neg. |
| 12 | L | 4 | Zero | 24 | F&B | 4 | Pos. |

표 1. 룰 테이블

퍼지를 이용한 알고리즘은 퍼지를 사용하지 않은 알고리즘에서 얻은 결과값인 로봇의 회전각을 다른 로봇의 분포를 고려하여 보정하여 주는 역할을 한다. 하지만 그림 3에서 보듯이 이미 현재 로봇이 등간격원을 형성하는데 있어서 원주상에 근접해 있다고 하면 이때에는 분포를 고려한 퍼지물은 오히려 로봇의 행동에 나쁜 영향을 미치게 된다.

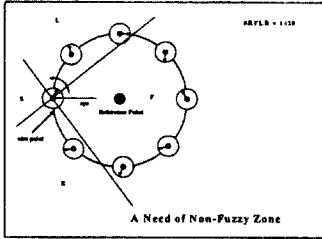


그림 3.
퍼지 비적용 영역의 필요성

따라서 원주에서 일정한 거리로 근접한 영역에서는 퍼지를 사용하지 않은 것이 필요하게 되며 이 영역을 퍼지 비적용 영역이라 하였다.

퍼지 추론은 아래의 식 (1)과 같다.

$$r_i = \left(\bigvee_{j=1}^4 (e_i^j \wedge I_1^j) \right) \wedge \left(\bigvee_{j=1}^4 (e_i^{j+4} \wedge I_2^j) \right) \quad i=1,2,\dots,N \quad \text{----- (1)}$$

- r_i = i 번째 퍼지 물의 적합도
- e_i^j = i 번째 물의 j 번째 성분
- I_1^j = 입력 1의 j 번째 성분
- I_2^j = 입력 2의 j 번째 성분
- \bigvee = MAX 연산, \bigwedge = MIN 연산
- N = 물의 개수

식 (1)에서 얻은 각 물의 적합도 r_i 를 가지고 식 (2)와 같이 보정할 회전각을 결정한다.

$$\text{출력 } \alpha = \frac{\sum_{i=1}^N r_i c_i}{\sum_{i=1}^N r_i} \quad c_i = i \text{ 번째 물의 후건부} \quad \text{--- (2)}$$

4. 시뮬레이션 결과

그림 4는 로봇의 초기 위치를 보인 것이다.

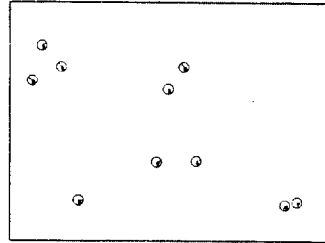


그림 4.
로봇의 초기 위치

그림 5는 시뮬레이션 조건을 로봇의 수 10, 이동 속도 1, ϵ -원 반경 1, 제한 각도 30° , 원의 반경 60, 센서 반경 250일 때 350스텝 후의 로봇의 분포를 보인 것으로서 등간격원의 형성에 성공했음을 알 수 있다.

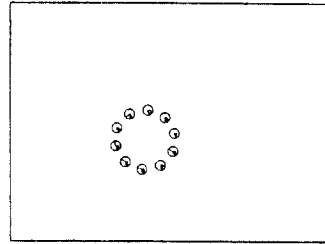


그림 5.
센서 반경 250

그림 6은 센서 반경만 220으로 변경한 것으로서 300스텝 후의 결과이다. 센서의 반경이 줄어들어서 같은 센서 반경내의 로봇끼리 원을 형성함을 알 수 있다.

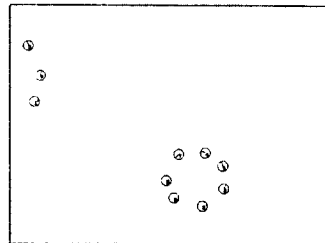


그림 6.
센서 반경 220

그림 7은 이동 속도를 1, ϵ -원 반경을 2로 한 경우의 임의의 로봇의 이동 궤적을 보인 것으로서 로봇이 카오트한 행동을 보임을 나타낸다.

한편 퍼지를 이용한 알고리즘이 그렇지 않은 알고리즘보다 낮은지를 알기 위해선 어떠한 수치가 필요한데, 이는 식 (3)과 같이 적합도(FM)를 정의하고 이를 구해봄으로써 알

수 있다.

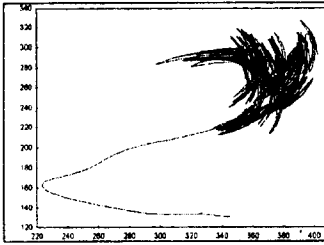


그림 7.
카오틱
행동

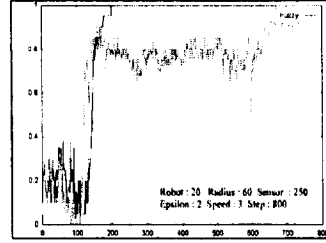


그림 8.
FM값의 비교

$$\text{fitness measure: } FM = \frac{1}{T_{\text{obs}}} \sum_{t \in T_{\text{obs}}} P(t) \quad (3)$$

여기서 T_{obs} 는 관측 시간이며 $P(t)$ 는 몇 개의 이동 로봇들이 ϵ -원안에 들어왔는지를 나타내는 확률값이다. FM값을 비교함으로써 퍼지를 사용한 알고리즘의 우수성을 판단할 수 있는데, 표 2와 3에 이를 비교하였다.

| 퍼지 제한 구역 반경 | FM |
|------------------------|----------|
| 20 | 0.643600 |
| 30 | 0.639375 |
| 40 | 0.636937 |
| 50 | 0.641062 |
| 퍼지 비 적용시 FM : 0.630812 | |

표 2. 이동 속도 2, ϵ -반경 2

| 퍼지 제한 구역 반경 | FM |
|------------------------|----------|
| 20 | 0.709000 |
| 30 | 0.782438 |
| 40 | 0.807625 |
| 50 | 0.845500 |
| 퍼지 비 적용시 FM : 0.720063 | |

표 3. 이동 속도 3, ϵ -반경 2

표 2의 결과에서는 퍼지를 이용하여도 FM값이 그다지 높아지지 않으나, 표 3의 경우는 FM값이 눈에 띄게 향상됨을 알 수 있다.

이는 퍼지룰의 적용 이유가 로봇의 분포를 고려한 후 현재로봇이 미리 밀집된 곳을 피하도록 하였기 때문에 이동 속도가 클수록 효과가 미리 그리고 크게 나타나기 때문이다. 그림 8은 표 3에서 퍼지 제한 구역 반경이 50인 경우와 퍼지를 사용하지 않은 경우의 FM값을 그래프로 보인 것이다. 그림에서 보듯 수렴 속도 또한 퍼지를 사용한 경우가 빠름을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 자율 이동 로봇군이 등간격원을 형성하게 하는 알고리즘을 고안하였고 이에 퍼지를 이용하여서 보다 나은 알고리즘을 얻었다. 이를 시뮬레이션을 통하여 알아 보았고 또한 센서의 반경에 따라 나타나는 행동 양식을 비교하였다. 그리고 로봇의 이동 속도를 변화시키면 로봇이 카오틱한 행동을 나타냄을 보였고 마지막으로 FM값을 정의 하고 이를 비교함으로써 퍼지를 사용한 알고리즘이 사용하지 않은 알고리즘보다 더 나음을 보였다. 여기서는 내용을 다루지 못했으나 등간격원을 형성하는 알고리즘을 약간만 수정하면 어떠한 볼록 다각형도 등간격으로 형성할 수가 있다.

III. 참고 문헌

- [1] C. Langton, "Artificial Life" in *Artificial Life*, C. Langton (ed.), Addison-Wesley, pp.1-47, 1989
- [2] C. R. Kube and H. Zhang, "Collective Robotic Intelligence", Proc. 2nd Int. Conf. on Simulation of Adaptive Behavior, pp.460-468, 1993
- [3] O. Miglino, H. H. Lund, and S. Nolfi, "Evolving Mobile Robots in Simulated and Real Environments", *Artificial Life*, vol.2, no.4, pp.417-434, MIT Press, 1996
- [4] F. C. Moon, *Chaotic and Fractal Dynamics: An Introduction for Applied Scientists and Engineers*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1992