

### 복수의 자율이동로봇이 협조운동에 관한 연구

정원갑, 최유식, 서호철, 이석규, 이달해  
영남대학교 전기공학과

## A Study on Cooperative Behaviors of Multiple Autonomous Robots

W.G. Jung, Y.S. Choi, H.C. Seo, S.G. Lee, D.H. Lee  
Dept. of Electrical Eng. Yeungnam Univ.

**Abstract** - This Paper proposes a fuzzy algorithm for cooperative behaviors of multiple autonomous mobile robots. Each robot makes decision of his behavior based on the information obtained by infrared sensors to measure the position and velocities of other robots. The effectiveness of the proposed algorithm is shown by some computer simulation where a group of mobile robots encircles with equi-interval.

### 1. 서 론

로봇의 성능은 컴퓨터의 기술, 센서 기술, 구동기 관련 기술 등 로봇 관련 기술의 전반적인 발전으로 꾸준히 향상되어 왔다. 그 중에서도 로봇군의 진화전략 및 자기 조직이라는 관점에서 군 지능 및 협조 지능의 행동을 향상시키기 위해 수년간 연구가 계속되어 왔다. 협조운동은 제각각의 로봇 agent들에게 인간이 명확한 동기나 유도도를 부여되지 않고도 어떻게 하면 상호 협조적인 작업을 수행할 수 있을 것인가를 연구하는 분야(4)로써 본 논문에서는 로봇의 협조운동을 위한 효율적인 알고리즘을 제안하고자 한다. 이러한 제어규칙은 효과적인 로봇의 협조운동을 이루기 위해 환경에 대한 국지적, 전역적인 정보를 이용한다(1). 자율이동로봇이 인간의 제어 없이 스스로 주어진 임무를 수행하려면 환경 정보를 이용한 경로 계획을 해야 한다. 환경모델이 주어지면 다양한 알고리즘을 사용하여 모든 지점간의 경로계획이 가능하지만 정확한 센서 정보가 요구되므로 이동 로봇에 주로 사용되는 저가의 근접센서(proximity sensor)를 이용하여 물체의 유무, 위치에 대한 정보를 얻도록 한다(3). 단일 로봇의 경우 이러한 정보만으로 경로를 계획하는 알고리즘에는 많은 오차를 내포할 수 있다. 이러한 문제점은 복수의 로봇들이 수행하는 작업환경의 경우 로봇간의 협조체제를 구현하는 알고리즘을 사용함으로써 보완할 수 있다. 특정한 형태를 유지하면서 이동 또는 작업을 행하는 조직적인 협조운동은 자율이동 로봇이라는 시스템에 인간사회에서 흔히 볼 수 있는 사회적 협조 활동의 초보적인 단계를 부여하고자 하는 것이라 할 수 있다.

본 연구에서는 분산된 복수의 로봇군 분포에 대한 정보를 처리하여, 군 행동에 퍼지를 이용한 협조 알고리즘을 제시하고 이를 적용한 등간격원형성 모의실험을 통해 실제 다양한 작업 환경 내에서 로봇들의 행동에 조직적인 활동을 가능하게 하는 것을 연구의 목적으로 한다.

### 2. 자율 이동 로봇의 구성

다음은 각각의 로봇에 기본적으로 적용되는 가정들이고 로봇들의 움직임은 상호작용에 의해 결정된다.

- ① 로봇의 이동속도는 일정하다
- ② 로봇의 회전각은 임의의 각도로 한다.
- ③ 로봇은 자신만의 상대좌표를 가진다.
- ④ 로봇은 자신의 좌표계를 근거로하여 센서반경내에

위치한 다른 로봇의 유무와 각도를 알 수 있다.

⑤ 각각의 로봇 위치는 센서로 센싱(sensing)되어 결정된 값이다.

⑥ 다른 개체와 협조행동을 통해서만 복잡한 형태의 작업을 수행한다.

### 3. 협조운동을 위한 알고리즘

분산되어 있는 모든 자율 이동 로봇들은 동일한 알고리즘을 수행하도록 설계된다. 기본적인 협조운동으로 각각의 로봇들이 서로의 위치를 인식함으로써 등간격 원형성을 하도록 하는 알고리즘을 단계별로 적용한다. 알고리즘의 단계는 위치 정보 처리 과정, 분포도 처리과정, 분포도와 진행방향의 결정과정, 퍼지규칙의 적용과정, 적당도 판별과정으로 나눌 수 있다.

#### 3.1 위치 정보 처리

등간격 원형성을 위해 가장 먼저 처리되어야 할 위치 정보 처리는 위치 정보를 획득하고, 로봇의 위치로부터 중심점을 계산하는 것으로 이루어진다. 먼저 위치정보를 획득하기 위해서 저가의 적외선 센서를 사용한다.

다른 로봇의 좌표를 결정하기 위해서는 기준좌표계가 형성되어 있어야 한다. 따라서 여기서는 자기 로봇의 진행방향을 양의 x축으로 하는 직교좌표계를 기준 좌표계로 하였다. 즉 각 로봇은 자신을 중심으로 하는 상대적인 좌표를 형성하고 이를 기준으로 하여 타로봇들의 위치에 따른 각도를 얻고 자신의 다음행동을 위한 회전각도를 산출한다.

이러한 거리와 각도에 대한 정보와 직교좌표계가 형성되면 센서반경내에 있는 로봇들의 좌표들이 결정되고 앞으로 형성하게 될 원의 중심점을 계산한다. 즉, 센서반경내에 있는 모든 로봇의 좌표를 평균한 값을 원의 중심점으로 계산한다.

#### 3.2 로봇의 분포도와 진행방향의 결정

위치 정보 처리단계로부터 타로봇의 좌표와 중심점을 계산하므로써 현재 작업환경내에 위치한 로봇들에 대한 분포를 알게 된다. 중심점이 계산된 상태에서 로봇들이 단순한 원형성을 하도록 하기 위해서는 각 로봇이 방사방향으로 이동하게 하면 된다. 즉, 원하는 원주의 바깥에 위치한 로봇은 내부로 이동하고, 원주의 안쪽에 위치한 로봇은 외부로 이동하면 되는 것이다. 이와 같은 동작은 등간격의 원을 형성하는 데 있어 한가지의 정보가 더 필요하다. 그것은 원주상에서 타로봇과의 접촉과 관련된 것이다. 이웃로봇으로부터 일정한 거리를 유지하면서 원주상에 위치할 수 있어야 하기 때문이다. 따라서 타로봇의 분포를 고려하여 그에 알맞게 자율이동로봇의 행동을 정해야 한다. 이러한 행동을 정하기 위해 전체로봇의 위치 분포 정보를 이용한다.

센서반경내에 인식된 타로봇의 분포에 대한 부분을 살펴보면 그림 1과 같다. 먼저 중심점을 바라보는 가상선을 생각하고 이를 center line이라 한다. 그림에서 보듯이 center line을 중심으로 45° 내의 범위를 F(front)

라 하고 F의 왼쪽으로 90° 범위는 L(left), 오른쪽 90° 범위는 R(right), 뒤쪽은 B(back)이라 한다. 분포도는 네 개의 범위에 속하는 로봇의 수를 센서 반경 내에 위치한 로봇의 수로 나눈 값으로 한다.

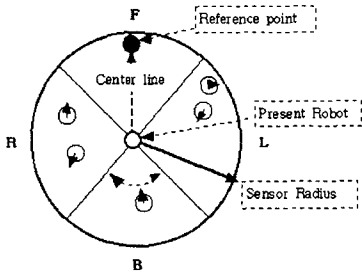


그림 1. 로봇의 분포도 결정  
Fig. 1. Decision for degree of discreteness

위와 같은 분포의 경우에 있어서 규칙을 작성하였을 경우 왼쪽에 로봇이 많이 분포하면 오른쪽으로 이동방향을 돌리도록 하는 식이 되는데, 만약 현재의 이동방향이 이미 오른쪽으로 향하고 있거나 오른쪽으로 많이 들어져 있는 경우에는 무작정 오른쪽으로 회전하여서는 안 된다. 즉, 로봇의 분포 외에도 현재의 진행방향이 고려되어야 한다. 이러한 개념을 설명한 것이 그림 2이다. 먼저 방향을 결정한다. 그림 2(b)는 현재의 진행방향이 2사분면에 속하며 분포가 왼쪽에 많은 경우가 된다. 그림 2(b)는 현재의 진행방향이 2사분면에 속하며 분포가 적은 쪽으로 회전하도록 한다.

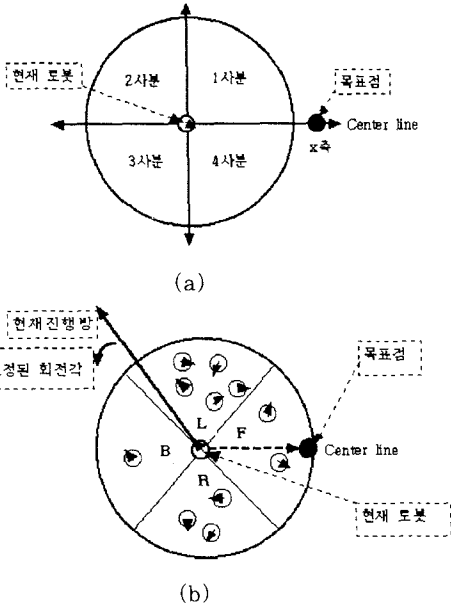


그림 2. 로봇의 현재진행방향 결정  
Fig. 2. Decision for current direction of robot

### 3.3 퍼지 규칙의 적용

복수의 로봇들이 상호의 협조로 등간격의 원을 형성하기 위해 위에서 결정된 로봇의 위치에 따른 분포도와 현재로봇의 진행방향에 대한 정보를 퍼지규칙에 적용한다.

#### 3.3.1 퍼지규칙의 전건부와 후건부

주어진 각 로봇의 좌표로부터

전건부 1은 Right, Front, Light, Back, R&L, F&B, 전건부 2는 1사분면, 2사분면, 3사분면, 4사분면으로, 후건부는 Negative, Zero, Positive로 정한다.

표1.에서 각 퍼지변수를 나타내었다.

표 1. 퍼지 변수  
Table 1. Fuzzy variables

구분	퍼지변수
전건부	로봇의 위치에 따른 분포도 ( $I_1^m$ )
	현재로봇의 진행방향 ( $I_2^m$ )
후건부	로봇의 보정될 회전각 ( $d\theta$ )

이것으로 24가지의 Rule table을 만들고, 추론은 Min-Max-Gravity법을 사용한다.

전건부에서 규칙 1부터 4는 오른쪽에 다른 로봇들이 몰려 있는 경우이고, 규칙 5부터 8까지는 전방에 다른 로봇들이 몰려 있는 경우이다. 규칙 9부터 12까지와 규칙 13부터 규칙 16까지는 각각 좌측과 후방에 다른 로봇이 많이 분포한 경우이다. 또한 규칙 17부터 20까지는 좌측에, 규칙 21부터 24까지는 전후방에 분포한 경우이다. 전건부 2는 각각의 전건부 1 상황에서의 로봇진행 방향을 이용한다. 그리고 후건부는 보정될 회전각의 방향을 알려준다. 그림 2의 (b)의 경우는 규칙 10에 맞는 상황으로써 반시계방향으로 회전하도록 보정값이 주어진다.

#### 3.3.2 퍼지추론

퍼지규칙에 사용한 퍼지추론식은 다음 식들과 같은 일반적인 계산과정을 가진다.

식(1)은  $i$ 번째 규칙의 퍼지적합도를 알아내기 위한 식이며, 식(2)는 출력(회전각도)을 구하기 위한 식이다.

$$f_n = \left\{ \bigcup_{m=1}^4 (e_n^m \wedge I_1^m) \right\} \wedge \left\{ \bigcup_{m=1}^4 (e_n^{m+4} \wedge I_2^m) \right\}, \quad n=1,2,\dots,N \quad (1)$$

$f_n$  =  $n$  번째 퍼지규칙의 퍼지적합도

$e_n^m$  =  $n$  번째 물의  $m$  번째 성분

$I_1^m$  = 입력 1의  $m$  번째 성분

$I_2^m$  = 입력 2의  $m$  번째 성분

$\bigcup$  = maximum 연산자

$\wedge$  = minimum 연산자

$$d\theta = \frac{\sum_{n=1}^N f_n c_n}{\sum_{n=1}^N f_n}, \quad c_n = n\text{번째 물의 후건부} \quad (2)$$

#### 3.4 적합도 판별과정

퍼지규칙의 적용에 따라 협조운동을 하는 복수의 로봇들이 원주상에 모여 들었을 때 로봇간의 거리가 전체적으로 등간격을 이루었는가를 판별하기 위해 각 로봇을 중심으로 반경  $\epsilon$ 를 가지는 작은 원을 가정한다. 이  $\epsilon$ 를 이용하여 로봇들의 등간격형성에 관한 적합도를 판별한다. 다시 말해 복수의 로봇들이 등간격을 이루기 위해 운동하다가 모든 로봇이 이  $\epsilon$ 내에 들어오게 되면 만족할 만한 적합도를 가지고 등간격을 형성한 것으로 간주한다. 이 때 전체로봇들이 현재위치에 정지하게 된다. 그림 3에는 전체 알고리즘의 순서도를 나타내었다.

## 4. 모의실험 및 고찰

본 논문에서 제안한 알고리즘을 복수의 자율이동로봇에 적용하였다. 시뮬레이터는 윈도우즈환경에서 수행되며, 작업창과 경로표시창으로 구성되어있다(그림4). 변수들은 작업창에서 입력할 수 있다.

모의실험의 파라미터는 다음과 같고, 그림 5, 그림6에 모의실험한 결과를 나타낸다. 그림 5에서 보듯이 로봇들의 이동경로를 보면 주위로봇의 위치 정보에 따라 등간격 원형성이 이뤄질 수 있는 각각의 경로를 찾아가고 있음을 볼 수 있다. 이동간격의 좁고 넓음으로 서로가 협조적인 움직임을 하고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 그림6에서 센서의 반경을 좁혔을 때의 움직임을 모의실험했다.

$R_N$  : 로봇대수,  $ST$  : 이동속도,  $C_r$  : 원의 반경  
 $S_r$  : 센서반경,  $\epsilon$  :  $\epsilon$ 의 반경

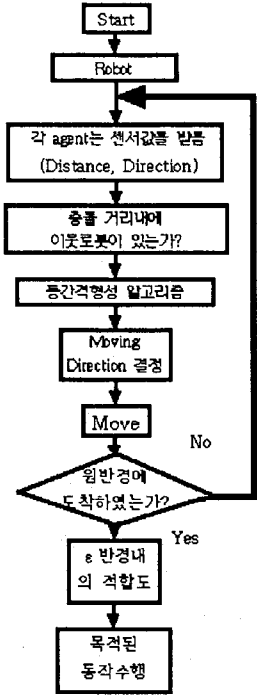
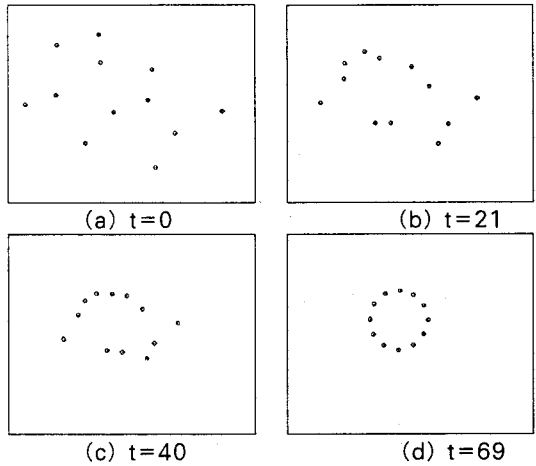


그림 3. 전체 알고리즘의 순서도

Fig. 3. Flow Chart



$R_N = 12, ST = 3, C_r = 90, S_r = 250, \epsilon = 3$

그림 6. 모의 실험 2

Fig. 6. Simulation 2

### 5. 결 론

본 논문에서는 복수의 자율이동로봇의 협조운동의 한 형태로 등간격의 원을 형성하는 것을 구현해 보았다. 로봇의 진행방향을 보장하는 각도를 구하기 위해 퍼지규칙을 제시하였고, 이를 이용하여 파라메타를 쉽게 입력할 수 있는 윈도우즈 환경의 시뮬레이터를 제작하여 그 모의 실험을 해보았다. 이 결과는 단독의 자율이동로봇이 수행할 수 있는 작업형태의 확장이라는 측면에서 볼 때, 복수의 로봇의 유기적인 행동, 즉 타로봇의 움직임을 경로계획에 국지적, 전역적 정보로 이용해 협조운동을 구현할 수 있었음을 보였다. 향후 연구과제로 모의실험결과를 입증하기 위해 실제로봇에 적용하여 작업수행능력을 향상시키는 실험이 필요하겠다. 또한 다른 형태의 협조운동 알고리즘을 구상하고 실제 로봇의 동력학의 적용을 통해 실제 작업공간에서의 효율적인 협조운동을 할 수 있도록 보다 정밀한 모의실험의 구현도 과제로 남아 있다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Lynne, E. Parker, " Designing Control Laws for Cooperative Agent Teams", *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp 582-587, 1993.
- [2] Kurazume, Ryo, Nagata, Shigemi, and Hirose, Shigeo, " Cooperative positioning with multiple robots ", *IEEE International Conference on Robotics and Automation* pp. 1250-1256, 1994.
- [3] S.Suzuki, H.Asama, A.Uegaki, S.Kotosaka, T.Fujita, A.Matsumoto, H.Kaetsu, I.Endo, "An Infra-Red Sensory System with Local Communication for Cooperative Multiple Mobile Robots", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* pp. 220-225, 1995.
- [4] Y. Uny Cao, Alex S. Fukunaga, Andrew B. Kahng, Frank Meng, " Cooperative Mobile Robotics : Antecedents and Directions", *Proc. of IEEE. Int. Conf. on Intelligent and Robotics systems*, vol 1 pp. 226-234, 1995.
- [5] K. Ozaki, H. Asama and I. Endo, "Distributed and Cooperative Object Pushing by Multiple Mobile Robots Based on Communication" in *Advanced Robotics* Vol. 11, No. 5, pp.501-517, 1997
- [6] 제갈 옥, 강 훈, " 분산자율이동로봇 시스템의 협조 지능 및 카오스 행동의 연구". *한국퍼지 및 지능 시스템학회논문지*, 1998, Vol. 8, No. 4. pp. 8-17, 1998.

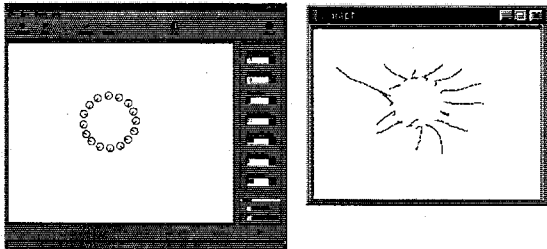
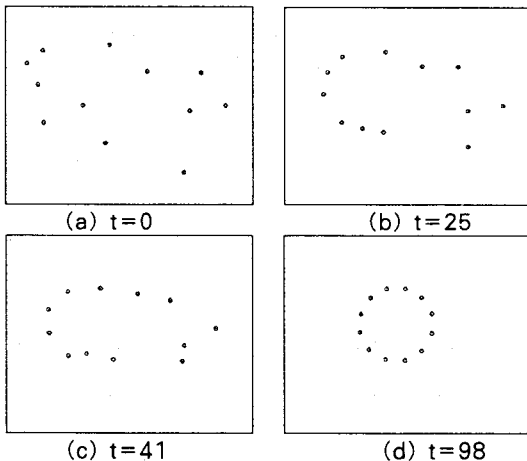


그림 4. 시뮬레이터 : 작업창과 경로 표시창

Fig. 4.Simulator:Workshop & tracking window



$R_N = 12, ST = 3, C_r = 90, S_r = 280, \epsilon = 3$

그림 5. 모의 실험 1 Fig. 5. Simulation 1