

슈퍼바이저 시스템을 이용한 이동로봇의 협조운동

서호철, 최유식, 정원갑, 이석규  
 영남대학교 전기공학과

Cooperative Motion Control of Mobile Robots Using Supervisor System

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

**Abstract** - 본 논문은 다수의 이동로봇들의 협조운동을 위해서 퍼지알고리즘을 적용하였다. 그리고, 보다 정확한 정보획득을 위해서 슈퍼바이저 시스템의 적용을 제안한다. 제안된 알고리즘에 대한 효과는 중간격원 모양으로 로봇들이 정렬할 때까지의 시간으로 나타내었으며, 슈퍼바이저 시스템을 적용한 것과 그렇지 않은것에 대한 비교를 컴퓨터 모의실험으로 그 결과를 보였다.

분산되어 있는 모든 이동로봇들은 동일한 알고리즘을 수행하도록 설계된다. 기본적인 협조운동으로 슈퍼바이저 시스템으로부터 얻어진 다른 로봇들의 정보를 바탕으로 중간격 원을 형성하도록 하는 알고리즘을 단계별로 적용한다. 알고리즘의 단계는 정보처리, 퍼지적용, 행동결정의 세단계로 크게 나눌수 있다.

1. 서 론

이동로봇들이 협조운동에 대한 연구는 제각각의 로봇들에게 인간이 명확한 동거나 유도를 부여하지 않고도 어떻게 하면 상호 협조적인 작업을 수행할 수 있을 것인가를 연구하는 분야[1][2]로서 본 논문은 로봇의 협조운동을 위한 효율적인 알고리즘과 환경을 제안하고자 한다.

로봇협조운동에 대한 제어를 위해서는 로봇주변환경에 대한 정보가 필요하다. 이동로봇이 인간의 도움 없이 스스로 주어진 목표를 달성하려면 환경정보를 이용한 경로계획을 해야하는데 이러한 환경정보를 보다 정확하게 얻기 위해서 슈퍼바이저 시스템의 도입이 요구된다.

본 연구에서는 분산된 복수의 로봇의 분포에 대한 정보와 로봇의 이동방향에 대한 정보를 슈퍼바이저 시스템에 의해 획득하여 퍼지이론의 입력값으로 설정하여 보다 효과적인 협조알고리즘을 제시한다. 이를 적용한 중간격원형성 모의실험과 통로통과 모의실험을 통해 실제 다양한 작업환경에서의 로봇협조운동이 가능하게 하는것을 연구의 목적으로 한다.

2. 전체 시스템의 구성

2.1 이동로봇의 구성

다음은 각각의 로봇에 기본적으로 적용되는 가정들이며 로봇의 움직임은 상호작용에 의해 결정된다.

- ① 로봇의 이동속도는 일정하다.
- ② 로봇의 최대회전각은 임의의 각으로 제한한다.
- ③ 로봇은 자신만의 상대좌표를 가진다.
- ④ 로봇의 슈퍼바이저 시스템과의 통신을 위한 통신부를 가진다.

2.2 슈퍼바이저 시스템의 역할

본 연구에서의 슈퍼바이저 시스템은 CCD 카메라를 통해 각 로봇들의 위치정보와 방향정보를 계산하여 각 로봇들에게 전달하는 역할을 한다.[3] 슈퍼바이저 시스템은 그 역할은 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

- ① 비전센서로의 역할  
 가관측범위내의 로봇들에 대한 위치, 방향정보를 각 로봇에게 전달하는 역할
- ② 로봇제어자로의 역할  
 가관측범위내로 로봇들의 행동영역을 제한하는 역할

3. 협조운동을 위한 알고리즘

3.1 정보처리

중간격원을 형성하기 위해서 다른 로봇들의 위치분포에 관한 정보가 필요하다. 이 위치정보로부터 가상의 원점을 계산하여 이를 기준으로 로봇의 행동을 결정하게 된다. 이때 다른 로봇의 좌표를 결정하기 위해서 기준좌표계가 형성되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 로봇의 진행방향을 양의 x축으로 하는 직교좌표계를 기준좌표계로 하여 다른로봇의 위치정보를 획득하였다.

로봇의 분포에 대한 정보를 획득하기 위해서 또다른 로봇고유의 상대좌표를 가지는데 이것은 로봇에서 가상의 중점을 바라보았을때 그 가상의 중점을 중심으로 좌우 45°를 Front 로 규정하고, 로봇의 오른쪽 90°를 Right, 왼쪽 90°를 Left, 뒷쪽 90°를 Back으로 정한다.(그림 1.)

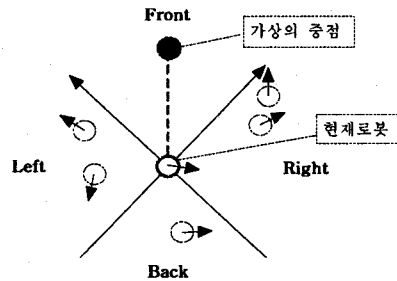


그림 1. 로봇의 분포도

그리고, 현재로봇의 진행방향에 관한 정보가 필요한데 이 정보를 위해서 새로운 상대좌표가 필요하다. 바로 위에서 언급한 로봇분포에 관한 상대좌표와 90°를 이루는 좌표가 그것이다.(그림 2.)

그림 2에서의 로봇이 진행방향은 4사분면방향이다.

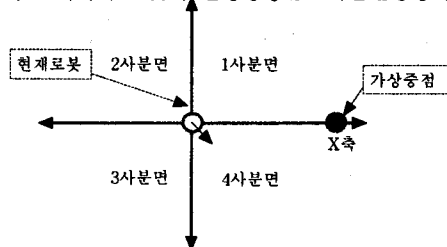


그림 2. 로봇의 진행방향

### 3.2 퍼지적용

주어진 각 로봇의 정보로부터 로봇분포정보인 퍼지입력1은 Right, Front, Left, Back, Right&Left, Front&Back, 로봇진행방향정보인 퍼지입력2는 1사분면, 2사분면, 3사분면, 4사분면으로 나타내며 퍼지출력은 Negative, Zero, Positive로 나타낸다.

#### 3.2.1 퍼지화기

퍼지화기는 싱글톤 퍼지화기를 사용하였다.

표 1. 퍼지변수

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

표 2. 퍼지규칙

규칙	입력#1	입력#2	출력	규칙	입력#1	입력#2	출력
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	Neg.
6	F	2	Zero.	18	R&L	2	Pos.
7	F	3	Zero.	19	R&L	3	Neg.
8	F	4	Neg.	20	R&L	4	Pos.
9	L	1	Neg.	21	F&B	1	Pos.
10	L	2	Pos.	22	F&B	2	Neg.
11	L	3	Zero.	23	F&B	3	Pos.
12	L	4	Zero.	24	F&B	4	Neg.

#### 3.2.2 퍼지추론

식(1)은  $i$  번째 물의 적합도를 알아내기 위한 식이다.

$$r_i = \left\{ \bigcup_{j=1}^n (e_j^i \wedge I_j^1) \right\} \wedge \left\{ \bigcup_{j=1}^n (e_j^{i+1} \wedge I_j^2) \right\} \quad (1)$$

$i=1, 2, \dots, N$

- $r_i$  =  $i$  번째 퍼지 물의 적합도
- $e_j^i$  =  $i$  번째 물의  $j$  번째 성분
- $I_j^1$  = 퍼지입력1의  $j$  번째 성분
- $I_j^2$  = 퍼지입력2의  $j$  번째 성분
- $\cup$  = maximum 연산자
- $\wedge$  = minimum 연산자

#### 3.2.3 비퍼지화기

본 논문에서는 비퍼지화를 위한 여러 방법들 중 Brasse와 Rutherford가 제안한 무게중심법(Center-of-Gravity Method)을 이용하였다. 이 방법은 여러 비퍼지화들 중 가장 많이 사용되고 있는 방법이다. 무게 중심법을 이용해 출력값인  $\theta$ 를 구하면 다음과 같다. 즉, 각 규칙의 적합도와 퍼지출력을 곱한 후 더하고 이를 적합도의 합으로 나누어서 출력값을 구한다. 식(2)는 출력값을 구하기 위한 식이다.

$$\text{출력 } d\theta = \frac{\sum_{i=1}^n r_i c_i}{\sum_{i=1}^n r_i} \quad (2)$$

$c_i$  =  $i$  번째물의 퍼지출력

### 3.3 행동결정

로봇의 행동은 크게 회전, 이동, 정지로 나누어진다. 로봇이 30° 이상의 회전이 필요할 경우 로봇은 회전만 하게된다. 그 이하의 경우는 바로 목표지점으로 이동한

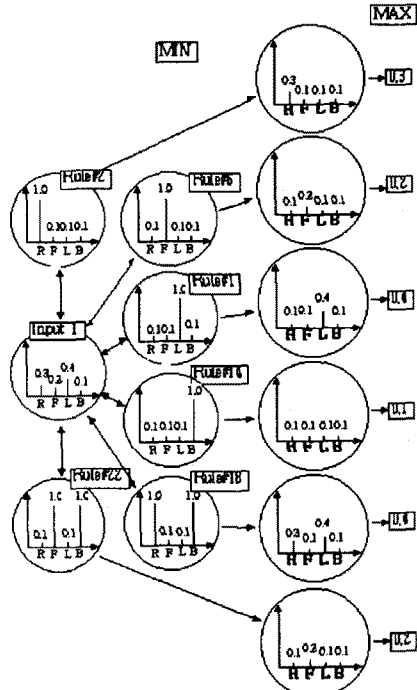


그림 3 퍼지추론과정

다. 로봇이 등간격원주상에 위치하였을 경우 로봇은 정지하게 된다. 이 세가지 행동을 반복수행하여 모든 로봇이 등간격원주상에 위치하면 임무는 완수된 것이다.

로봇의 행동에 영향을 주는 각도는 앞서 언급한 퍼지 적용단계에서 결정이 된다.

퍼지규칙의 적용에 따라 이동로봇들이 원주상에 모여 들었을 경우 로봇들이 등간격을 이루었는지 여부를 판별하기 위해서 목표원을 기준으로  $\epsilon$  만큼의 허용오차(그림 4)를 둔다. 이 위치범위내에 로봇들이 위치할 경우 만족할 만한 적합도를 가진것으로 가정한다.

그림 5는 전체 알고리즘의 순서도를 나타내었다.

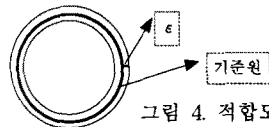


그림 4 적합도 판별기

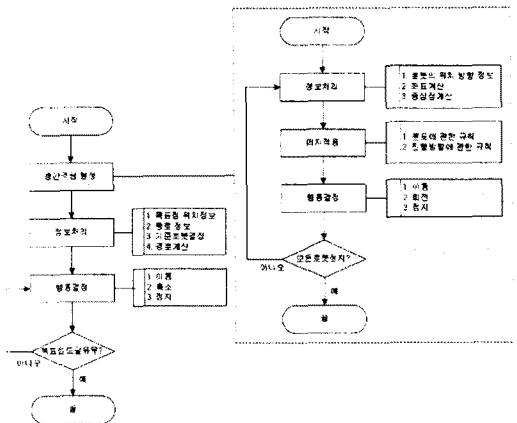


그림 5 전체 알고리즘 순서도

#### 4. 모의실험 및 고찰

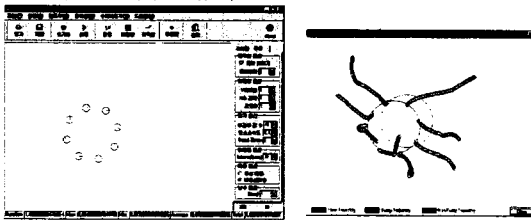
본 논문에서 제안한 알고리즘을 복수의 로봇에 적용하여 모의실험을 하였다. 시뮬레이터는 작업창, 제적창으로 구성되어 있다.(그림 6)

그림 7과 그림 8은 등간격 원형성에 대한 모의실험 결과를 보여주고 있다.

그림 7은 로봇수에 따른 슈퍼바이저 시스템을 적용한 경우와 그렇지 않은 경우에 대한 차이를 보여주고 있다. 그 결과는 그림 8로 나타난다.

결과적으로 슈퍼바이저 시스템을 적용한 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 훨씬 빠른 시간에 등간격원을 형성하는 것을 알 수 있으며, 또한 그 시간의 변화가 급격하지 않음을 알 수 있다.

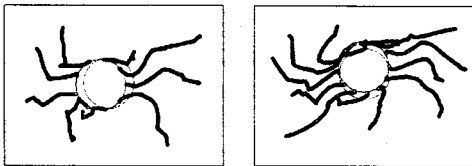
그림 9와 그림 10은 등간격원을 형성한 로봇군의 이동에 관한 모의실험이다. 그림 9는 실험형태를 보여주고 있으며 그림 10은 통로통과시 로봇수와 통과시간에 대한 결과를 보여주고 있다.



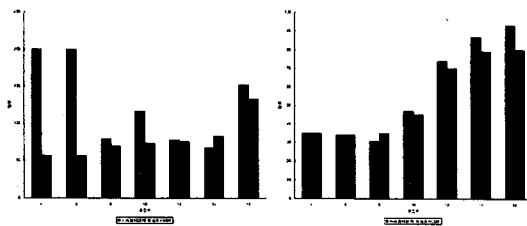
(a) 작업창 (b) 제적창  
그림 6. 시뮬레이터

#### 4.1 등간격 원형성 모의실험

제안된 알고리즘을 이용한 모의실험으로 로봇의 스텝, 원의 크기,  $\epsilon$  크기는 일정하게 한 상태에서의 슈퍼바이저 시스템을 적용한 것과 그렇지 않은 것에 대한 차이를 나타내고 있다.



(a) Non Supervisor System Turn : 115  
로봇수:9, 스텝:3, 원반경:70,  $\epsilon$  반경:3  
(b) Supervisor System Turn : 58  
로봇수:9, 스텝:3, 원반경:70,  $\epsilon$  반경:3  
그림 7. 모의실험



(a) Case 1 (b) Case 2

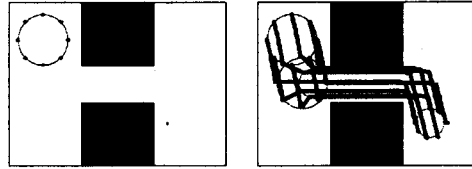
그림 8. 모의실험결과

그림 8은 그림 7의 모의실험과 같은 방법으로 로봇수를 변화시키면서 반복실험한 결과이다.

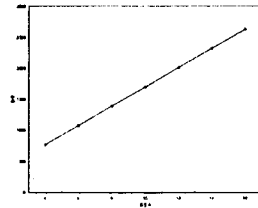
Case 1은 슈퍼바이저 시스템을 이용하지 않은 경우

엔 등간격원을 형성하지 못하는 경우가 포함된 것이다. 그림 8의 실험결과는 슈퍼바이저 시스템을 적용한 경우가 그렇지 않은 경우보다 등간격원형성 시간이 짧음을 보여주고 있다.

#### 4.2 통로통과 모의실험



(a) 통로통과하기전 (b) 통로통과한 후



(c) 모의실험결과  
그림 9 통로통과 모의실험

그림 9는 로봇숫자의 증가에 따른 통로통과시간을 나타낸 것이다. 로봇숫자의 증가와 정비례로 통로통과시간이 늘어남을 알 수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 슈퍼바이저 시스템과 퍼지알고리즘을 적용하여 복수의 로봇들이 작업환경에 대한 정보를 효과적으로 이용하여 특정목표를 달성하기 위한 협조알고리즘에 대해 제안하였다. 제시한 목표는 슈퍼바이저 시스템을 이용하여 로봇정보를 획득하고 이 정보를 바탕으로 퍼지규칙을 적용하여 등간격원을 형성하는 것이다.

제안된 방법을 검증하기 위한 모의실험에서는 같은 조건에서 슈퍼바이저 시스템을 이용한 것과 아닌 것의 차이를 들었다. 슈퍼바이저 시스템을 사용하지 않은 경우엔 로봇들이 가진 센서범위를 넘어서는 정보에 대한 정보를 얻을 수 없으므로 작업환경에 로봇들이 산개하여 존재한다면 등간격원을 형성하지 못하는 경우가 발생한다. 슈퍼바이저 시스템을 적용한 경우는 정확한 정보 획득 능력으로 인해 앞에서 언급한 경우는 발생하지 않았으며 또한, 훨씬 빠른 속도로 원하는 목표를 수행했다.

본 연구에서 얻어진 결과를 기준으로 삼고 향후 여러 알고리즘을 적용하여 실제로봇을 대상으로 실험을 확장하고자 한다.

#### [참고 문헌]

[1] 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  
[2] Lynn, E. Parker, "Designing Control Laws for Cooperative Agent Teams", Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp 582-587, 1993  
[3] H.-S Shim, M.-J. Jung, H.-S. Kim, J.-H. Kim, and P. Vadakkepat, "Role level design in a hybrid control structure for a vision-based soccer robot system," *Journal of Intelligent Automation and Soft Computing*, to appear in 1999.