

## 공간 탐색을 위한 군집 로봇 행동 제어 알고리즘

탁명환\*, 김진규\*, 주영훈\*, 신상근\*\*  
 군산대학교 제어로봇공학과\*, 한국폴리테크닉V대학 김제대학\*\*

### Behavior Control Algorithm of Swarm Robots for Space Search

Myung Hwan Tak\*, Jin Kyu Kim\*, Young Hoon Joo\*, Sang Keun Shin\*\*  
 Kunsan National University\*, Korea Polytechnics V\*\*

**Abstract** - 본 논문에서는 군집 로봇을 이용하여 주어진 공간을 효율적으로 탐색하기 위한 행동 제어 알고리즘을 제안한다. 제안한 방법은 군집 로봇의 운동방정식을 이용하여 각 로봇의 이동 상태를 파악하고 로봇에 장착된 센서 범위를 이용하여 군집 로봇간의 이동 규칙을 계획한다. 계획된 이동 규칙은 초기의 밀집된 위치에서 로봇이 자율적으로 이동하여 로봇간의 충돌을 회피하고 최적의 거리를 유지하면서 공간을 효율적으로 탐색하기 위한 행동 제어 방법을 제안한다. 마지막으로 시뮬레이션을 통하여 그 응용 가능성을 증명한다.

$$w_c = \frac{v_l - v_r}{L} \tag{3}$$

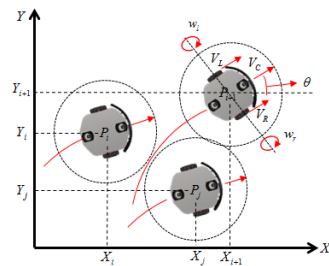
L은 양 바퀴 사이의 거리이다. 또한 로봇의 회전 반경은 식(4)에 의해 나타낸다.

$$R = \frac{L(w_l + w_r)}{2(w_l - w_r)} \tag{4}$$

R이 ∞가 되면 이동 로봇은 직진하고 있으며 0이 될 경우에는 이동 로봇의 중심으로 회전하고 있음을 나타낸다.

### 1. 서 론

오늘날 현대 사회의 지능형 로봇산업의 급속도의 성장으로 인하여 로봇의 역할과 수행이 증가하여 산업 현장뿐만 아니라 일상생활에서도 많이 활용되고 있다. 특히, 다수의 로봇이 스스로 주변 상황을 인식하고, 필요에 따라 주위의 로봇과 협력 작업을 수행하는 군집 로봇에 대한 관심이 증대되고 있다. 군집 로봇 시스템의 특성을 이용하여 최근 사회 안전 분야에서는 주어진 환경에서 침입자 탐지 및 위험물 관리를 목적으로 군집 로봇이 적용되고 있다. 사회 안전 로봇은 사회의 안전을 유지하기 위한 인프라로서의 로봇을 말하여 군집 로봇을 이용하여 넓은 범위를 효율적으로 경비, 탐색할 수 있는 로봇들이 운용하여 기존의 보안 시스템과 연동하여 사회 안전을 실현하는 것이 목적이다. 군집 로봇의 가장 큰 장점은 단일 로봇에 비해 작업의 효율성과 시스템의 유연성 및 강인성을 확보할 수 있다는 것이다. 예를 들어, 해저 탐사와 같이 광범위한 지역을 조사하거나 재난 지역에서 구조 작업을 수행할 경우 단일 로봇만으로는 효율적인 임무 수행이 어려우며, 로봇에 결함이나 고장이 발생할 경우 임무 수행 자체가 불가능하다. 이러한 단일 로봇의 문제점을 극복하기 위해, 군집 로봇 상호간의 유기적인 협조 행동 체계를 구축하는 연구와 투자가 진행되고 있다. 군집 로봇의 협조 행동은 각 로봇 주위의 환경과 로봇들의 행동을 인식하여 자신의 행동을 결정해야 한다 [1]. 또한 몇 대의 로봇이 고장 나더라도 전체적인 시스템에 영향을 주지 않으며 주어진 다양한 작업에 대하여 로봇의 행동 규칙만 바꾸어 줌으로써 다양한 작업을 수행해야 한다 [2]. 군집 로봇의 행동을 제어하기 위해서는 단일 로봇이 아닌 군집 로봇의 운동 방정식이 필요하며 환경에서 로봇간의 충돌을 회피하고 최적의 거리를 유지하여 주어진 환경을 탐색하는 제어 알고리즘이 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 두 개의 구동륜을 사용하는 군집 로봇의 운동 방정식을 이용하여 각 로봇의 이동 상태를 파악하고 로봇에 장착된 센서의 범위를 이용하여 군집 로봇의 이동규칙을 계획한다. 계획된 이동규칙은 군집 로봇간의 충돌을 회피하고 최적의 거리를 유지하면서 주어진 공간을 탐색하는 행동을 제어하여 동/정적 장애물 및 침입자를 탐색하고 퇴로를 차단하는 군집 로봇 행동 제어 알고리즘을 제안한다.



〈그림 1〉 군집 로봇의 좌표계

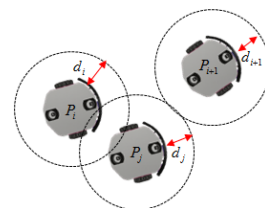
그림 1은 설정된 전역 좌표계에서 군집 로봇의 상태를 나타내고 있으며 군집 로봇의 속도를  $v[m/s]$ , 각속도  $w[rad/s]$ 으로 놓으면 군집 로봇의 상태 방정식은 식(5)와 같이 나타낸다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_i \\ \dot{y}_i \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_i & 0 \\ \sin\theta_i & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ w \end{pmatrix} \tag{5}$$

여기서 군집로봇의  $i$ 부터  $j$ 까지의 위치 좌표는 식(6)과 같이 나타낸다.

$$\begin{matrix} p_i = (x_i, y_i) \\ \vdots \\ p_j = (x_j, y_j) \end{matrix} \tag{6}$$

군집 로봇의 센서 반경의 거리는 그림 2와 같이  $d_i, d_{i+1}, d_j$ 와 같이 나타 낼 수 있으며 군집 로봇간의 거리  $D$ 는 식(7)과 같이 나타낸다.



〈그림 2〉 군집 로봇의 센서 반경

$$D = \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2} \tag{7}$$

### 2. 본 론

#### 2.1 군집 로봇의 모델링

일반적인 이륜구동 방식의 이동 로봇은 두 개의 구동륜을 두고 좌측 바퀴와 우측 바퀴가 독립적으로 제어 되는 방식으로 각 속도를 각각  $w_l, w_r$ 이라고 하면 각 바퀴의 선속도는 식(1)과 같이 나타낸다.

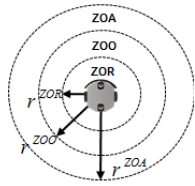
$$v_l = rw_l, v_r = rw_r \tag{1}$$

여기서 r은 바퀴의 반지름을 나타내며 이동 로봇의 중심에서 로봇의 선속도 및 각속도는 식(2)와 (3)에 의해 나타낸다.

$$v_c = \frac{v_l + v_r}{2} \tag{2}$$

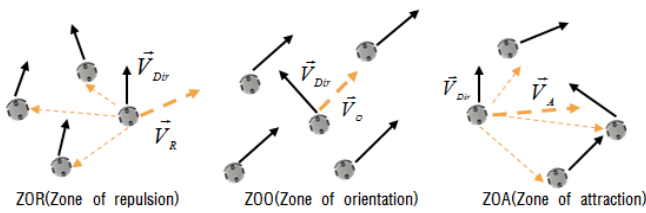
## 2.2 군집 로봇 행동 제어 알고리즘

군집 로봇을 이용하여 주어진 환경에서 군집 로봇간의 충돌을 회피하고 최적의 거리를 유지하면서 공간을 탐색하는 군집 로봇간의 이동 규칙을 그림3과 같이ZOR(Zone of repulsion), ZOO(Zone of orientation), ZOA(Zone of attraction)로 구분하고 각 영역에 적합한 이동 규칙을 계획한다.



〈그림 3〉 각 군집 로봇의 운용 영역

ZOR에서는 다른 로봇과 충돌을 회피하기 위해 일정 거리를 유지하며, ZOO에서는 다른 로봇이 이동하는 평균 방향과 같은 방향으로 이동한다. 또한, ZOA에서는 군집 로봇이 분산 되어 있으므로 다른 군집 로봇이 존재하는 방향으로 이동한다. 그림4는 각 지역에 대한 군집 로봇의 이동을 도시한 것이다.



〈그림 4〉 군집 로봇의 이동 방향 특성

이러한 이동 규칙은 식 (8)-(10)과 같이 각 지역에서 방향벡터와 이 방향 벡터에 의한 조향 각을 계산함으로써 구현할 수 있다.  $P_i, P_j$ 는 로봇  $i$ 부터  $j$ 까지 위치이며  $v_{Dir}$ 은 로봇  $i$ 의 움직이는 방향을 나타낸다.  $N_{ZOR}$ 은 영역에 존재하는 군집 로봇의 수이다.

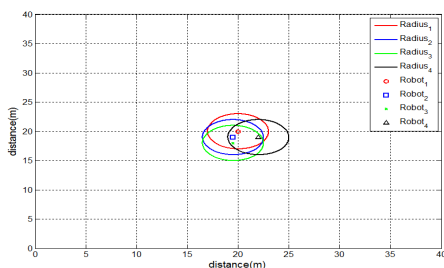
$$\vec{v}_R = \begin{cases} v_{Dir} & , N_{ZOR} = 0 \\ -\frac{1}{N_{ZOR}} \sum_{j=1}^{N_{ZOR}} \frac{\vec{p}_j - \vec{p}_i}{|\vec{p}_j - \vec{p}_i|} & , N_{ZOR} > 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\vec{v}_O = \begin{cases} v_{Dir} & , N_{ZOO} = 0 \\ \frac{1}{N_{ZOO}} \sum_{j=1}^{N_{ZOO}} \frac{\vec{v}_j}{|\vec{v}_j|} & , N_{ZOO} > 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\vec{v}_A = \begin{cases} v_{Dir} & , N_{ZOA} = 0 \\ \frac{1}{N_{ZOA}} \sum_{j=1}^{N_{ZOA}} \frac{\vec{p}_j - \vec{p}_i}{|\vec{p}_j - \vec{p}_i|} & , N_{ZOA} > 0 \end{cases} \quad (10)$$

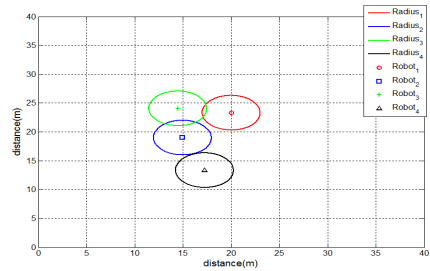
## 3. 시뮬레이션 및 결과 고찰

본 시뮬레이션은 주어진 공간을 탐색하기 위해 초기 위치에서 자율적으로 이동하는 군집 로봇간의 충돌을 회피하고 최적의 거리를 유지하는 군집 로봇의 행동을 제어하는 방법이다.



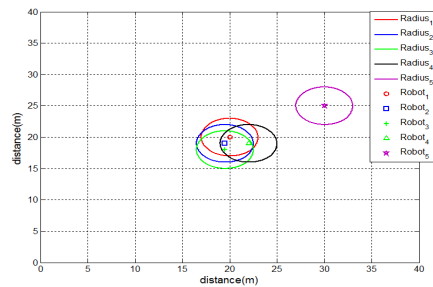
〈그림 5〉 군집 로봇의 밀집된 초기 위치

그림 5는 4개의 군집 로봇의 밀집된 초기 위치를 나타내며 그림 6은 초기 위치에서 자율적으로 이동하며 각 로봇의 센서 범위를 이탈하지 않으면서 주어진 공간을 탐색하게 된다.



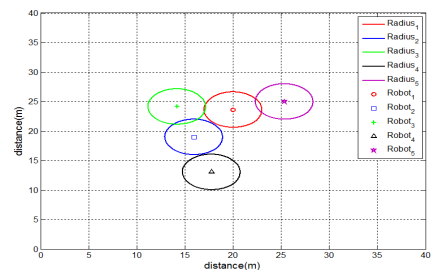
〈그림 6〉 군집 로봇간 충돌 회피 및 행동 제어

그림 7은 밀집된 군집 로봇의 초기 위치와 군집 로봇과 떨어진 로봇의 초기 위치를 나타낸다.



〈그림 7〉 군집과 떨어진 로봇의 초기 위치

그림 8은 밀집된 군집 로봇은 로봇간의 충돌을 회피하기 위해 최적의 거리를 이용하여 이동하면서 주위의 공간을 효율적으로 탐색하기 위해 떨어져 있는 로봇은 군집 로봇이 많은 곳으로 이동하게 된다.



〈그림 8〉 군집 로봇간 충돌 회피 및 행동 제어

## 4. 결 론

본 논문에서는 주어진 공간을 탐색하기 위해 군집 로봇을 행동 제어를 통하여 밀집된 초기 위치에서 자율적으로 이동하는 군집 로봇간의 충돌을 회피하고 최적의 거리를 유지하면서 행동하여 공간을 탐색하는 방법을 제안하였다. 이를 위해 군집 로봇의 운동방정식을 이용하여 군집 로봇의 이동 상태를 파악하고 군집 로봇의 이동 규칙을 계획하여 밀집된 군집 로봇과 군집과 떨어진 로봇을 이용하여 효율적으로 행동 제어를 하였다. 마지막으로 시뮬레이션을 통하여 그 응용 가능성을 증명하였다.

**감사의 글:** 본 연구는 2011년 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2009-220-D00034).

## [참 고 문 헌]

[1] S. Mastellone, D. M. Stipanovic, C. R. Graunke, K. A. Intlekofer, and M. W. Spong, "Formation control and collision avoidance for multi-agent nonholonomic systems: Theory and experiments," *Int. Journal of Robotics Research*, vol. 27, no. 1, pp. 107-126, 2008.  
 [2] Ondrej Linda, Milos Manic, "Fuzzy Manual Control of Multi-Robot System with Built-In Swarm Behavior," *IEEE Computer Science Department*, pp. 4-9, 2009.