

군집 로봇의 포메이션 이동 제어

라병호*, 탁명환*, 주영훈*, 박진배**
 군산대학교 제어로봇공학과*, 연세대학교 전기전자공학과**

Formation Motion Control for Swarm Robot

Byung Ho La*, Myung Hwan Tak*, Young Hoon Joo*, Jin Bae Park**
 Kunsan National University*, Yonsei University**

Abstract - 본 논문은 군집 로봇 포메이션 이동 제어를 위한 방법을 제안한다. Potential field method 알고리즘을 이용하여 Leader-Bot의 장애물 회피와 이동 경로를 계획한다. Leader-bot을 기준으로 하는 Follower-bot의 포메이션 형성을 위해 Formation generated function을 사용한다. Leader-bot과 Follower-bot들 간에 충돌회피와 Follower-bot들의 장애물 회피를 위해 Potential function을 적용한다. 제안한 방법은 시뮬레이션을 통하여 실제 운용 가능성을 검증한다.

하여 자신의 위치를 계산하는 Leader referenced, 각 로봇들이 자신과 이웃하고 있는 로봇을 기준으로 하여 자신의 위치를 계산하는 Neighbor referenced의 방법이 있다. 본 논문에서는 Leader referenced를 이용하여 로봇들이 자신의 위치를 계산하여 군집 이동을 하도록 한다.

1. 서 론

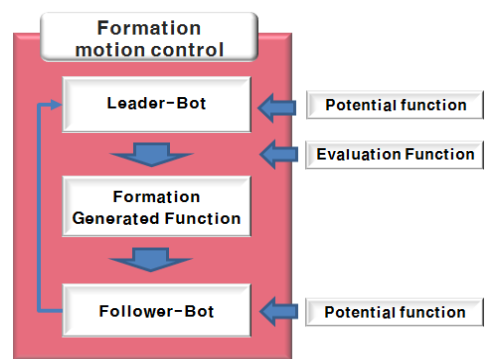
군집 로봇 시스템이란 다수의 로봇의 협동제어를 통해 단일 로봇 이상의 성능을 내는 것을 목표로 하는 시스템이다. 단일 로봇이 하지 못하는 임무 수행을 팀을 이루어 조직적으로 실행할 뿐 아니라, 각각의 임무에 대한 독립적인 수행 및 정보 획득의 목적을 갖는다 [1][2]. 본 논문에서는 비정형 환경이나 시설물 등 개별 로봇을 통한 임무 수행의 한계가 있는 곳에서 다수의 로봇을 통한 임무수행에 관한 연구인 군집 행동 제어 기술 분야에 대해 다룬다. 이와 같은 군집 로봇 시스템에서 로봇의 효과적인 명령 수행을 위해 포메이션 이동 제어 방법을 제안한다. 군집 로봇의 포메이션 수행에 관한 연구 중 가장 기본적인 과제는 주어진 환경에서 안전한 주행과 포메이션 유지·변형에 관한 연구가 필요하다. 움직이는 로봇이나 장애물이 존재하는 환경에서의 안전한 주행을 보장하는 제어 시스템에 관한 연구와 포메이션 유지·변형에 관한 연구는 지속적으로 진행 중에 있다.

주행에 관한 연구는 주어진 외부 환경에 대한 정보를 로봇들에게 알려주어야 하며, 주어진 정보에 대한 분석이 필요하다. 이것을 위해 가장 많이 사용되고 있는 알고리즘중 하나가 Potential field method이다 [3][4]. 포메이션 유지·변형에 관한 연구는 어떻게 포메이션을 이루게 할 것이며, 이루어진 포메이션을 어떻게 유지할 것인가가 중요하다. 서로 같은 특성을 갖는 각 로봇들이 포메이션에 이루게 하는 방법에 대한 최적의 제어기 설계가 필요하다. 또한 로봇간에 충돌을 피하면서 최적의 경로를 따라 이동할 수 있는 배치 및 이동 기술에 관한 연구 등이 있다.

본 논문에서는 Potential field method 알고리즘의 인력(attractive force)과 척력(repulsive force)을 사용하여 Leader-bot을 목표점까지의 경로 계획을 하고, 이 로봇의 경로를 기준으로 하여 포메이션을 설정한다. 포메이션을 이동 시키면서 발생하는 로봇과 로봇과의 충돌, 로봇과 장애물과의 충돌을 위와 같은 Potential field method의 인력과 척력을 이용하여 회피시킨다. 그리고 이동 경로에 따른 Follower-bot들이 장애물 회피하는데 강인성을 더하기 위해 포메이션의 전환을 시킨다. 마지막으로 본 논문에서 제안한 제어기의 시뮬레이션을 통하여 그 가능성을 검증한다.

2. 제안하는 알고리즘

Potential function을 이용하여 Leader-Bot의 장애물 회피와 이동 경로를 계획한다. 계획된 경로 좌표를 이용하여 Leader-bot을 기준으로 하는 Follower-bot의 포메이션 형성을 위해 Formation generated function을 사용한다. 위 과정을 통해 Follower-bot들이 정해진 좌표에 위치 하게 된다. Leader-bot과 Follower-bot들 간에 충돌회피와 Follower-bot들의 장애물 회피를 위해 Potential function을 적용한다. Follower-bot들이 이동 간에 정해진 좌표에서 이탈을 하면, 위 과정을 되풀이 하여 정해진 위치로 다시 이동을 시켜준다 <그림 1>. 군집 로봇이 임무를 수행하기 위해 이동할 때에 각 로봇끼리의 충돌 회피, 효율적인 임무 수행 등을 위해서는 어느 규칙을 가지는 대형을 유지하여 이동해야 한다. 이때 각 로봇들이 자신의 위치를 계산 하는데 주로 다음과 같은 방법이 사용된다. 각 로봇들의 평균 좌표에 있는 점을 중심으로 선정을 한 후 이 중심을 기준으로 자신의 위치를 계산하는 Unit center referenced, 대형을 이루고 있는 하나의 로봇이 리더가 되어 다른 로봇들이 리더를 기준으로

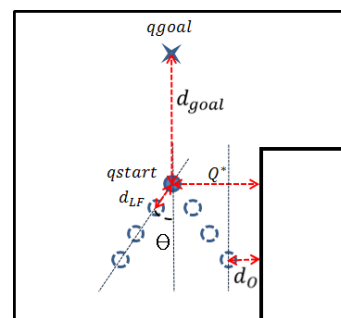


<그림 1> 군집 로봇의 포메이션 이동을 위한 제어 시스템

3. 군집 로봇의 포메이션 제어

3.1 Leader-Bot Potential Function

군집 로봇의 포메이션 이동을 위해 먼저 Leader-Bot의 경로 계획이 필요하다. Leader-Bot의 주행을 위해서 로봇에게 주어진 외부 환경에 대한 정보를 알려주어야 한다. Potential Field method는 주어진 외부 환경 정보에 대해 인력과 척력을 발생시켜 시작점으로부터 목표점까지의 경로 계획을 시행 하였다.



<그림 2> 군집 로봇의 포메이션 형성 모습

먼저 경로 계획을 하기 위해 Leader-Bot에 대한 Potential function으로 로봇과 목표와의 거리 d_{goal}^* 을 이용한 Attractive function과 로봇과 장애물과의 최소 거리 Q^* 를 이용한 Repulsive function을 계산한다.

$$\nabla I_{at t}(q) = \begin{cases} \zeta(q-q_{goal}), d(q-q_{goal}) \leq d_{goal}^* \\ \frac{d_{goal}^* \zeta(q-q_{goal})}{d(q-q_{goal})}, d(q-q_{goal}) > d_{goal}^* \end{cases} \quad (1)$$

$$\nabla L_{rep}(q) = \begin{cases} \eta \left(\frac{1}{Q^*} - \frac{1}{D(q)} \right) \frac{1}{D^2(q)} \nabla D(q), & D(q) \leq Q^* \\ 0, & D(q) > Q^* \end{cases} \quad (2)$$

다음 과정을 통해 Leader-bot은 시작점의 좌표 $qstart(x, y)$ 로부터 도착점 좌표 $goal(x, y)$ 까지 장애물을 회피하는 경로 계획을 실행하게 된다.

$$Rotation\theta = \pm \frac{\pi}{2} - \arccos \left(\frac{(x_i - x_{i-1})}{(|x_i - x_{i-1}| + |y_i - y_{i-1}|)} \right) \quad (3)$$

경로에 따른 로봇의 이동 경로좌표를 $P(x_i, y_i)$ 를 구할 수 있는데, 이 경로의 $Rotation\theta$ 값은 식(3)을 통해 구할 수 있다. 이 과정을 통해 얻어진 $P(x_i, y_i)$ 와 $Rotation\theta$ 를 이용하여 Leader-bot을 기준으로 하는 Follower-bot들이 위치 할 좌표는 다음 과정을 통해 구해진다.

3.2. Formation Generated Function

Leader-bot의 경로 좌표에 따른 Follower-bot이 위치할 포메이션 좌표를 결정하기 위한 과정이다. 본 논문에서는 V자 형태의 포메이션을 생성한다 <그림 2>.

$$\begin{aligned} Leader P(x_i, y_i) \\ RP(x_i, y_j) &= [(x_i - d_{LF} \sin\theta), (y_i - d_{LF} \cos\theta)] \\ LP(x_i, y_j) &= [(x_i + d_{LF} \sin\theta), (y_i - d_{LF} \cos\theta)] \end{aligned} \quad (4)$$

위 식은 Leader-bot의 RP(Right position)과 LP(Left position)에 위치할 Follower-bot들의 위치 좌표를 구한다.

3.3 Follower-Bot

이전의 과정을 통해 Leader-bot을 기준으로 하여 Follower-bot들이 V자 형태의 로봇 편대를 형성 시킬 수 있다. 형성된 로봇의 편대가 지정된 경로를 따라 이동 시켜야 한다. 하지만 Follower-bot들 사이에 충돌과 장애물과의 충돌이 발생 할 수 있다. 이 문제 해결을 위해 Follower-bot들 사이의 Potential function을 생성 하였다. Leader-bot과 Follower-bot사이의 거리 d_{leader}^* 을 이용한 Attractive function과 Follower-bot과 장애물과의 최소 거리 Q_f^* 를 이용한 Repulsive function을 계산한다. 이 과정을 통해 로봇 서로간에 충돌을 회피하고 Leader-bot을 지향하면서 주행을 할 수 있다. 이후 Follower-bot들의 이동 경로와 회전각을 고려한 장애물과의 회피를 해야 한다. 로봇의 이동을 위한 장애물과의 최소 거리를 d_o 이라 한다. 그리고 장애물의 좌표 $Obstacle(x_i, y_i)$ 에 대해 Follower-bot의 좌표 $LP(x_i, y_i)$ 와 $RP(x_i, y_i)$ 와의 거리 d_{LR-o} 에 대해

$$d_o - \min(d_{LR-o}) < 0 \quad (5)$$

경우 로봇과 장애물 사이가 좁아 충돌의 위험이 있어 회피를 위해 거리를 증가 시켜줘야 하기 때문에, θ 의 값을 감소시키고,

$$d_o - \min(d_{LR-o}) \geq 0 \quad (6)$$

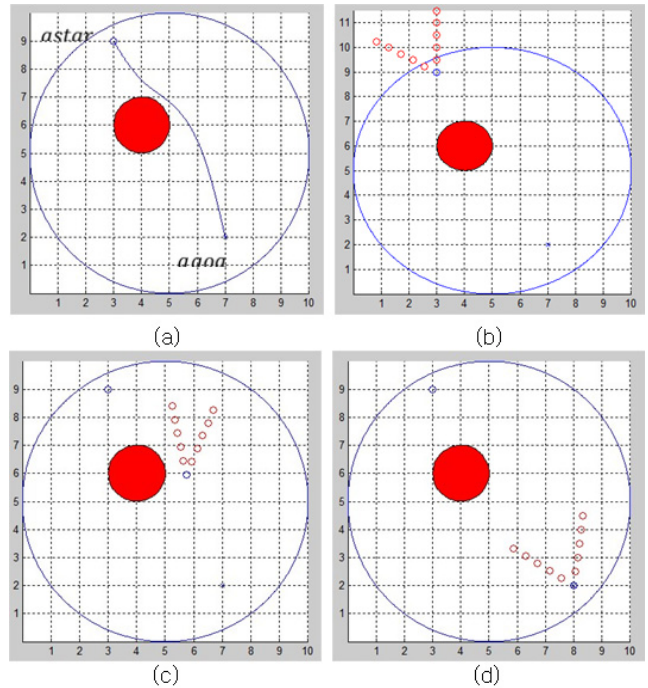
경우 로봇과 장애물 사이에 충분한 거리가 확보 되어 있음으로 포메이션의 넓이를 크게 해주기 위해 θ 의 값을 증가 시켜 준다.

이 과정을 통해 Follower-bot들은 장애물과의 최소 거리를 유지한 상태로 회피를 할 수 있고, 장애물에 구애를 받지 않는 공간에서는 넓은 범위의 임무 수행 범위를 가질 수 있다.

4. 실험 및 고찰

본 논문에서는 군집 로봇의 포메이션 이동 제어를 위해 편대 이동과 장애물 회피, 로봇간의 회피를 위한 제어를 설계하였다. 그리고 이 제어기는 matlab을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 환경은 한정적으로 주어진 실내 2차원 맵에서 Leader-bot 1대와 RP, LP에 Follower-bot 각각 5대를 V자 형태로 편대를 생성하였다. 이 로봇들이 편대이동을 하는데 장애물을 회피하기 위한 경로와 장애물 회피 과정을 나타내었다. <그림 3>의 (a)는 출발점과 도착점에 따른 Leader-bot의 장애물 회피 경로를 나타낸다. (b)는 Leader-bot을 기준으로 하는 Follower-bot들의 포메이션 위치 위치이다. (c)와 (d)는 각각 Follower-

bot들이 장애물을 회피하기 위해 포메이션을 변경하는 모습과, 도착점에 도달한 포메이션 모습을 보여주고 있다.



<그림 3> (a) Leader-bot의 이동 경로, (b) 출발점에서 포메이션 형성, (c) Follower-bot의 장애물 회피, (d) 도착점에서 포메이션

5. 결 론

본 논문에서는 군집 로봇 포메이션 이동 제어를 위한 방법을 제안하였다. Potential field method 알고리즘을 이용하여 Leader-Bot의 장애물 회피와 이동 경로를 계획하고, Leader-bot을 기준으로 하는 Follower-bot의 포메이션 형성을 위해 Formation generated function을 사용하였다. 그리고 Leader-bot과 Follower-bot들 간에 충돌회피와 Follower-bot들의 장애물 회피를 위해 Potential function을 적용하였다. 마지막으로 제안한 방법을 시뮬레이션을 통하여 유용성을 검증 하였다. 향후 연구 과정은 실제 군집 로봇 환경에서 성능 실험 할 수 있도록 시스템을 구현 하고, 로봇을 제어 할 수 있도록 하는 것이다.

감사의글: 본 연구는 2011년 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R01-2008-000-20844-0)

[참 고 문 헌]

- [1] T. Balch and R.C. Arkin, "Behavior-Based Formation Control for Multirobot Teams," *IEEE Trans. on robotics and automation*, Vol. 14, No. 6, 1998.12.
- [2] J. Kennedy and R. Eberhart, "A Discrete Binary Version of the Particle Swarm Algorithm", *IEEE Conference on Computational Cybernetics and Simulation Systems*, Man and Cybernetics, Vol 5, pp 4104-4108, 1997
- [3] R. Daily and D. M. Bevly, "Harmonic Potential Field Path Planning for High Speed Vehicles," *American Control Conference 2008*, Seattle, Washington, USA, 2008.
- [4] J.Ren and K. A. Mclsaac, "A Hybrid-Systems Approach to Potential Field Navigation for a Multi-Robot Team," *Proc. of the IEEE Int conf. Robot. Autom.* pp. 3875-3880, Sep, 2003
- [5] R. Lawton, T. Lawton, W. Beard, "A Decentralized Approach to Formation Maneuvers," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol.19, No.6, Dec., 2003.
- [6] J. Tan, B. Xi, W. Sheng and J. Xiao, "Modeling Multiple Robot Systems for Area Coverage and Cooperation," *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, Vol. 3, pp. 2568-2573, April, 2004.