

군집 로봇의 행동 동기화 제어 알고리즘

김종선*, 엄동희*, 주영훈*, 박진배**
 국립 군산대학교* 연세대학교**

Behavior Synchronization Control Algorithm for Swarm Robot

Jong Seon Kim*, Dong Hae Yeom*, Young Hoon Joo*, Jin Bae Park**
 Kunsan National University*, Yonsei University**

Abstract - 본 논문은 변형 가능한 타원형의 포메이션을 유지하기 위한 군집 로봇의 행동 동기화 알고리즘을 제안한다. 알고리즘은 매개 변수 함수를 이용한 타원형 포메이션에서의 포텐셜 필드 생성 부분과 개별 로봇이 타원으로 이동하기 위한 인력 및 충돌 회피를 위한 척력 함수 부분으로 나누어진다. 제안한 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 군집 로봇의 행동을 제어하는데 효과적임을 입증하였다.

$$V_{Out}^t(p) = \frac{-b^2 x_c}{a^2 y_c} \tag{2}$$

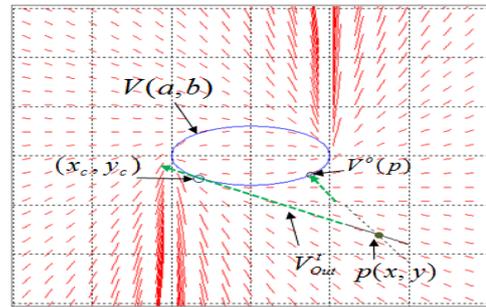
단, x_c, y_c 는 임의의 점 p에서 타원에 접하는 타원 위의 점

$$V^o(p) = \min(|\nabla V - p|) \tag{3}$$

그림 1은 제안한 기법을 이용해 타원의 매개 변수 함수와 이들 주위로 생성된 임의의 점에서의 타원의 접선 및 법선을 나타낸 것이다.

그러나, 타원 내부에서는 타원에 접하는 점을 찾을 수 없고, 그 기울기를 찾을 수 없다. 본 논문에서는 이를 위해 내부의 점으로부터 타원에 가장 가까운 점 V^o 를 식(3)과 동일한 방법으로 찾고 V^o 에서 타원의 기울기를 V_m^t 로 나타낸다. 이를 식(4)에 나타냈다.

$$V_m^t(p) = -(V^o(p) - p) \tag{4}$$



<그림 1> 타원 매개 변수 함수의 포텐셜 필드

1. 서 론

군집 로봇 시스템은 단일 로봇 시스템의 단점을 보완하기 위한 새로운 접근 방법으로 로봇이 임무 및 작업 수행 시 작업의 효율성, 시스템의 유연성을 확보할 수 있다는 장점을 가진다. 군집 로봇 시스템의 기술은 군집 행동제어 기술, 군집 상황인지 기술, 군집 네트워킹 기술, 군집 시스템통합 기술 등 크게 4부분으로 분류될 수 있으며, 본 연구에서는 군집 행동 제어 기술 부분에 대해 기술하고자한다.

일반적으로 군집 로봇의 행동 제어는 중앙 제어 방식과 분산 제어 방식으로 나누어진다[1]. 중앙 제어 방식은 군집 로봇의 목표 위치 및 충돌 회피 제어를 중앙 로봇(또는 서버)이 처리하는 방식으로 주어진 환경 정보 및 센싱 정보가 정밀할 경우 높은 작업 정밀도를 유지할 수 있다. 그러나 로봇의 댓수가 늘어나면 제어 시스템이 복잡해지고 연산량이 급격하게 증가하는 문제점을 갖는다[2,3]. 분산 제어 방식은 중앙제어 방식에 비해 높은 정밀도를 제공하진 못하지만 제어 시스템을 비교적 쉽게 구축할 수 있고 로봇의 댓수가 증가해도 전체 시스템이 복잡해지지 않는 장점이 있다[4,5]. 그러나 임무 완료 소요 시간을 보장 받지 못하며, 각 개체간의 협조 체계를 구축하는 것이 쉽지 않다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 근래에는 하이브리드 방식(중앙 + 분산)과 관련한 연구가 진행 되고 있다. 하이브리드 방식은 개별 로봇이 충돌 회피 및 목표점 이동을 수행하고 효율적인 임무 수행을 위한 군집 로봇의 행동을 리더 로봇 또는 서버가 제어하는 것이다[6]. 본 논문은 이러한 하이브리드 방식의 제어 알고리즘으로 타원형 포메이션의 중앙제어, 개별 로봇들의 포메이션 공간으로의 이동 및 개별 로봇간 충돌 회피를 제안하고자한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 타원형 포메이션의 매개변수 함수와 전역적인 공간에서의 포텐셜 필드 생성 방법과, 개별 로봇이 포메이션을 유지하기 위한 인력 및 로봇간의 충돌을 방지하기 위한 척력 생성 방법을 제안한다. 3장에서는 앞서 제안한 방법의 시뮬레이션 결과를 논의하고 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. 본 론

2.1 매개변수 함수와 포텐셜 필드

본 절에서는 변형 가능한 타원형 매개 변수 함수를 정의하고 임의의 위치에서 타원에 접하는 접선, 타원과 가장 가까운 점을 찾는다. 이는 군집 로봇이 타원으로 유연하게 진입하기 위한 접선 방향과 타원에 빠르게 접근하기 위한 방향을 이용해 군집 로봇이 타원으로 이동하기 위한 포텐셜 필드를 생성하기 위함이다. 그러나 타원은 외부에서 접선 방향이 정의되나 내부에서는 정의되지 못한다. 이를 위해 본 논문에서는 타원의 매개 변수 함수를 정의하고 외부 및 내부의 접선 기술기 및 타원과 가장 가까운 법선을 구하는 방법을 제안해 포텐셜 필드를 생성하고자 한다.

먼저, 타원형 매개 변수 함수의 형태는 식(1)과 같다.

$$V(a,b) = \begin{cases} x = a \cos \theta \\ y = b \sin \theta \end{cases} \tag{1}$$

매개 변수 함수에 접하는 타원 외부에서의 임의의 위치 p(x,y)에서 기울기 V_{Out}^t 는 식(2)와 같고 타원에 직교하는 타원 위의 점 V^o 는 식(3)을 통해 알 수 있다.

2.2 행동 동기화를 위한 포텐셜 함수

앞절에서는 군집 로봇이 임의의 위치에 있을 때 타원으로 이동하기 위한 전역적인 공간에서의 포텐셜 필드의 생성을 제안했다. 본 절에서는 각 로봇들이 임의의 위치에서 타원의 포텐셜 필드를 따라 이동할 때 발생할 수 있는 로봇간 충돌을 회피하고 타원 위를 주행 중인 이웃 로봇과는 일정한 거리를 유지하도록 하는 군집 로봇의 행동 제어 방법에 대해 제안한다.

임의의 위치에서 생성된 각 로봇은 주어진 타원 포텐셜 필드에 의해 타원 접선 방향 \vec{V}^t 와 법선 방향 \vec{V}^o 의 합 방향으로 이동하며 식(5)와 같이 f_a 로 정의한다. 이때 법선 방향은 군집 로봇이 타원으로 더 빠르게 이동하기 위한 방향으로, 로봇의 위치를 R 이라 할 때 이들 사이의 거리 $d_o = |R - V^o| - u_{ed}$ 를 이용하여 로봇의 타원 방향으로의 이동량을 조절한다. u_{ed} 는 사용자가 정의한 로봇의 타원 방향 이동량 조절을 위한 디자인 파라미터이며 v_{velo} 는 상수로써 로봇의 속도이다.

$$f_a = \begin{cases} u_{velo} (\vec{V}^t + \vec{V}^o \tanh(d_o)), d_o > 0 \\ u_{velo} \vec{V}^t, otherwise \end{cases} \tag{5}$$

단, V^t 는 원의 내부일 경우 V_m^t , 외부일 경우 V_{Out}^t 이다.

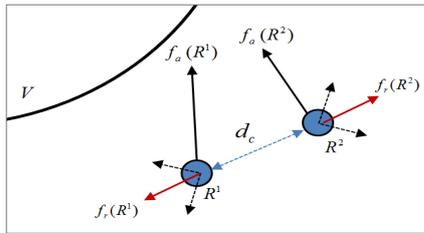
결국, f_a 는 타원 형태의 포메이션을 유지 시켜 주기 위한 것으로, 타원의 형태가 변한다 하더라도 임의의 점 위치에서 타원으로의 이동을 보장할 수 있게 된다[4].

로봇의 충돌 회피 제어는 각 로봇의 임의의 위치에서 디자인 파라미터인 로봇간 거리 상수 u_{cd} 보다 거리가 가까울 경우 서로 척력을 갖게 된다. 로봇 간 척력 방향 V^n 은 이웃한 로봇 위치 R^i 과 현재의 로봇 위치 R^k 의 기울기로 식(6)과 같다.

$$V_{i,k}^n = - (R^i - R^k) / |R^i - R^k| \quad (6)$$

척력 방향의 이동량은 로봇간 거리 d_{ci} 를 $d_{ci} = ||R^i - R^k| - u_{cd}|$ 로 나타내고 이에 따른 로봇의 회피 이동은 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_r = u_{velo} \sum [\overrightarrow{V_{i,k}^n} (1 - \tanh(d_{ci}))] \quad (7)$$

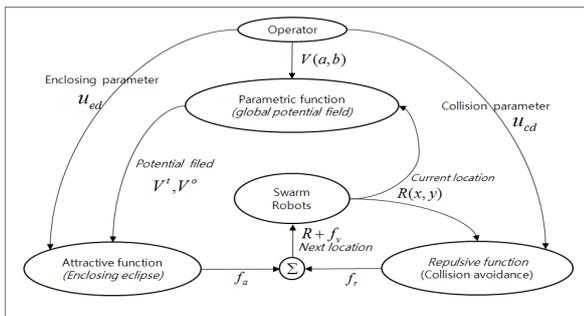


〈그림 2〉 충돌 회피를 위한 척력 방향

상기의 내용으로부터 군집 로봇이 타원형 포메이션으로 이동하며 충돌을 회피하기 위한 최종 포텐셜 함수 $f_v = f_a + f_r$ 이다. 이를 통해 군집 로봇을 타원형 포메이션을 유지하면서 로봇간 충돌 회피 이동을 제어할 수 있다.

2.3 전체 시스템 블록도

본 논문에서 제안한 군집 로봇의 행동 동기화 알고리즘의 흐름은 그림3과 같다. 최초, 중앙 서버인 Operator는 입력 함수가 타원으로 가까워지기 위한 거리 파라미터, 척력함수가 로봇 간 충돌을 제어하는 거리 파라미터, 매개변수 함수가 타원의 특성을 결정하는 a,b 파라미터를 각각 전송한다. 이후 매개변수 함수는 군집 로봇의 현재 위치를 전송받아 타원의 접선/법선 방향의 V^i, V^o 를 입력 함수에 전송한다. 입력 함수는 이를 토대로 이동 방향을 계산하고, 척력 함수는 군집 로봇의 현재 위치를 입력받아 충돌 회피 이동 방향을 계산한다. 마지막으로 군집 로봇은 척력/인력 함수로부터 계산된 이동 방향을 입력 받으며 Operator를 제외한 블록들이 루프를 돌며 군집 로봇의 행동을 동기화 한다.



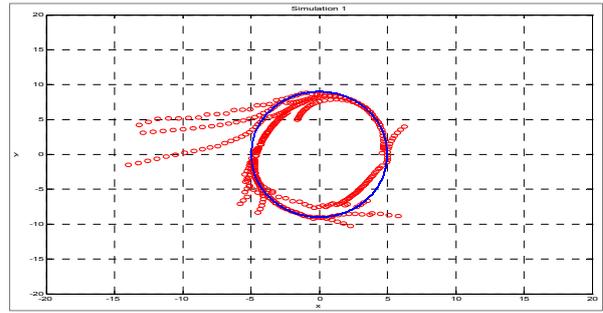
〈그림 3〉 군집 로봇 행동 동기화 제어 알고리즘의 시스템 블록도

3. 시뮬레이션 및 결과

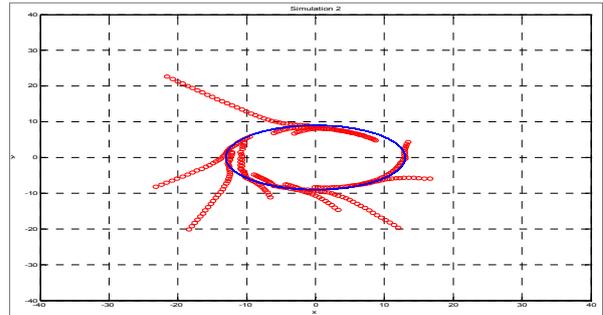
제안한 알고리즘은 MATLAB을 이용해 시뮬레이션을 수행했다. Operator의 입력 파라미터는 표 1과 같고 로봇의 수는 10대, 초기 위치는 무작위로 설정했다. 그림 4는 시뮬레이션 결과를 보여 주고 있으며 제안한 방법에 의해 로봇이 타원 포메이션으로 이동하면서 각 로봇 간의 충돌을 회피하고 최종적으로 타원위를 주행하는 것을 알 수 있다.

〈표 1〉 시뮬레이션 입력 파라미터

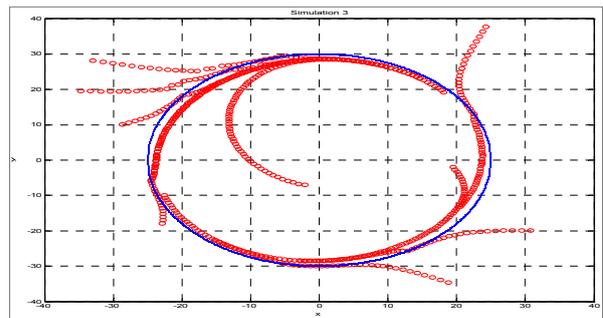
	u_{velo}	u_{cd}	u_{ed}	(a,b)
시뮬레이션 1	0.4	1.5	3	(5,9)
시뮬레이션 2	0.5	2	5	(13,9)
시뮬레이션 3	0.8	4	8	(25,30)



(a) 시뮬레이션 1



(b) 시뮬레이션 2



(c) 시뮬레이션 3

〈그림 4〉 시뮬레이션 결과

4. 결 론

본 논문에서는 군집 로봇의 행동을 동기화 알고리즘을 제안했다. 제안한 알고리즘은 3절의 실험 결과에서 보는바와 같이 입력 파라미터를 변경함에도 유연한 타원 포메이션으로의 이동 및 로봇간의 충돌 회피를 효과적으로 수행함을 알 수 있었다. 따라서, 본 논문에서 제안한 알고리즘 효과적임을 입증했다.

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

[참 고 문 헌]

[1] L. E. Parker, "Multiple Mobile Robot Systems", in Springer Handbook of Robotics, pp. 921-941, 2008.
 [2] D. Miklic, S. Bogdan, and R. Fierro, "Decentralized grid-based algorithms for formation reconfiguration and synchronization" ICRA 2010 Int. Conf. pp. 4463-4468, 2010, 5.
 [3] O. Linda and M. Manic, "Fuzzy manual control of multi-robot system with built-in swarm behavior" HSI'09, pp.4-9, 2009, 5.
 [4] L. Sabattini, C. Secchi, C. Fantuzzi, and de Macedo Possamai D. "Tracking of Closed-Curve Trajectories for Multi-Robot Systems", IROS 2010, pp. 6089-6094, 2010, 10.
 [5] J. Guo, G. Yan, and Z. Lin "Cooperative Control Synthesis for Moving-Target-Enclosing with Changing Topologies", ICRA 2010 Int. Conf. pp. 1468- 1473, 2010, 5.
 [6] J. McClintock and R. Fierro, "A Hybrid System Approach to Formation Reconfiguration in Cluttered Environments", Control and Automation 2008 Mediterranean Conf., pp. 83-88, 2008, 6.