

저자 (Authors)	허정훈, 황선민, 김지언, 이민철 Heo Jung Hun, Hwang Sun Min, Kim chiyeon, Lee Min Cheol
출처 (Source)	<a href="#">한국지능시스템학회 학술발표 논문집 20(1)</a> , 2010.4, 399-402(4 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">한국지능시스템학회</a> Korean Institute of Intelligent Systems
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE01410603">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE01410603</a>
APA Style	허정훈, 황선민, 김지언, 이민철 (2010). 군집로봇 제어 알고리즘 설계. 한국지능시스템학회 학술발표 논문집, 20(1), 399-402
이용정보 (Accessed)	상명대학교 182.226.172.*** 2021/09/07 22:06 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

## 군집로봇 제어 알고리즘 설계

### Swarming Robot Control Algorithm Design

허정훈<sup>1</sup> · 황선민<sup>2</sup> · 김지연<sup>3</sup> · 이민철<sup>4</sup>

Heo Jung Hun and Hwang Sun Min and Kim chiyeon and Lee Min Cheol

<sup>1</sup>부산대학교 로봇협동과정

E-mail: gasmaster2@naver.com

<sup>2</sup>부산대학교 로봇협동과정

E-mail: yours7124@pusan.ac.kr

<sup>3</sup>부산대학교 제어자동화시스템전공

E-mail: chiykim@hanmail.net

<sup>4</sup>부산대학교 기계공학부

E-mail: mclee@pnu.edu

#### 요 약

군집 로봇 시스템에서는 다수 다종의 무인로봇이 동시에 주어진 과제를 수행하므로, 각자의 로봇들은 주위의 다른 로봇들과 협조하여야만 주어진 일을 효율적으로 수행할 수 있다. 따라서 개개의 로봇은 서로의 위치를 파악하면서 과제를 수행하여야 한다. 본 논문에서는 다수의 UGV/UAV가 서로 충돌을 피하면서 최적의 경로를 따라 이동할 수 있도록 하는 여러가지 기동간 군집로봇 제어 알고리즘을 소개하고 장단점을 비교하며 지역탐색이나 구조, 무인전투체계등의 응용방안에 대해 제안한다.

키워드 : Swarm Robot, UGV/UAV, Dijkstra Algorithm, potential field

#### 1. 서 론

미래의 무인 전투 체계에서는 감시정찰로봇, 지뢰탐지 로봇, 전투로봇, 감시정찰 공중로봇 등 다수 다종의 로봇이 서로 협력하여 여러 가지 임무를 동시에 수행하고, 지휘통제차량이 이러한 로봇들을 통합하여 통제한다. 지역 탐색이나 구조 임무의 경우, 공장 자동화의 운영, 소방 로봇 및 항공 교통의 제어 등에 있어서도 서로 다른 역할을 갖는 로봇들의 협력은 필수적이다. 제한된 감지 및 동작 영역을 갖는 로봇들 간의 협력이 원활히 이뤄지기 위해서는 먼저 각 로봇에 대한 최적 임무할당 기법, 다양한 행동양식 결정, 임무 수행에 필요한 자율성 확보를 위한 제어 알고리즘 개발 등의 요소기술들이 요구된다. 또한 경험에 의해 최적의 명령을 내리기 위해서는 로봇의 인공적인 지능을 기반으로 하는 자체적인 학습(learning)이 이루어져야 하며, 이를 활용하기 위해 하이브리드 행동결정 기법, 자율주행, 분산제어, 고장방지 등 요소 기술이 필요하다.

다중 로봇 시스템의 임무 중 가장 기본이 되는 군집 제

어 알고리즘의 경우, 각 로봇은 어떻게 편대에 이루게 할 것이며 이루어진 편대를 어떻게 유지할 것인가가 중요하다. 따라서 임의의 초기 상태를 갖는, 서로 다른 동특성을 갖는 각 로봇들을 편대에 이루게 하는 아키텍처에 대한 연구 및 조사를 하고 그 아키텍처를 위한 최적의 제어기 설계가 필요하다. 또한 직접 편대 운동을 할 때 발생하는 계산량을 줄이는 방법, 팀 구성의 변화, 통신 센서, 또는 구동기의 고장 문제 등에 대처하는 기법에 대한 연구가 요구된다.

또한 서로 충돌을 피하면서 최적의 경로를 따라 이동할 수 있는 배치 및 이동기술이 요구되며 이를 위해서는 다른 로봇이 수집한 정보를 융합 처리하는 기술이 필요한데, 이때 모든 정보의 처리 및 공유를 할 수 있는 분산처리 알고리즘도 요구된다. 그러나 너무 작은 영역에 대해 정보 처리나 제어 알고리즘을 적용할 경우 비효율성 또는 위험성이 커지게 되므로 환경 및 조건에 따라 적용영역을 적절히 변화시킬 수 있는 기술이 필요하다.

본 논문에서는 UGV의 군집제어 알고리즘에 대해 논하기로 한다. UGV의 군집제어의 기본원리는 UAV의 편

대 비행제어와 매우 흡사하다. 그러나 지면을 움직이는 UGV의 특성상 나무, 다리, 벽 등과 같은 많은 장애물들의 영향을 받을 수밖에 없다. 이러한 장애물들의 영향 아래 특정 대형을 계속 유지해서 목표점까지 도달하는 것은 거의 불가능 하므로 대형을 상황에 맞게 적절한 변환을 해주는 것이 필요하다. 그러므로 UGV들이 가질 수 있는 기본적인 대형의 특성과 상황에 맞는 효율적인 대형으로 변화하는 알고리즘에 관해 연구한다.

또한 장애물이 많은 구역을 통과하여 목표점으로 가기 위해서는 각 장애물들을 효율적으로 통과할 수 있는 경로도 생성되어야 한다. 이를 위해 경로 생성에 관한 연구도 병행되어야 하는데 대표적인 경로 생성 기법으로는 다익스트라(Dijkstra)최단경로 알고리즘과  $A^*$  탐색 알고리즘 등이 있다.

## 2. UGV 모델링과 제어 방법

본 논문에서 제안하는 제어기법에 대한 평가는 다음과 같은 모델링 기법을 사용하게 된다.

UGV가 원하는 경로를 따라 목표점에 도달하기 위해서는 UGV의 모델링을 기반으로 한 제어 입력을 적절하게 주어야 한다. 다음과 같이 단순화된 모델에서

$$\dot{x} = u_{1i}\cos\theta_i$$

$$\dot{y} = u_{1i}\sin\theta_i$$

$$\dot{\theta}_i = u_{2i}$$

$x_i, y_i$  는 I번째 UGV의 위치 좌표,  $\theta_i$  는 I번째 UGV의 방향각,  $u_{1i}, u_{2i}$  는 각각 UGV의 직진 속도 입력과 각속도를 의미한다고 할 때, 기준 경로로부터의 오차를  $x_{ei}(t), y_{ei}(t), \theta_{ei}(t)$  라 표시하고 Lyapunov 함수를 다음과 같이 정의하고,

$$V = \frac{1}{2}x_{ei}^2 + \frac{1}{2}y_{ei}^2 + \frac{1}{2}\theta_{ei}^2$$

이를 미분한 식이 negative definite 해야 시스템의 stability를 보장받을 수 있으므로, 예를 들어 입력 값은 다음과 같이 정할 수 있다.

$$u_{1i} = \frac{x_{ei}\dot{x}_{ri} + y_{ei}\dot{y}_{ri}}{x_{ei}\cos\theta_i + y_{ei}\sin\theta_i} + k_{1i}(x_{ei}\cos\theta_i + y_{ei}\sin\theta_i)$$

$$u_{2i} = \frac{x_{ei}(\dot{y}_{ri} - u_{1i}\sin\theta_i) - y_{ei}(\dot{x}_{ri} - u_{1i}\cos\theta_i)}{x_{ei}^2 + y_{ei}^2} + k_{2i}\theta_{ei}$$

where  $k_{1i}, k_{2i}$  are positive constant

시스템의 동특성이 복잡할 경우 여러 가지 비선형 또는 강건 제어기법을 이용하여 접근할 수 있으나 본 연구에서는 동특성 안정화 보다 경로 생성 및 경로 추적 기법 등을 위와 같은 모델 식을 통하여 검증하기로 한다.

## 3. Potential field에 기반을 둔 다중 로봇의 경로 생성 기법 연구

UGV는 지면을 따라 이동을 하므로 UAV에 비해 안전하게 제어하기 쉽다. 그러나 지면을 따라 이동하는 UGV의 특성상 나무, 벽 또는 다리 등과 같이 이동을 방해하는 장애물이 많을 수밖에 없다. 이러한 장애물들을 피해 원하는 목적지까지 이동을 하기 위해서 사용할 수 있는 대표적인 경로 생성 기법 알고리즘으로 Dijkstra,  $A^*$  RRT(Rapidly-exploring Random Trees)등이 있는데, 이들은 단순화된 동특성을 사용하여 global path planning에 적용한다. 그러나 다중 로봇의 수가 많아지면, 중앙집중식 알고리즘의 계산시간 및 안정성은 낮아지게 되므로, 장애물들의 실시간 회피 및 통신 감지가 되지 않은 로봇들 간의 충돌 회피 등을 위해서는 계산량이 낮은 potential field에 기반을 둔 알고리즘을 사용한다.

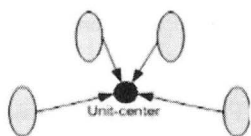
이때 로봇이 국소 최소 점에 빠졌을 때 생성되어 로봇을 국소 최소 점에서 탈출시키는 역할을 하는 가상언덕을 엑스트라 퍼텐셜(extra potential)에 의해 모델링 한다. 엑스트라 퍼텐셜은 어떠한 환경에서도 새로운 국소 최소 점을 생성하지 않으므로 복잡한 형태의 미지환경이나 동적환경에서도 로봇이 성공적으로 국소 최소 점을 탈출하여 목표점에 도달할 수 있다.

## 4. 편대 대형 유지 및 변경 기법

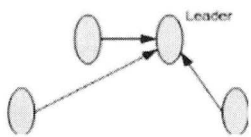
전투, 경찰 등의 임무를 수행하는 UGV는 한 대보다는 여러 대가 동시에 임무를 수행하는 것이 보다 효율적인 경우가 많다. 이렇게 여러 대가 동시에 이동할 때에 아군끼리의 충돌 회피, 효율적인 임무 수행 등을 위해서는 어느 규칙을 가지는 대형을 유지하며 이동해야 한다.

4대 이상의 UGV가 이를 수 있는 대형은 주로 종방향,

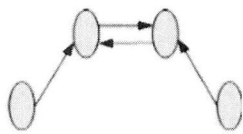
횡방향으로의 직선, 다이아몬드, wedge 형태로 구분된다. 이와 같은 대형을 유지하기 위해서는 각 UGV들은 먼저 GPS, INS등을 이용하여 자신의 위치를 계산하고 각 대형에 적절한 UGV의 위치를 계산한 후 자신들의 모터를 제어하여 앞서 계산한 적절한 위치로 이동을 하며 대형을 유지한다. 이때 각 UGV들이 정해진 대형에 맞게 적절한 위치로 이동을 하며 대형을 유지한다. 이때 각 UGV들이 정해진 대형에 맞게 적절한 자신들의 위치를 계산하는 데는 주로 다음과 같은 방법들이 사용된다.



(a) Unit center



(b) Leader



(c) Neighbor

i ) Unit center referenced는 왼쪽의 그림과 같이 각 UGV들의 평균좌표에 있는 점을 중심으로 선정을 한 후 각 UGV들은 이 중심을 기준으로 하여 자신의 위치를 계산한다.

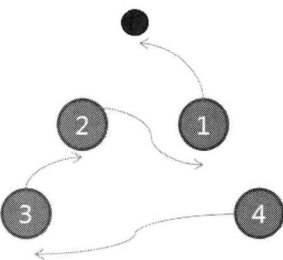
ii ) Leader referenced는 대형을 이루고 있는 하나의 UGV가 리더가 되어 다른 UGV들은 리더를 기준으로 하여 자신의 위치를 계산하는 방법이다.

iii ) Neighbor referenced는 각 UGV들이 자신과 이웃하고 있는 UGV를 기준으로 하여 자신의 위치를 계산하는 방법이다.

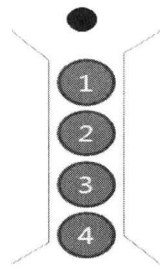
위와 같은 방법들은 각각 계산 량, 주행 결과, 강인성 등에 대한 장단점이 있으므로, 여러 가지 시뮬레이션을 거쳐 다양한 상황에 적합한 방법을 도출해 내고자 한다.

UGV편대가 지면을 이동하는 특성상 장애물들을 피하기 위해 대형을 변환시켜야 하는 상황이 발생할 수 있다. 이처럼 경로를 생성하고 적절한 대형을 선택한 후 그 대형을 유지하며 목표점에 도달할 수 있도록 Leader referenced 방법을 이용한 예를 들어보면 다음과 같다. 먼저 주변 환경을 탐색하여 장애물과 장애물이 없는 free space를 지도에 표시한다. 이 정보를 이용하여 원하는 목적지까지 갈 수 있도록 적절한 알고리즘을 이용하여 경로를 생성한다. 생성된 경로를 따라 리더가 이동을 하게 되고 리더가 아닌 다른 UGV들은 정해진 리더와의 상대적 위치를 계산하여 자신들의 경로를 생성한다. 각 UGV들은 센서 및 통신을 이용하여 자신들의 위치정보를 feedback 해준다. 만약 주변 환경이 변하지 않는다면 앞서 구한 경로를 따라 진행을 하게 되고 환경이 변하게 되면 경로생성을 다시 하여 새로운 경로를 따라 가게 된다. 이 과정을 반복하여 목표점에 도달할 수 있다.

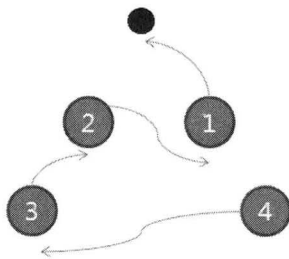
먼저 경로 생성 알고리즘으로 가능한 경로가 생성되지 않을 때 찾고자 하는 경로의 폭을 줄여서 최소한 UGV 한 대의 폭보다는 크도록 다시 찾는다. 이렇게 해서 가능한 경로가 생성되면 그 경로에 맞는 대형으로 변형시키면 이동을 할 수 있다. 예를 들어 UGV가 한 대만 지나 갈 수 있는 폭의 경로가 생성되었다면 column 대형으로 그곳을 통과할 수 있을 것이다. 다음 그림은 wedge 대형으로 진행을 하다가 폭이 좁은 다리를 지날 때 column 대형으로 바꾸어서 지나가는 형상을 나타낸다. 진행을 바꿀 때에는 뒤쪽에 있는 UGV부터 움직여서 대형을 바꿔준다. UGV의 동특성에 적합한 자동 대형 변경 알고리즘을 구현하고 시뮬레이션을 통해 기동간의 전이시 충돌 회피 및 안정성 유지 성능을 검증한다.



(a)



(b)



(c)

## 5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 단순화된 모델을 통해 UGV의 경로생성 및 경로 추적기법으로 Potential Field를 선정하였다. 장애물들의 실시간 회피 및 통신 감지가 되지 않은 로봇들 간의 충돌 회피 등을 위해서는 계산 량이 낮은 Potential field 알고리즘이 유리하기 때문이다.

또한 아군끼리의 충돌 회피, 효율적인 임무 수행 등을 위해서는 어떤 규칙을 가지는 대형을 유지하며 이동해야 한다. 다음 연구에서는 앞서 제안한 Unit center, Leader, Neighbor referenced 등의 방법 등의 장단점을 시뮬레이션을 통해 검증해보도록 할 것이다.

## 참 고 문 헌

[1] H. J. Kim, D. H. Shim, and S. Sasry, "Nonlinear model predictive tracking control for rotorcraft-base unmanned aerial vehicle, " Proceedings of the American Control Conference, Anchorage, AK May 8-10, pp. 3576-3581, 2002.

[2] D. Q. Mayne, J. B. Rawlings, C. V. Rao, and P. O. M. Sockaert, "Constrained model predictive control: stability and optimality, " Automatica, Vol. 36, pp. 789-814, 2000.

[3] G. J. Sutton and R. R. Bitmead., "Computational implementation of NMPC to nonlinear submarine," Nonlinear Model Predictive Control, I. F. Allgower and A. Zheng, editors, volume 26, pp. 461-471, 2000.

[4] H.R.Berenji, D.Vengerov (2000) " Advantage of Cooperation Between Reinforcement Learning Agents in Difficult Stochastic Problems"

[5] Tucker Balch, Ronald C. Arkin, "Behavior-Based Formation Control for Multirobot Teams", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 14, pp 926-939, Dec. 1998.

[6] <http://www.innocon.com>

[7] <http://www.sti.nasa.gov/tto/spinoff2001/dryden.html>

[8] <http://www.afrlhorizons.com/Briefs/Dec02/VA0202.html>

[9] Yongxing H, Benjamin L, Sunil K. A, Edward L and Eric B. "Planning and Control of UGV Formations in a Dynamic Environment: A Practical Framework with Experiments", IEEE International Conference on Robotics & Automation, Sep. 2003

[10] Gerry Tesauero, IBM T.J. Watson Research Center (2003) " Multi-Agent Learning Mini-Tutorial"

[11] Herbert G. Tanner, "Task-driven multi-formation control for coordinated UAV/UGV ISR missions", The University of New Mexico Department of Mechanical Engineering, UNM Technical Report: ME-TR-06-001, Report Date: October 19, 2006