

# 효과적인 지형 탐사를 위한 군집 로봇의 리더 관리

송주원, 우균

부산대학교 컴퓨터공학과

e-mail: {jwsong, woogyun}@pusan.ac.kr

## Managing Leader Robot of Swarm-Bots for Effective Terrain Exploration

Ju-Won Song, Gyun Woo

Dept of Computer Science and Engineering, Pusan National University

### 요 약

효과적으로 군집 로봇을 제어하기 위해 리더 로봇을 선정하여 특별한 역할을 부여하는 방법이 보편적으로 사용되고 있다. 본 논문에서는 효과적인 지형 탐사를 위해 군집 로봇 그룹의 리더를 관리하는 방법을 제안한다. 그룹에 리더가 없는 경우와 리더를 선정한 경우로 나누어 2차원 지형을 탐사하는 실험을 수행하였다. 지형을 탐사하는 과정에서 리더 로봇이 동작 불능 상태가 되는 경우가 발생할 수도 있는데, 이때에는 그룹의 리더를 교체하는 방법을 사용하였다. 그룹의 리더를 관리하는 방법을 시뮬레이션 환경에 적용하여 실험한 결과, 리더가 없는 경우보다 지형 탐사 성공률이 훨씬 높아지는 것을 알 수 있었다.

### 1. 서론

리더는 하나의 집단을 대표하는 역할로 그 집단을 지휘하고 통솔해야 한다. 이러한 리더의 역할에 따라 그 집단의 성과가 달라질 수 있다. 리더에 관한 연구로는 동적 환경에서 로봇 간의 간섭을 피하기 위해 작업을 분할하여 로봇에 할당하는 방법에 관한 연구가 있다[1]. 또 동적인 환경에서 군집화 된 로봇 그룹의 리더를 수행환경에 맞는 최적의 개체를 선택하는 연구가 있다[2]. 군집화 된 개체의 지능은 예측이 불가능한 상황 하에서도 적응적으로 문제를 해결해야 하는데, 예측이 불가능한 상황에서는 리더 로봇에 문제가 발생할 수도 있다. 이런 상황에서는 동적으로 리더 로봇을 교체하는 작업이 필요하다.

리더 로봇을 동적으로 교체하는 사례로서 기러기 대형을 들 수 있다. V자 형태로 대열을 흐트리지 않고 날아가는 기러기 무리에 대한 기존 연구 결과, 무리를 이끌던 리더 기러기가 지치면 다른 기러기가 교대로 리더 역할을 수행한다는 것이 잘 알려져 있다. 동적인 환경에서 목적지에 대한 탐사를 수행하는데 리더 로봇이 난관에 빠지거나 동작이 불가능해질 경우에는 문제가 생길 수 있다. 따라서 동적으로 리더 로봇을 바꾸는 리더 교체 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 군집 지능을 적용한 군집 로봇 그룹의 리더를 선출하고 교체하는 알고리즘을 적용하여 그룹에 리더가 없을 때와 있을 때의 차이점을 비교해 보고 리더의 효과를 알아본다. 먼저 리더가 없는 그룹으로 실험을

하고 문제점을 보완하기 위해 리더를 선출하여 실험하였다. 그리고 리더가 리더의 역할을 수행하지 못하는 경우에는 리더를 교체할 수 있도록 하였다. 2장에서는 군집 지능과 군집 로봇 제어에 관한 기존 연구를 살펴보고 3장에서는 리더 선출 및 교체 알고리즘에 대해 살펴본다. 4장에서는 알고리즘을 이용한 시뮬레이션 과정에 대해 살펴보고 5장에서는 시뮬레이션 결과에 대해 기술하고 결론을 맺는다.

### 2. 관련 연구 및 배경

#### 2.1 군집 지능

군집 지능은 단순한 지능을 가진 개체의 집단에서 개체 사이의 상호작용을 통해 나타나는 복합적 지능을 의미한다. 단순한 지능의 상호작용을 통해 마치 고도의 지능을 지닌 것과 같은 군집 개체가 생겨나는 상황에 착안한 것이다.

이러한 군집 지능을 로봇에 적용한 것이 군집 지능 로봇이다. 군집 지능 로봇은 자연에 실재하는 집단 생명체의 행위와 유사하다고 볼 수 있다. 한 마리의 새나 벌은 아주 간단한 규칙에 따라 본능적인 행동을 계속하는 데도, 전체 집단으로 보면 복잡한 작업을 대규모 계획에 따라 수행하는 것과 같은 결과를 낸다. 개미 공동체의 경우 페로몬 흔적을 남겨 둌으로써 음식을 찾는 최적의 길을 발견하는 것으로 알려져 있다. 군집 지능 기술은 1989년에 Beni와 Wang의 셀룰러 로봇 시스템에 대한 연구에서 처음 소개

되었으며 현재 다양한 분야의 지능형 로봇에 대해 활발히 연구되고 있다[3].

군집 지능은 자기조립화(self-assembling) 및 자기조직화(self-organizing) 특성을 지닌다. 자기 조직화가 가능한 로봇들에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 자기 조직화란, 로봇이 혼자서 해결하지 못하는 문제를 물리적인 협동을 통해서 해결하기 위한 연구다[4]. 자기 조직화가 가능한 로봇은 서로 연결하여 혼자서 이동시키지 못하는 물체를 이동하거나 또는 통과 불가능한 지형을 통과한다[5].

또 다른 자료로 생태계 군집행위 패턴 분석 연구 중 하나인 개미에 관한 연구 자료[6]가 있다. 이 자료는 개미 군집을 일꾼개미와 여왕개미의 두 부분으로 나누어서 그들의 행동을 분석하고 있다. 이미 존재하는 4가지의 개미 모방 방법에 대해서 수학적으로 검증한 연구로, 군집행위를 모방한 처리방법이 효과적임을 보이고 있다. 따라서 군집 지능을 다수의 로봇에 적용하면 협동 작업 및 자율적인 항해 등의 기술을 구현하는 것이 가능하다. 따라서 군집 지능을 지닌 로봇 그룹은 환경에 적응적으로 대처하면서 탐사를 수행하는데 적합하다.

## 2.2 군집 로봇 제어 방법

군집 로봇 제어 모델 중 대표적인 것으로 Boid 모델[7]을 들 수 있다. Boid 모델은 비행하는 새들을 모방하여 군집 행동을 묘사한 모델로서 다음의 세 가지 규칙을 따르도록 되어있다. 첫째 어떤 Boid도 다른 Boid나 정지해 있는 물체에 근접하지 않는다. 둘째 각각의 Boid는 자신 주변에 있는 다른 Boid와 같은 속도를 유지해야만 한다. 셋째 각각의 Boid는 언제나 그 Boid 그룹의 중심 쪽으로 움직여야만 한다. 이 세 가지 규칙을 따르는 Boid 모델은 처음에 흐트러졌다가도 곧 무리를 형성하는 모습을 보인다. 그 무리들은 장애물을 만나게 되면 두 그룹으로 나뉘어졌다가 반대쪽에서 다시 그룹을 형성한다.

Boid 모델은 개인과 타인의 관계를 보인다. 개인과 개인의 상호 작용이 전체의 큰 무리를 이끌어가게 된다. 이때의 무리의 움직임은 예측할 수 없다. 하지만 기러기떼와 같은 리더가 있는 무리는 다른 모습을 보인다. V자 형태로 대열을 흐트리지 않고 날아가는데 무리를 이끌던 리더 기러기가 지치면 다른 기러기가 교대로 리더 역할을 수행하며 날아간다. 이 무리는 리더가 있고 리더의 지도 아래 목적의식과 규율을 가지고 무리를 이끌어가게 된다.

## 3. 알고리즘

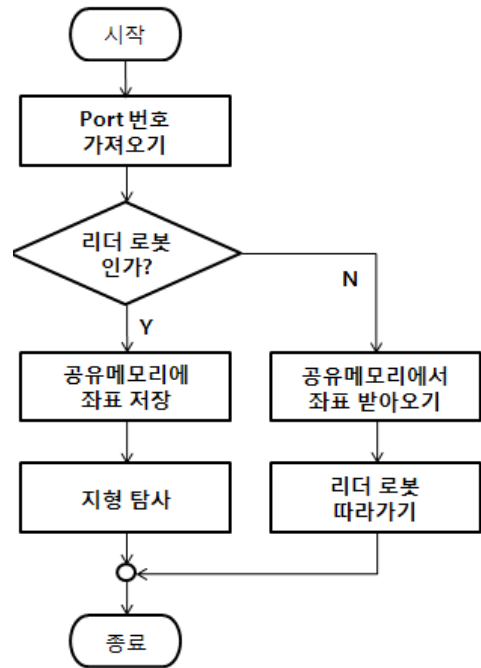
본 논문에서는 군집 로봇에서 리더 관리의 중요성을 알아보기 위해 크게 리더 로봇 선출 및 교체 알고리즘과 리더 로봇을 따라가는 알고리즘을 사용하였다. 그룹의 리더를 선출하기 위하여 각 로봇의 포트 번호를 로봇의 ID로 사용하였다. 선출된 리더를 따라 군집 로봇 그룹이 이동을 하는데, 예측이 불가능한 상황 하에서도 적응적으로 문제를 해결해야 한다. 그러나 예측이 불가능한 상황에서

그룹을 이끄는 리더 로봇에 문제가 생길 수도 있다. 이런 상황에서는 동적으로 리더 로봇을 교체하는 작업이 필요하다.

### 3.1 리더 로봇 선출

군집 로봇 그룹을 리드하여 주어진 임무를 완수하기 위해서는 리더 로봇이 중요한 역할을 한다. 리더 로봇 없이 그룹 로봇이 개별적으로 임무를 수행하게 되면 로봇 간의 충돌이 발생하여 더 이상 진행할 수가 없는 경우가 생긴다. 이런 문제를 해결하기 위해 그룹을 이끌어 가는 리더 로봇과 리더를 따라가는 Follow 로봇으로 나누었다.

본 논문에서는 Pyro[8]에서 제공하는 Pioneer 로봇을 사용하였다. Pioneer 로봇은 각 로봇마다 포트 번호가 부여된다. 기본 값으로 6665번 포트 번호가 사용되는데 로봇의 각 포트 번호를 이용해 로봇마다 우선순위를 주었다. 포트 번호가 빠를수록 우선순위를 높게 주었고 가장 높은 우선순위를 가지고 있는 로봇을 리더 로봇으로 선출하였다. 리더 로봇이 정해지면 다른 로봇들은 모두 Follow 로봇으로 정하였다. 리더 로봇 선출 및 따라가기 알고리즘은 그림 1과 같다.



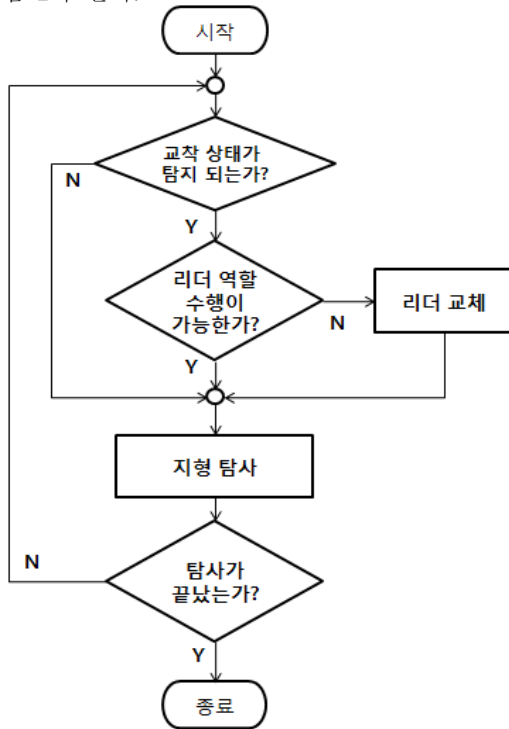
(그림 1) 리더 로봇 선출 다이어그램

포트 번호에 따라 우선순위를 정하고 리더 로봇이 선출되면 리더 로봇은 지형의 오른쪽 면을 따라 탐사를 시작한다. 탐사를 하면서 리더 로봇은 공유 메모리에 자신의 x, y좌표를 저장한다. Follow로 지정된 로봇들은 공유 메모리에서 리더 로봇의 좌표를 받아와 그 좌표로 이동을 하면서 리더 로봇을 따라간다.

### 3.2 리더 로봇 교체

군집 로봇 그룹이 예측이 불가능한 상황에서도 적응적으로 문제를 해결해야 하는데 리더 로봇에 문제가 생기는

경우가 있다. 이 문제는 기리기 대형과 같이 상황에 따라 리더를 동적으로 교체하는 방법과 비슷하다. 또 다른 문제로 로봇들 간의 교착 상태로 인해 무한 대기 상태에 빠지면서 업무 수행이 제대로 이루어지지 않는 경우가 있다. 이런 여러 가지 상황에서 동적으로 리더 로봇을 교체하는 작업이 필요하다. 적절한 리더 로봇의 교체로 전체 그룹의 업무가 제대로 수행될 수 있다. 리더 로봇의 교체 알고리즘은 그림 2와 같다.



(그림 2) 리더 로봇 교체 다이어그램

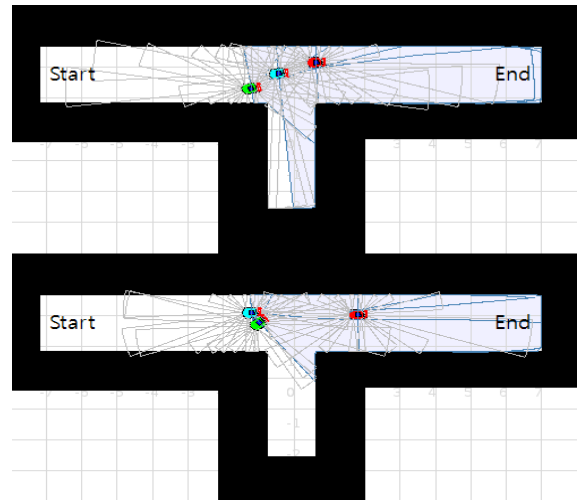
리더 로봇 선출 및 따라가기 알고리즘을 이용하여 지형을 탐사하면서 로봇 간의 교착 상태가 탐지되는지 확인한다. 교착 상태가 확인이 되면 리더 역할의 수행이 불가능하다고 판단하고 리더를 교체한다. 리더 교체는 리더 선출 알고리즘과 반대로 포트 번호가 가장 높은 로봇을 리더로 선정하여 그룹의 리더를 교체한다. 머리와 꼬리가 바뀌는 형식으로 맨 뒤에 따라오던 로봇이 리더가 되고 맨 처음에 가던 로봇은 Follow 로봇으로 바뀐다. 이후는 리더 선출 및 따라가기 알고리즘과 동일한 방식으로 로봇들이 지형을 탐사하게 된다.

#### 4. 시뮬레이션

본 연구에서는 군집 로봇의 리더를 선출하여 그룹의 지형 탐사 능력을 비교하는 실험을 하였다. 로봇 3대를 이용해 Start지점에서 탐사를 시작하여 로봇 3대가 전부 End지점으로 이동을 하면 임무를 완료하였다고 판단하였다. 로봇들은 16개의 range 센서를 이용해 왼쪽 벽을 따라 이동하는 좌수법과 오른쪽 벽을 따라 이동하는 우수법을 이용하여 이동을 한다. 좌수법을 이용하면 군집 로봇 그룹이 일직선으로 이동을 하고, 우수법을 이용하면 T자

모양의 지형을 이동하게 된다. 좌수법과 우수법으로 각각 30번씩 실험을 진행하였는데, 우선 리더가 없는 군집 로봇 그룹으로 실험을 하고 리더를 선출한 후 Follow 로봇들이 리더 로봇을 따라 이동하는 실험을 하였다.

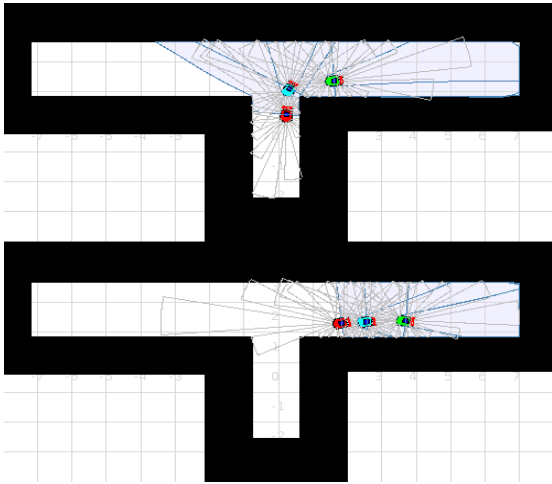
리더가 없는 군집 로봇은 제 각각 따로 움직이는 모습을 보인다. 군집 로봇 그룹이 목표 지점으로 제대로 이동을 하는 경우도 있지만 로봇 간의 충돌을 일으켜 이동을 하지 못하는 경우도 생긴다. 좌수법을 사용하였을 때보다 우수법을 사용하였을 때 로봇 간의 충돌이 많았다. 리더가 없는 그룹은 T자 모양의 지형의 좁은 지형에서 로봇 간의 충돌이 많이 일어나 그룹의 이동이 잘 이루어지지 않는다. 리더가 없는 그룹의 이동과 로봇 간의 충돌을 그림 3에서 볼 수 있다.



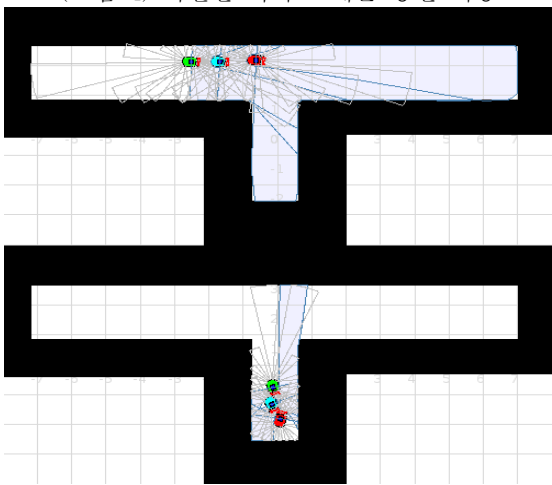
(그림 3) 리더가 없는 그룹의 이동

그림 3과 같이 리더가 없는 군집 로봇 그룹에서 로봇 간의 충돌을 줄이기 위해서 리더 선출 및 따라가기 알고리즘을 적용하였다. 리더가 없을 때와는 다르게 Follow 로봇들이 리더 로봇을 따라 일렬로 잘 정렬하여 이동하였다. 좌수법을 사용하였을 때는 군집 로봇 그룹이 일렬로 이동을 하여 목표 지점에 잘 도착을 하는데, 우수법을 사용하였을 때는 T자 모양의 움푹 파인 지형에서 Follow 로봇들이 리더 로봇의 좌표로 이동을 하려고 하기 때문에 로봇 간의 교착 상태가 발생하였다. 군집 로봇의 리더를 선출하여 리더를 따라 일렬로 이동하고 T자 모양의 움푹 파인 지형에서는 로봇 간의 교착 상태가 발생하는 모습을 그림 4에서 볼 수 있다.

군집 로봇의 리더를 따라 우수법으로 이동할 때 로봇 간의 교착 상태가 발생하여서 그룹이 임무 수행을 제대로 하지 못하였는데 리더 교체 알고리즘을 적용하여 문제를 해결하였다. 교착 상태가 발생하면 로봇 간의 포트 번호를 비교하여 우선순위를 다시 부여해 맨 뒤에 따라오던 로봇이 리더가 되고 나머지 로봇들은 Follow 로봇이 된다. 이렇게 리더를 교체하면 로봇들이 교착 상태에서 벗어나 제대로 이동을 하게 된다. 리더 교체를 통하여 교착 상태에서 벗어나 이동하는 모습은 그림 5에서 볼 수 있다.



(그림 4) 적절한 리더 교체를 통한 이동



(그림 5) 군집 로봇의 리더를 따라 이동

## 5. 연구 결과 및 결론

본 연구에서는 군집 로봇 그룹이 리더가 없이 이동할 때와 리더를 선출하여 이동할 때의 실험을 해보았다. 리더가 없이 이동할 때는 제 각각 이동하여 로봇 간의 충돌이 발생하였다. 로봇 간의 충돌을 피하기 위해 그룹에 리더 선출 알고리즘을 적용하였다. 리더가 있는 그룹은 좌수법을 사용하였을 때 일렬로 정렬하여 로봇 간의 충돌을 없앴다. 하지만 우수법에서는 로봇 간의 교착 상태가 발생하여 그룹이 움직이지 않았다. 교착 상태를 해결하기 위해 리더 교체 알고리즘을 적용하였다. 적절한 리더 교체로 로봇 간의 교착 상태를 없애고 그룹이 잘 이동할 수 있었다. 리더가 있을 때와 없을 때 그룹의 업무 수행 성공률은 표 3과 같다.

<표 3> 리더의 유무에 따른 그룹의 업무 수행 성공률

	좌수법	시간	우수법	시간
리더 무	47%	28초	27%	44초
리더 유	100%	15초	0%	.
리더 교체	.	.	100%	35초

리더가 없는 군집 로봇 그룹에서는 좌수법을 사용하였을 때 45%의 성공률을 보였고, 우수법을 사용하였을 때는

27%의 성공률을 보였다. 리더가 없을 때 임무의 성공률을 높이기 위해서 군집 로봇 그룹에 리더를 선출하여 실험하였다. 리더를 선출하여 Follow 로봇들이 리더를 따라가게 하는 알고리즘을 사용하였을 때는 좌수법에서 100%의 성공률을 보였지만 우수법에서는 0%로 성공률이 떨어졌다. 우수법의 0% 성공률을 개선하기 위해서 적절히 리더를 교체하는 알고리즘을 적용하여 실험하였다. 리더 교체로 인해 우수법에서 교착 상태를 없애고 100%의 성공률을 보였다. 리더 선출 및 교체 알고리즘을 통하여 로봇 간의 충돌과 교착 상태를 없애고 100%로 성공률을 높였다.

표 3에 따르면 좌수법이 우수법보다 나은 것으로 오해할 수 있는데, 이는 실험에 사용된 지형 때문이다. 그림 5의 지형을 180도 회전한다면 그 때는 우수법이 더 나을 수 있다.

본 논문에서는 리더 로봇 선출 및 교체 알고리즘을 이용하여 리더 로봇의 효과를 검증하였다. 군집 로봇 그룹의 리더를 선출하면 더 효과적으로 지형을 탐사할 수 있었다. 리더가 작동 불가능 상태에서는 리더를 교체함으로써 로봇 간의 교착 상태를 해결하였다. 리더 선출 및 교체 알고리즘을 통하여 군집 로봇 그룹의 업무 수행 능력이 향상되는 것을 볼 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] Giovanni Pini, Arne Brutschy, Mauro Birattari and Marco Dorigo, "Interference Reduction Through Task Partitioning in a Robotic Swarm", Technical Report TR/IRIDIA/2009-006, IRIDIA, 2009
- [2] 김상철, 이지원, 김정인, 신기현, "이동 특별 네트워크와 객체 엔트로피를 이용한 이동 로봇의 그룹 리더 선출 알고리즘", 제어자동화시스템 심포지엄(CASS 2006), 2006
- [3] Gerardo Beni and Jing Wang, "Swarm Intelligence in Cellular Robotics Systems", In Proceedings of the NATO Advanced Workshop on Robots and Biological Systems, 1989
- [4] Shervin Nouyan and Marco Dorigo, "Chain Based Path Formation in Swarms of Robots", Ant colony optimization and swarm intelligence: 5th international workshop, pages 120-131, 2006
- [5] Vito Trianni and Marco Dorigo, "Emergent Collective Decisions in a Swarm of Robots", Proceedings 2005 IEEE Swarm Intelligence Symposium, pages 241-248, 2005
- [6] Eric D. Taillard, "Ant Systems", Technical Report IDSIA-05-99, 1999
- [7] Craig Reynolds, "Boids: Background and Update", <http://www.red3d.com/cwr/boids/>, 1986
- [8] Douglas Blank, Deepak Kumar, Lisa Meeden and Holly Yanco, "The Pyro toolkit for AI and robotics", AI Magazine Vol27(1), pages 30-50, 2006