

# 멀티 쓰레딩 방식을 이용한 군집 로봇의 중앙 제어 시스템 구현

전봉기

신라대학교 컴퓨터공학과

## Implementation of the Centralized Control System for Swarm Robots using Multi-Threading method

Bong-Gi Jun

Dept. of Computer Engineering, Silla University

**요약** 이 논문에서는 여러 대의 로봇들이 협력하여 미로를 탈출하는 방법을 제안한다. 논문에서 사용된 교육용 로봇들은 ZigBee로 서로 통신할 수 있으나, 로봇들의 연산기능이 낮아 서로 협력하여 문제를 해결할 수 없다. 로봇의 모션제어로 통로를 직립 보행하도록 하였으며, 절대거리 센서를 이용하여 교차로와 막다른 골목을 인식하면 중앙제어 시스템에 전송하여 명령을 받는다. 여러 로봇들이 동시에 미로에 들어가서 효과적으로 미로를 탐색하도록 하는 미로 탐색 알고리즘을 수정하였다.

**주제어** : 주행로봇, 군집로봇, 로봇 협력, 인간형 로봇, 미로탐색

**Abstract** A maze-escaping method with cooperating work of robots alongside one another will be proposed in this paper. Educational robots can communicate each other using Zigbee; however, they can't solve problems together due to their lack of arithmetic function. The robots walk upright controlled by a motion program; furthermore, they recognize an intersection or a dead-end in the use of distant sensors with sending data and receiving commands from the central control system. The maze-search algorithms were modified so that all robots can effectively navigate the maze.

**Key Words** : Robotic Navigation, Swarm Robots, Robotic Cooperation, Humanoid robots, Searching Maze

### 1. 서론

최근 저출산, 고령화, 환경오염, 재난재해 등으로 인해 제조업 부흥, 사회문제 해결, 창조경제 구현을 위해 효과적인 수단으로 지능형 로봇산업의 육성이 주목을 받고 있다. 해외 주요국 지능형 로봇산업의 동향과 육성 정책

세계 지능형 로봇시장 규모는 2011년 기준 전년대비 35.1% 증가한 약 127억 달러로 추정된다. 정부는 로봇산업을 체계적으로 지원하여 세계시장 점유율 15%, 총생산 30조원, 수출 200억 달러, 고용창출 효과 10만명 수준으로 끌어올려 세계 3대 지능형 로봇국가로 부상할 계획을 가지고 있다.

Received 29 March 2014, Revised 3 May 2014  
Accepted 20 June 2014  
Corresponding Author: Bong-Gi Jun  
(Dept. of Computer Engineering, Silla University)  
Email: bgjun@silla.ac.kr

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 1738-1916

지능형 로봇에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 상용화도 역시 빠른 속도로 진행되고 있다. 건설 로봇, 국방로봇, 보안로봇 분야에서는 다수의 로봇을 활용하여 작업 효율성을 높일 수 있는 대표적인 분야이다. 최근 들어 사회 안전을 유지하기 위하여 광범위한 지역을 효과적으로 경비 및 탐색 할 수 있는 군집 로봇 시스템과 기존은 보안 시스템과 연동하여 사회의 안전을 목적으로 한 시스템이 각광받고 있다[1].

본 논문에서 사용한 인간형 로봇은 자이로 센서로 보행 중 자세 보정을 하며, 절대 거리 센서를 3개 부착하여 미로의 벽을 인지한다. 노트북으로 구현한 중앙제어 시스템과 ZigBee 통신을 이용하여 여러 대의 로봇에 동시에 명령을 주는 방식으로 로봇들이 서로 협력하여 과제를 수행한다.

본 논문에서의 응용 대상은 군집로봇의 미로 탈출이다. 기존의 관련연구 [2, 3, 4]와 달리 본 논문에서는 직립 보행하는 인간형 로봇의 특징[5]을 고려한 협력 작업을 연구하였다. 연구는 단계별로 진행하였으며 우선 하나의 로봇이 미로를 탈출하는 알고리즘을 개발하여 로봇의 센서 활용과 지능 부여에 대한 지식을 습득 후, 여러 로봇들이 동시에 미로에 들어가서 서로 협력하여 미로를 탈출하는 방법을 찾았다.

로봇들은 보이지 않는 미로를 탐색하며 지도를 만들기 위해 이동과 회진 같은 정보를 중앙제어시스템에 전송한다. 중앙제어시스템은 수신된 데이터를 분석하여 미로 탈출을 위한 경로를 찾는다. 여러 대의 로봇이 동시에 미로를 탐색하기 때문에 서로 충돌이 발생할 수 있으므로 미로를 블록 단위로 계산하여 서로 같은 공간이 있지 못하도록 하였다. 서로의 이동 경로가 마주 보는 경우에는 우선순위가 높은 로봇에게 양보하도록 하도록 알고리즘을 만들었다.

본 논문에서 가장 중요한 알고리즘은 미로 탐색 알고리즘이다. 로봇들이 서로 다른 경로로 탐색하도록 하여 동시에 여러 경로를 탐색하여 출구를 최대한 빨리 찾는 것이다. 이를 위해 각 로봇의 이동을 쓰레드로 구현하였으며 자신의 이동 경로와 다른 로봇의 이동 경로를 비교하여 미로를 탐색하도록 탐색 알고리즘을 수정하였다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 지능형 로봇의 협동작업과 위치 추위 기술을 소개하고, 3장에서는 로봇의 기능과 중앙제어 시스템의 역할을 먼저 기술하고,

미로에 여러 대의 로봇이 동시에 탐색했을 때 발생하는 문제점들을 설명한다. 4장에서는 3장에서 발생하는 문제점을 해결하며 협력 작업으로 효과적으로 미로를 탐색하는 알고리즘을 기술한다. 로봇의 직진, 좌/우회전, U턴 시에 필요한 시간비용이 다르다. 실제로 로봇이 미로에서 주행하는 것을 고려하여 충돌 방지 알고리즘을 적용하였다. 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 연구를 기술한다.

## 2. 관련연구

### 2.1 지능형 로봇의 협동작업

지능형 로봇은 외부환경을 인식하고 스스로 상황을 판단하여 자율적으로 동작하거나 인간과 상호작용을 하는 로봇을 의미한다. 기존의 제조용 로봇과는 달리 여러 종류의 센서가 탑재되어 임무에 적합하도록 다양한 알고리즘이 적용되어 연구 개발되고 있다[1].

군집 로봇의 공간 탐색을 다룬 관련연구 [2, 3]에서는 군집 로봇의 자율 주행에서 충돌 회피에 관한 내용을 다루고 있다. 두 개의 구동륜을 사용하는 이동 로봇으로 군집 로봇 시스템을 구축하였다. 로봇들이 충돌하지 않고 이동하는 것을 다루고 있으며 본 논문의 협동 작업과는 다르다.

로봇협동을 통한 미로탈출 문제해결을 다룬 관련연구 [4]에서는 바퀴가 있는 레고 마인드스톰 로봇을 사용하였으며 우선탐색과 역할 바꿈 문제를 다루고 있다. 관련 연구에서는 비교적 단순한 미로에서 마스터 로봇이 경로를 탐색하고 슬레이브 로봇이 따라 가면서 마스터 로봇이 기능을 상실하면 슬레이브 로봇이 역할을 이어받아 미로를 탈출하는 것을 연구하였다.

본 논문에서는 교육용 로봇으로 판매되는 바이올로이드 프리미엄이란 이름의 휴머노이드 로봇을 조립하여 사용하였다. 인간의 모습을 한 지능형 로봇으로 바이올로이드는 자이로 센서로 보행 중 자세를 보정하여 직립 보행이 가능하며, 절대 거리 센서로 장애물을 파악할 수 있다.

관련연구 [2, 3, 4, 5]와 달리 탈출해야할 미로가 복잡하여 여러 대의 로봇이 각기 영역을 나누어 탐색하여 중앙제어장치의 명령에 따라 미로를 탐색한다. 본 논문에서는 여러 대의 로봇이 미로에 들어갔을 때 미로에서 탈출을 위한 협동 작업에 관한 문제점과 해결 방법을 연구

하였다.

### 2.2 로봇의 위치 인식

현재 상용화되어 있는 위치 측위 기술은 기존 무선통신망을 활용하는 무선 측위 기술과 GPS를 이용하는 방법 등으로 진행되고 있다. 기지국에서 단말기로 들어오는 신호의 도래각이나 전달 시간을 이용한 무선 측위 기술은 오차가 많기 때문에 자율주행이나 위치기반서비스에는 GPS를 이용한다. 본 논문에서는 실내에서 동작하는 환경이면서 로봇에 GPS 모듈이 없기 때문에 사용할 수 없다.

실내측위를 위해서 ZigBee나 UWB와 같이 별도의 장치를 설치하여 위치정보를 습득하는 방법[6]을 사용할 수 있으나, 본 연구에서는 고려하지 않았다. Wi-Fi 방식을 이용한 측위는 IEEE 802.11 a/b/g에 의한 WLAN을 이용하는 방식[7]으로, Wi-Fi 방식에 의한 측위 방식은 핑거프린팅이 대표적이다. 하지만 이 방식은 사전에 전파지도를 작성해야 하는 단점이 있어, 미로탐색에는 사용할 수 없다.

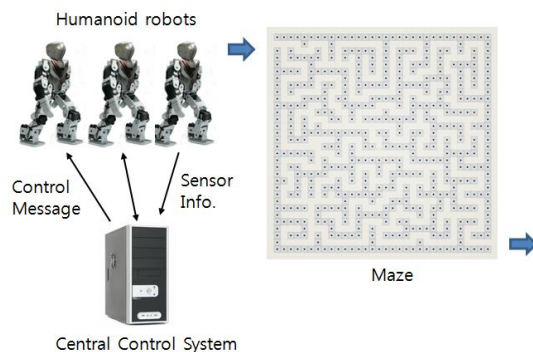
로봇은 인간과 달리 이동 속도가 일정하다. 회전은 항상 제자리에서만 하며 미로의 블록의 크기는 동일하다. 서술된 제약조건을 활용하여 시간함수로 로봇이 위치한 블록을 계산한다. 로봇은 일정한 시간간격마다 상태를 전송하고 중앙제어 시스템은 이를 바탕으로 미로를 파악하고 로봇들의 위치를 관리한다.

### 3. 인간형 로봇과 중앙제어 시스템

로봇은 자율성에 따라 조종형, 자동형, 자율형으로 구분할 수 있다. 교육용 로봇의 기능이 자신과 주위 환경의 상태를 인식하고 자율적으로 행동할 만큼의 수준이 되지 못함으로 중앙 제어 컴퓨터를 사용하여 여러 대의 로봇을 ZigBee 통신을 이용하여 제어할 것이다.

로봇은 기본적으로 한 블록씩 주행하는 것으로 미로를 구성하였다. 로봇은 센서를 통해 벽을 인지할 수 있고 자율적으로 보행할 수 있다. 하지만 자신의 이동경로나 위치를 판단할 수 없기 때문에 서로 협력할 수 없다. 만약 미로에서 탐색 중 마주 보게 되면 벽인지 로봇인지 구분할 수 없다.

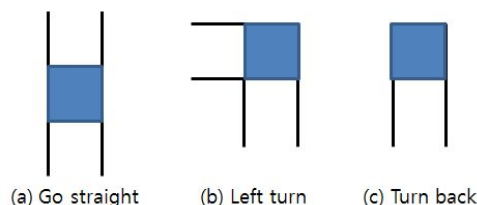
중앙제어 컴퓨터를 사용하여 여러 대의 로봇을 ZigBee 통신을 이용하여 제어한다. 이를 위해 로봇은 일정한 시간간격마다 중앙제어 시스템으로 자신의 습득한 정보를 보내고, 이동에 대한 명령을 받는다.



[Fig. 1] Cooperative work environment for the robot to escape the maze

본 논문에서 각 지능형 로봇들이 독립적으로 해야 할 일은 미로를 걷는 것이다. 로봇은 벽에 부딪히지 않고 걸을 수 있어야 하고 막힌 길에서 다시 돌아올 수 있는 기능이 있어야 한다. 이를 위해 행동제어와 모션 프로그래밍을 수행하였다. 로봇이 벽에 부딪히지 않고 걷기 위해 거리센서를 로봇의 좌우측과 전방으로 3개를 부착하였다. 로봇의 기능은 다음과 같다.

- 1) 로봇의 동작 제어
  - 이동 기능 : 전진, 후진
  - 회전 기능
- 2) 센서를 통한 장애물 파악
- 3) 중앙 서버와의 통신 기능



[Fig. 2] Type of a robot navigation

로봇은 벽 사이를 충돌 없이 걷기 위해 얼굴, 양쪽 어깨에 하나씩, 총 3개의 절대 거리 센서를 부착하였다. 어

께에 부착된 센서를 통해 자율적으로 항상 벽 사이의 가운데로 걷도록 프로그래밍 되었다. 얼굴에 부착된 센서로 [Fig. 2]와 같은 3가지 유형의 이동을 한다.

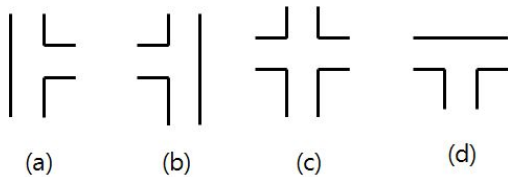
[Fig. 2(a)]는 어깨의 센서로만 벽을 인지한 경우로 계속 걷는다. [Fig. 2(b)]에서 얼굴의 센서로 벽을 인지하면 양쪽 어깨의 센서로 좌회전, 우회전을 선택한다. 그리고 회전 중에 벽과의 충돌을 방지하기 위해 블록의 중앙에서 90도 회전한다. [Fig. 2(c)]에서는 모든 센서에서 벽을 인지한 경우로 제자리에서 180도 회전하여 돌아 나온다.

- 중앙제어 컴퓨터의 역할은 다음과 같다.
- 1) 전송받은 자료로 미로를 만들어 간다.
  - 2) 로봇에게 회전에 관한 명령을 전달한다.
  - 3) 로봇들이 같은 블록 안에서 서로 충돌하지 않도록 블록 진입 전에 대기 명령을 전달한다.
  - 4) 로봇이 쓰러지면 진행방향을 다시 전달한다.

#### 4. 협력작업을 통한 로봇 주행 알고리즘

##### 4.1 로봇의 주행 알고리즘

로봇의 주행 알고리즘은 마이크로 마우스 주행 알고리즘과 같다. 목표를 찾아가는 알고리즘에서 깊이 우선 탐색(DFS)을 기반으로 하여 우수법을 사용하였다. 본 논문에서는 3대의 로봇이 동시에 미로를 탐색하기 때문에 깊이 우선 탐색(DFS)을 너비 우선 탐색(BFS)과 비슷하게 수정하였다.



[Fig. 3] Intersections of the maze

[Fig. 3]과 같이 교차로를 만나면 로봇은 중앙제어 컴퓨터에 보고하고 명령을 기다린다. 일반적인 마이크로 마우스는 좌수법이나 우수법으로 자신의 회전 방향을 결정할 수 있으나, 본 논문에서는 여러 대의 컴퓨터가 각기 다른 경로로 이동할 수 있도록 중앙제어 컴퓨터가 조정하기 때문에 로봇은 교차로에서 명령을 받아 이동한다.

<Table 1> Robot navigation algorithm

```

1: Set maze start as the current cell;
2: Push current cell on the stack;
3: while The current cell is not the maze end do
4:   Set the current cell by peaking on the stack;
5:   Mark the current cell visited and on the path;
6:   Set unvisited and reachable neighbors to choices as a linked list
7:   if choices is not empty then
8:     Push the neighbor onto the stack;
9:     Choose one direction from choices;
10:    Change the current cell to a selected neighbor;
11:  else if the current cell has visited neighbors by another robots then
12:    Consistently choose an visited a neighbor;
13:    Push the neighbor onto the stack;
14:  else
15:    Set the current cell not on the path;
16:    Pop the current cell from the stack;
17:  end
18: end
19: end
20: return The path that reached the exit
    
```

[Fig. 3]은 미로에서 만날 수 있는 4가지의 교차로로 [Fig. 3(a)]에서 첫번째 로봇은 우수법으로 오른쪽으로 이동하고, 두 번째 로봇은 직진한다. [Fig. 3(c)]에서 첫 번째 로봇은 우회전, 두 번째 로봇은 직진, 세 번째 로봇은 좌회전한다. 이러한 로봇 주행의 특징을 고려한 각 로봇의 주행 알고리즘은 <Table 1>과 같다.

##### 4.2 병렬 로봇 주행의 예

S			27							
1			26,28	29	30	31	32			
2	3	4	5,6							
			6,24							
10,20	9,21	8,22	7,23							
11,19										
12,18	13,17	14,16	15							F

[Fig. 4] The navigation path of Robot#1

[Fig. 4]에서는 로봇의 탐색 경로를 설명하기 위해 로

봇이 지나간 경로에 번호를 부여하였다. 로봇이 하나의 블록을 지나는 시간을 T라 하고, 설명을 위해 회전에 대한 비용이 없다고 가정하였다. [Fig. 4]와 같이 로봇 #1은 우수법으로 탐색하여 이동한다. A지점에서 우회전하여 막다른 골목으로 진입하여 다시 돌아온다.

	S											
	2			7	8	9	10	B	32	33		
	3	4	5	6					12,30		34	
							21		13,29		35	
							20,22		14,28		36	
							19,23		15,27		37	
							18,24	17,25	16,26		38	F

[Fig. 5] The navigation path of Robot#2

[Fig. 5]에서와 같이 로봇 #1이 먼저 미로에 들어오고 T시간 뒤에 로봇 #2가 미로에 들어온다. 로봇 #2는 A지점에서 좌회전을 한다. 우측 경로는 로봇 #1이 지나간 경로이기 때문이다. 로봇 #2가 다시 우회전하여 직진하다 B지점에서 우회전한다. 막다른 골목을 돌아 다시 B지점으로 온 로봇은 목표지점을 가장 먼저 찾게 된다.

4.3 따라가는 로봇의 경로 선택 문제

30	31	B										
												F

(a) Path of Robot#1

9	10	B							32	33		
								12,30			34	
							21		13,29		35	
							20,22		14,28		36	
							19,23		15,27		37	
							18,24	17,25	16,26		38	F

(b) Path of Robot#2

[Fig. 6] The problem of the parallel navigation of robots

[Fig. 4]에서와 같이 로봇 #1이 막다른 골목을 빠져나와 로봇 #2의 경로를 따라 주행하다가 교차로인 B지점에서 선택을 해야 한다. 우측과 직진 모두 로봇 #2가 지나간 경로이기 때문에 우수법에 따라 우회전 할 수 있지만,

로봇 #2가 T11에서 T31까지 주행한 경로는 막다른 골목으로 로봇 #1이 B지점에 도착했을 때 진입하지 말아야 한다. 이를 방지하기 위해 막다른 골목을 표시하는 DEAD\_END[] 배열로 다른 로봇들이 진입하지 못하도록 하였다. 막다른 골목으로 가는 경로를 표시하는 알고리즘은 다음과 같다.

<Table 2> The algorithm for marking the dead-end path

```

1: if the current cell dose not has reachable neighbors then
2: Set the current cell by peaking on the stack;
3: Set the destination cell by peaking on the intersection
   stack;
4: while the stack is not empty do
5:   if the current cell not equals the destination cell then
6:     Mark the current cell on the dead-end path;
7:     Pop the current cell from the stack;
8:   else
9:     Pop the current cell from the intersection stack;
10:    break;
11:  end
12: end
13: end
    
```

<Table 2>에서와 같이, 로봇이 막다른 골목에 다다른 뒤 돌아와야 한다. 이때 되돌아가는 시간이 많이 걸리고 도중에 다른 로봇이 이 골목으로 진입하게 되면 마주치게 되기 때문에 DEAD\_END[] 배열에 표시한다. 표시하는 알고리즘은 이 골목이 지나 온 경로를 스택을 탐색하여 교차로를 만나기 전까지를 골목으로 처리한다.

4.4 로봇의 충돌 방지 문제

	S											
	3											
	4	5	6	A								
				8								
	12	11	10	9								
	13											
	14	15	C									F

[Fig. 7] The navigation path of Robot#3

로봇 #3이 세 번째로 미로에 진입하게 되면 A지점에서 우회전하여 로봇 1을 따라가게 된다. 하지만 로봇 1은 막다른 골목이라 돌아오게 되고, C지점에서 마주치게 된다. 로봇이 마주치면 우선순위가 낮은 쪽이 돌아간다. 로봇 #1은 막다른 골목에서 돌아오는 로봇으로 우선순위가 높다.

루프(Loop)가 있는 미로에서는 로봇들이 서로 마주칠 수 있다. 이런 경우는 우선순위가 같기 때문에 모두 돌아간다.

실험에서 좌/우회전이나 U턴이 회전시간이 많기 때문에 다른 로봇이 기다리는 현상이 발생하였다. 충돌을 방지하기 위하여 블록을 이동하기 전에 이동을 허락받도록 하였다. 모니터는 동기화 블록(Synchronized block)으로 구현되어 락(lock) 개념이 사용된다. 로봇은 이동이 거절되면 T시간만큼 wait() 한 후에 다시 경로를 탐색한다.

## 5. 결론

여러 대의 지능형 로봇들이 협동 작업을 통해 미로를 효과적으로 탈출하기 위한 환경을 구축하고 중앙제어 시스템이 로봇을 제어하는 프로그램을 구현하였다. 미로에 여러 대의 로봇이 동시에 탐색했을 때 서로 영역을 나누어서 탐색을 하면 빠른 탐색이 가능하지만 병렬 처리로 인하여 해결해야 할 문제점들이 발생하였다. 본 논문에서는 로봇들 간의 작업 구간에 따라 우선순위를 부여하여 충돌을 회피하고 로봇들이 같은 경로를 여러 번 탐색하는 것을 방지하기 위한 알고리즘을 제안하였다.

또한 실제로 로봇이 미로에서 주행할 때, 직립보행 로봇의 직진, 좌/우회전, U턴 시에 필요한 시간비용이 다르다는 점을 알게 되었다. 이를 고려하여 로봇끼리 충돌 방지하는 알고리즘을 적용하였다. 향후 연구로는 매우 큰 미로에서 아주 많은 로봇이 협동 작업을 할 경우에 필요한 효과적인 미로 탈출 문제를 다루고자 한다.

## REFERENCES

[1] W. S. Eom, Y. K. Kim, J. H. Lee, G. H. Choi and E. S. Sim, "Development Trend of Intelligent

Robots," Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, Vol. 11, No. 1, pp. 150-160, 2013.

[2] M. H. Tak and Y. H. Joo, "Behavior Control Algorithm for Space Search Based on Swarm Robots," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 60, No. 11, pp. 2152-2156, 2011.

[3] S. Nuno, "Implementation of Autonomous Robotic Cooperative Exploration and Goal Navigation," DSIE'11 - 6th Doctoral Symposium on Informatics Engineering, 2011.

[4] K. C. Hong, "A Study of Solving Maze Escape Problem through Robots' Cooperation," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 11, No. 11, pp. 4167-4173, 2010.

[5] K. Nishiwaki, J. Chestnutt and S. Kagami, "Planning and Control of a Humanoid Robot for Navigation on Uneven Multi-scale Terrain," Experimental Robotics, Springer Tracts in Advanced Robotics, Vol. 79, pp 401-415, 2014.

[6] H. S. Ahn, J. Y. Lee, W. P. Yu and K. S. Han, "Indoor Localization Technique for Intelligent Robotic Space," Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 22, No. 2, 2007.

[7] M. Yousief, "HORUS: A WLAN-based indoor location determination system," Dissertation, University of Maryland, 2004.

## 전 봉 기(Jun, Bong Gi)



- 1991년 2월 : 부산대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 1993년 2월 : 부산대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2003년 8월 : 부산대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
- 2003년 9월 ~ 현재 : 신라대학교 컴퓨터공학과 교수

- 관심분야 : 데이터베이스, 빅데이터, 스마트융합
- E-Mail : bgjun@silla.ac.kr