자율 다개체 모바일 로봇 시스템의 동적 장애물 회피 구현

김 동 원, 이 중 호

Implementing Dynamic Obstacle Avoidance of Autonomous Multi-Mobile Robot System

Dong W. Kim, Cho-Ho Yi

요 약

자율적인 다개체 모바일 로봇 시스템에 관해 경로 계획과 충돌회피는 중요한 기능이며 동시에 협력과 협동적으로 주어진 일을 수행하는데 필요한 기능이다. 본 논문에서는 이러한 중요하고도 도전적인 문제를 다룬다. 제안된 방법은 포텐셜 필드 방법과 퍼지로지 시스템에 기반을 두고 있다. 첫째로, 전역경로 계획은 포텐셜 필드를 이용하여 로봇이 목적지까지 가는데 비용을 최소화할 수 있는 경로를 선택한다. 그리고 나서 지역경로 계획은 퍼지로지 시스템을 이용하여 정적이거나 동적인 장애물과의 충돌을 피하기 위해 전역경로에서 경로를 변경시킨다. 본 논문에서는 각각의 로봇은 독립적으로 목적지를 선택하며 동시에 다른 로봇은 동적인 장애물로 고려한다. 또한 장애물의 움직임을 예측할 필요도 없다. 이러한 과정은 각각의 로봇이 해당되는 목적지를 찾을 때 까지 지속된다. 이 방법을 테스트하기 위해 자율 다개체 로봇 시뮬레이터(AMMRS)를 개발했으며 시뮬레이션과 실험기반의 결과물을 제공한다. 본 결과는 다개체 모바일 로봇 시스템에 대하여 경로계획과 충돌회피 전략이 효율적이며 유용하다는 것을 보인다.

▶ Keywords : 자율, 다개체 모바일 로봇, 전역경로, 지역경로

Abstract

For an autonomous multi-mobile robot system, path planning and collision avoidance are important functions used to perform a given task collaboratively and cooperatively. This study considers these important and challenging problems. The proposed approach is based on a potential field method and fuzzy logic system. First, a global path planner selects the paths of the robots that minimize the cost function from each robot to its own target using a potential field. Then, a local path planner modifies the path and orientation from the global planner to avoid collisions with static and dynamic obstacles using a fuzzy logic system. In this paper, each robot

• 제1저자 : 김동원 • 교신저자 : 김동원

• 투고일 : 2012. 04. 17, 심사일 : 2012. 05. 07, 게재확정일 : 2012. 08. 19.

* 인하공업전문대학 디지털전자과(Dept. of Digital Electronics, INHA Technical College)

independently selects its destination and considers other robots as dynamic obstacles, and there is no need to predict the motion of obstacles. This process continues until the corresponding target of each robot is found. To test this method, an autonomous multi-mobile robot simulator (AMMRS) is developed, and both simulation-based and experimental results are given. The results show that the path planning and collision avoidance strategies are effective and useful for multi-mobile robot systems.

▶ Keywords : Autonomous, Multi-mobile robot system, global, local path planner

I. 서 론

로봇의 자율적 이동을 위해서는 현재지점에서 목표지점까지를 연결하는 최적 경로에 대한 계획이 필수적이다. 최적 경로를 계획하는 단계에서 주행 중 장애물과의 충돌없이 최단 거리로 이동 할 수 있도록 경로를 설정하는 것은 매우 중요한 기능이다. 여기서, 장애물의 특성으로 정적이거나, 혹은 동적으로 움직이거나 또는 동시에 두 가지 모두를 고려해야 하는 환경에 놓일 수 있다. 궁극적으로 이동 로봇과 장애물 사이에 충돌 없이 진행할 수 있는 경로가 최적 경로가 된다. 따라서 충돌을 회피하기 위한 다양한 방법이 다양한 연구자에 의해 지속적으로 연구 개발되고 있다. [1]에서는 경로계획과 관련된 포괄적인 주제로 다양한 기술에 대한 개론을 제공하였으며, [2]에서는 장애물과 가중치가 주어진 지역에 대하여 이동하는 로봇의 탐색방법과 관련된 최적의 경로 계획알고리즘이 제안되었다. 가장 적은 비용을 지닌 경로를 찾는 것으로 일반적인 환경에서 단일 이동 로봇의 강인한 경로 계획법에 대한 알고리즘이 [3]에서 제안되었다. 장애물에 대한 포텐셜 필드를 이용하여 3차원 환경속에서 일반적인 움직임 문제에 대한 경로 계획 알고리즘은 [4]에서 제안되었다. 미지의 환경에서 단일 로봇의 주행중 동적인 장애물과의 회피를 연구한 내용은 [5]에서 제안되었으며, 벡터와 거리에 대한 함수를 이용하여 충돌은 피하고 장애물은 감지할 수 있는 연구가 [6]에서 제안되었으며, 정전기적인 포텐셜 필드와 퍼지로직을 이용하여 단일 로봇의 경로계획 문제에 대한 연구가 [7]에서 진행되었다. 그러나 이와 같은 대부분의 경로계획 연구는 단일 개체 및 단일 로봇에 대하여 장애물로 이루어진 환경에서 최적의 충돌회피 경로를 찾는 모션계획을 다루고 있다. 따라서 주어진 환경이 복잡하고 다수의 모바일 로봇에 대한 복합적이고 상대적인 연관성을 고려한다면 경로계획은 많은 어려움에 봉착하게 된다.

다양한 지능 알고리즘의 출현과 센서, 제어 시스템, 경로 계획 모듈 및 컴퓨터 비전 시스템의 빠른 발전에 힘입어, 다중 모바일 로봇 시스템은 탐색, 구조, 방법, 및 협동을 통한 탐험등 다양한 실제 환경에 응용되어 왔다 [8]. 다중 로봇 시스템에 대하여 점점 증가되는 대중성과 관심으로 인하여 이러한 시스템을 주제로 하여 실제의 인간의 삶 속으로 응용하거나 가능성을 고려한 연구가[9] 진행되고 있으나 다양한 기술적인 요소들이 아직까지 해결되지 못하고 있다. 그 중에서 동적인 장애물과 혹은 이동하는 다른 로봇과 동일한 환경에서 움직일 때 충돌하지 않는 경로를 계획하는 것은 다중 이동 로봇과 관련된 연구주제 중에서 여전히 중요한 내용이며, 높은 신뢰도를 요하는 이슈가 된다. 각각의 로봇 모션은 다른 로봇의 이동과 움직이는 장애물의 행태 및 이동성과 관련된 복잡한 환경으로 인하여 많은 제약을 받기 때문이다.

이와 같은 경향에 발맞춰 장애물과 충돌없이 자율적으로 움직이는 다중 모바일 로봇에 대한 연구가 [10-11]에서 진행되고 있다. 장애물과 충돌없이 자율적으로 움직이는 다중 모바일 로봇을 위해 포텐셜 필드 방법과 퍼지 규칙을 이용한 경로계획 알고리즘이 연구되었다. 최소한의 비용으로 목적지까지 가기 위한 전역 경로를 위해 포텐셜 필드 방법과 장애물과의 충돌상황을 피하기 위해 퍼지 규칙기반 시스템이 지역 경로 계획을 위해 사용되었다. 하지만 시뮬레이션 기반의 결과만을 도출하였으므로 물리적인 다중로봇을 통한 구체적인 실험결과를 구성하지 못하였다. 따라서 실질적인 효율성과 유용성을 확인하기위한 추가적인 연구가 필요하리라 사료된다. 따라서 본 논문에서는 기존 연구에서 누락된 자율 다개체 모바일 로봇의 구현에 초점을 맞춘다. 다중 로봇과 관련하여 최적의 장애물 회피 경로를 계획하고 이를 시뮬레이션 한 후 구체적인 모바일 로봇에 적용하여 이의 결과를 살펴보기로 한다. 본 논문에서 나타내고자 하는 다개체 모바일 로봇 시스템의 배경과 기여도를 정리하면 다음과 같다.

- 과거에 비해 현재의 로봇은 고려해야 할 주변 상황이 더욱

복잡해 졌고, 단일 로봇이 진행했던 단순한 작업은 점점 더 어려워져서 다른 로봇과의 연함이나 공동작업이 필요함.

- 주위 상황이나 움직이는 장애물, 또는 주변에 있는 다른 로봇과의 상호작용을 고려하여 움직임 경로를 계획해야 함.
- 고수준의 컴퓨팅 능력을 다수의 모바일 로봇에 적용하기에는 경제적인 비용이 너무 큼.
- 복잡한 경로계획 방법을 고려하지 않고도 단순한 포텐셜 필드 방법과 15개의 퍼지 규칙만으로 다수의 모바일 로봇을 원활하게 운영할 수 있음.
- 시뮬레이션을 통해 제한된 알고리즘의 유용성을 확인하였으며 실제적인 로봇을 구현하여 시뮬레이션에서 진행된 다양한 결과를 직접 증명하였음.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 자율 다개체 모바일 로봇 시스템의 환경과 충돌회피 알고리즘을 간단히 살펴본다. 3장에서는 시뮬레이션 및 하드웨어 구성에 대하여 기술하고 이에 기반을 둔 실험 결과를 살펴본다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺고 마무리 한다.

II. 자율 다개체 모바일 로봇 시스템

본 장에서는 다개체 모바일 로봇 시스템 및 장애물과의 충돌 없이 어떻게 목표지점까지 움직일 수 있는 지 충돌회피 알고리즘이 묘사된다.

1. 모바일 로봇 시스템

다개체 모바일 로봇 시스템은 다양한 환경하에서 다른 로봇과의 유연한 협동을 통해 주어진 일을 잘 수행할 수 있도록 설계되어야 한다. 센서를 이용하여 주위 환경에 대한 정보를 얻을 수 있어야 하므로 센서를 통한 데이터 취득 시스템이 로봇에 장착되어야 한다. 그림 1에서 실험에 사용된 모바일 로봇의 외형을 살펴볼 수 있다.

그림 1. 실험에 사용된 모바일 로봇.
Fig. 1. Mobile robot used in an experiment.

그림 2. 로봇에 장착된 8개의 IR 센서.
Fig. 2. Eight IR sensors mounted on the robot.

모바일 로봇의 구성은 다음과 같다.

- DC 모터로 구동되는 2개의 바퀴를 가지고 있음.
- LCD는 로봇의 상태를 외부에 알려주며, 수행하는 작업의 상태를 확인할 수 있음.
- 8개의 적외선 센서(IR sensor)가 로봇의 밑판에 장착되었으며, 3개는 장애물과의 거리를 위해, 2개는 진행 방향을 위해, 나머지 3개는 노면의 상태를 파악하기 위해 사용됨. 로봇에 장착된 센서는 그림 2에서 확인할 수 있다.

각각의 센서는 송수신 기능을 할 수 있도록 짝으로 구성되어 있으며 반송되는 신호를 감지한다. 여기서, 물체와의 거리 r_0 는 에코시간 t_0 로부터 사운드의 속도 c 를 이용하여 식(1)과 같이 계산할 수 있다.

$$r_0 = \frac{ct_0}{2} \quad (1)$$

2. 충돌회피 알고리즘

본 논문에서는 장애물과 충돌없이 자율적으로 움직이는 다중 모바일 로봇을 위해 [10-11]에서 연구된 잘 알려진 포텐셜 필드 방법과 퍼지 규칙을 이용한 경로계획 알고리즘을 이용하였다. 최소한의 비용으로 목표지까지 가기 위한 전역 경로를 위해 포텐셜 필드 방법[12-13]이 이용되었으며, 충돌 상황을 피하고 안정적인 진행방향을 설정하기 위해 퍼지 규칙 기반 시스템[14]이 지역 경로 계획을 위해 사용되었다.

포텐셜 필드 방법에서 로봇은 힘이 미치는 공간에서 힘의 반대방향으로 움직이는 미립자로 간주되며, 장애물과 로봇 사이의 인위적인 반발력을 만들어 서로간의 충돌을 피할 수 있도록 한다. 즉 인위적인 힘이 미치는 영역에서 로봇을 한 점으로 고려한다. 여기서, 한 점에 힘을 가하고 있는 유도된 인위적인 힘은 장애물과 앞쪽에 위치한 목표물로부터 로봇을 멀리 이동시킨다. 목표로 하는 위치는 끌어들이는 힘 F_{att} 인력을 만들어 내는 반면, 장애물은 F_{rep} 척력을 생성한다. 매시간 t_i 에서, 로봇의 움직임은 $F_{tot}(q_{ti}) = F_{att}(q_{ti}) + F_{rep}(q_{ti})$ 두 가지 힘

의 합에 의하여 유기된 힘의 방향으로 진행되게 계산된다 [13]. 본 논문에서는 로봇은 오직 한 점이며 포텐셜 필드는 2차원 (x, y) 이라고 가정하며, 식 (2)와 같이 표현된다.

$$F_{att}(q_{ti}) = k_{att}n_{q_{target}}$$

$$F_{rep}(q_{ti}) = \begin{cases} k_{rep} \sum_j \left(\frac{1}{d(q_{ti}, p_j)} - \frac{1}{d_0} \right) n_{p_j}, & \text{if } d(q_{ti}, p_j) < d_0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서, k_{att} 와 k_{rep} 는 각 힘에 대한 상수들이며 장애물에 대하여 영향이 미치는 거리는 d_0 , 현재 로봇의 위치는 q_{ti} , $n_{q_{target}}$ 와 n_{p_j} 는 현재 로봇의 위치로부터 목적지까지의 위치와 장애물에 대한 위치를 각각 나타내는 유니터리 벡터이다. 포텐셜 필드에 대한 구체적인 내용은 [10-13]에서 자세히 확인할 수 있다.

퍼지로직 시스템과 같은 규칙기반 알고리즘은 실제 환경에서의 제어방법과 다중로봇 환경에서 로봇을 제어하는 형태로 일반적이다. 본 논문에서는 알려지지 않은 장애물(정적이거나 혹은 움직이는 장애물 또는 다른 움직이는 로봇)을 가진 충돌 회피 환경을 위해 퍼지 규칙기반 알고리즘이 응용되었다.

센서를 통한 데이터 정보는 로봇과 장애물 사이의 거리와 각도이며, 이는 서로 다른 두 개의 퍼지 변수로 표현 가능하다. 거리와 관련된 퍼지변수는 퍼지 규칙기반 시스템의 입력값으로 사용되며 3개의 서로 다른 값: "Far", "Near", "Very Near" 을 가진다. 이 값들은 퍼지 멤버십 함수로 정의된다. 다른 퍼지변수인 각도는 5개의 서로 다른 값: "Left Big", "Left Small", "Zero", "Right Big", "Right Small"을 가지며 퍼지 시스템의 또 다른 입력값으로 사용된다. 퍼지 시스템의 입력값인 각도와 거리 정보를 이용하여 로봇의 조향각도는 결정될 수 있다. 퍼지 시스템의 출력값인 조향각은 5개의 퍼지 멤버십 함수: "Left Big", "Left Small", "Zero", "Right Big", "Right Small"를 가진다. 두 개의 입력변수: 거리와 각도, 출력: 조향각을 이용하여 총 15개의 규칙을 생성하였으며 입력력 관계식으로 보면 표 1과 같다. [10-13]에서 또한 구체적인 내용을 확인할 수 있다. 충돌회피 움직임 프래너를 가진 자율 주행 다중 모바일 로봇의 효율성과 유용성을 평가하기 위해 시뮬레이터를 개발하였으며 이를 기반으로 구체적인 실험을 수행하였다.

표 1. 퍼지 규칙 기반 시스템의 입출력 관계식
Table 1. Input-output relationship of the fuzzy rule-based system

각도	거리	F	N	VN
LB		Z	Z	RS
LS		Z	RS	RB
Z		RS	RB	RB
RS		Z	LS	LB
RB		Z	Z	LS

III. 시뮬레이션 및 실험결과

그림 3. 자율적인 다중 모바일 로봇 시뮬레이터.
Fig. 3. Autonomous multi-mobile robot simulator

시뮬레이션 환경으로 모든 로봇은 동일한 로봇 시스템과 자율주행 능력을 가졌으며 로봇 주위의 환경을 인식하기 위해 IR 센서가 장착되었다고 가정한다. 개발된 시뮬레이션 환경은 비주얼 C++ 프로그래밍 언어를 사용하였으며, 로봇의 개체수, 정적인 장애물의 위치, 각 로봇의 출발점과 목표점 등을 임의로 특정하게 지정할 수 있다. 그림 3에서 자율적인 다중 모바일 로봇의 시뮬레이터와 우측에 보이는 변수로 A부터 D까지 총 4개의 로봇을 선택할 수 있으며, 각각의 로봇에 대하여 로봇의 위치 (RX_axis, RY_axis)와 목표지점의 위치 (TX_axis, TY_axis), 그리고 진행방향 (Orientation)을 설정할 수 있다. 또한 정적인 장애물을 설정할 수 있도록 "Basic Obstacle"이란 변수를 지정하고 있다. 그림 4에서는 로봇의 주행경로 한가운데서 정적인 장애물을 피하는 동시에 같은 환경 내에서 로봇 3대가 서로를 움직이는 동적 장애물로 고려하면서 주어진 목적지까지 충돌 없이 주행하는 시나리오

를 고려하였다. 겹쳐진 전역경로로 인하여 3대의 로봇은 반듯이 만나게 되며, 길의 한 가운데에 자리잡고 있는 동적인 장애물로 인하여 각자 충돌에 노출되어 있다. 그러나 충돌회피와 함께 마지막 목적지까지 성공적으로 잘 도착하였다. 각 로봇의 초기 위치, 출발점, 목표점, 그리고 출발방향은 그림 4(a)에서 보여진다. #1 로봇은 목표점에 쉽게 도착하였다. 그러나 #2 와 #3 로봇은 경로의 가운데서 #1 로봇과 마주칠 가능성을 가지고 있다 (그림 4(b)). #2 로봇은 #1 로봇이 다가오는 것을 감지한 후 왼쪽으로 회전하여 목적지를 향해 계속 움직인 반면, #3 로봇은 목표점까지 거의 다다른 상태에서 #1 로봇을 감지했으므로 #1과 #3 로봇의 사이의 상호영향은 그리 크지 않았다. 따라서 안전하게 경로에 접근하기 위해 왼쪽으로 약간의 회전만 진행한 후 목적지에 안전하게 도달하였다 (그림 4(c)). 최종적으로 3대의 로봇은 아무런 충돌 없이 목표점에 도달할 수 있었다. 그림 4(d-f)에서 보여진 것처럼 성능평가를 로봇 3대의 전역경로를 정적인 장애물이 가로막고 있는 또 다른 경우를 고려하였다. 로봇의 초기 위치와 장애물이 그림 4(d)와 같이 구성되어 있으며, 모든 로봇, #1, #2, #3는 각자의 전역경로를 가로막고 있는 장애물을 인식하였다. 그러므로 각자의 전역경로는 수정되었다. #1, #2, #3 로봇은 장애물과의 충돌에서 벗어나고자 왼쪽, 오른쪽, 왼쪽으로 각자 회전하였다 (그림 4(e)). 마지막으로 #2 로봇과 #3 로봇이 우선 목적지에 도달했으며, #1 로봇은 이들과의 충돌 회피경로를 탐색한 후 목표점에 도착하였다(그림 4(f)).

그림 4. 주행경로 가운데에서 충돌에 노출된 3대의 로봇 궤적.
Fig. 4. Trajectory of three robots exposed to collision on a path.

그림 5에서는 4대의 로봇을 보여주고 있다. 그림 5(a)에서 보인 것처럼, 각 로봇의 초기 위치가 설정되었고 #2 로봇이 #3 로봇으로 다가가고 있으므로 #3 로봇은 궤적을 다소 변경하여 최종 목적지로 다가가고 있으며 먼저 도착하였다. #3 로봇 뒤로 #2 로봇이 목표점으로 안정적이며 다소 수월하게 도착하였다. #1 로봇과 #4 로봇은 목표지점까지 도착했으나 #2 로봇이 이미 목표점에 도달해 있는 것을 인식하고 이와 충돌을 피하고자 왼쪽으로 방향을 바꾸어 #2 로봇과의 안전거리를 확보하였으며, 회전으로 인하여 목표점에 다소 늦게 도착했음을 알 수 있다 (그림 5(b-c)). 그림 5(d)에서 나타난 것처럼, 4대의 로봇도 앞의 경우와 마찬가지로 경로의 중앙에서 장애물과의 충돌에 노출되었다. #2 로봇이 경로의 중앙에 위치한 장애물을 인식하고 오른쪽으로 회전하여 충돌을 벗어난 후 가야 할 길을 따라 계속해서 진행하였다. 마지막으로 #1 로봇보다 앞서서 안전하게 목적지에 도착했다. #1 로봇은 장애물과의 충돌을 고려하여 왼쪽으로 방향을 바꾸어 목표지점으로 계속해서 주행하였다. #4 로봇은 왼쪽으로 약간 회전하여 목표지점으로 계속 진행했으며 #2 로봇이 가까워지고 있다는 것을 알고 다시 왼쪽으로 회전하여 최종 목적지에 도착하였다. 그리고 나서 #3 로봇은 앞에 장애물이 있는 것을 인식한 후 회전하여 충돌에서 벗어나고 계속해서 경로를 따라 목적지에 도달하였다 (그림 5(e-f)). 이러한 결과를 통하여 모든 로봇은 각각의 해당되는 목적지에 정적인 장애물이나 움직이는 다른 로봇과의 충돌 없이 잘 도착했음을 알 수 있다. 그림 6은 벽을 따라 주행하는 2대의 로봇이 목적지 부근에서 다른 모바일 로봇과 충돌에 노출되었지만 잘 회피하는 모습을 보여주고 있다. 시뮬레이션 결과에서 보듯이, 신뢰도 있는 자율적인 다개체 모바일 로봇 시뮬레이터를 통해서 다양한 로봇 연구주제를 살펴볼 수 있으며, 반복적이며 독립적인 로봇 실험을 쉽게 구현할 수 있었다. 이를 기반으로 많은 시간투자와 경비를 줄일 수 있다. 그림 7-11에서는 시뮬레이터를 통해 도출한 결과를 실제의 물리적인 다개체 모바일 로봇으로 확장

하여 실험한 결과를 보여주고 있다. 움직이는 로봇의 진행방향으로 정적인 장애물이 놓여있을 때 적절히 잘 회피하는 로봇을 그림 7에서 나타내었다. 그림 8은 진행방향은 유사하지만 서로 다르게 움직이는 모바일 로봇이 서로를 동적인 장애물로 인식하고 이를 회피하는 결과를 보여주고 있다. 그림 9에서는 그림 8에서 진행된 결과에 추가적으로 동적인 장애물을 설치했을 때 동적인 장애물과 정적인 장애물을 동시에 회피하는 결과를 잘 보여주고 있다.

그림 10에서는 목적으로 향하는 3대의 로봇을 보여주고 있다. 처진 진행방향으로 인해 3대의 로봇은 주행중 충돌에 노출되어 있으며, 길의 한가운데 자리잡고 있는 동적인 장애물도 같이 고려해야 되는 상황이다. 그러나 각각의 모바일 로봇들은 충돌회피와 함께 마지막 목적지까지 성공적으로 잘 도착하는 모습을 그림을 통해 살펴볼 수 있다. 이와 유사한 경우로, 그림 11에서는 4대의 로봇 움직임에 대한 결과를 나타내고 있다. 앞에서와 마찬가지로 4대의 로봇은 움직이는 상대방 로봇과 충돌없이 목적지를 향해 안정적으로 움직이는 모습을 볼 수 있다. 또한 동적인 장애물과도 특별한 충돌없이 성공적으로 잘 도착하는 모습이다.

그림 5. 주행경로 가운데에서 충돌에 노출된 4대의 로봇 궤적.
Fig. 5. Trajectory of four robots exposed to collision with other robots in the middle of the path.

그림 6. 충돌에 노출된 벽을 따라 주행하는 로봇의 궤적.
Fig. 6. Trajectory of wall-following robots exposed to collision with other robot.

그림 7. 장애물 충돌을 회피하는 단일 로봇.
Fig. 7. collision avoiding single robot.

(a) (b)

(c) (d)

(e) (f)

그림 8. 움직이는 장애물과의 충돌을 회피하는 2대의 로봇.
Fig. 8. collision avoiding 2 robots with moving obstacle.

(a) (b)

(c) (d)

(e) (f)

그림 9. 동적 장애물과 정적인 장애물을 동시에 회피하는 로봇.
Fig. 9. collision avoiding 2 robots with moving and static obstacles.

(a) (b)

(c) (d)

(e) (f)

그림 10. 장애물 충돌을 회피하는 3대의 로봇.
Fig. 10. collision avoiding 3 robots.

(a) (b)

그림 11. 장애물 충돌을 회피하는 4대의 로봇.
Fig. 11. collision avoiding 4 robots.

IV. 결 론

본 논문에서는 충돌회피 알고리즘을 이용하여 자율적인 다 개체 모바일 로봇시뮬레이션을 진행했으며, 다양한 환경에서 다양한 결과를 확인하였다. 또한 실질적인 효율성과 유용성을 확인하고 시뮬레이션 결과와 비교분석하기 위해 실질적인 다 개체 모바일 로봇 시스템으로 연구결과를 확장하고 결과를 비교할 수 있었다. 시뮬레이션 결과는 로봇이 속해 있는 복잡한 환경에서 다양한 형태의 장애물과의 상호작용으로 포텐셜필드 방법과 퍼지 규칙 기반 알고리즘이 매우 좋은 결과를 제공한다는 것을 살펴볼 수 있었다. 또한 물리적인 다개체 로봇 시스템을 이용하여 서로 다른 환경에서 다양한 실험을 수행했으며, 각각의 경우에서 모든 로봇은 정적인 장애물과 동적인 장애물과의 충돌 없이 목표지점에 안정적이며 성공적으로 잘 도착했다.

감사의 글

본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No. 2011-0010579).

참고문헌

- [1] R. C. Arkin, Behavior Based Robotics, MIT press, 1998.
- [2] G. E. Jan, K. Y. Chang, and I Parberry, "Optimal Path Planning for Mobile Robot navigation," IEEE/ASME Trans. Mechatronics, vol. 13, no. 4, pp. 451-460, 2008.
- [3] T. C. Hu, A. B. Hahng, and G. Robins, "Optimal Robust Path Planning in General environments," IEEE Trans. Robotics and Automation, vol. 9, no. 6, pp. 775-784, 1993.
- [4] Y. K. Hwang, and N. Ahuja, "A Potential Field Approach to Path Planning," IEEE Trans. Robotics and Automation, vol. 8, no. 1, pp. 23-32, 1992.
- [5] C. P. Wu, T.T. Lee, and C.R. Tsai, "Obstacle avoidance motion planning for mobile robots in a dynamic environments with moving obstacles," Robotica, vol. 15, pp. 493-510, 1997.
- [6] K. P. Valavanis, T. Hebert, R. Kolluru, and N. Tsourveloudis, "Mobile Robot Navigation in 2-D Dynamic Environments Using an Electrostatic Potential Field," IEEE Trans. Syst. Man and Cybern.-part A, vol. 30, no. 2, 2000
- [7] N. C. Tsourveloudis, K. P. Valavanis, and T. Hebert, "Autonomous Vehicle Navigation Utilizing Electrostatic Potential Fields and Fuzzy Logic," IEEE Trans. Robotics and Automation, vol. 17, no. 4, pp. 490-497, 2001.
- [8] C. Cai, C. Yang, Q. Zhu, and Y. Liang, "Collision Avoidance in Multi-Robot Systems," in Proc. IEEE Int'l Conf. Mechatronics and Automation (ICMA), 2007.
- [9] M. Y. Chow, S. Chiaverini, C. Kitts, "Guest Editorial: Introduction to the Focused Section on Mechatronics in Multirobot Systems," IEEE/ASME Trans. Mechatronics, vol. 14, no. 2, pp. 133-140, 2009.
- [10] Dong W. Kim, Chong-Ho Yi, "Multi-Mobile Robot System with Fuzzy Rule based Structure

- in Collision avoidance," J. Institute of Control, Robotics and Systems, vol. 16, no. 3, pp.233-238, 2010 (March)
- [11] Chong-Ho Yi, and Dong W. Kim, "Study on the Collision Free Optimal Path for Multi Mobile Robots Using Fuzzy system and Potential Field," J. The Institute of Electronics Engineers of Korea, vol. 47, IE no. 2, pp.66-72, 2010 (June)
- [12] S. S. Ge, and Y. J. Cui, "New potential functions for mobile robot path planning," IEEE Trans. Robotics and Automation, vol. 16, no. 5, pp. 615-620, 2000.
- [13] B. Siciliano, O. Khatib, Springer Handbook of Robotics, Springer, 2008.
- [14] D. Kim, and G. T. Park, "A Hybrid Fuzzy Model in Nonlinear System Modeling," J. Intelligent & Fuzzy Syst., vol. 17, no. 5, pp. 417-430, 2006.

저 자 소 개

김 동 원

2007: 고려대학교
전기공학과 공학박사 .
2008: UC Berkeley(Prof. Zadeh그룹)
EECS Post-Doc.
2009: UC Davis, AME Post-Doc.
현 재: 인하공업전문대학
디지털전자과 교수
관심분야: 제어시스템, 로보틱스,
지능연산
Email : dwnkim@inhac.ac.kr

이 종 호

1995: 경희대학교
전자공학과 공학박사.
1990: 한국전자통신연구소(ETRI)
연구원.
2005: 대한전자공학회 이사
현 재: 인하공업전문대학
디지털전자과 교수
관심분야: 전자공학, 이산로그회로
Email : ycm@inhac.ac.kr