

## 무인FA를 위한 자율주행 로봇의 경로계획 및 실시간 궤적제어에 관한 연구

### A Study on a Path Planning and Real-Time Trajectory Control of Autonomous Travelling Robot for Unmanned FA

김현근<sup>1\*</sup>, 심현석<sup>2</sup>, 황원준<sup>3</sup>

Hyeon-Suk Sim<sup>1</sup>, Hyeun-Kyun Kim<sup>2</sup>, Won-Jun Hwang<sup>3</sup>

#### 〈Abstract〉

This study proposes a efficient technology to control the optimal trajectory planning and real-time implementation method which can perform autonomous travelling for unmaned factory automation. Online path planning should plan and execute alternately in a short time, and hence it enables the robot avoid unknown dynamic obstacles which suddenly appear on robot's path. Based on Route planning and control algorithm, we suggested representation of edge cost, heuristic function, and priority queue management, to make a modified Route planning algorithm. Performance of the proposed algorithm is verified by simulation test.

#### *Keywords :*

*Autonomous Traveling Intelligent Robot, Path Planning and Control, Unmaned FA*

---

1\* 정회원, 교신저자, S&T중공업  
(E-mail: skawhr660@hanmail.net )

2 정회원, (주)동산테크, 대표

3 정회원, 경남 테크노파크

1\* Corresponding Author, S&T Heavy Industries co., Ltd.

2 CEO, DongsanTech co., Ltd.

3 Kyeongnam TechnoPark or., Ltd.

## 1. 서 론

로봇의 자율주행을 위한 경로를 오프라인으로 계획한다는 것은, 로봇이 수행을 시작하기 전에 미리 경로를 계획해놓음으로써 보다 정확하고 최적의 경로를 계획할 수 있으나 시간이 오래 걸린다는 점, 동적인 장애물에 대처가 불가능하다는 등의 단점이 있다. 다만 여러 개의 이동 로봇이 주어진 지역을 비교적 빈틈없이 탐색한다거나[1], 소요 시간 보다는 경로의 최적화에 더욱 중점을 두는 경우[2], 혹은 해당지형파악이 목적인 경우 [3]에는 경로 계획이 상대적으로 강점을 지닐 수 있다.

본 논문의 목적은 경로계획 및 제어 알고리즘의 성능을 더욱 개선하여 효율적인 온라인 경로계획 알고리즘을 제안하는 것이다. 본 연구에서 검토하려는 중요사항은 다음과 같다. 출발점과 목표점, 그리고 센서에 의한, 대상 지형에 대한 부분적인 정보만을 가지고 두 휠 이동 로봇의 최단 경로를 가능한 한 빠른 시간 안에 계획한다. 아울러 목표점으로 이동하는 도중에 새로운 장애물을 만났을 때에는 그 장애물을 회피하도록 빠르게 경로를 다시 계획하고, 이 과정을 학습하여 로봇이 목표점에 신속히 도착할 수 있도록 한다.

## 2 경로계획 및 제어 알고리즘

다양한 온라인 경로 계획 알고리즘 중 온라인-오프라인 경로계획알고리즘은 특히 증분(incremental) 탐색과 휴리스틱(heuristic) 탐색이 같이 사용된 대표적인 알고리즘이다. 휴리스틱 탐색이란 임의의 위치에서 목표점까지의 거리라는 형태의 정보를 이용하여 탐색 방향을 정하는 것이다.

몇 년 전부터 실제 로봇의 온라인 경로 계획에서 널리 활용되고 있는 온라인-오프라인 경로계획 알고리즘이 이해하기에 어려움이 있고, 알고리즘의 확장성이 떨어진다는 단점에 착안하여 개발된 온라인-오프라인 경로계획알고리즘[11]은 몇 가지 중요한 거리 개념을 열쇠값으로 사용한다.

가장 기본이 되는 값은  $g(s)$ 으로, 이것은 목표점으로부터 어떤 격자  $s$ 까지의 거리를 나타낸다. 또 다른 기본 값인 RS는 온라인-오프라인 경로계획 알고리즘의 가장 큰 특징 중 하나인 증분 탐색이라는 특징을 나타낸다.[9]

$$rhs(s) = \begin{cases} 0 & \text{if } s = s_{start} \\ \min_{s' \in Pred(s)} (g(s') + c(s', s)) & \text{otherwise} \end{cases}$$

위에서 볼 수 있듯이 격자  $s$ 가 시작점이 아닌 경우에는 그 주변 8개 격자의  $g$ 값과  $c$ 값을 기반으로 하는 값을 RS가 가지게 된다. 다시 말해서 이전 탐색 주기의 값을 이용하여 현재 탐색 주기의 효율성을 높이는 것이다.[10]

$$c = \begin{cases} 1 & \text{if } traversable \in x, y \text{ axis} \\ \sqrt{2} & \text{if } traversable \in \text{diagonal axis} \\ \infty & \text{otherwise} \end{cases}$$

$c(s, s')$ 는  $s$ 에서  $s'$ 까지의 비용을 나타낸다.

직관적으로 생각할 수 있는데, 가로, 세로 방향인 경우에는 이동에 1의 비용이 필요하고 대각선 방향인 경우에는 2의 비용이 필요하며, 이동 가능하지 않은 경우에는 무한대의 값을 가지게 된다.

이동 로봇이 격자한 칸씩 움직일 때마다 나중에 추가되는 우선순위 큐의 항목들은 불가피하게 작은 열쇠값을 가지게 되는데, 열쇠값 수정자를 활용하면 이러한 문제를 해결할 수 있다.

각 격자가 가지는 주요변수값( $V_1, V_2$ )는 다음과

같은 값을 지나게 된다.[11]

$$V1 = \min(q(s), RS(s)) + \rho(s_{start}, s) + v_m$$

$$V2 = \min(q(s), RS(s))$$

$V_1$ 은  $q(s)$ 와 RS 중 작은 값에다가 휴리스틱 값, 그리고 열쇠값 수정자 값까지 더한 값을 가진다.  $V_2$ 는 일종의 보완적인 값으로, 두 개 이상의 격자가 동일한  $V_1$ 값을 가질 때 우선 순위를 정하기 위해 사용한다. 여기에 보이는

$\rho(s_{start}, s)$ 는 휴리스틱 탐색을 위한 값으로 시작점에서 특정 격자  $s$ 까지의 거리를 나타낸다. 구체적인 값은 아래에서 설명한다.

온라인-오프라인 경로계획알고리즘은 세 가지 중요한 개념을 기반으로 한다.

기준점으로부터 임의의 격자까지의 가로와 세로의 거리 차이 중 큰 값을 휴리스틱 값으로 정하는 것이다. 이와 같은 방법을 사용하면 가로나 세로 방향 이동이나 대각선으로의 이동이 동일한 값을 가지게 된다.

온라인-오프라인 경로계획알고리즘은 이진 최소 힙(binary min heap)을 사용하여 우선순위 큐에 항목을 삽입하거나 제거한다.

그림 1의 이진 최소 힙의 각 항목이 가지는 값은 네 가지로 구성이 되어 있음을 알 수 있는데, [k1, k2]는 위에 언급했던 첫 번째와 두 번째 열쇠값을 뜻하고, (x, y)는 각 격자의 전체 맵 상에서 좌표를 나타낸다. 각 격자는 열쇠값에 따라 우선순위 큐에서 정렬되고, 정렬된 상황에서 이동 가능한 격자의 좌표값을 탐색한다.

이진 최소 힙의 규칙은, 부모(상위) 노드의 열쇠값이 자식(하위) 노드의 열쇠값보다 항상 작다는 것이다. 이것 외에는 다른 규칙이 없기 때문에 같은 계층에 있는 노드 사이에는 정해진 관계가 없다. 이것을 '부분적으로 정돈되어 있다(partially

ordered)'라고 표현한다.

### 3. 제어기 구성

본 장에서는 이동 로봇의 온라인 경로 계획의 구현에 필수적인, 입력 데이터를 제공하는 센서 처리 입력부와 경로 추종을 위한 모터 제어 출력부에 대해 기술한다.

Fig 1에 보인 바와 같이 전역 좌표계에서  $(x_r, y_r, \theta_r)$ 에 위치한 이동 로봇상의 센서( $x_{sen}, y_{sen}$ )는 로봇 좌표계에서 스캔 데이터를 생성해 내고, 이로부터 판별된 장애물 정보(원으로 표시됨)를 전역 좌표계로 변환한 후, 이를 포함한 장애물 그리드를 생성해낸다[4].

그리고 로봇이 유한한 크기를 가지므로, 이를 한 그리드 이내로  $s$ 만 큼 축소함과 동시에 장애물 그리드를 동일한 양  $s$ 만큼 확장시킬 필요가 있다. 한 그리드의 크기가  $s$ 의 크기와 동일하도록 설정한다면,  $(x_u, y_u)$ 가 장애물일 경우  $Succ(x_u, y_u)$ 도 확장된 장애물로 정해야 한다.

Fig 2의 왼쪽 부분과 같은 환경에서 로봇이 오른쪽 방향으로 하나의 격자의 폭을 가지는 경로를 통과할 수 있는 것처럼 보이지만, 실제로는 로봇이 지나가기에 유연한 경로가 된다.

오른쪽 부분에서와 같이 로봇의 크기가 한 그리드 이내 크기로 축소하는 대신 장애물을 한 격자씩 확장시킴으로써, 이러한 경우를 배제할 수 있다.[5]

장애물 격자의 확장까지 완료되었으면, 이 정보를 이전 장애물 격자 정보와 비교하여 새로운 장애물이 나타났는지 확인해야 한다. 이러한 새로운 장애물 정보 여부 판단은 간단한 비교를 통해 수행할 수 있다.

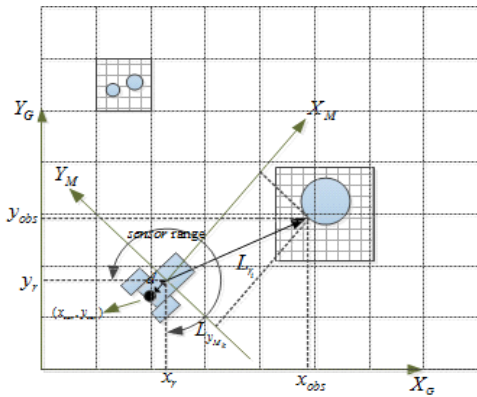


Fig. 1. The coordinates system of mobile robot.

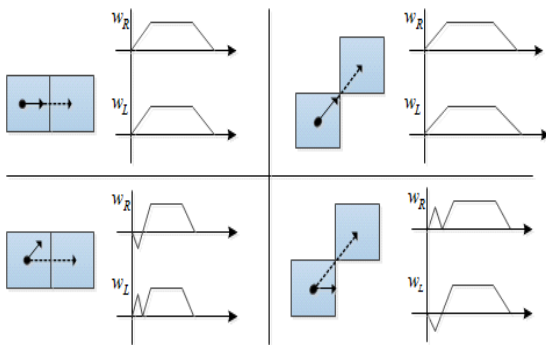


Fig. 2. Trajectory patten of mobile robot.

이전 주기의 장애물 격자 정보를 기억하고 있는 상태에서, 현재 주기에 감지된 장애물 격자 정보를 이것과 비교하여 차이가 있다면 바로 그 차이나는 부분이 새로운 장애물 격자 정보로 인식되는 것이다.

다음으로는 모터 제어 출력부를 기술한다. 모터의 속도 프로파일은 선속도 및 각속도 모두 가속-등속-감속 프로파일을 사용한다. 경로계획부에서 이동할 다음 그리드가 결정되면, 그림 4과 같이 회전 후 직진을 수행하는 선속도 및 각속도 프로파일을 생성하고, 구동 제어부는 매 제어 주기마다 모터의 속도제어를 수행한다.

#### 4. 성능실험 결과 및 고찰

장애물 위치 정보를 포함하는 환경정보라는 부분에 대해 먼저 설명을 하면 다음과 같다. 환경 정보는 시간에 따른 장애물에 대한 정보를 나타내었으며, 전체 시뮬레이션을 순차적으로 진행시키면서 각 시점에서 필요로 하는 장애물 정보를 제공하는 역할을 한다.

임의의 환경이 호출될 때마다 해당 n을 가지는 각 행의 나머지 4개 정보를 센서부에 제공하게 된다. 동일한 n을 가지는 행이 하나 이상이면 모두 해당된다.[12]

장애물 인덱스  $O_{i_a}$ 는 장애물의 번호로서 최대 N개의 장애물이 존재할 수 있다. Status는 세 가지 값을 가질 수 있는데, 1이면 주변 환경에 나타났다는 것이고, 0이면 이전 단계에서 나타나서 현재 단계에도 그대로 존재한다는 것이고, -1이면 사라진다는 것이다. 그리고 dx, dy는 장애물이 x축 방향, y축 방향 각각으로 움직인 변화량을 나타낸다. 이상과 같은 환경조건의 내용을 포함하여, 전체 시뮬레이션의 블록 다이어그램을 그리면 그림 3와 같다.

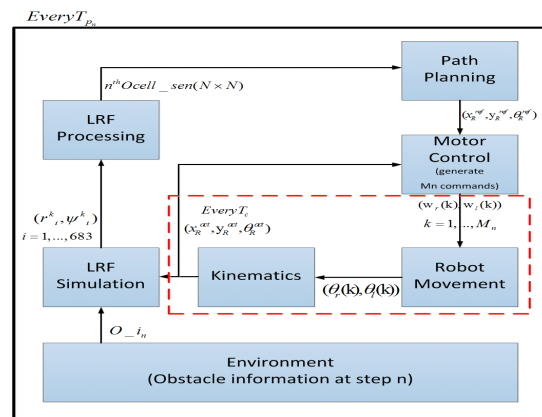


Fig. 3. The block diagram of robot control system.

다음으로는 온라인 경로 계획 알고리즘을 포함하여, 센서부와 모터 제어부까지 포함한 전체 시뮬레이션 결과를 확인함으로써, 실제 장애물을 감지하고 이동 로봇이 물리적으로 움직이는 것을 알아볼 수 있다.

## 5. 맺음말

본 연구에서는 자율주행 로봇의 경로계획 및 제어 알고리즘의 실시간 구현에 관한 연구를 수행하였다. 그리고 제안된 로봇의 자율주행제어기술을 이용하여 보다 신속 정밀한 공장 내 및 공공기관 등에서 적용 알고리즘을 제안하고, 시뮬레이션으로 그 성능을 확인했다.

로봇의 무인 자율주행을 위한 경로계획 및 제어 알고리즘의 개선된 장애물 회피에 관한 제어방법을 제시하였다.

## 참고문헌

- [1] D. Kurabayashi, J. Ota, T. Arai, and E. Yoshida, "cooperative sweeping by multiple mobile robots," Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, MN, pp. 1744-1749, Apr. 1996.
  - [2] L. Podsedkowski, J. Nowakowski, M. Idzikowski, and I. Vizvary, "new solution for path planning in partially known or unknown environment for nonholonomic mobile robots," Robotics and Autonomous Systems, vol. 34, pp. 145-152, 2001.
  - [3] Scanning Laser Range Finder URG-04LX Specifications, HOKUYO, 2005.
  - [4] J. Bruce and M. Veloso, "real-time randomized path planning for robot navigation," Proceedings IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Lausanne, Switzerland, pp. 2383-2388, Oct. 2002.
  - [5] M. Gerke, "genetic path planning for mobile robots," Proc. American Control Conference, San Diego, CA, pp. 2424-2429, Jun. 1999.
  - [6] H. M. Choset et al., Principles of Robot Motion, MIT press Cambridge, 2005.
  - [7] S. X. Yang and C. Luo, "neural network approach to complete coverage path planning," IEEE Transactions on System. Man and Cybernetics, vol. 34, no. 1, pp. 718-725, Feb. 2004.
  - [8] S. Koenig and M. Likhachev, "fast replanning for navigation in unknown terrain," IEEE Transactions on Robotics, vol. 21, no. 3, pp. 354-363, Jun. 2005.
- Y. Koren and J. Borenstein, "potential field methods and their inherent limitations for mobile robot navigation," Proc. IEEE Conference

- on Robotics and Automation, Sacramento, CA, pp. 1398-1404, Apr. 1991.
- [9] J. Borenstein and Y. Koren, "The Vector field histogram - fast obstacle avoidance for mobile robots," IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 7, no. 3, pp. 278-288, 1991.
- [10] D. An and H. Wang, "PH: a new laser radar based obstacle avoidance method for intelligent mobile robots," Proc. 5th World Congress on Intelligent Control and Automation, Hangzhou, China, pp. 4681-4685, Jun. 2004.
- [11] J.S. Zelek, "Complete real-time path planning during sensor based discovery," Proceedings IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Victoria, B.C., Canada, pp. 1399-1404, Oct. 1998.
- [12] A. Stentz, "The focussed D\* algorithm for real-time replanning," in Proc. International Joint Conference Artificial Intelligence, pp. 1652-1659, 2005.
- [13] K. Loudon, Mastering Algorithms with C, O'neilly, 2000.
- [14] Y. H. Kim, "Design of a robot task planning system with a state partitioning technique," M.S. thesis, Dept. of Electrical Engineering, KAIST, 2007.