

곡률 주행을 이용한 이동 로봇의 장애물 회피 알고리즘

이진섭, 김태은, 좌동경, 홍석교  
 아주대학교 전자공학과

Obstacle Avoidance for Mobile Robot using Circular Navigation with a Laser Scanner

Jin-Seob Lee, Taeun Kim, Dongkyoung Chwa, and Suk-Kyo Hong  
 Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University, Suwon, Korea

**Abstract** - This paper proposes a obstacle avoidance algorithm that enables a mobile robot with autonomous. The proposed method based on circular navigation with probability distribution and finds local-paths to avoid collisions. Simulation results show the feasibility of the proposed method.

1. 서론

이동 로봇의 작업공간에는 미리 알고 있는 구조물들이 있거나, 그렇지 않은 경우 예상하지 못했던 장애물들이 있다. 이동 로봇의 자율 주행시 장애물들의 회피를 위하여 많은 센서들을 사용하게 된다[1]. 현재 이동 로봇의 자율주행에 있어서 많은 센서들을 사용한 다양한 회피 방법들이 제시되고 있다. 그 중 탐지 거리가 길고, 장애물과의 거리를 직접적으로 산출 해 내기가 비교적 용이한 레이저 스캐너를 이용한 장애물 회피 방법들이 제시되고 있고, 실내에서 뿐만 아니라 실외에서도 다양한 접근법이 제시되고 있다[2]. 물체를 효과적으로 분류하지 못하는 단점을 보완하기 위하여 확률적인 방법을 사용하여 장애물 회피와 경로 생성을 하는 방법이 제시되었다[4]. 하지만 이 방법은 연산 상에 있어서 차원이 높아져, 연산 량이 많아지고, 이동 로봇의 자율주행시 걸리는 시간이 길어지는 단점이 있다. 따라서 [7]에서는 레이저 스캐너로부터 얻은 정보를 이용하여, 확률적으로 이동 로봇이 이동할 수 있는 지역들을 구분하고, 목표점과의 관계를 이용하여 이동 방향을 선택하는 알고리즘을 제안하였다. 하지만 이 알고리즘은 이동 로봇이 목표점을 향해 자율 주행을 할때, 안정적으로 회피를 할 수 있지만, 자율 주행시 경로를 최단 거리로 줄일수 없는 단점이 있다.

본 논문에서는 [7]의 단점을 보완하고자 곡률주행을 이용한 장애물 회피 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘을 통해 이동 로봇의 자율 주행시의 경로를 줄이고, 목표점까지의 도달 시간을 줄이고자 한다. 이 알고리즘을 통해 로봇이 복잡한 장애물을 탐지하거나 회피할 때 일관성을 가지도록 한다.

2. 기존의 장애물 회피 알고리즘

이 장에서는 기존에 알려진 모서리 추출, 확률 분포를 사용한 장애물 탐지, 거리 측정을 통한 장애물 회피 알고리즘을 소개한다.

2.1 모서리 추출 알고리즘[5]

장애물 회피 알고리즘 중 많이 쓰이고 있는 알고리즘은 모서리 추출 알고리즘이다. 이 알고리즘 탐지된 장애물을 몇 개의 픽셀로 나누어 모서리를 찾는 방법이다. 이 방법은 이동 로봇의 주행시 복잡한 환경에서도 멈춤없이 모서리를 추출할 수 있는 장점이 있지만, 이동 속도에 따른 영상의 흔들림에 의해 정확하게 추출 해 낼수 없다는 단점이 있다.

2.2 확률분포를 사용한 장애물 탐지 알고리즘[4]

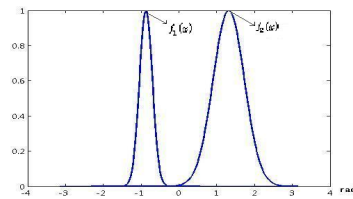
이동 로봇의 주행시 전방에 있는 장애물을 빠르게 탐지하고 회피 할 수 있도록 지도 전체를 확률 분포로 변환시켜 나타내고, 이를 주행함으로써 장애물을 탐지하고 회피 하는 방법이 제안되었다. 이 알고리즘은 복잡한 환경에서 높은 해상도의 레이저 스캐너를 요구하고, 전체 지도를 확률 분포로 변환해야 함으로써 연산 과정이 복잡해 지게 되는 단점이 있다.

2.3 무 장애물 지역에 대한 확률적 분포 알고리즘[7]

이동 로봇의 주행시 장애물이 없는 영역을 표현할 때, 외란으로 인해 장애물 정보의 오차가 존재하게 된다. 따라서 가우시안 분포 함수 곡선을 사용하여 곡선에서 나타나는 최대값을 확률적으로 장애물이 가장 없는 곳이라 예상한다.

$$f_i(x) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_i - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right] \quad (1)$$

식(1)은 가우시안 분포 함수의 식이다.  $x_i$ 는 이동 로봇 좌표계에서  $x$  축의 값이고,  $\sigma_i$ 값은 장애물이 없는 영역의 표준편차,  $\mu_i$ 값은 평균값이다. (1)식을 이용하여 복잡한 장애물이 있는 경우에도 그림 2와 같이 장애물이 없는 영역에 대한 확률분포를 찾아 낼 수 있다.



〈그림 1〉 로봇의 이동 방향과 장애물이 없는 지역의 예상 가우시안 분포 그래프

그림 1과 같이 이동 로봇이 이동 할 수 있는 장애물이 없는 지역이 두 개가 생성 되게 된다. 이때 이동 로봇은 여러 개의 장애물이 없는 영역 중 하나의 영역을 선택해야 한다. 이 영역을 선택하기 위하여 이동 로봇의 최종 목표점에 대한 정보를 이용한다.

$$f_g(x_g) = \frac{1}{\sigma_g \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_g - \mu_g)^2}{2\sigma_g^2}\right] \quad (2)$$

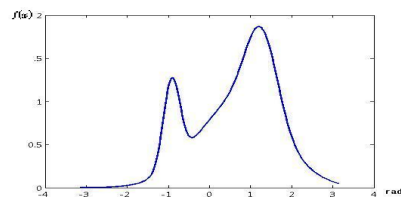
식 (2)에서  $x_g$ ,  $y_g$ ,  $\sigma_g$ 값은 최종 목표점에 대한 정보이다. 이동 로봇을 기준으로 하여 최종 목표점을 보았을 때의 각도정보를 이용하여 가우시안 함수를 생성하게 된다.

장애물이 없는 지역을 표현한 식(1)과 최종 목표점을 표현한 식(2)를 이용하여 식(3)과 같은 비용 함수를 생성한다.

$$f(x) = f_g(x_g) + \sum_{i=1}^N f_i(x_i) \quad (3)$$

$$\Theta_{sub} = \operatorname{argmax}_x \left( \sum_{i=1}^N f_i(x_i) + f(x_g) \right) \quad (4)$$

(4)식의  $\Theta_{sub}$  는 이동 로봇이 자율주행 할 시 이동 로봇의 방향은 항상 목표점을 향하도록 해준다.



〈그림 2〉 비용 함수의 예상 가우시안 분포 그래프

비용함수는 그림 2와 같이 표시 될 수 있다. 비용 함수를 나타낸 그래프에서  $f(x)$  값이 가장 큰 방향으로 이동 로봇은 주행 하게 되며 그 방향은 목표점을 향한 최단 경로를 생성 할 수 있는 방향이 된다.

3. 제안된 알고리즘

3.1 알고리즘 개요

이 논문에서는 다음과 같이 세 부분으로 나누어져 있다.  
 1. 레이저 스캐너로부터 얻은 정보를 이용하여 확률적으로 장애물이 없는 영역을 구분한다.

2. 생성된 영역에 대한 확률적 분포와 이동 로봇의 목표점에 대한 정보를 융합하여 이동방향을 선택한다.
3. 이동 로봇의 자율 주행시 장애물이 탐지될 경우 모서리를 찾아 최단 거리로 장애물을 회피 하도록 한다.

### 3.2 곡률 주행을 이용한 최단 경로 생성

그림 3과 같이 비용 함수를 이용하여 장애물을 회피하게 되면 장애물과 장애물 사이의 가장 중간 값을 통해 이동 로봇이 주행하게 됨으로 충돌에 대한 위험없이 안전하게 회피를 할 수 있게 된다. 그러나 이동 로봇이 장애물을 회피 할 시, 로봇의 크기를 고려하여 장애물과의 충돌 위험이 없이 최단의 경로로 회전을 하게 되면 주행 속도와 주행 경로를 최대한 줄일 수 있게 된다.

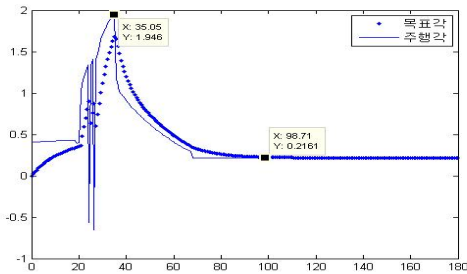
#### 3.2.1 모서리 추출

이동 로봇의 장애물 회피시 회전 반경을 최대한 줄일수 있는 부분이 모서리이다. 따라서 모서리 부분을 추출하여 그 부분에서 최대한 회전 반경을 줄여야 한다.

$$\theta_{target} = \arctan[(y_f - y_i)/(x_f - x_i)] \quad (5)$$

$$\theta_{robot} = [0 \ 1] \begin{bmatrix} v_c \\ \omega_c \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\theta_{target} = \theta_{robot} \quad (7)$$

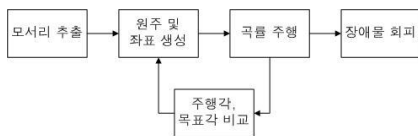


<그림 3> 모서리 생성 지점 (x=35, 98)

식(5)는 목표점의 각도를 나타내고 식(6)은 로봇의 주행 각을 나타낸다. 이동 로봇의 장애물 회피시 목표점의 방향으로 장애물이 탐지되지 않을 때까지 로봇의 각도는 변하게 된다. 따라서 식(7)과 같이 로봇의 주행각과 목표점의 각도가 일치할 때가 모서리를 나타내게 된다. 이는 그림 3을 통해 확인 할 수 있다.

#### 3.2.2 곡률 생성 및 주행

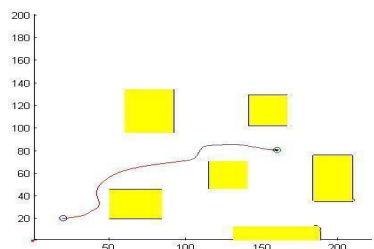
3.2.1에서 구한 모서리 점을 중점으로 하는 원호를 생성 하여 이동로봇이 원호를 따라 주행하게 되면 이동 로봇의 회전 반경을 최소한으로 줄일수 있다.



<그림 4> 곡률 주행 알고리즘

그림 4와 같이 이동 로봇은 모서리를 추출하게 되면 원주를 따라 이동하다가 로봇의 주행각과 목표점의 각도가 일치할 경우 목표점을 향해 일반적인 주행을 하게 한다. 원호 생성시 원의 크기는 로봇의 크기 보다 조금더 크다는 가정이다.

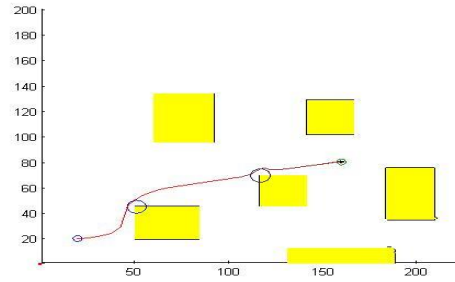
### 4. 모의 실험 결과



<그림 5> 확률 분포를 이용한 이동 로봇의 장애물 회피

모의 실험을 통하여 제안된 알고리즘의 효율성과 정확성을 검증한다. 모의실험을 수행하기 위해 다음과 같은 이동 로봇을 가정한다.

- 크기 : 가로 0.15m × 세로 0.2m, 레이저 스캐너 각도 : 180°, 원주의 크기 : 반지름 0.3m



<그림 6> 곡률 주행을 이용한 장애물 회피

그림 5는 곡률 주행을 사용하지 않고 확률 분포 알고리즘만을 사용한 장애물 회피 모의실험 결과 이다. 그림 6은 모서리 부분에 곡률 주행 알고리즘을 적용한 장애물 회피 모의실험 결과 이다 그림 6을 통하여 이동 로봇의 장애물 회피시 회전 반경이 최소한으로 작아짐을 확인할 수 있다. 또한 모의실험 결과를 통하여 곡률 주행 알고리즘을 사용하여 장애물 회피시 이동 로봇의 주행 경로가 짧아져 이동 시간 또한 단축할 수 있음을 확인 하였다.

### 5. 결 론

이 논문에서는 이동로봇이 장애물을 회피하고 목표점을 향해 자율 주행을 할 때, 목표점까지 최단경로를 생성하고 이동 경로와 이동 시간을 단축하는 알고리즘을 제안하였다. 이동 로봇이 주행하면서, 로봇과 목표점과의 거리를 계산하고 각도를 연산하면서 목표점을 향해 주행을 하게 되고, 주행 중 장애물 탐지시, 가우시안 분포를 이용하여 장애물이 없는 곳을 탐지하게 된다. 여러 갈래의 길이 있을 경우 목표점의 가우시안 분포를 이용하여 최단 경로의 방향으로 주행을 하고, 주행시 소요되는 이동 시간과 이동 경로를 최소화 하게 된다. 기존의 확률 분포를 사용한 방법에 비해 연산 식이 간단해졌고, 이동 로봇이 장애물 탐지시 연산 시간을 단축하였으며 이동 시간을 단축하였다. 그러나 아직 실제 실험과 복잡한 환경 및 외부 환경에서의 실험이 미흡하다는 단점이 있다. 이 연구는 앞으로 외부 환경 및 복잡하고 다양한 장애물 에서도 정확하고, 안전한 최단 경로를 생성하는 방향으로 계속되어야 할 것이다.

### 후 기

본 연구는 한국과학재단 특장기초연구 R01-2006-000-11373-0 지원으로 수행 되었음.

### [참 고 문 헌]

- [1] R.carrelli, R. Kelly, O. H. Nasisi, C. Soria and V. Mut, "Control based on perspective lines of a non-holonomic mobile robot with camera-on-board", *International Journal of Control*, Vol. 79, pp. 362, 2006
- [2] A. Mendes, L. C. Bento and U. Nunes, "Multi-target detection and tracking with a laserscanner", *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, University of Parma, Parma, Italy, June 14-17, 2004*
- [3] Z. Yan, T. Shubo, L. Lei and W. Wei, "Mobile robot indoor map building and pose tracking using laser scanning", *Proc. Int. Conference on Intelligent Mechatronics and Automation*, Chengdu, China, 2004
- [4] L. Kavraki, P. Svestka, J.C. Latombe, and M. Overmars, "Probabilistics roadmaps for path planning in high-dimensional configuration spaces", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 12, No 4, August 1996
- [5] J. Borenstein and Y. Koren, "The vector field histogram fast obstacle avoidance for mobile robots", *IEEE journal of Robotics and Automation* Vol 7, No 3. June 1991, pp278-288
- [6] Elfes, A., "Sonar-based real-world mapping and navigation" *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-3, No 3, 1987, pp.249-265
- [7] 이진섭, 권지옥, 좌동경, 홍석교, "확률 분포 기반의 레이저 스캐너를 이용한 장애물 회피", *Conference on Information and Control System*, Korea, October 27-27, 2007