

선소 정보를 이용한 로봇의 경로계획

김 병곤, 이 쾨희
서강대학교 전자공학과

The Path Planning for Mobile Robot Using the Line Segment Information

Byung Gon Kim, Kuae Hi Lee
Dept. of Electronic Eng. Sogang Univ.

Abstract - A Mobile Robot should be able to navigate safely in the workspaces without any additional human's helps. In this paper, a method to generate the safe path to avoid the unknown obstacles using the pre-knowledge of the workspaces was proposed. For the efficiency of the algorithm, it is proposed to model the obstacles as the line segments in numerical map, which can reduce the required memory size and give the simple forms. To make the environments map, we used the Hough transform and the sonar measurements is converted to the set of line segments by Hough transform.

In this algorithm, the subgoals are generated to avoid the obstacles until a mobile robot arrives the final position using the proposed environmental model.

1. 서 론

인간의 제어 없이 스스로 환경을 인식하며 주어진 임무를 수행하는 자율주행 이동로봇(autonomous mobile robot)은 자동화 공장에서의 물류운반뿐 아니라, 인간에게 유해한 환경인 원자력 발전소에서의 작업, 일상과 가까운 환경인 건물청소, 사무실 자료운반 등 많은 분야에서 사용될 수 있다. 이동로봇에 관련된 연구분야는 거리 센서나 접촉 센서를 이용하여 환경정보를 수집하고 분석하는 환경 인식, 주어진 위치에서 장애물과의 충돌을 회피하며 효율적으로 목표 위치에 도달할 수 있는 경로를 계획하는 장애물 회피 경로 계획, 운반체가 주어진 경로를 따라가도록 하는 운반체 제어, 운반체의 현재 위치를 판단하기 위한 정보를 수집 처리하는 항법 등으로 나누어 질 수 있다.

본 논문에서는 초음파센서를 이용하여 환경을 인식하고, 이를 전체 경로계획에 적합하도록 허프변환을 이용하여 선소(line segment)정보로 모델링하고 이를 이용하여 중간경유점 선정을 통해 로봇이 안전하게 목표점에 도달할 수 있도록 경로계획을 하고 제시한 알고리즘을 모의실험을 통해 그 타당성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 이동로봇의 환경모델

이동로봇이 주어진 임무를 수행하기 위해서는 인간에 의해 제공된 환경정보를 이용하거나 이동로봇 스스로 환경을 탐색하여 얻은 환경정보를 이용하여 경로계획에 필요한 환경모델을 구성하여야 한다. 환경모델은 로봇이 장착하고 있는 센서시스템의 종류에 따라 달라지며 이동로봇이 갖추어야 할 가장 중요한 기능중의 하나인 로봇이 주행하는 전체 공간을 파악하는 환경인식에 영향을

준다.

환경 모델의 결정은 이동로봇이 사용 중인 센서 시스템과, 연산 처리 능력에 따라 결정된다. 일반적으로 많이 사용되는 이동로봇의 환경 모델은 격자형 환경 모델, 네트워크 환경 모델과 모델 기반 환경 모델로 구분된다.

본 논문에서는 이 세 가지 모델 중 모델 기반 환경 모델을 설명하고 제시한 라인 세그먼트에 대해 설명한 후 이를 이용해서 경로계획을 수행한 결과를 제시하였다.

2.1.1 모델기반형 환경모델

모델 기반형 환경모델 - 모델 기반 지도는 정형화된 장애물의 특징을 추출하여 모델을 정한 후, 그 매개변수를 저장하는 구조이다. 이 방법은 모델의 크기가 크고 단순한 형태를 가지는 환경에서는 잘 맞지만 복잡한 환경에서는 모델 추출이 어려운 단점이 있다. 그럼 2.1에서는 두 종류의 모델이 존재한다. a와 b의 경우는 각각 4개의 선분으로 이루어진 모델이고, c의 경우는 원형인 모델이다. 따라서, 장애물을 선분과 원으로 모델링하고 센서 시스템을 이용하여 각각의 모델의 매개변수를 취득하여 저장한다.

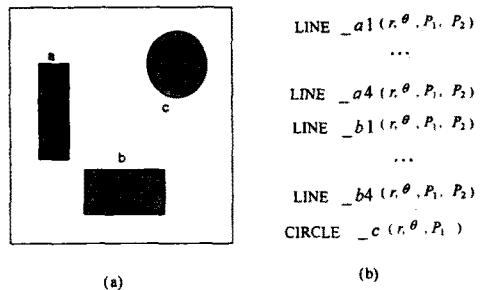


그림 2.1 모델기반형 환경모델

보통 선분 모델인 경우 선분의 기울기와 원점으로부터의 거리, 양 끝점의 위치 등으로 표시하고 원형 모델인 경우는 중심점의 위치와 반지름 등을 각 모델의 매개 변수로 정하게 된다. 임의의 형상에 대해서도 특징을 잘 나타낼 수 있는 변수를 택하여 표현한다. 이동로봇의 작업 공간을 사무실 복도와 같은 공간으로 한정한다면 평면, 구석, 모서리 중 하나의 모델을 표현할 수 있고 이것은 다시 라인 세그먼트의 집합으로 모델 지을 수 있다. 따라서 그림 2.2와 같은 라인 세그먼트 L을 정의한다. L의 매개 변수는 식(2.1)과 같이 표현된다. 4개의 변수 중에서 r 과 θ 는 L의 특징을 나타내고, P_1 과 P_2 는 L의 위치 정보를 담고 있다. 이동로봇이 그림 2.2의 라인 세그먼트 L을 인식하기 위해서는 L의 r 과 θ 를 센서 측정치로부터 인식 가능해야 한다. 라인 세그먼트를 정의하는 r 과 θ 의 결정은 허프변환(Hough Transform)에 의해서 이루어진다.

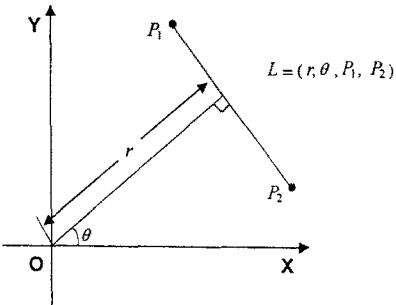


그림 2.2 라인 세그먼트 정의

라인세그먼트:

$$L = (r, \theta, P_1, P_2) \quad (2.1)$$

r : 절대 좌표계 원점으로부터 라인 세그먼트까지의 거리

θ : 절대 좌표계에서의 라인 세그먼트의 경사각

P_1 : 라인 세그먼트의 한쪽 끝점의 위치

P_2 : 라인 세그먼트의 다른 한쪽 끝점의 위치

라인 세그먼트 모델 기반 지도를 사용하여 이동로봇의 작업 환경에 있는 임의 형태의 장애물 표현이 가능하다. 또한, 격자형 모델과 달리 작업 공간의 크기에 비해 적은 메모리를 이용하여 지도를 관리할 수 있고 새로운 장애물이나 기존에 존재하던 장애물의 위치 변화 및 폐기 등의 관리가 용이하게 된다. 그리고 각 라인 세그먼트에 식별 번호를 부여하여 수평, 수직적인 계층 지도 관리가 가능하고, 위치 정보를 이용하여 기하학적인 방법으로 경로를 생성 할 수 있다.

2.2 허프변환(Hough Transform)을 이용한 선 소지도제작

그림 2.3과 같이 주행 중 얻는 센서값은 식 (2.2)와 같이 모델링이 가능하다.

$$X_i = X_{MR} + (d_i + d_{radius})\cos(\theta_{MR} + \theta_{S_i}) \quad (2.2)$$

$$Y_i = Y_{MR} + (d_i + d_{radius})\sin(\theta_{MR} + \theta_{S_i})$$

여기서, (X_i, Y_i) 은 센서 S_i 가 측정한 장애물의 위치 정보. $(X_{MR}, Y_{MR}, \theta_{MR})$ 는 이동로봇의 위치정보. $(d_{radius}, \theta_{S_i})$ 는 센서 S_i 가 놓인 위치를 이동로봇의 중심에서 표시한 센서위치정보이다. (X_i, Y_i) 를 가지고 허프변환을 이용하여 선소정보를 추출하게 된다.

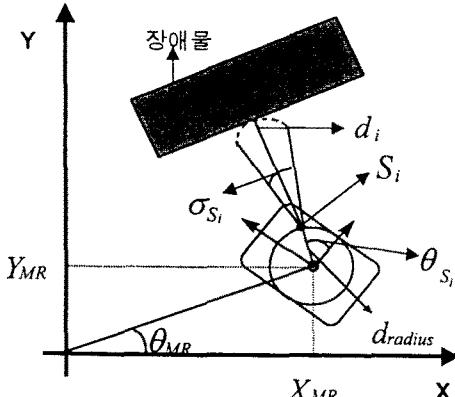


그림 2.3 초음파 센서 모델

허프변환(Hough Transform) - 허프변환은 이전 정보로 들어오는 점들의 복잡한 패턴을 결정하는 방법으로 처음 소개되었다. 들어온 입력을 통해 특정한 패턴을 식별하는 매개 변수를 결정하는 방법으로써, 이미지 공간(image space)에서 결정짓기 어려운 패턴인식 문제를 매개 공간(parameter space)에서의 지역 최대치를 결정 짓는 문제로 바꾸어 주는 역할을 한다.

직선을 결정짓는 이미지 정보 (\tilde{m}, \tilde{c}) 는 (x, y) 로 들어오는 위치정보들을 수집하여 다음과 같이 표현 가능하다.

$$f((\tilde{m}, \tilde{c}), (x, y)) = y - \tilde{m}x - \tilde{c} = 0 \quad (2.3)$$

이 때, \tilde{m} 과 \tilde{c} 각각은 직선의 기울기와 축 절편을 나타낸다. 식 (2.3)은 이미지 점들을 그 때의 매개 변수 (\tilde{m}, \tilde{c}) 로 대응시킨다. 즉 식 (2.3)의 직선에서 얻어지는 (x, y) 의 집합은 유일한 (\tilde{m}, \tilde{c}) 를 결정짓는다.

허프변환은 두 가지 방법으로 나뉘어진다. 식 (2.3)으로 표현되는 경우는 선형성을 유지하지만 매개 변수 공간이 무한대로 설정되는 단점이 있어 탐색할 때 시간이 오래 걸리고 기울기가 y 축과 평행인 경우에는 표현이 힘들어 진다. 식 (2.4)와 같이 표현되는 경우는 식 (2.5)와 같이 유한한 영역을 갖게 되므로 탐색 시간이 짧아서 직선의 매개 변수를 쉽게 찾을 수 있지만 심한 비선형성을 갖는 단점이 있다.

$$x_i \cos \theta + y_i \sin \theta = r \quad (2.4)$$

$$-\pi < \theta \leq \pi \quad (2.5)$$

$$0 \leq r \leq \sqrt{x_{max}^2 + y_{max}^2}$$

θ 는 라인세그먼트에 대한 수선의 기울기를 나타내고, r 는 원점으로부터 직선까지의 수직 거리를 나타낸다. 그러므로 이미지 공간 X-Y에서의 직선 위의 모든 점들 (x_i, y_i) 은 매개 변수 공간 $r - \theta$ 에서 (r, θ) 인 한 점으로 대응하게 된다. 설명한 알고리즘을 이용하여 수치 지도 작성을 한다. 이 알고리즘은 전적으로 지도 제작을 위해 작동하는 것이 아니라 이동로봇이 주행을 목적으로 환경 지도를 미리 수치 지도 형태로 입력받고 주행할 때, 추가로 측정되는 센서 정보를 통해 새로운 장애물을 감지하여 기존 지도를 보완하는 것을 목적으로 한다. 따라서 이러한 과정을 통해 주행 중 제작된 지도는 다음에 설명될 중간 경유점 설정에 이용된다.

2.3 중간경유점 설정

선소 정보로 이루어진 환경모델을 가진 로봇의 경로계획은 로봇이 경유해야 할 중간 경유점을 구하고 그 지점을 로봇으로 하여금 지나게 하여 최종 목표점까지 도달하게 함으로써 가능하다. 그 과정은 다음과 같다.

먼저 시작점에서 목표점까지 바라보는 시선과 만나는 라인세그먼트와의 교점의 집합 $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, \dots\}$ 을 구한다. 이 때, 시작점에서 가장 가까운 교점이 포함된 라인 세그먼트를 피하는 중간 경유점 S_1 을 라인 세그먼트 끝점 근처에 구한다. 선정은 이동로봇의 크기와 회전 반경을 고려하여 설정한다. 시작점에서 S_1 까지 시선과 라인세그먼트와의 교점을 고려하여 교점이 없으면 경유점을 확정한다. S_1 까지는 안전한 주행이 보장된다. 그리고 다음단계로 첫 중간경유점에서 목표점까지의 시선과 만나는 라인세그먼트의 교점 중 S_1 에서 가장 가까운 점이 속한 라인세그먼트의 끝점 근방에 S_2 를 구한다. 이와 같은 과정을 반복하여 목표점까지 도달하면 최종적인 장애물 회피 경로가 생성된다. 전체적인 알고리즘은

다음과 같다.

< 중간 경유점 선정 알고리즘 >
초기위치 Ps 목표위치 Pg
step 1
 if(Obs(Ps,Pg)=0) then
 g = Pg
 p = Ps
 else
 push(Pg, S)
step 2
 if(g=Pg or Obs(p,g)=0) then
 exit
 else
 push(p, S)
step 3
 h = min(find(p, g).p)
 p = set(p, h)
 goto step 2

관련 함수 내용

Obs(a, b): a점과 b점을 잇는 선분과 지도의 선분과 만나는 교점의 개수를 구함
push(a, S): a점을 스택 S에 저장
find(a, b): a점과 b점을 잇는 선분과 지도의 선분과 만나는 교점의 위치를 구함
min(H, a): 집합 H원소 중 a점과의 거리가 가장 작은 점이 속한 선분을 구함
set(a, c): c선분에서 끝에서 일정 거리 떨어진 점을 선택

위의 알고리즘에서 이용된 함수는 기하학적인 성질을 이용하여 구현 가능하다.

2.4 모의 실험

다음은 제시한 알고리즘에 의해서 모의실험을 한 결과이다. 그림 2.4는 로봇의 환경정보를 라인 세그먼트로 나타낸 것이다. 또한 시작점과 목표점을 표시한 것이다. 로봇의 환경은 사무실 환경으로서 가정하였다.

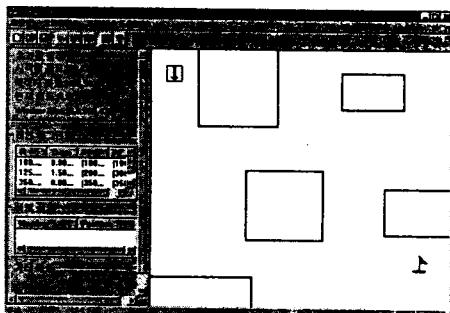


그림 2.4 로봇의 주행 환경

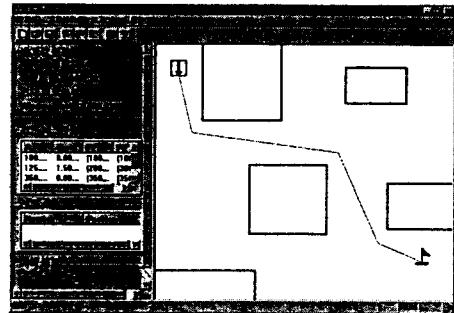


그림 2.5 생성된 경로

그림 2.5는 알고리즘에 의해서 생성된 경로이다. 중간에서 꺾여진 부분이 subgoal로 위의 예에서는 3개의 subgoal이 생성되었음을 알 수 있다. 라인 세그먼트 정보로 이루어진 환경모델이어서 경로계획의 수행시간과 메모리 사용량이 크게 감소하였다.

3. 결론 및 추후과제

본 연구를 통해 센서로부터 취득된 거리정보로부터 허프 변환을 이용한 라인세그먼트 수치지도의 작성했고 다음으로 제작된 선소정보를 이용한 시작점에서 목표점까지 장애물을 회피하기 위한 중간 경유점 선정을 통한 경로계획을 하였다. 또한 제안된 알고리즘을 모의실험을 통하여 그 타당성을 실현하였다.

현재 연구실에서 제작한 로봇에 적용하기 위한 작업과 장착되어 있는 시각 센서(vision sensor)에 의해 취득된 정보와의 데이터 융합(fusion)이 수행되어야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] Bruce H. Krogh, Dai Feng, "Dynamic Generation of Subgoals for Autonomous Mobile Robots Using Local Feedback Information," *IEEE Trans. on Automatic Control*, vol. 34, no. 5, pp. 843-854, Dec. 1979
- [2] Alberto Elfes, "Sonar-based real-world mapping and navigation," *IEEE J. Robotics Automat.*, vol. RA-3, no. 6, pp. 249-265, 1987
- [3] J. G. Lee and H. Chung, "Global path planning for mobile robot with grid-type world model," *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 11, no. 1, pp. 13-21, 1994
- [4] J. L. Crowley, "World Modeling and Position Estimation for a Mobile Robot Using Ultrasonic Ranging," *IEEE J. Robotics Automat.*, pp. 647-680, 1989
- [5] J. L. Crowley, "Comparison of Position Estimation Techniques Using Occupancy Grids," *IEEE J. Robotics Automat.*, pp. 1628-1634, 1994