

자율이동로봇의 효과적인 이동을 위한 실시간 경로생성 방법

사인규*, 안호석**, 이형규*, 최진영**
 삼성전자*, 서울대학교**

A real-time path planning method for efficient movement of a mobile robot.

In-Kyu Sa*, Ho Seok Ahn**, Hyung-Kyu Lee* and Jin Young Choi**
 Samsung Electronics Co.*, Seoul National University**

Abstract - A real-time path planning of mobile robots is a broad topic, covering a large spectrum of different technologies and applications. Briefly a path planning is designated moving technique from current pose to desired pose. It is remarkably easy to handle for human, not for robot. It is difficult that a robot recognizes surround to get a current pose and to avoid an obstacles. In this paper covers kinematics, path planning for efficient movements of a mobile robot. Kinematics of mobile robot which is suggested in this paper is exploited to create reliable and suitable motions. In addition, Gradient method is a algorithm which can guarantee for real-time path planning.
 Key words: path planning, kinematics, gradient method.

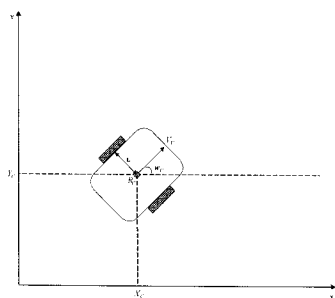
1. 서 론

본 논문에서는 자율이동로봇이 장애물이 주어진 Global 지도의 정보를 이용하여 원하는 목표점까지 안전하고 빠르게 주행할 수 있는 최적의 경로를 생성하는 방법에 관한 것이다. 일반적으로 장애물 회피에 대한 효과적인 알고리즘 없이 최적의 경로계획은 이루어지기 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 로봇을 자연스럽게 움직이기 위해 기구학과 행동 생성기에 대해서 다룬다. 이동 로봇의 주행에 관련된 주어진 환경상의 지도 정보를 이용하여 Gradient method를 통한 최적의 경로를 생성해 내고, 각 특징점(Feature Point) 사이를 장애물을 회피하며, 다음 특징점(Feature Point)까지 안전하고 빠르게 이동할 수 있는 이동로봇의 경로계획 생성방법을 제안한다. 2장에서는 Mobile robot kinematics, Motion generator, Path planning에 대해서 설명하고, 3장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 본 론

2.1 Mobile Robot Kinematics

이동 로봇의 기구학은 로봇의 바퀴 반지름, 바퀴 사이의 축간 거리 등을 이용하여 모터가 회전 하였을 때의 이동 거리 및 속도를 알아내는 방법이다. 일반적으로 두 개의 바퀴를 사용하여 움직이는 이동로봇의 경우 기구학은 매우 단순하다. 하지만 전 방향 로봇이나 네 개의 바퀴를 사용하는 로봇의 기구학은 복잡하다. 따라서 본 논문에서는 두 개의 바퀴를 사용하는 로봇의 경우를 생각한다. 그림 1은 두 개의 바퀴를 사용하는 로봇의 기구학이다. 여기서 V_C 는 양 바퀴의 속도를 더한 후 2로 나누어 주는 형식으로 매우 직관적이지만, W_C 는 직관적이지 않기 때문에 아래와 같이 유도과정을 거쳐 W_C 를 구할 수 있다.



$$V_C = \frac{\omega_R + \omega_L}{2} \cdot R$$

$$V_C = \frac{V_R + V_L}{2}$$

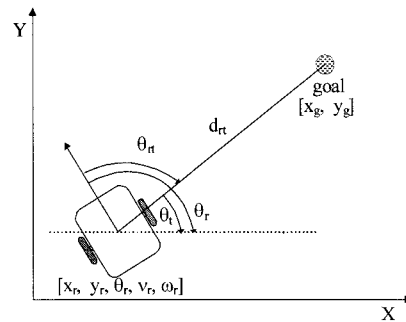
$$\omega_C = \frac{\omega_R - \omega_L}{2L} \cdot R$$

$$\omega_C = \frac{V_R - V_L}{2L}$$

<그림 1> 두 개의 바퀴를 사용하는 로봇의 기구학

2.2 Motion Generator

로봇이 주어진 환경에서 자율적으로 움직이기 위해서는 목표점이 있어야 하며, 로봇이 목표점까지 도달하기 위해 로봇의 바퀴 속도를 적절히 생성해 주어야 한다. 이런 역할을 하는 모듈을 Motion Generator[1]라고 하며, 본 논문에서는 사다리꼴 형태의 Profile을 작성하고 그 속도를 모터출력으로 주는 형식인 reactive방식의 궤적 생성방식을 제안한다. 그림 2는 로봇이 임의의 위치에 있고 목표점이 정해진 경우, Motion Generator의 동작 방식을 설명한다.



<그림 2> Motion Generator의 동작 방식

그림 2는 식 (1)과 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $x_r(t)$ 과 $y_r(t)$ 는 로봇의 위치, $\theta_r(t)$ 는 로봇의 각도 $V_r(t)$ 은 로봇의 선속도, $w_r(t)$ 은 로봇의 각속도 $x_g(t)$ 와 $y_g(t)$ 는 목표 점의 위치이다.

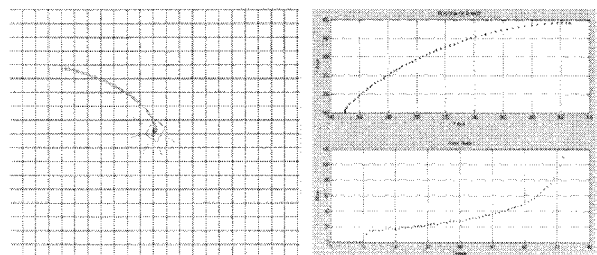
$$S_r(t) = [x_r(t) \ y_r(t) \ \theta_r(t) \ V_r(t) \ \omega_r(t)]^T \quad (1)$$

$$G(t) = [x_g(t) \ y_g(t)]^T \quad (2)$$

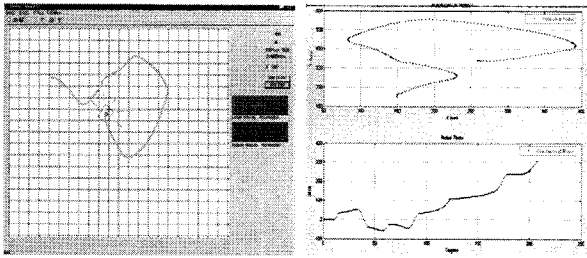
이렇게 주어진 변수들을 이용하여 로봇 행동 제어기는 다음 시점의 로봇의 선속도와 각속도를 만들어 낸다. 한계 선가속도와 한계 각 가속도를 고려한 다음 시점에서의 선속도와 각속도는 식 (3)과 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_r(t+1) = Pr[V_r(t) + \delta_t \nabla_v(t+1)] \ , \ where \ |\nabla_v(t+1)| \leq |\nabla_{vMAX}| \quad (3)$$

$$\omega_r(t+1) = Pr[\omega_r(t) + \delta_t \nabla_\omega(t+1)] \ , \ where \ |\nabla_\omega(t+1)| \leq |\nabla_{\omega MAX}| \quad (4)$$



<그림 3> Motion Generator의 실험 결과 1



〈그림 4〉 Motion Generator의 실험 결과 2

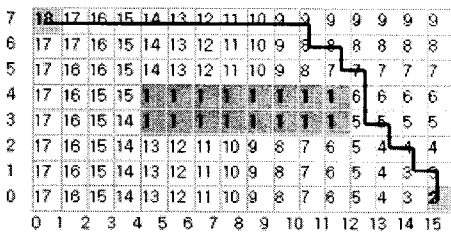
식 (3)과 식 (4)를 적용하여 시뮬레이션 해본 결과는 그림 3과 그림 4와 같다. 로봇이 자연스럽게 목표점까지 이동할 수 있음을 실험 결과를 통해 알 수 있다.

2.3 Path Planning

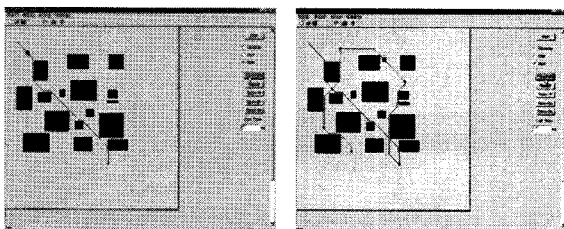
본 논문에서는 Grid Map기반의 Gradient Method[2-3]를 응용하여 목표점까지 찾아가도록 구현하였다. Gradient Method방식의 Path Planning방법은 Wavefront알고리즘을 기반으로 길을 찾아 나간다. Wavefront알고리즘은 Breadth First방식으로 2차원의 Grid Map을 탐색해 나간다. 각 셀에 Cost를 할당하며 알고리즘이 진행되며 목표점까지 도착하면 종료하게 된다. 그리고 주어진 지도를 탐색하기 위해서는 표 1과 같이 초기 조건들이 필요하다. 그림 5는 경로 생성 결과이다. Gradient Method의 검증에 위해 그림 6과 같이 Simulator를 개발하여 실험했다.

〈표 1〉 Gradient method 초기 조건

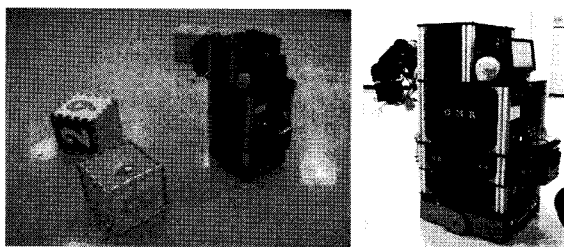
1. 도착점은 2의 값을 갖는다.
2. 비어있는 셀들은 0의 값을 갖는다.
3. 장애물들은 1의 값을 갖는다.
4. 탐색을 목표점부터 4방향(동, 서, 남, 북)
5. 목표점에서부터 알고리즘을 수행한다.



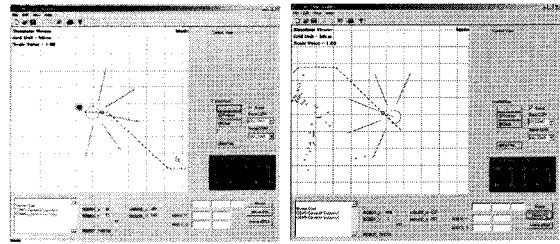
〈그림 5〉 경로 생성 결과



〈그림 6〉 Gradient path planning 실험 결과



〈그림 7〉 실험 환경 및 실험에 사용한 로봇



〈그림 8〉 실제 로봇에서의 실험 결과

500x500 셀에서 경로를 생성하는데 약 30ms의 처리시간이 걸렸고, 셀 크기를 5cm라고 가정했을 때, 25m공간에서 로봇이 이동할 수 있다. 그림 6과 같은 Simulator를 기반으로 그림 7과 같이 실제 로봇[4-5]을 구현하여 알고리즘을 적용하여 실험을 했다. 그리고 그림 8과 같은 실험 결과를 얻었다.

3. 결 론

본 논문에서 사용한 Gradient Method의 장점은 목표점까지 도달하면 연산을 중지하기 때문에 연산 량을 줄 일수 있다. 그리고 Path가 다시 만들어 지는 경우는 기존에 만들어 진 Path에 새로운 Path를 추가하는 방식인 Linear Programming방식으로 계산하기 때문에 불필요한 연산을 줄인다. 또한 대부분의 경로 생성 방법들의 약점인 Local Minima 문제를 해결할 수 있는 점이 매우 큰 장점이라 할 수 있다. 하지만 Map의 크기에 비례하여 연산 속도가 걸리는 단점과 Memory에 Map정보를 가지고 있어야 하기 때문에 그만큼의 자원이 필요하다. 하지만 요즘 컴퓨터의 능력에서는 500x500크기의 Map도 실시간으로 검색하여 경로를 생성할 수 있다. 실험 환경은 1개의 셀이 5cm를 의미한다고 가정하고 실험을 하였고 2500cm x 2500cm 공간에서 로봇은 자유롭게 이동할 수 있다. 이동로봇은 이동을 하며 경로를 생성해야 할 뿐만 아니라 주변 환경에 대한 환경지도도 작성해야 한다. 저장된 환경지도는 메모리에 저장되어 다음번 그 위치를 지나갈 때 장애물 회피 할 때 사용되기 때문이다.

환경지도도 작성하는 방법은 여러 가지가 존재한다. 격자지도 기반의 방식과 특이점만을 추출하여 연산량을 줄이고 실시간성을 보장하는 위상지도 방식이 있다. 격자지도를 기반으로 하는 환경의 모델링 기술은 거의 완성 단계에 있으며, 대규모 환경의 모델링을 위해서 위상지도 작성 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한, 방과 같은 지역 환경은 격자지도 또는 특징지도로 표현하고, 이들 지역 환경 사이의 관계는 위상지도로 표현하여 전역환경을 커버하는 하이브리드 지도의 작성 기술에 대한 연구도 진행되고 있다. 2차원 지도를 확장하여 거리센서 또는 영상센서를 사용하여 환경을 3차원적으로 모델링하는 연구도 현재 활발히 진행되고 있다. 격자지도의 정확성과 위상지도의 간결성의 장점을 취하는 메트릭-토폴로지컬 하이브리드[6] 지도에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 향후 기본적인 메모리가 증대함에 따라서 대규모 환경에 대해서도 격자지도와 같은 메트릭 지도의 사용이 활발해 질것이다.

〈참 고 문 헌〉

[1] 백승민, "Intelligent Hybrid Control of Mobile Robotic System," 박사학위 졸업 논문, 2002

[2] S. Thrun and A. Bucken, "Integrating grid-based and topological maps for mobile robot navigation," In Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence AAAI-96, 1996.

[3] R. Simmons, "The curvature-velocity method for local obstacle avoidance," In Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, 1999.

[4] Ho Seok Ahn, In-Kyu Sa, Young Min Baek, and Jin Young Choi, "Intelligent Unmanned Store Robot "Part Timer"," Advances In Service Robotics, IN-TEH, pp.1-26, 2008.

[5] Ho Seok Ahn, et. al., "Modular System Architecture of Intelligent Service Robots Focused on Smart Adapted Services," International Conference on Advanced Robotics, pp.1123-1128, 2007.

[6] Michael Kaiser, Volker Klingspor, Jose del R, Millan, Marco Accame, Frank Waliner, and Rudiger Dillmann, "Using Machine Learning Techniques in Real-World Mobile Robots," Intelligent robotics systems magazine, 1995.