

안전한 주행을 위한 쿨롱 법칙과 정보 격자지도 기반의 경로계획

정민국[†] · 박중태* · 송재복**

Coulomb's law-based path planning using an information grid map for safe navigation

Min-Kuk Jung, Joong-Tae Park and Jae-Bok Song

Key Words : Path planning (경로 계획), Information grid map(정보 격자지도), Mobile robot(이동로봇)

Abstract

Conventional path planning methods focused on generation of an optimal path to the goal. However, the optimal path cannot guarantee safe navigation because it can often lead to the narrow area. Therefore, we propose a Coulomb's law-based safe path planning method using an information grid map. The information grid map includes four types of information; occupied, empty, safe, and dangerous areas. A safe path can be generated away from the dangerous area and close to the safe area by repulsive and attractive forces, respectively. The experiments and simulations show that the proposed method can generate paths inside the safe region and is useful for safe navigation.

1. 서론

기존의 경로계획법들은 로봇의 효율적인 이동을 위해, 목적지까지의 최단경로 생성에만 연구의 초점을 맞추었다 [1]-[3]. 로봇은 이동장애물이 없거나 사각지대가 존재하지 않는 공간에서는, 최단거리 경로를 통해 목적지까지 빠르고 안전하게 도착할 수 있다. 하지만 최단거리 경로가 다수의 이동장애물이 빈번하게 출현하는 장소를 통과하게 된다면, 로봇은 이동장애물과 충돌하거나 충돌회피를 위해 많은 시간을 소비하게 된다. 이는 결과적으로 로봇의 신뢰성을 저하하는 요인이 된다.

본 논문에서는 정보 격자지도와 쿨롱의 법칙을 이용한 안전한 경로계획 기법을 제안하였다. 제안된 방법은 이동장애물의 출현이 빈번한 곳 또는 사각지대를 우회할 수 있는 경로를 생성한다. 이

를 통해 로봇을 목적지까지 안전하게 유도할 수 있다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 정보 격자지도에 대해 설명하고, 3장에서는 쿨롱의 법칙에 기반한 비용함수 및 이를 이용한 경로계획법에 대해 설명한다. 4, 5장에서는 실험결과 및 결론을 도출한다.

2. 정보 격자지도

기존의 격자지도는 정지장애물에 대한 점유/비점유 정보만을 나타내므로, 이러한 격자지도만을 이용하여 목적지까지 안전한 경로를 생성하는 것은 매우 어렵다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 기존 격자지도에 안전 및 위험지역 정보를 포함한 정보 격자지도를 제안하였다.

안전한 경로계획법은 다수의 이동장애물이 존재하는 장소나 예기치 못한 장애물이 자주 발생하는 지역을 회피하여 목적지까지의 경로를 생성할 수 있어야 한다. 이를 위해 이동장애물의 출현이 적은 지역을 선정하여 이를 안전지역으로 설정하였다 (Fig. 1의 빗금으로 표시).

[†] 정민국: 고려대학교 메카트로닉스

E-mail : dpsek@korea.ac.kr

TEL : (02)929-8501 FAX : (02)929-8501

* 박중태: 고려대학교 메카트로닉스 (geullu@korea.ac.kr)

**송재복: 고려대학교 기계공학부 (jbsong@korea.ac.kr)

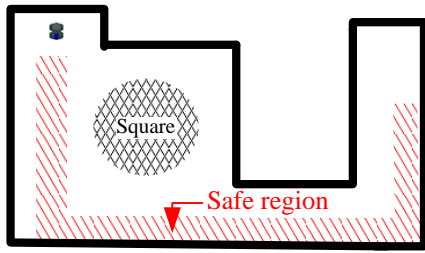


Fig.1 Safe regions on the information map

본 논문에서는 협소한 공간으로 인해 로봇의 이동이 원활하지 못한 지역 또는 문 주변과 같이 돌발장애물과의 충돌이 많이 발생하는 곳을 위험지역이라고 명하고, Fig. 2와 같이 지도에 등록하였다.

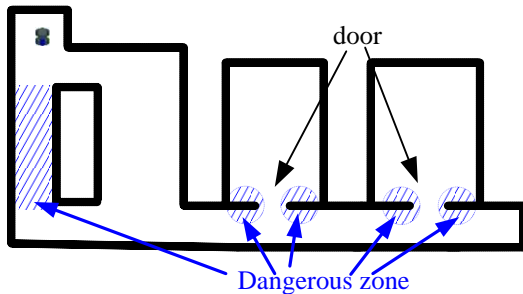


Fig.2 Dangerous regions on the information map

3. 비용함수를 이용한 경로 생성

고유비용(intrinsic cost)은 환경과 관련되어 지도의 특성을 나타내는 비용이다. 대표적인 요소로 장애물, 미끄러운 바닥, 요철이 심한 바닥, 정보가 불확실한 미지의 영역들을 고려할 수 있다. 즉, 로봇이 주행 중에 회피하기를 원하는 영역에 속하는 격자에 높은 고유비용을 부여함으로써, 실제 경로 계획에서 이들 영역을 회피할 수 있다.

근접비용(adjacency cost)은 두 점 간의 이동에 관련된 비용으로, 대부분의 경우 이동거리에 비례하여 경로비용을 부여한다. 즉, 각 격자에 목표점으로부터 거리가 멀수록 더 큰 비용을 부여한다.

인력비용은 안전지역에서 발생하는 비용으로서 쿨롱의 법칙을 기반으로 한다. 쿨롱의 법칙은 전하를 가진 두 물체 사이에 작용하는 힘의 크기를 나타내는 법칙으로서, 두 전하가 가지는 전하의 크기에 비례하고 거리의 제곱에 반비례한다. 같은 극성의 전하는 서로 미는 척력이, 다른 극성의 전하는 서로 잡아당기는 인력이 형성된다. 본 연구에서는 정보 격자지도를 사용하여 경로를 생성하기 위해서 척력과 인력을 동시에 사용할 수 있는 쿨롱의 법칙을 사용하였다. 쿨롱의 법칙은 두 전하 q_1, q_2 사이에 작용하는 전기력(F)으로서 다음

과 같다.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1)$$

여기서 q_1, q_2 는 각각의 전하를 나타내며, r 은 두 전하 사이의 거리이며, k 는 쿨롱 상수이다. 또한, 전자기력 F 의 방향은 두 전하 q_1, q_2 에 따라 정해진다. 두 점의 전하가 반대이면 인력을, 전하가 같으면 척력을 발생시킨다. 본 연구에서는 로봇(q_1)을 (-) 전하로 설정하고, 지도에 표시된 안전지역(q_2)을 (+) 전하로 설정하여, 로봇과 안전지역 사이에 인력을 발생시킨다.

척력비용은 위험지역에서 발생하는 비용으로서, 이 역시 쿨롱의 법칙을 기반으로 한다. 단 인력비용과 달리 지도에 표시된 위험지역(q_2)에 (-)를 설정한다. 그러면 로봇과 위험지역간의 척력이 발생하게 된다.

현재 위치에서 목표점으로 가는 경로를 결정하는 방법으로 주행비용(navigation cost)의 개념을 사용한다. 이 주행비용은 시작점부터 목표점까지 존재하는 다수의 경로 중 최소의 비용을 가진 경로를 선택하기 위해 사용된다. 경로 P 는 지도상의 주행가능 공간 내의 경로점들의 수열이라고 정의한다.

$$P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_N\} \quad (2)$$

여기서 p_i 는 경로상의 경로점을 의미하며, N 은 시작점과 목표점을 포함한 경로상의 모든 경로점의 개수를 나타낸다. 따라서 마지막 점인 p_N 은 목표점에 해당한다. 한편, 경로 P 의 비용함수 $F(P)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F(P) = \sum_{i=1}^N (I(p_i) + A(p_i, p_{i+1}) + G(p_i) + R(p_i)) \quad (4)$$

여기서 $I(p_i)$ 는 점 p_i 에서의 고유비용, $A(p_i, p_{i+1})$ 는 점 p_i 에서 점 p_{i+1} 까지의 이동에 대한 근접비용, $G(p_i)$ 는 p_i 에서의 인력비용, 그리고 $R(p_i)$ 는 p_i 에서의 척력비용을 각각 나타낸다. 식 (4)는 경로 P 를 통하여 목표점에 도달하는 경우의 비용을 나타내는데, 시작점에서 목표점까지 주행하는 경로는 다수 개가 존재할 수 있으므로 이들 경로 중에서 최적의 경로를 선택하는 것이 필요하다. 이를 위하여 다음과 같이 주행비용 함수를 정의한다.

$$N_k = \min_{P_k} F(P_k) \quad (5)$$

여기서, P_k 는 점 k 에서 시작하는 경로를 나타낸다. N_k 는 점 k 에서의 주행비용 함수로 정의되는데, 그 값은 점 k 에서 시작하는 다수의 경로 P_k 중에서 최소비용을 갖는 경로의 비용으로 부여된다.

4. 실험결과

본 장에서는 쿨롱의 법칙을 이용한 안전한 경로의 계획법을 시뮬레이션을 통해 검증하고자 한다. Figure 3(a)는 구배법(gradient method)을 이용하여 생성한 최단거리 경로로, 로봇이 통과하기 수월한 넓은 공간이 있음에도 불구하고, 좁은 공간으로 생성되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 경우 로봇의 위치 불확실성이 커질 경우 벽과 충돌할 위험이 있다. 반면에, Fig. 3(b)는 위험지역에서 발생하는 척력에 의해, 좁은 통로를 우회하고 넓은 지역으로 경로를 생성할 수 있다. 따라서 로봇의 위치 불확실성이 커지더라도 상대적으로 벽과의 충돌 위험성이 작으며, 이동장애물에 대한 대응도 수월하다.

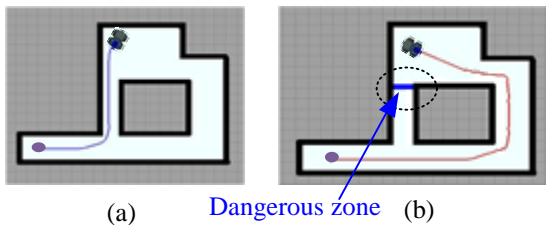


Fig. 3 Generated path according to repulsion cost.

또한, 일반적으로 Fig. 4(a)와 같은 넓은 공간에서는 구배법을 이용하여 최단거리 경로를 생성하는 것이 로봇의 이동효율을 높일 수 있는 방법이지만, 생성된 최단거리 경로가 다수의 이동장애물이 빈번하게 출현하는 장소라면, 로봇은 이동장애물과의 충돌을 회피하기 위해 많은 시간을 소비하게 되고, 결과적으로 이동효율이 저하된다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 4(b)와 같이 인력을 이용하여, 안전지역에 인접하게 경로를 생성하도록 하였다. 이러한 경로를 따라 주행하는 로봇은 이동장애물과 만날 확률이 상대적으로 작으므로 목적지까지 안전하고 빠르게 이동할 수 있다. 이와 같이 정보격자 지도를 바탕으로 로봇을 안전지역으로 움직이게 하고, 위험지역으로 로봇의 접근을 막아 로봇

이 안전하게 주행할 수 있는 경로를 생성할 수 있다.

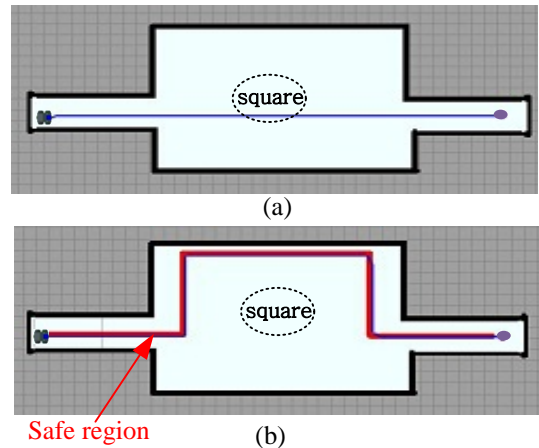


Fig.4 Generated path according to attraction cost.

5. 결론

본 논문에서는 정보 격자지도와 쿨롱의 법칙을 이용한 안전한 경로의 계획법을 제안하였다. 제안된 방법을 통해 목적지까지의 안전한 경로를 생성함으로써, 로봇과 이동장애물간의 충돌을 사전에 방지할 수 있으며, 이를 통해 로봇의 주행 신뢰성 및 효율성을 향상시킬 수 있다. 그리고 정보 격자 지도에 안전/위험지역 이외의 보다 다양한 정보를 포함하게 된다면, 로봇 스스로 상황에 맞는 지능적 경로계획을 수행할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 지식경제부 지원으로 수행하는 21C 프론티어 연구개발사업 및 지식경제부 융복합형 로봇인력 양성사업인 “자율지능형 머니플레이션 연구센터”를 통하여 수행되었음. (NIPA-2011-C7000-1001-0003).

참고문헌

- (1) Rajkoand, S., LaValle, S. M., 2001, “Apursuit-evasion bug algorithm,” *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1954~1960.
- (2) Hwang, Y. K., Ahuja, N., 1992, “A potential field approach to path planning,” *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol 8, No 1, pp23~32.
- (3) Hart, P. E., Nilsson, N. J., Raphael, B., 1968, “A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths”, *IEEE Trans. on Systems Science and Cybernetics*, Vol4, No.2, pp100~107.