

퍼텐셜 필드를 이용한 이동 로봇의 경로 계획

정경권^{*}, 강성호^{*}, 정성부^{**}, 엄기환^{*}

^{*}동국대학교, ^{**}서일대학

Path Planning of Mobile Robot using a Potential Field

Kyung Kwon Jung^{*}, Seung Ho Kang^{*}, Sung Boo Chung^{**}, Ki Hwan Eom^{*}

^{*}Dongguk University, ^{**}Seoil College

E-mail : kihwanum@dongguk.edu

요 약

본 논문에서는 바퀴로 구성된 이동 로봇의 슬립 방지를 위한 경로 계획은 제안한다. 제안한 방식은 퍼텐셜 필드 경로 계획에서 척력에 대한 인위적인 힘을 평탄화 시키는 방식이다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 이동 로봇의 활동 영역에 C-obstacle이 존재하는 경우에 대해 시뮬레이션 하여 제안한 방식의 성능이 기존 퍼텐셜 필드 방식보다 우수함을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper propose a method of mobile robot path planning for prevention of slip using potential field. The path planning minimizes robot slip for the potential field method to smooth a potential barrier. In order to verify the effectiveness of the proposed method, we performed simulations on path planning with C-obstacles in the workspace. The results show that the proposed method considerably improves on the performance of the general potential field method.

키워드

potential field, mobile robot, path planning, potential field, prevention of slip

1. 서 론

이동로봇은 어떤 환경 하에서 미리 알고 있는 장애물을 피해 안전하게 원하는 목적지까지 움직여야 하며, 로봇이 원하는 목적지까지 가는데 중요한 역할을 한다. 경로 계획이란, 환경인식에 의해 작성된 지도의 정보 등을 이용해 안전하게 목적지까지 도착할 수 있는 경로를 찾는 것이다. 경로 계획은 장애물에 대한 정보에 따라 경로 계획은 전역 경로 계획(global path planning: GPP), 지역 경로 계획(local path planning: LPP), 혼합 경로 계획(hybrid path planning)으로 분류한다. 전역적인 방식은 로봇과 경로 상에 환경은 완전히 알려져 있고, 이러한 접근방식은 로봇으로부터 목적지까지 완전한 경로를 계산할 수 있다. 지역

적인 방식은 로봇이 경로 상에 미리 알려져 있지 않은 장애물을 만날 때 장애물을 회피하기 위한 경로 계획을 의미한다. 혼합형은 전역적인 방식과 지역적인 방식이 혼합된 방식을 의미한다. 장애물 회피 방식에 따른 경로 계획은 roadmap, skeleton, cell decomposition, potential field, vector field 등으로 분류되며 주위 환경에 따라 다양하게 이용되고 있다[1][2].

퍼텐셜 필드는 초기에 실시간 장애물 회피 접근방식으로 개발 되었으나, 로봇이 장애물에 대한 사전 정보를 갖고 있지 않다면 실행할 수 없었다. 그러나, 퍼텐셜 필드의 기본 아이디어는 그래프 검색 기술과 통합될 수 있어 이동 로봇의 전역적인 경로 계획에 이용되고 있다[3][4].

본 논문에서는 바퀴로 구성된 이동 로봇의 슬립 방지를 위한 경로 계획을 제안한다. 이동 로봇의 슬립은 표면 마찰력, 로봇 속도와 지면 속도와 차이 등의 여러 원인에 의해 발생할 수 있으나 본 논문에서는 로봇이 회전할 때 발생하는 lateral force와 슬립각에 의해 슬립이 발생하는 것으로 가정한다. 제안하는 방식은 퍼텐셜 필드 경로 계획에서 척력에 대한 인위적인 힘을 평탄화 시키는 방식이다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 이동 로봇의 활동 영역에 3개의 인위적인 C-obstacle이 존재하는 경우에 대하여 일반적인 퍼텐셜 필드 경로 계획과 제안한 방식에 대해 시뮬레이션하여 비교·검토한다.

II. 퍼텐셜 필드

퍼텐셜 필드에서 로봇은 목적지 지형과 C-obstacles에 의해 만들어진 인위적인 퍼텐셜 (potential)의 영향하에 움직이는 지형공간에 존재하는 미립자로 표현된다. 여기서, C-obstacles은 로봇의 작업 공간에 존재하는 장애물을 의미한다.

일반적으로 목적지에서는 로봇을 목적지로 당기기 위해 인력 퍼텐셜(attractive potential)이 발생되고, C-obstacles에서는 로봇을 그들로부터 밀기 위해 척력 퍼텐셜(repulsive potential)이 발생한다. 전체 퍼텐셜의 음(negated)의 기울기는 로봇에 적용된 인위적인 힘으로 처리되고, 이 힘의 방향은 로봇이 움직여야 할 최적의 방향으로 여겨진다.

인력 퍼텐셜은 로봇과 목적지 사이의 Euclidean 거리에 대하여 포물선 함수 관계를 갖는 것으로 정의하며, 식 (1)과 같다[4].

$$U_{att}(q) = \frac{1}{2} \zeta \rho_{goal}^2(q) \quad (1)$$

여기서, $U_{att}(q)$ 는 인력 퍼텐셜, ζ 는 양의 가중치 인자, $\rho_{goal}(q)$ 는 Euclidean 거리 $\|q - q_{goal}\|$ 이고, q 는 로봇의 위치, q_{goal} 은 목적지를 의미한다. 인력에 대한 인위적인 힘은 인력 퍼텐셜을 미분하여 구하고, 목적지에 대하여 수렴하며 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} F_{att}(q) &= -\nabla U_{att}(q) \quad (2) \\ &= -\zeta \rho_{goal}(q) \nabla \rho_{goal}(q) \\ &= -\zeta (q - q_{goal}) \end{aligned}$$

여기서, ∇U 는 기울기(gradient) 벡터로 식 (3)과 같다.

$$\nabla U = \begin{bmatrix} \frac{\partial U}{\partial x} \\ \frac{\partial U}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3)$$

척력 퍼텐셜은 C-obstacle 주위에 로봇이 진행할 수 없도록 퍼텐셜 장벽을 만드는 것이며, 일반적으로 로봇이 C-obstacle로부터 충분히 떨어져 있을 경우 영향을 주지 않는다. 식 (4)는 척력 퍼텐셜을 나타내는 식이다.

$$U_{rep}(q) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{\rho(q)} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 & \text{if } \rho(q) \leq \rho_0 \\ 0 & \text{if } \rho(q) > \rho_0 \end{cases} \quad (4)$$

여기서, η 는 양의 가중치 인자, $\rho(q)$ 는 C-obstacle 지역으로부터 로봇의 위치 q 까지 최소 거리, ρ_0 는 C-obstacle 영향의 거리로 양의 상수이다. 척력 퍼텐셜 함수는 양수이거나 제로이며 로봇의 위치 q 가 객체에 가까워지면 무한대로 접근한다. 척력 퍼텐셜로부터 인위적인 힘은 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} F(q) &= -\nabla U_{rep}(q) \\ &= \begin{cases} \eta \left(\frac{1}{\rho(q)} - \frac{1}{\rho_0} \right) \frac{1}{\rho^2(q)} \nabla \rho(q) & \text{if } \rho(q) \leq \rho_0 \\ 0 & \text{if } \rho(q) > \rho_0 \end{cases} \quad (5) \end{aligned}$$

장애물을 회피하면서 목적지까지 도착하게끔 로봇을 이끄는 힘은 앞에서 유도한 인력과 척력에 대한 인위적인 힘의 합으로 구성되고 식 (6)으로 표현된다.

$$F(q) = F_{att}(q) + F_{rep}(q) \quad (6)$$

III. 제안하는 슬립방지를 위한 경로 계획

로봇의 슬립이 lateral force와 슬립각에 의해서 발생한다고 가정하면, 일반적인 퍼텐셜 필드 이동 경로계획 방식에 따라 장애물을 회피하는 경우 슬립각이 상대적으로 커질 수 있다[3][4]. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해 퍼텐셜 필드 이동 경로계획에서 척력에 대한 인위적인 힘은 평탄화될 필요가 있으며, 척력에 대한 인위적인 힘을 평탄화시키는 방식을 제안한다.

식 (4)와 같은 척력 퍼텐셜을 좀 더 평탄화하기 위하여 식 (7)과 같이 대수의 지수승을 제안한다.

$$U_{rep}^p(q) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta e^{\left(\frac{1}{\rho(q)} - \frac{1}{\rho_0}\right)^2} & \text{if } \rho(q) \leq \rho_0 \\ 0 & \text{if } \rho(q) > \rho_0 \end{cases} \quad (7)$$

여기서, U_{rep}^p 는 제안된 척력 퍼텐셜을 의미한다.

대부분의 경우 로봇이 움직이는 경로는 척력의 퍼텐셜에 대하여 퍼텐셜 장벽이 시작되는 부분에서 움직이게 될 것이다. 이 좌표값의 주위에서 퍼텐셜 장벽의 기울기를 비교하여 보면 제안한 방식이 좀 더 평탄하다. 따라서 로봇이 움직이는 경로가 완만해지므로 슬립을 좀 더 방지할 수 있다.

식 (7)로부터 척력에 대한 인위적인 힘을 구하면 식 (8)과 같다.

$$\mathbf{F}_{rep}^p(q) = -\nabla U_{rep}^p(q) = \begin{cases} \eta e^{\left(\frac{1}{\rho(q)} - \frac{1}{\rho_0}\right)^2} \left(\frac{1}{\rho(q)} - \frac{1}{\rho_0}\right) \frac{\nabla \rho(q)}{\rho^2(q)} & \text{if } \rho(q) \leq \rho_0 \\ 0 & \text{if } \rho(q) > \rho_0 \end{cases} \quad (8)$$

여기서, $\mathbf{F}_{rep}^p(q)$ 는 제안된 척력에 대한 인위적인 힘을 의미한다. 식 (8)로부터 보다 평탄화된 퍼텐셜 장벽을 얻을 수 있으며, 인력에 대한 인위적인 힘은 슬립각에 큰 영향을 주지 못하는 것으로 가정하면 이때 로봇을 이끄는 힘은 식 (9)와 같다.

$$\mathbf{F}(q) = \mathbf{F}_{att}(q) + \mathbf{F}_{rep}^p(q) \quad (9)$$

여기서, $\mathbf{F}_{att}(q)$ 는 인력에 대한 인위적인 힘을 의미하며 일반적인 퍼텐셜 필드 방식과 동일한 값이다.

IV. 시뮬레이션

제안한 방식의 유용성을 확인 하기 위해 MATLAB 프로그램을 이용하여 시뮬레이션한다. 슬립을 고려한 퍼텐셜 필드 이동경로계획에 대해 시뮬레이션을 통하여 성능을 확인한다.

이동로봇의 활동영역에 3개의 인위적인 C-obstacle이 존재하는 경우에 대하여 일반적인

퍼텐셜 필드 이동경로계획과 제안한 평탄화된 퍼텐셜 필드 이동경로계획에 대하여 비교 시뮬레이션을 하였다.

시뮬레이션에서 이용한 퍼텐셜 함수의 파라미터는 사용 목적에 따라 인위적으로 선택가능하며 [19], 장애물을 회피 하면서 목적지까지 이동로봇이 도달할 수 있는 시행착오방식에 따라 실험적으로 구한 값을 사용하였다. 식 (1)의 인력에 대한 가중치 ζ 는 15, 식 (4)의 척력 퍼텐셜에 대한 인위적인 힘의 가중치 η 는 0.01로 선택하였고, C-obstacle 영향의 거리 ρ_0 는 5[cm]로 정하였다.

4-1. 일반적인 퍼텐셜 필드 방식

그림 1은 2차원으로 나타낸 퍼텐셜 필드 이동 경로계획에 의해 추적된 로봇의 이동경로이다.

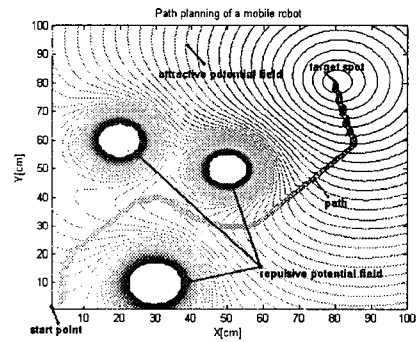


그림 1. 퍼텐셜 필드 추적 경로

그림 2는 목표지점에서 바라본 로봇의 추적 경로를 3차원으로 나타낸 그림이다.

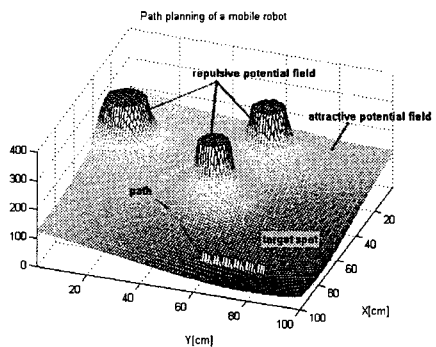


그림 2. 목표지점에서 바라본 3차원 추적 경로

그림 3은 출발지점에서 바라본 로봇의 추적 경로를 3차원으로 나타낸 그림이다.

그림 2와 그림 3에서 확인할 수 있듯이 퍼텐셜 장벽의 아랫 부분은 가파른 곡선을 이루고 있으며 이는 로봇이 큰 슬립각으로 이동한 것이다.

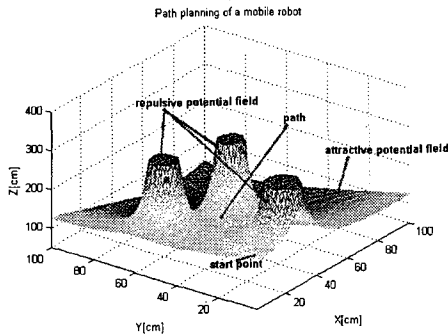


그림 3. 출발지점에서 바라본 3차원 추적 경로

4-2. 제안한 퍼텐셜 필드 방식

그림 4는 제안된 방식에 의해 2차원으로 나타낸 추적된 로봇의 이동경로이다.

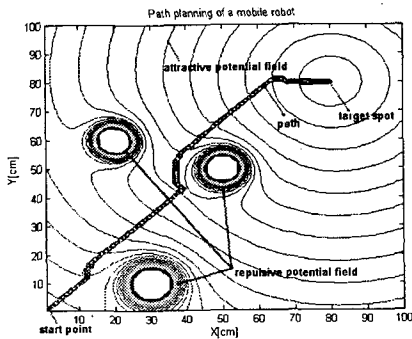


그림 4. 제안한 방식의 퍼텐셜 필드 추적 경로

그림 1과 그림 4에 대하여 추적 경로를 비교하면 일반적인 퍼텐셜 필드 방식은 퍼텐셜 장벽과 만나는 지점에서 제안한 방식에 비해 회전각이 큼을 알 수 있다. 이는 일반적인 퍼텐셜 필드 방식은 제안한 방식에 비해 로봇의 슬립이 발생할 수 있는 확률이 크다는 것을 의미한다.

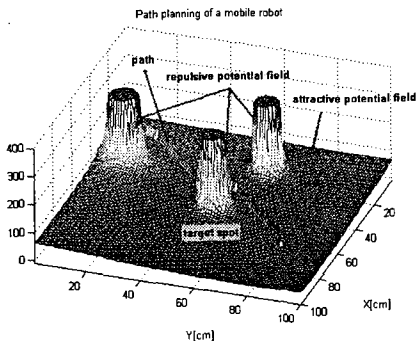


그림 5. 제안한 방식에 대한 목표지점에서 바라본 3차원 추적 경로

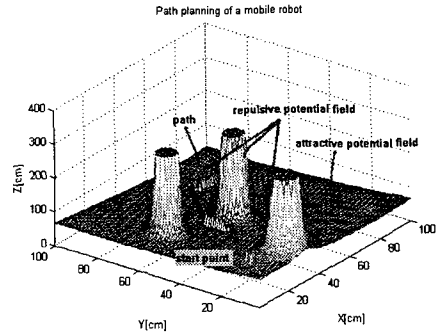


그림 6. 제안한 방식에 대한 출발지점에서 바라본 3차원 추적 경로

그림 5는 제안한 방식으로 목표지점에서 바라본 로봇의 추적 경로를 3차원으로 나타낸 그림이다.

그림 6은 출발지점에서 바라본 로봇의 추적 경로를 3차원으로 나타낸 그림이다.

3차원 그래프에서 확인할 수 있듯이 제안한 방식은 일반적인 퍼텐셜 필드 방식에 비해 퍼텐셜 장벽의 밑부분이 완만하다. 이는 로봇 이동시 완만한 슬립각이 생기므로 잠재적으로 슬립이 발생할 수 있는 확률을 낮게 한다.

V. 결 론

본 논문에서는 바퀴로 구성된 이동 로봇의 슬립 방지를 위한 경로 계획을 제안하였다. 로봇의 슬립은 로봇이 회전할 때 발생하는 것으로 가정하였다. 제안하는 방식은 퍼텐셜 필드 경로 계획에서 척력에 대한 인위적인 힘을 평탄화 시키는 방식이다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였고, 시뮬레이션 결과 일반적인 퍼텐셜 필드 방식에 비해 퍼텐셜 장벽의 밑부분이 완만하고, 이는 로봇 이동시 완만한 슬립각이 생기므로 잠재적으로 슬립이 발생할 수 있는 확률을 낮게 할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Karel Capek, R.U.R (Rossum's Universal Robots), Penguin Books, 2004.
- [2] Jose A. Castellanos and Juan D. Tardos, Mobile robot localization and map building (A Multisensor Fusion Approach), Kluwer academic publishers, 1999.
- [3] Ronald C. Arkin, Behavior-Based Robotics, The MIT Press, 1998.

- [4] S.S. Ge and Y.J. Cui, "Dynamic Motion Planning for Mobile Robots Using Potential Field Method," Autonomous Robots, Vol-ume 12, Number 3, pages 207-222, July 2002.