

스카라 로봇을 위한 충돌 회피 경로 계획

김태형*, 박문수*, 송성웅*, 홍석교**

*아주대학원 제어계측공학과, **아주대학교 전자 공학부

Collision-Free Trajectory Planning for SCARA robot

*T. H. Kim, *M. S. Park, *S. Y. Song, **S. K. Hong

*Dep. Control & Instrumentation of Eng. **School of Electronics Eng. Ajou Univ.

Abstract - This paper presents a new collision-free trajectory problem for SCARA robot manipulator. we use artificial potential field for collision detection and avoidance. The potential function is typically defined as the sum of attractive potential pulling the robot toward the goal configuration and a repulsive potential pushing the robot away from the obstacles. In here, end-effector of manipulator is represented as a particle in configuration space and moving obstacles is simply represented, too. we consider not fixed obstacle but moving obstacle in random. So, we propose new distance function of artificial potential field with moving obstacle for SCARA robot.

At every sampling time, the artificial potential field is update and the force driving manipulator is derived from the gradient vector of artificial potential field.

To real-time path planning, we apply very simple modeling to obstacle. Some simulation results show the effectiveness of the proposed approach.

1. 서 론

매니플레이터의 충돌 회피 경로 계획(collision-free trajectory planning)은 로봇 공학의 중요한 연구 과제이다. 매니플레이터의 충돌 회피 경로 계획 문제는 매니플레이터가 다른 로봇이나 기타 다른 장애물들과 충돌하지 않으면서 주어진 매니플레이터의 말단이 초기 위치로부터 주어진 최종 위치까지 이동하도록 전체적인 계획을 하는 것이다. 나아가서 매니플레이터는 자신의 주어진 작업까지도 수행하여야 한다. 몇몇 효과적인 알고리즘이 기구학 수준에서 경로 계획을 위해 사용되어 졌다. 또한, 경로 계획 문제의 다양한 접근의 이론적인 분석이 많이 행해져 왔다 [2][4][6]. 그러나, 알려진 환경에서의 고정된 장애물에 대해서는 만족할 만한 연구가 이루어 졌지만, 동적 제한을 가진 경로 계획은 여전히 만족스럽지 않다. 동적 물체간의 충돌의 문제는 입력의 크기, 제한된 자원, 동적 환경의 변화를 예측할 수 있어야 한다.

고정된 장애물의 회피를 위해서는 장애물의 위치와 장애물과의 거리만을 고려하면 된다. 그러나, 이동성을 가진 동적 장애물은 거리와 위치가 계속 바뀌기 때문에 상대적인 이동성을 고려해주어야 한다.

본 논문에서는 2차원 형상 공간(configuration space)상에 매니플레이터와 장애물을 표현한다. 매니플레이터는 장애물 사이의 거리와 상대 위치에 따른 매니플레이터의 동작을 결정하기 위해 인공 전위계(artificial potential field)를 이용한다. 그리고, 인공 전위계에서 사용되기 위한 장애물의 이동성을 고려한 새로운 거리 함수를 제안한다. 매니플레이터는 장애물과의 거리를 일정하게 유지하며 장애물을 피한

다. 제한된 거리 함수는 매니플레이터가 이동하는 장애물을 피하기에 적합한 방법이다. 본 논문은 2차원 형상 공간상의 스카라 매니플레이터와 장애물을 표현하고, 장애물이 임의로 운동한다고 가정 한 상태의 매니플레이터 경로계획 문제를 다룬다. 여기서 매니플레이터는 2축의 스카라 로봇 매니플레이터를 사용한다.

2. 인공 전위계(Artificial Potential Field)

고정 장애물의 충돌 회피문제는 장애물의 거리와 위치만을 가지고 충분히 충돌회피가 가능하다. 그러나, 움직이는 장애물의 충돌회피는 장애물에 대한 매니플레이터의 상대적인 운동 방향 및 속도를 고려하여 충돌을 예측할 수 있어야 한다. 여기서는, 스카라 로봇 매니플레이터의 말단을 하나의 이동점으로 가정하고, 임의로 이동하는 장애물에 대한 충돌 회피 경로 계획을 한다.

인공 전위계는 로봇과 장애물 사이에는 척력(repulsive potential)을 발생시키고 로봇과 목표점 사이에는 인력(attractive potential)을 발생시키는 가상의 역장이다.

인력과 척력의 합으로 표현되는 역장에 의해 발생하는 힘에 의해서 장애물과의 충돌을 피하며 경로 계획을 하게 된다. 목적하는 바에 따라서 조금씩 변형되어진 여러 가지의 인공전위계가 제안되었다. 본 연구에서는 Khatib[1]가 제안한 인공 전위계에 기초하여 이동하는 장애물이 있는 환경에서의 매니플레이터의 충돌 회피 경로 계획을 위해 적용한다.

2.1.1 인공 전위계의 구조

매니플레이터의 말단의 좌표를 $q=(x,y)$ 로 놓을 때, 매니플레이터를 구동하기 위한 인공전위계(U)에 의해 발생하는 힘(F)은 인공전위계의 좌표 q 에서의 인공전위계의 gradient vector로 표현된다.

$$\vec{F}(q) = - \vec{\nabla} U(q) \quad (1)$$

$$\vec{\nabla} U = \begin{pmatrix} \frac{\partial U}{\partial x} \\ \frac{\partial U}{\partial y} \end{pmatrix} \quad (2)$$

목표지점으로는 매니플레이터 말단을 끌어당기고, 반대로 장애물로부터는 밀어내기 위한 인공전위계는 두 개의 기본적인 인공전위계 함수의 합으로 표현된다.

$$U(q) = U_{att}(q) + U_{rep}(q) \quad (3)$$

여기서 $U_{rep}(q)$ 는 매니플레이터를 장애물로부터 밀어내는 척력을 발생시키는 인공 전위계이고, $U_{att}(q)$ 는 매니플레이터의 말단을 원하는 목표 지점까지 끌

어들이는 인력을 발생시키는 인공 전위제이다. 그리고, 인공전위제에 의해 발생하는 힘은 다음과 같다.

$$\vec{F}_{att} = -\vec{\nabla} U_{att} \quad (4)$$

$$\vec{F}_{rep} = -\vec{\nabla} U_{rep} \quad (5)$$

2.1.2 인력(Attractive Potential Field)

인력은 포물선 형태로 간단히 정의된다.

$$U_{att}(q) = \frac{1}{2} \xi \rho^2_{goal}(q) \quad (6)$$

이 수식은 매니플레이터의 현재 말단의 위치를 원하는 목표 지점까지 끌어들이는 인공 전위를 형성하는 함수이다. ξ 는 척력의 크기를 결정하는 계수(coefficient)이며, ξ 가 커질수록 목표지점에 의한 인력이 커진다.

여기서 $\rho^2_{goal}(q)$ 는 현재 위치로부터 목표지점까지의 Euclidean distance로 표현된다.

$$\rho^2_{goal}(q) = \|q - q_{goal}\|^2 \quad (7)$$

목표지점에 가까이 가면 갈수록 $U_{att}(q_{goal}) = 0$ 으로 수렴한다.

2.1.3 척력(Repulsive Potential Field)

척력의 기본적인 정의는 장애물 영역 주위를 둘러싸는 일종의 전위 장벽(potential barrier)을 형성하는 것이다.

$$U_{rep}(q) = \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{\rho(q)} - \frac{1}{\rho_0} \right), \text{ if } \rho(q) \leq \rho_0 \quad (8)$$

$$U_{rep}(q) = 0, \text{ if } \rho(q) > \rho_0 \quad (9)$$

여기서, η 는 장애물에 의한 척력의 크기를 나타내는 계수이며, η 가 커질수록 척력이 커진다. ρ_0 는 장애물의 영향력을 나타내는 거리이며, ρ_0 까지만 척력이 작용한다. $\rho(q)$ 는 장애물 영역으로부터 매니플레이터 현재 위치까지의 거리를 나타내며, 다음과 같다.

$$\rho(q) = \min_{q' \in CB} \|q - q'\| \quad (10)$$

2.2 매니플레이터 모델링

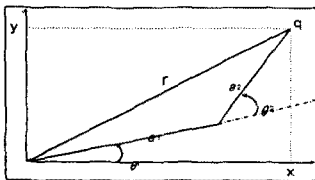


그림 1. 2축 스카라 매니플레이터의 x,y축 좌표

2축의 스카라 로봇의 기구학은 아래와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, x,y는 potential field에서 사용되어지는 $q = (x,y)$ 와 같다.

$$y = a_2 \sin \theta_1 \cos \theta_2 + a_2 \cos \theta_1 \sin \theta_2 + a_1 \sin \theta_1 \quad (11)$$

$$x = a_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 - a_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a_1 \cos \theta_1 \quad (12)$$

역기구학은 또한 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r = \frac{x^2 + y^2 - a_1^2 - a_2^2}{2 a_1 a_2} \quad (13)$$

$$\theta_2 = \text{atan}\left(\frac{\pm \sqrt{1 - r^2}}{r}\right) \quad (14)$$

$$\theta_1 = \text{atan}(x, y) - \text{atan}\left(\frac{a_1 + a_2 \cos \theta_2}{a_2 \sin \theta_2}\right) \quad (15)$$

매니플레이터를 구동하기 위한 힘을 얻기 위한 식은 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = -\nabla (U_{att} + U_{rep}) \quad (16)$$

\dot{x} 와 \dot{y} 를 얻기 위한 자코비안 행렬은 다음과 같다.

$$\dot{\theta} = J^{-1} \dot{q} \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{a_1 a_2 \sin \theta_2} \begin{bmatrix} a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) & a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ -a_1 \cos \theta_1 - a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) & -a_1 \sin \theta_1 - a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} \quad (18)$$

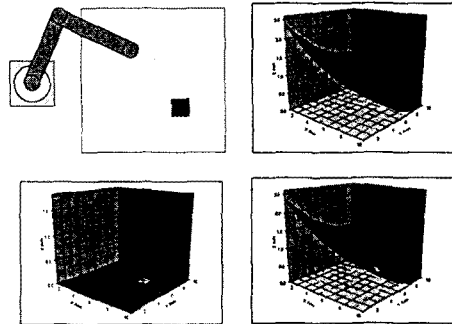


그림 2. 인공 전위 함수의 3차원 그래프

위의 그림은 작업공간의 매니플레이터를 위한 인공 전위함수를 표현한 그래프이다. 위의 그래프에서 인력 인공 전위, 척력 인공 전위, 둘이 합쳐진 전체 인공 전위를 나타낸다. 기본적인 생각은 좌표의 웨이트 값이 가장 큰값으로부터 작은 값을 쫓아 이동하게 되며, 결국에는 원하는 지점까지 경로를 이동한다.

3. 제한된 거리함수

우리는 이동하는 장애물에 적합한 거리 함수를 매니플레이터에 적용시킨다. 일반적인 경우의 거리 함수는 식(10)의 형태이다. 이 거리함수는 p-norm의 형태로 나타내어져 있고, $p = (x,y)$ 는 현재 매니플레이터의 말단의 위치이고, $o = (x',y')$ 는 장애물의 위치이다. 일반적으로 $p=2$ 를 갖는다.

$$\|q - q'\| = (|x - x'|^p + |y - y'|^p)^{1/p} \quad (19)$$

그러나, 이 식은 간단한 고정된 장애물에 대해서 쉽게 인공 전위 함수에 적용할 수 있다. 즉, 현재 위치로부터 이동하는 장애물까지의 거리를 인공전위 함수에 그대로 적용 시키기 때문에 장애물의 이동 속도나 이

동 방향을 반영하지 못한다. 본 논문에서는 실제 제어에 실시간 계산이 요구되므로, 장애물과 매니플레이터간의 속도 및 거리를 테이블로 만들어 저장한후 장애물이 검출되면, 그에 대응되는 거리함수의 값을 꺼내어 이용하게 한다.

$$\rho(q) = \text{dist}\{ \rho_i, \dots, \Delta \rho_j, \dots \}, 0 \leq i, j \leq \infty \quad (20)$$

2.3 시뮬레이션 및 토의

시뮬레이션을 통하여 제안된 이동하는 장애물 회피 방법의 실제 적용 가능성을 검증하고, 성능 및 특성을 살펴 본다. 시뮬레이션은 무작위의 방향에서 장애물을 이동시키고, 매니플레이터가 현재위치에서 원하는 위치까지 이동할 때 충돌을 회피하는 계획을 관찰한다.

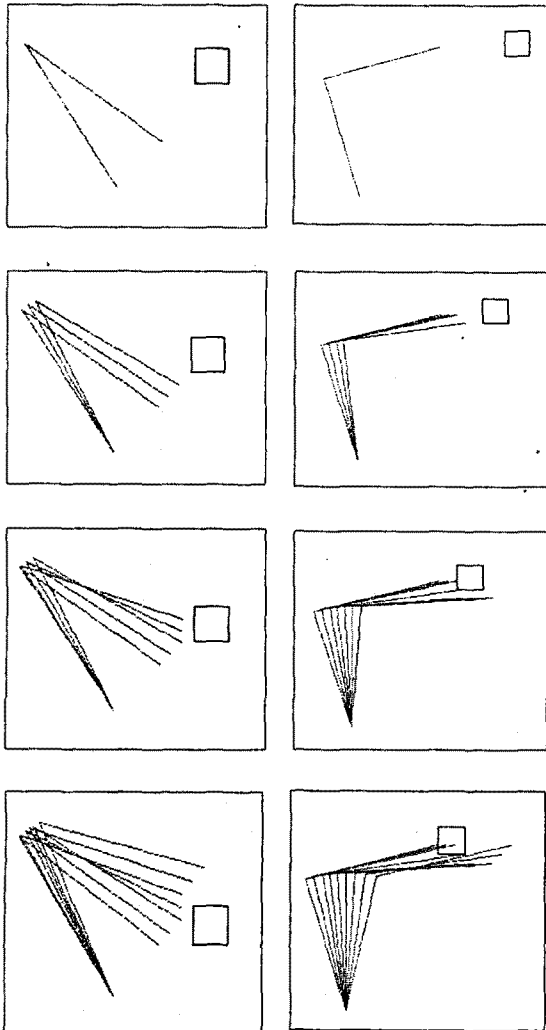


그림3. 이동 장애물 회피의 모의 시뮬레이션

본 시뮬레이션은 pentium-120을 가진 시스템에서 turbo-c를 이용해서 시뮬레이션 했다. 샘플링 주기는 0.1msec로 하였다. 이 시간 안에 알고리즘을 계산하는데는 문제가 없었다. 간단한 2축 매니플레이터와 이동장애물을 간단히 1개로 한정했기 때문에 계산 량에는 문제가 없었던걸로 보인다. 그리고, 본 논문에서 제안한 거리 함수는 실제 경험적인 값이 들어가기 때문에 사전에 많은 튜닝 과정을 거쳐야 효과를 볼수가

있다.

3. 결 론

본 논문에서는 인공 전위계를 매니플레이터에 적용시켜 이동하는 장애물에 대한 충돌 회피 경로 계획 문제에 대한 인공 전위계의 새로운 거리함수를 제안했다. 실제 시뮬레이션을 매니플레이터에 적용하기 위해서는 매니플레이터의 구동이 속도 제어가 가능하여야 하고, 기구학, 동력학, 인공 전위 함수를 실시간으로 계산하여야 한다. 실시간 실행의 관점에서 보면 고성능의 프로세서나 dsp를 이용하여 알고리즘을 분산하여 처리하는 것도 좋은 방법이 될 것이다. 그리고, 항상 장애물과 매니플레이터의 위치 및 속도 정보를 얻기 위해서 실시간 비전 시스템이 요구된다. 그리고, 현재는 스카라 매니플레이터와 장애물을 각각 하나씩만 적용했지만, 실제로 그런 경우는 드물고, 공통의 공간에 두 대이상의 매니플레이터 및 이동하는 장애물이 존재할수도 있으므로, 이들을 모두 지원할수 있는 거리함수의 보완이 필요하다.

(참 고 문 헌)

- (1) O. Khatib, "Real-Time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots", The Int. J. Robotics and Research, vol. 5, no. 1, Spring, 1986
- (2) Jerome Barraquand and Jean-Claude Latombe, "Robot Motion Planning: A Distributed Representation Approach", The International Journal of Robotics Research, Vol.10, No.6, pp628-649, December 1991
- (3) Vincent Hayward, "Efficient Collision Prediction Among Many Moving Objects", The International Journal of Robotics Research, Vol.14, No.2, pp.129-143, April 1995
- (4) Miroslaw Galicki, "Optimal Planning of a Collision-free Trajectory of Redundant Manipulators", The International Journal of Robotics Research, Vol.11, No.6, p549-559, December 1992
- (5) Yong K.Hwang and Narendra Ahuja, "A Potential Field Approach to Path Planning", IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION, VOL.8, NO.1, p23-32, FEBRUARY 1992
- (6) Jin-Oh Kim and K.Khosla, "Real-Time Obstacle Avoidance Using Harmonic Potential Functions", IEEE TRANSACTIONS, VOL.8, NO.3, p338-349, JUNE 1992
- (7) 고낙용, "충돌 회피 가능성을 이용한 로봇의 이동 장애물회피", 제어 자동화 시스템공학 논문지, vol.3, no.2, pp169-178, 1997
- (8) Ching-Long Shin and J.Peter Sadler and William A.Gruver, "Collision Avoidance for Two SCARA Robots", Proceeding of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation, California, p674-679, April 1991
- (9) Tsai-Yen Li and Jean-Claude Latombe, "On-Line Manipulation Planning for two Robot Arms in a Dynamic Environment", IEEE International Conference on Robotics and Automation, p1048-1055, 1995
- (10) Zvi Shiller and Steven Dubowsky, "On Computing the Global Time-Optimal Motions of Robotic Manipulators in the Presence of Obstacles", IEEE International Conference on Robotics and Automation, VOL.7, NO.6, p785-797, DECEMBER 1991