

퍼지 포텐셜 필드를 이용한 이동로봇의 경로 계획

우경식*, 박종훈*, 김진환**, 허옥열*
 인하대*, 인하공업전문대**

Path Planning for Mobile Robots Using Fuzzy Potential Field Method

Kyoung-Sik Woo*, Jong-Hun Park*, Jin-Hwan Kim**, Uk-Youl Huh*
 Inha University*, Inha Technical College**

Abstract - 본 논문은 이동로봇의 동적 장애물 회피를 위해 퍼지 포텐셜 필드 알고리즘을 제안하였다. 기존의 포텐셜 필드 알고리즘은 장애물의 위치와 속도에 따라 장애물과의 충돌 문제, 회피 경로 문제 및 목표지점에서의 도착시간 문제가 발생한다. 이를 보완하기 위해 퍼지시스템을 이용하여 포텐셜 필드 척력함수의 가중치를 장애물의 위치와 속도에 따라 변경함으로써 제안된 알고리즘의 효율성을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

1. 서 론

포텐셜 필드 알고리즘은 이동로봇의 경로계획을 위해 널리 이용된 방식으로 수학적인 분석이 쉽고 간단한 구조를 갖기 때문에 많은 연구에서 이용하였다. 포텐셜 필드의 기본적인 개념은 로봇과 목표지점 사이에 인력장을 형성하고, 로봇과 장애물 사이에는 척력장을 형성하여 전체 작업 공간을 에너지 장의 형태로 표현하는 알고리즘이다. 기존의 포텐셜 필드 알고리즘은 척력장의 가중치가 고정되어 있기 때문에 장애물의 위치와 속도 변화에 따라 장애물과의 충돌 문제, 회피 경로 문제, 목표지점에서의 도착시간 문제가 발생한다[1-5].

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 퍼지 포텐셜을 이용한다[6-7]. 장애물과 로봇의 위치관계, 장애물과 로봇의 속도관계에 따라 척력장의 가중치를 퍼지 알고리즘을 통해 변화시킴으로써 안전하고 효율적인 장애물 회피 방법을 제안한다.

2. 본 론

2.1 포텐셜 필드 알고리즘

이동로봇이 동적인 장애물을 회피하며 안전하게 목표지점으로 도착하는 경로를 계획하기 위한 포텐셜 필드 알고리즘은 로봇, 장애물, 목표지점의 위치와 속도를 포함하여 구성한다. 여기서 로봇은 전방향 이동로봇이고, 장애물은 등속으로 움직이며, 로봇과 장애물의 위치와 속도는 정확하게 측정된다고 가정한다[2].

2.1.1 인력장 함수

동적인 환경에서의 인력장 함수는 목표지점과 로봇의 위치, 속도를 이용한다.

$$U_a = \zeta_p \| \mathbf{p}_{goal}(t) - \mathbf{p}_{rob}(t) \|^2 + \zeta_v \| \mathbf{v}_{goal}(t) - \mathbf{v}_{rob}(t) \|^2 \quad (1)$$

식(1)에서 ζ_p , ζ_v 는 위치, 속도 관계식의 가중치이다.

2.1.2 척력장 함수

동적인 환경에서의 척력장 함수는 장애물과 로봇의 위치, 속도를 이용한다.

$$U_r = \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ \eta \left(\frac{1}{\| \mathbf{p}_{obs} - \mathbf{p}_{rob} \| - R_s} - \frac{1}{R_0} \right) \\ \text{정의하지 않는다.} \end{array} \right. \quad (2)$$

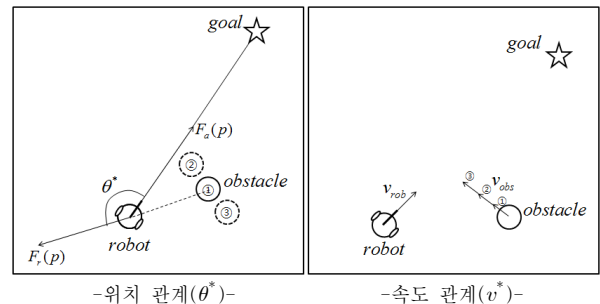
, if $\| \mathbf{p}_{obs} - \mathbf{p}_{rob} \| - R_s \geq R_0$ or $v_{ro}(t) < 0$
 , if $0 < \| \mathbf{p}_{obs} - \mathbf{p}_{rob} \| - R_s < R_0$ and $v_{ro}(t) \geq 0$
 , if $v_{ro}(t) < 0$ and $\| \mathbf{p}_{obs} - \mathbf{p}_{rob} \| < R_s$

식(2)에서 η 는 척력장 함수의 가중치이고, $v_{ro}(t)$, R_s , R_0 는 각각 장애물과의 충돌 가능성, 장애물과의 속도 관계식, 장애물의 영향범위를 나타낸다.

2.2 퍼지시스템의 적용

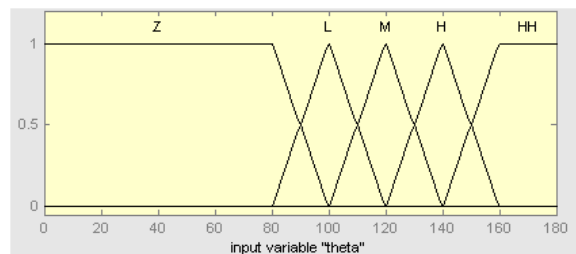
기존의 포텐셜 필드 함수는 장애물의 위치와 속도에 따라 충돌 문제, 회피 경로 문제 및 목표지점에서의 도착시간 문제가 발생한다. 로봇의 진행방향과 장애물과 이루는 각도의 크기에 따라 회피 경로가 달라질 필요가 있으며, 로봇과 장애물간의 속도 관계 또한 중요하다. 이러한 2가지 관계를 퍼지시스템의 입력함수로 하여 척력의 가중치 η 를 상황에 맞게 변화시킨다. <그림 1>의 위치 관계(θ^*)에서 장애물의 위치 ①, ②, ③이 있을 경우, 각각 다른 경로의 회피 방법이 필요하다. 로봇이 장애물의 영향범위에 있을 때, ①의 경우를 기준으로 하면 ②는 ①에 비해 각도 θ^* 가 크므로 충돌 위험성이 크기 때문에 상대적으로 가중치를 크게 해야 한다. ③은 ①에 비해 θ^* 가 작으므로 충돌 위험성이 작기 때문에 상대적으로 가중치를 작게 해야 한다. 속도 관계(v^*)에서 장애물의 속도 ①, ②, ③이 있을 경우, 장애물의 위험성은 속도가 가장 빠른 ③이 ①, ②에 비해 크기 때문에 가중치를 크게 해야 한다. 여기서 v^* 는 식(3)과 같이 로봇 속도의 크기와 장애물 속도 크기의 차이로 나타낸다.

$$v^* = \| v_{rob} \| - \| v_{obs} \| \quad (3)$$



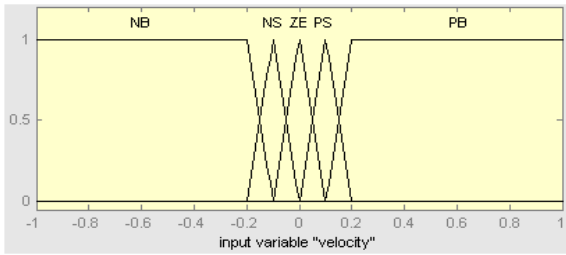
<그림 1> 로봇과 장애물간의 관계

<그림 2>는 입력 θ^* 의 멤버십 함수를 보여준다. θ^* 는 입력과 척력의 상대적인 각도로서 $0^\circ \sim 180^\circ$ 사이의 값으로 나눌 수 있다. Z의 각도에서는 장애물이 로봇 뒤에 존재하기 때문에 장애물과의 충돌 위험이 작고 각도가 커질수록 충돌위험을 크게 하기 위하여 멤버십 함수를 구성하였다.



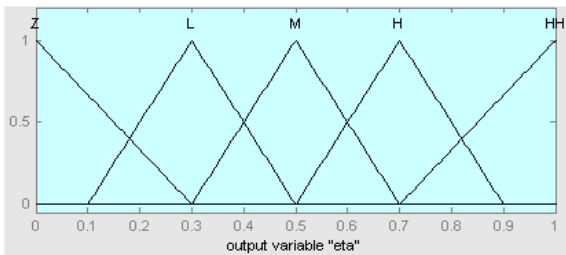
<그림 2> 입력변수 θ^* 의 멤버십 함수

<그림 3>은 입력 v^* 의 멤버십 함수를 보여준다. v^* 는 로봇과 장애물의 상대적인 속도 차이로서 $-1m/s \sim 1m/s$ 의 값으로 나눌 수 있다. NB는 상대적으로 장애물의 속도가 크기 때문에 충돌 위험이 크고 PB로 갈수록 충돌위험을 작게 하기 위하여 멤버십 함수를 구성하였다.



〈그림 3〉 입력변수 v^* 의 멤버십 함수

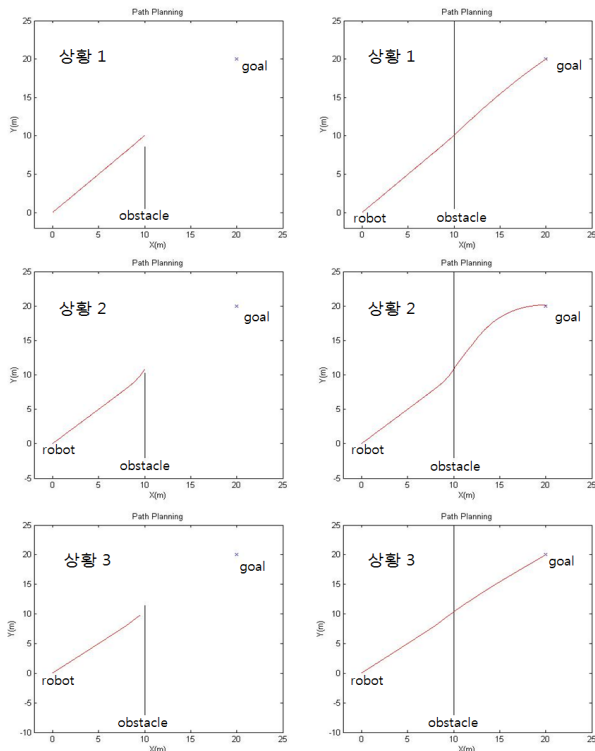
〈그림 4〉는 출력 η 의 멤버십 함수를 보여준다. η 의 값은 로봇의 입력의 가중치인 ζ_p, ζ_v 에 가장 적합한 값으로서 0~1의 값으로 구성하였다.



〈그림 4〉 출력변수 η 의 멤버십 함수

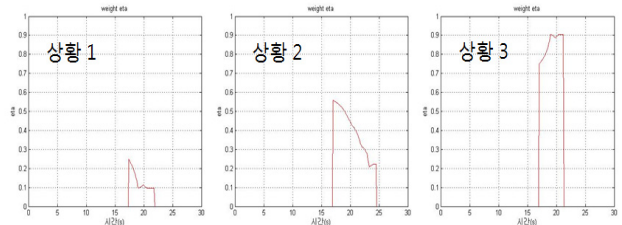
2.3 시뮬레이션 결과

위에서 설계한 퍼지 포텐셜 필드 알고리즘을 matlab을 이용하여 구현하였다. 로봇의 최대 속도 $v_{max}=[0.5 \ 0.5]m/s$ 로 제한하였고, 목표지점은 정지된 상태로 $p_{goal}=[20 \ 20]$ 에 위치한다. 로봇의 무게는 $9kg$, 입력의 가중치인 $\zeta_p=0.02, \zeta_v=0.54$, 샘플링 타임 $T=0.1[s]$ 로 설정하였다. 〈그림 5〉는 3가지 상황에서의 시뮬레이션 결과로서 상황 1에서는 장애물의 초기 위치 $p_{obs}=[10 \ 0.5], v_{obs}=[0 \ 0.35]$ 일 때, 상황 2에서는 장애물의 초기 위치 $p_{obs}=[10 \ -2], v_{obs}=[0 \ 0.5]$ 일 때, 상황 3에서는 장애물의 초기 위치 $p_{obs}=[10 \ -7], v_{obs}=[0 \ 0.8]$ 일 때, 로봇의 이동경로를 보여준다.



〈그림 5〉 로봇의 이동경로

〈그림 6〉은 위 3가지 상황에 따른 척력의 가중치 η 의 값을 보여준다. 상황 1에서는 장애물과의 관계에서 장애물의 속도가 느리고 로봇과 이루는 각도가 작기 때문에 작은 가중치의 값이 보다 효율적인 회피를 가능하게 하고, 상황 2에서는 장애물의 속도가 상황 1보다 빠르고 각도 또한 크기 때문에 가중치를 조금 더 크게 해야 할 필요가 있다. 상황 3은 장애물의 속도가 매우 빠르기 때문에 가중치를 최대로 하여 충돌의 위험성을 낮추는 것이 안전한 회피를 가능하게 한다.



〈그림 6〉 가중치 η 의 변화

〈그림 6〉의 결과와 같이 퍼지 시스템을 이용한 최적의 η 값은 장애물과의 충돌 위험성을 줄여주고, 효율적인 경로 생성을 하는 것을 확인하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 이동 로봇의 안전하고 효율적인 경로계획을 위해 기존 포텐셜 필드에 퍼지 시스템을 적용하여 구현하였다. 포텐셜 필드 알고리즘은 척력의 가중치가 고정되어 있기 때문에 장애물과의 위치 관계와 속도 관계에 따라 충돌 위험성 및 이동 로봇의 경로 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 이동 로봇과 장애물의 위치관계와 속도 관계에 따라 척력의 가중치 η 를 변화시키는 퍼지 시스템을 구성하여 최적의 경로계획을 수행하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Borenstein, J. and Koren, "Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots", IEEE Trns. Sys. Man, Cyb., 19(5), 1179-1187, 1989
- [2] Koren Y. and Borenstein J., "Potential field methods and their inherent limitations for mobile robot navigation, Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation, 1398-1404, 1991
- [3] Ge, S.S and Cui, Y.J. "Dynamic motion planning for mobile robots using potential field method", Autonomous Robots", Autonomous Robots, Vol. 13, 207-222, 2002
- [4] Siegwart and Nourbakhsh, "Introduction to Autonomous Mobile Robots", The MIT Press, 257-304, 2004
- [5] Leng-Feng LEE, "Decentralized motion planning within an artificial potential framework(APF) for cooperative payload transport by multi-robot collectives", M.S. Thesis, Dept. of Mechanical & Aerospace Engineer, SUNY at Buffalo, 26-52, 2004
- [6] 정원상, 최영규, 이상혁, "칼만 필터와 퍼지 알고리즘을 이용한 이동 장애물의 위치예측 및 회피에 관한 연구", 전기학회논문지 제54D권 제5호, 307-314, 2005
- [7] K Jaradat, M Abdel, MH Garibeh, EA Feilat, "Dynamic motion planning for autonomous mobile robot using fuzzy potential field", Proceeding of the 6th International Symposium on Mechatronics and its Applications(ISMA09), 2009