

퍼지로직을 이용한 자율이동로봇의 최적경로계획

박종훈, 이재광, 허옥열
인하대학교 전기공학과

Path Planning of Autonomous Mobile Robot Based on Fuzzy Logic Control

Jong-Hun Park, Jae-Kwang Lee, Uk-Youl Huh
Dept. of Electrical Engineering, Inha University.

Abstract - In this paper, two Fuzzy Logics for path planning of an autonomous mobile robot are proposed. If a target point is given, such problems regarding the velocity and object recognition are closely related with path to which the mobile robot navigates. Therefore, to ensure safety navigation of the mobile robot for two fuzzy logic parts, path planning considering the surrounding environment was performed in this paper. First, feature points for local and global path are determined by utilizing Cell Decomposition off-line computation. Second, the on-line robot using two Fuzzy Logics navigates around path when it tracks the feature points. We demonstrated optimized path planning only for local path using object recognition fuzzy logic corresponds to domestic situation. Furthermore, when navigating, the robot uses fuzzy logic for velocity and target angle. The proposed algorithms for path planning has been implemented and tested with pioneer-dxe mobile robot.

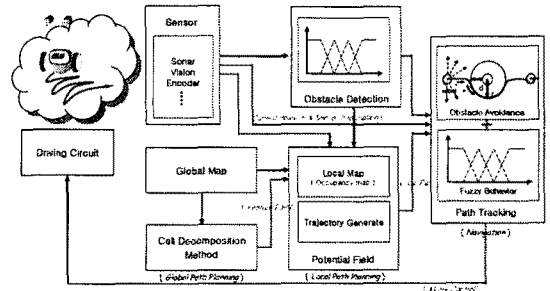


그림 1 주행 알고리즘

2. 본 론

2.1 이동로봇의 자율주행 알고리즘

이동로봇이 자율 주행을 하기 위해서는 이동로봇의 현 위치에서 목표점까지의 경로가 세워져야 한다. 이러한 경로계획은 전역적 경로계획(Global Path Planning)과 국지적 경로계획(Local Path Planning)으로 나눌 수 있다. 전역적 경로계획은 목표점까지의 전체 경로를 설정하는 것으로 off-line 상에서 최적의 경로를 얻을수 있는 반면에 동적 환경에 대한 고려가 이루어지지 못한 전역적 경로계획은 환경 변화에 대한 최적경로 일수는 없다. 이러한 단점을 국지적 경로계획을 통해서 보완 할 수 있다. 미지의 환경에서 센서의 정보를 이용하여 동적 환경의 인식과 장애물 회피를 하며, 목표점까지 안전하게 주행한다. 전역적 경로계획과 지역적 경로계획의 장 단점을 보완하는 두 계획의 혼합형 계획을 통하여 이동로봇의 자율주행을 수행하였으며, 본 연구에서는 국지적 경로계획에 관한 연구 중심으로 수행하였다. 사용되어진 이동로봇의 자율주행 알고리즘은 그림 1과 같다.

2.1.1 일반적인 운동방정식

본 논문에서는 synchro-drive 로봇의 운동방정식을 이용하여 이동속도(Translational speed)와 각속도(rotational speed)를 독립적으로 제어할 수 있는 간략화된 운동방정식을 사용하였다[2][4]. 그리고 실질적인 계산을 위하여 시간적으로 일정한 간격으로 로봇의 연산이 이루어진다는 조건을 갖고 간략화된 운동 방정식을 유도하였다. 이동속도와 각속도는 식(1)에서 얻어진다.

1. 서 론

최근 들어 실내에서 이용되는 지능형 자율이동로봇에 대한 연구가 다방면에서 진행되고 있으며, 가축구성원으로써 더욱 친밀도를 높이기 위한 로봇의 지능이 절실히 필요한 상황이다. 실내에서 이동하는 지능형 자율이동로봇의 요구조건은 목표로 하는 목적지까지 안전하고 빠르게 주행해야만 한다[5]. 예측할 수 없는 환경 속에서 로봇의 행동은 발생한 문제에 대하여 신속하게 처리하며 본래 하고 있는 일을 수행해야 한다. 따라서 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 전역적 경로계획 방법을 바탕으로 환경지도에 의한 정보를 이용하여 이동로봇이 최적의 경로를 얻을 수 있도록 하였으며, 이 경로를 추종하는 과정 중에 발생하게 되는 경로 이탈이나 지도상에 나타나지 않았던 장애물에 대한 회피를 할 수 있도록 초음파 센서에 의한 정보를 이용하여 경로를 계획하는 국지적 경로 계획방법을 이에 도입하였다.[3] 특히 전역적 경로 계획과 국지적 경로계획의 융합을 통해 실내 주행 시 지역 최소 점에 빠지는 단점을 보완 하였으며, 안전하고 신속하게 원하는 지점으로 이동할수 있게 되어진다. 국지적 경로계획 법에는 실시간 센서정보로부터 퍼지로직을 기반으로 하여 장애물 인지하고, 목표점과 이루는 각을 퍼지로직을 이용하여 궤적을 달리한 주행방법을 사용하였다. 본 논문에서 제안한 퍼지 극선계획을 이용한 방법은 장애물에 따라 효과적인 회피 방법을 제안하였으며, 로봇과 장애물 사이의 거리를 고려하여 안전한 새로운 퍼지 궤적을 만들어 줌으로써 좀더 안정적인 회피방법을 제안 하였다.

$$\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & R \\ 2 & 2 \\ R & R \\ T & -T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, R은 바퀴의 직경을, T는 바퀴간의 거리를 나타낸다. 또한, ω_r 과 ω_l 은 오른쪽 바퀴와 왼쪽 바퀴의 각속도를 나타내었다.

식 (2)과(3)는 실제 로봇에 적용시키기 위해 간략화된 식들이다.

$$x(t_n) = x(t_0) + \sum_{i=0}^{n-1} (H'_x(t_{i+1})) \quad (2)$$

$$H'_x(t) = \begin{cases} \frac{v_i}{\omega_i} (\sin \theta(t_i) - \sin(\theta(t_i) + \omega_i(t-t_i))), \omega_i \neq 0 \\ v_i \cos(\theta(t_i)) \cdot t, \omega_i = 0 \end{cases}$$

$$y(t_n) = y(t_0) + \sum_{i=0}^{n-1} (H'_y(t_{i+1})) \quad (3)$$

$$H'_y(t) = \begin{cases} -\frac{v_i}{\omega_i} (\cos \theta(t_i) - \cos(\theta(t_i) + \omega_i(t-t_i))), \omega_i \neq 0 \\ v_i \sin(\theta(t_i)) \cdot t, \omega_i = 0 \end{cases}$$

식 (2)과(3)에서 각속도가 영인 경우는 ($\omega_i=0$) 직선 운동을 하는 궤적을, 그렇지 않은 경우는 ($\omega_i \neq 0$) 곡선 궤적을 따라 이동한다. 또한, C'_x 와 C'_y 를 식(4)과 같이 정의하면, 식(5)을 얻을 수 있게 된다.

$$\begin{aligned} C'_x &= \frac{v_i}{\omega_i} \cdot \sin \theta(t_i) \\ C'_y &= \frac{v_i}{\omega_i} \cdot \cos \theta(t_i) \end{aligned} \quad (4)$$

$$(H'_x - C'_x)^2 + (H'_y - C'_y)^2 = \left(\frac{v_i}{\omega_i}\right)^2 \quad (5)$$

식(5)는 좌표점을(C'_x, C'_y) 이고, 반지름이(v_i/ω_i)= r 인 원의 방정식을 표현하였다. 위의 식을 이용해서 로봇의 이동속도와 각속도를 각각 제어함으로써 원하는 로봇의 원 궤적을 만들 수 있다.

$$\omega = \frac{v}{r}, \quad t = \theta / \omega \quad (6)$$

장애물을 회피할 때 바닥과 로봇사이의 미끄러짐과 관성의 영향을 줄이기 위해 궤적을 일정한 속도와 각속도를 이용하여 시간 t 동안에 반지름이 r 인 원 궤적을 θ 만큼 선회하게 된다. 그림1(a)의 ①,③은 동일한 궤적을 만들어 회전을 한다. 하지만 ②의 영역에서 장애물의 크기를 고려하지 않았다면 장애물과 충돌하였을 것이다.

또한 그림2(b)는 ①의 위치에서 장애물을 발견했다가 가질할 때 궤적을 만들 수 없음을 확인하고 안전하게 궤적을 따라 회피할 수 있도록 ②의 궤적 초기 점으로 이동하여 회피하기에 충분하지 확인 후에 장애물 회피 알고리즘을 이용하여 안전하게 회피한다. 하지만 이러한 장애물 회피방법에 있어서 목표점으로 가고자 하는 방향의 장애물 인지가 부족하고, 장애물 회피 후 목표점에 대한 방향을 잃는 경우가 발생한다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 퍼지로직을 이용하여 장애물 인지와 로봇의 속도, 목표점과의 차이 각을 입력 변수로 하여 목표점까지 안전하고 효과적인 국지적 경로계획을 제안하였다.

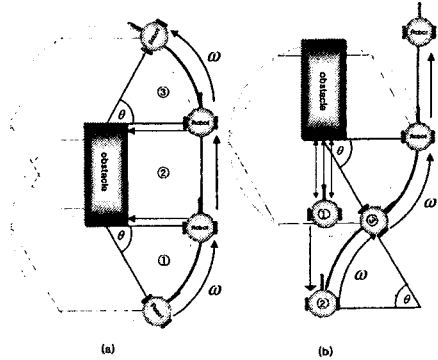


그림 2 곡선궤적을 이용한 장애물회피

2.2.1 퍼지로직을 이용한 국지적 경로계획

경로계획 과정에서 목표점까지의 경로가 세워지고 특정점이 주어지게 되면 이동로봇은 특정점들이 이루는 거리와 각도에 관한 정보를 바탕으로 목표지점까지 이동할 수 있게 된다. 하지만 이동로봇이 실질적으로 경로를 추종하는 과정 중에는 경로에서 벗어나게 될 경우와 환경지도상에서 인지 할 수 없었던 장애물들을 만나게 되는 경우, 퍼지로직을 이용한 장애물 인지과정을 통해 장애물 확인하고 곡선궤적을 이용하여 회피한 후에 목표점까지의 추적제어기 사용하여 안전하고 빠르게 원하는 목표점에 도착할 수 있게 된다. 본 논문에서 제안한 첫 번째 퍼지로직은 초음파센서 데이터 및 다른 센서 정보를 통하여 장애물을 인지하는 과정이다.[그림 3] 각 센서데이터의 거리정보를 언어규칙화 하여 방향에 따른 장애물 충돌여부를 표현하였다. 입력변수로는 각 센서의 위치와 거리를 정하였고, 출력변수는 회피가능성 정도를 표현하였다. 장애물 인지를 위하여 센서의 거리 정보를 퍼지화하여 거리에 대한 퍼지값으로 표현하였다. 이 퍼지값과 두가지형태의 룰을 사용하여 장애물 회피 가능성을 판단하였다.[1]

$R^1: IF d_i \text{ is } LD^{(k)} \text{ then } c_j \text{ is } LC^{(k)}$

$R^2: IF d_i \text{ is } LD^{(k)} \text{ and } d_{i+1} \text{ is } LD^{(k)} \text{ then } c_j \text{ is } LC^{(k)}$

k는 룰의 갯수를 나타내며, d_i 는 센서 i번째 값의 표현이고, $LD^{(k)}$ 는 센서데이터의 거리(Close, Near, Far) 언어 입력변수 값이다. c_j 는 충돌형태 (Center_Collision, Center_R_Collision, Center_L_Collision, Right_Collision, Left_Collision)이며, $LC^{(k)}$ 는 충돌여부표현(N_Possible, Possible, High)이다.

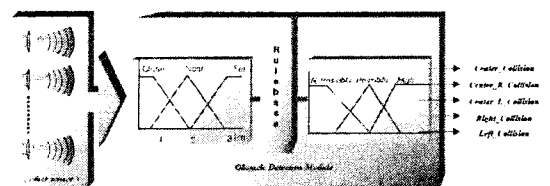
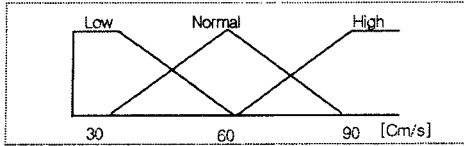
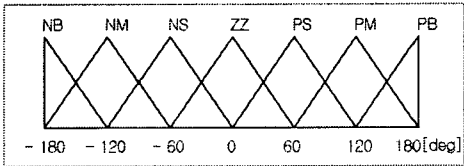


그림 3 퍼지로직을 이용한 장애물 인지



(a) 이동로봇 속도



(b) 목표점과 이동로봇 사이의 각도차

그림 4 경로추적 제어기 입력 퍼지 멤버쉽 함수

INPUT Variables					OUTPUT Variables					
Collision					Speed	Target Angle Error	Change-of-Speed	Steering Angle	Rotating Angular Velocity	
Center	Center_R	Center_L	Right	Left						
High	N-F	N-P	N-P	N-P	High	NB	NC	FB	ZZ	
High	N-F	N-P	N-P	N-P	High	NM	DEC	FM	RS	
High	N-F	N-P	N-P	N-P	High	NS	DEC	FB	RM	
High	N-P	N-P	N-P	N-P	High	ZZ	DEC	ZZ	RB	
High	N-P	N-P	N-P	N-P	High	PS	DEC	LS	LM	
High	N-F	N-P	N-P	N-P	High	PM	DEC	FM	LS	
High	N-P	N-P	N-P	N-P	High	PB	NC	FB	ZZ	

표 1 경로추적 제어기 룰 베이스

두 번째 제안한 퍼지로직은 이동로봇으로 하여금 주어진 경로를 추적하는 자율능력을 갖추기 위한 것이다. 경로와 이동로봇 사이의 거리와 각도와 장애물 인지, 그리고 이동로봇의 속도를 입력으로 하여 이동로봇의 속도와 각속도, 각도를 결정하여 주행하는 퍼지제어규칙 제안하였다.(표1)

2.3 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 두개의 퍼지로직을 이용한 국지적 경로계획법은 환경지도에 의한 전역적 경로계획이 이루어진 결과로 특징 점들이 주어졌을 때, 이에 따른 경로를 이동로봇이 추종하는 과정 중에 주어진 경로에서 목표점까지 안전하게 주행하게 한다. 그림 5은 전역경로에 의해 주어진 특징점 사이를 주행 시 지역적 장애물이 존재할 경우에 초기점에서 장애물 인식을 통해 회피가능 여부를 확인 후, 퍼지화된 궤적을 생성시켜 회피한다. 또한 장애물을 회피하는 도중에 기존의 곡선궤적 알고리즘을 적용시켜 효과적인 주행을 할 수 있었다. 하지만 초음파센서의 부정확한 데이터로부터 잘못된 추론 결과를 도출하는 문제점도 확인하였다. 논문에서 알고리즘을 적용 시키고, 실험한 이동로봇은 Active Media사의 Pioneer2-DXE를 사용하였으며, 센서로써는 전방에 설치된 초음파 센서를 사용하였다. 로봇의 내부적 cycle time은 100ms이고, 센서 하나가 정보를 얻는데 걸리는 시간은 25Hz이므로, 총 8개의 센서 정보를 얻는데 걸리는 시간은 320ms가 된다.

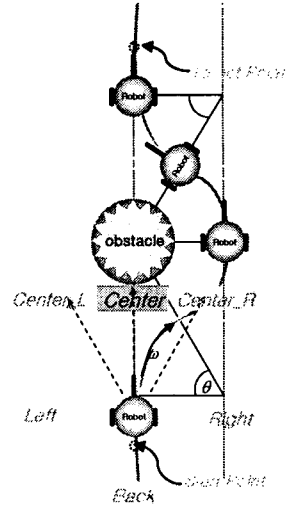


그림 5 퍼지로직을 이용한 경로계획

3. 결 론

경로계획을 통한 이동로봇의 자율주행은 실내에서 수행시 많은 문제점들이 발생한다. 그중에 가장 큰 문제점으로 생각되는 것이 환경에 변화에 따른 로봇의 지능적인 주행이 불가능하다는 것이다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 환경지도를 이용하여 전역경로상에서 특징점을 찾아낸 이후에 특징점들 사이를 주행 시에 센서정보를 이용하여 장애물의 충돌 여부를 확인한 후, 경로추정위한 퍼지로직과 곡선궤적방법을 이용하여 안전하고 빠르게 원하는 목표점까지 이동함을 확인하였다.

앞으로 이러한 이동로봇의 국지적 실내 주행에 있어서 동적인 장애물에 대한 연구와 로봇의 시스템적 주행오차에 대한 연구를 비전센서를 장착하여 동적 환경에서도 지능적인 주행을 할 수 있는 자율이동로봇을 구현할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Nikos C. "Autonomous Vehicle Navigation Utilizing Electrostatic Potential Fields and Fuzzy Logic".IEEE Transactions on Robotics and Automation, Volume: 17, no 4, August 2001
- [2] Dieter Fox, "The Dynamic Window Approach to Collision Avoidance" IEEE Robotics&Automation Magazine, March 1977
- [3] H.S Sim and Y.G Sung " A Posture Control for Two Wheeled Mobile Robots", Trans, on Control, Autonomous and System Engineering, vol.2 no.3. pp.201-206, September 2000.
- [4] Dieter Fox, "A Hybrid Collision Avoidance Method For Mobile Robots", In Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1998
- [5] Teruko YATA, "Wall Following Using Angle Information Measured by a single Ultrasonic Transducer", Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp. 1590 - 1596, May 1998
- [6] S. S. Ge and Y. J. Cui, "New Potential Functions for Mobile Robot Path Planning,"IEEE Trans. Robotics, Automation. vol. 16,NO. 5,October 2000.