

퍼지로직과 포텐셜 필드를 이용한 자율이동로봇의 최적경로계획법

Optimal Path Planning of Autonomous Mobile Robot Utilizing Potential Field and Fuzzy Logic

박종훈*, 이재광**, 혀욱열***

(Jong-Hoon Park, Jae-Kwang Lee, Uk-youl Huh)

*인하대학교 전기공학과 (전화 032)860-7394, 팩스 032)864-6442, E-mail : patch_hanl@empal.com)

**인하대학교 전기공학과 (전화 032)860-7394, 팩스 032)864-6442, E-mail : ljk3815@hotmail.com)

*** 인하대학교 전기공학과 (전화 032)860-7394, 팩스 032)864-6442, E-mail : uyhuh@inha.ac.kr)

Abstract : In this paper, we use Fuzzy Logic and Potential field method for optimal path planning of an autonomous mobile robot and apply to navigation for real-time mobile robot in 2D dynamic environment. For safe navigation of the robot, we use both Global and Local path planning. Global path planning is computed off-line using sell-decomposition and Dijkstra algorithm and Local path planning is computed on-line with sensor information using potential field method and Fuzzy Logic. We can get gravitation between two feature points and repulsive force between obstacle and robot through potential field. It is described as a summation of the result of repulsive force between obstacle and robot which is considered as an input through Fuzzy Logic and gravitation to a feature point. With this force, the robot can get to desired target point safely and fast avoiding obstacles. We implemented the proposed algorithm with Pioneer-DXE robot in this paper.

Keywords : Fuzzy Logic, Potential field, autonomous mobile robot, Global Path planning, Local Path Planning

1. 서 론

본 논문은 가정이나 사무실 내에서 이동로봇이 자율 주행에 대한 연구로써, 가정이나 공동체의 한 일원으로 자리 잡기 위해서는 로봇의 지능이 절실히 필요한 상황이다. 이동로봇이 자율 주행 시 원하는 목표점까지 최적의 경로를 찾고 주변 환경이 변하여도 지능적으로 최적의 경로를 만들어 원하는 목표점까지 안전하고 빠르게 최적의 경로를 찾아 이동하는데 목적이 있다. [3]

일반적으로 이동로봇은 현재의 위치로부터 목적하는 위치로 이동하기 위하여 이동공간 상에 놓인 장애물을 회피하여 최소의 에너지가 소비되는 경로를 찾기 위한 방법을 사용하고 있고, 이를 위해 이동로봇과 장애물에 접근하는 경우, 에너지 필드간의 반발력이 증가하는 특성을 사용하여 충돌회피 계획을 생성하였다. 하지만 작업형태의 다양성과 복잡성으로 인하여 기존의 단순 반복적인 작업을 수행하는 로봇과는 달리, 상황에 따라 적절한 판단을 내리고 동적인 대응 능력을 가진 로봇이 필요하게 되었다. 또한 기존방법은 지역 최소점에 빠지는 경우와 목표점에 이르지 못하거나 지도상에 있는 정적 장애물에 대한 확인작업이 오래 걸리는 단점이 있다. 특히 이동로봇의 경우 환경지도상에 나오지 않은 돌발적인 장애물에 대해서 적절하게 회피하지 못하는 문제를 가지고 있다.

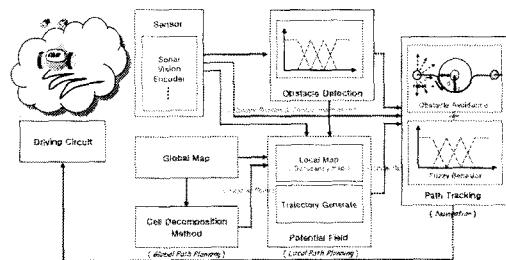


그림 1 주행 알고리즘

장애물 회피에 대한 효과적인 알고리즘 제안과 지역 최소점에 빠지는 문제 해결 없이는 최적경로계획은 이루어지기 어려운 실정이다.[3]

본 논문은 위에서 상술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위해 주어진 환경상의 지도정보를 이용하여 셀 분해법을 통한 최적의 경로방법(Dijkstra Algorithm)을 이용하여 경로를 생성한 다음 각 특징점(Feature Point) 사이를 포텐셜 퍼지로직을 이용하여 장애물을 회피하며 다음 특징점(Feature Point)까지 안전하고 빠르게 주행할 수 있는 이동로봇의 경로계획 생성방법을 제공하는데 목적이 있다.

2. 본 토론

2.1 이동로봇의 자율주행 알고리즘

이동로봇이 자율 주행을 하기 위해서는 이동로봇의 현 위치에서 목표점까지의 경로가 세워져야 한다. 이러한 경로계획은 전 역적 경로계획(Global Path Planning)과 국지적 경로계획(Local Path Planning)으로 나누어진다.[3] 전 역적 경로계획은 목표점까지의 전체 경로를 설정하는 것으로 off-line 상에서 최적의 경로를 얻을 수 있는 반면에 동적 환경에 대한 고려가 이루어지지 못한 전 역적 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. 전 역적 경로계획과 지역적 경로계획의 장단점을 보완하는 두 계획의 혼합형 계획을 통하여 이동로봇의 자율주행을 수행하였다.[그림 1]

2.1.1 전역적 경로계획

이동로봇은 어떤 환경 하에서 미리 알고 있는 장애물, 또는 미리 알지 못하는 장애물을 피해 안전하게 원하는 목적지까지 움직여야 한다. 따라서 환경인식에 의해 작성된 지도의 정보 등을 이용하여 장애물을 피해 안전하고 빠르게 목적지까지 도착할 수 있는 최적의 경로를 찾아주는 경로계획 과정이 필요하게 된다.

본 논문에서는 지역 경로계획의 단점인 최적의 경로를 얻을 수 없다는 점과 Local Minima에 빠지기 쉽다는 문제점 등을 보완하기 위해 가장 일반화되었고 또 최적의 경로를 구할 수 있다는 장점을 가진 Dijkstra Algorithm을 사용하였다. Dijkstra의 최단 경로 알고리즘의 구성은 다음과 같은 과정을 따른다.

1. 기준 셀 (i', j') 의 포텐셜 $D(i', j') = 0$ 으로 나머지 셀들의 포텐셜은 D_{\max} 로 초기화한다.
 2. 셀 (i', j') 에서 시작하여 셀 (i, j) 를 다음과 같이 생성해 간다.
- $$D(i, j) = \min [D(i, j), D(k, l) + C_k]$$
3. $D(i, j)$ 에서 더 이상의 변화가 없을 때까지 2진지도 내의 모든 셀들에 대하여 단계 2를 반복한다.

출발점 A와 목표점 B가 주어진 경우에서 두 셀 사이에서 최적 경로를 찾기 위해서 Dijkstra Algorithm은 다음과 같이 확장될 수 있다. 먼저 출발점 A를 기준 셀 (i', j') 으로 하고, D_A 가 수렴할 때까지 위의 방법

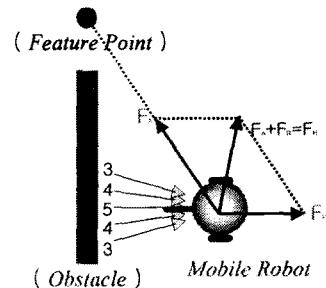


그림 2 특징점에 의한 포텐셜

을 적용시킨다. 이러한 과정을 셀 B에 대해서도 적용하여 D_B 를 결정한다. $D_S = D_A + D_B$ 의 중첩된 포텐셜면을 구해낸다. 여기서 구한 D_S 중 D_{\min} 값을 가지는 셀들만을 취하면 출발점 A에서 목표점까지의 최소 이동 경비를 표현하는 포텐셜을 얻을 수 있으며 이를 이용하여 두 점간의 경로를 구할 수 있다. 그리고 또 하나의 방법은 위에서 언급한 Dijkstra Algorithm의 두 번째 과정을 수행하는 동안 각 정점에서 Parent정점을 구성하는 과정을 수행함으로서 두 점점간의 경로를 구할 수 있다. 본 논문에서 사용된 전역 경로계획의 최종적인 목적은 Potential field Method에 의해 on-line 상의 경로를 선정하는데 있어 꼭 거쳐야하는 위치의 좌표를 선정하는 데에 있으므로 선정된 경로에서 로봇이 경로를 추종하는데 있어서 각도의 변화를 발생하는 좌표값과 로봇의 시작점 그리고 목표점을 특징점(Feature Point)이라 하고 이를 도출하였다.[4]

2.1.2 포텐셜 퍼지로직을 이용한 국지적 경로계획

경로계획 과정에서 목표점까지의 경로가 세워지고 특징점이 주어지게 되면 이동로봇은 특징점들이 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 장애물을 만나게 되는 경우, 포텐셜 필드 방법을 이용하여 장애물의 반발력과 특징점과의 인력을 포텐셜값으로 표현한다. [그림 2] 포텐셜 값 중에서 장애물의 반발력값을 입력으로 하는 퍼지로직을 구성한다. 포텐셜 필드를 통하여 얻어진 특징점 사이의 인력과 퍼지로직을 통해서 얻은 출력값을 합으로 표현하는 힘을 통하여 장애물을 회피한 후에 목표점까지의 안전하고 빠르게 원하는 목표점에 도착할 수 있게 된다.

장애물 회피 퍼지로직은 특징점 사이를 주행시에 장애물이 존재할 경우에 이동로봇과 장애물의 포텐셜 반발력을 입력으로 한 회피값을 출력한다.

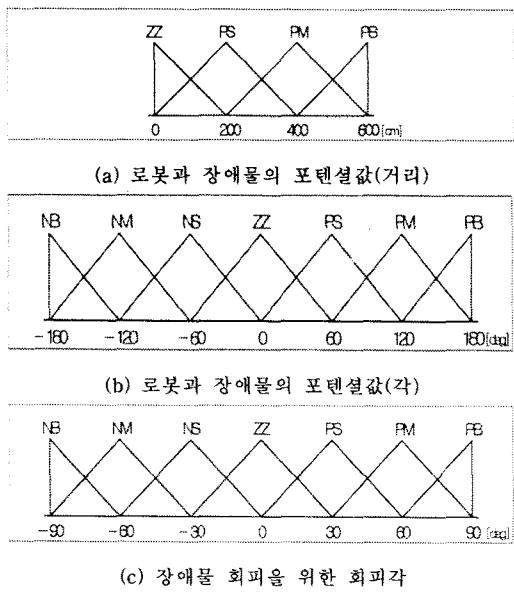


그림 3 입출력 폐지 맴버쉽 함수

	NB	NM	NS	ZZ	PS	PM	PB
ZZ							
PS	ZZ	ZZ	PS	PM	NS	ZZ	ZZ
PM	ZZ	PS	PM	PB	NM	NS	ZZ
PB	PM	PB	PB	PB	PB	PB	NM

표 1 장애물 회피를 위한 틀 베이스

입력값은 로봇의 진행 방향을 기준으로 해서 포텐셜값으로 각도와 거리이다. 폐지로직의 출력은 θ_0 로 한다. 각 입력 w 변수의 폐지 맴버쉽 함수는 표 1과 같다.

$$\Theta = \Theta_A w + \Theta_A (1 - w) \quad (1)$$

식 (1) 이동로봇의 특징점간 이동시에 안전하게 다음 특징점으로 이동할 수 있게 각에 대한 표현이다. θ_0 는 장애물을 회피하기 위한 각의 값이고, Θ_A 는 다음 특징 점에 도달해 하는 인력값을 표현한 것이다. w 는 센서의 장애물의 포착에 따른 가중치 값을 부여 하였다. 각 센서데이터의 거리정보는 센서의 위치에 따른 장애물의 충돌 위험 여부를 확인하고 가중치 값에 따라 장애물에 대한위험정도 또는 다음 특징점과의 인력값에 중점을 둘 것인지를 결정한다.

2.1.3 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 간략화 된 운동 방정식을 유도하였다. 이동속도와 각속도는 식(2)에서 얻어진다.

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

여기서, R 은 바퀴의 직경을, T 는 바퀴간의 거리를 나타낸다. 또한, ω_r 과 ω_l 은 오른쪽 바퀴와 왼쪽 바퀴의 각속도를 나타내었다. 식 (3)과(4)는 실제 로봇에 적용시키기 위해 간략화 된 식들이다.

$$x(t_s) = x(t_0) + \sum_{i=0}^{s-1} (H_x^i(t_{i+1})) \quad (3)$$

$$H_x^i(t) = \begin{cases} \frac{v_i}{\omega_i} (\sin \theta(t_i) - \sin(\theta(t_i) + \omega_i(t - t_i))), \omega_i \neq 0 \\ v_i \cos(\theta(t_i)) \cdot t, \omega_i = 0 \end{cases}$$

$$H_y^i(t) = \begin{cases} -\frac{v_i}{\omega_i} (\cos \theta(t_i) - \cos(\theta(t_i) + \omega_i(t - t_i))), \omega_i \neq 0 \\ v_i \sin(\theta(t_i)) \cdot t, \omega_i = 0 \end{cases}$$

식 (3)과(4)에서 각속도가 영인 경우는 ($\omega_i = 0$) 직선 운동을 하는 케이스, 그렇지 않은 경우는 ($\omega_i \neq 0$) 곡선 케이스를 따라 이동한다. 또한, C_x^i 와 C_y^i 를 식(4)과 같이 정의하면, 식(5)을 얻을 수 있게 된다.

$$C_x^i = \frac{v_i}{\omega_i} \cdot \sin \theta(t_i)$$

$$C_y^i = \frac{v_i}{\omega_i} \cdot \cos \theta(t_i) \quad (4)$$

$$(H_x^i - C_x^i)^2 + (H_y^i - C_y^i)^2 = \left(\frac{v_i}{\omega_i}\right)^2 \quad (5)$$

식(5)는 좌표점을 (C_x^i, C_y^i) 이고, 반지름이 $(v_i / \omega_i) = r$ 인 원의 방정식을 표현하였다. 위의 식을 이용해서 로봇의 이동속도와 각속도를 각각 제어함으로써 원하는 로봇의 원 궤적을 만들 수 있다.[그림 4]

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

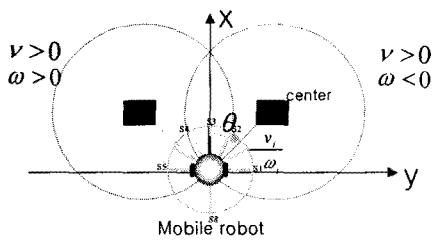


그림4 이동로봇의 원 궤적을 이용한 이동

3. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 전역경로계획법에 의한 특징점들이 주어졌을 때, 포텐셜필드 방법과 퍼지로직을 이용하여 특징점 사이를 지역 최소점에 빠지지 않고 안전하고 빠르게 원하는 목표점에 도달함을 볼 수가 있다. 전역경로에 의해 주어진 특징점 사이를 주행 시 지역적 장애물이 존재할 경우에 장애물 인식을 통해 회피가능 여부를 확인 후, 퍼지화된 궤적을 생성시켜 회피한다.[그림 5] 또한 장애물을 회피한 후 기존 알고리즘과 달리 방향을 잊지 않고 다음 특징점을 향해 주행하고 있다. 하지만 이동로봇의 내부적이 시스템에러와 바닥면에 먼지나 틈에 의한 방향 오류로 잘못된 결과를 도출하는 문제점도 확인하였다. 논문에서 알고리즘을 적용시키고, 실험한 이동로봇은 Active Media 사의 Pioneer2-DXE를 사용하였으며, 센서로 써는 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.

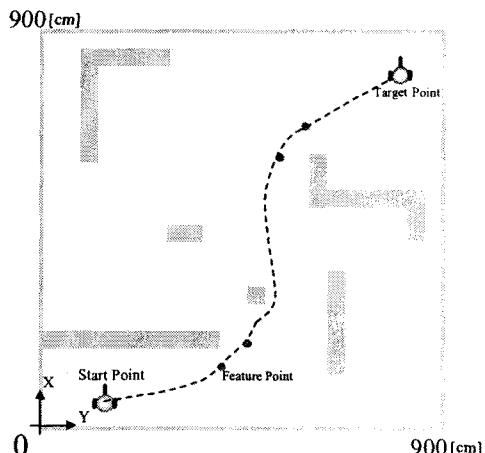


그림5 전역경로 실험결과

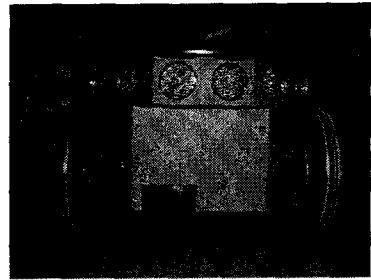


그림6 P2-DXE robot (Active Media)

4. 결 론

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

실험을 통해서 목표점에 도달하지 못하는 문제점은 로봇의 시스템오류문제와 주변 환경문제에 대한 고려가 부족한 것으로서, 자기위치 인식 방법을 통하여 좀 더 정확하고 효과적인 경로계획이 이루어져야 할 것이다. 또한 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] 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
- [4] Gregory Dudek and Michael Jenkin, Computational Principles of Mobile Robotics, Cambridge University Press, 2000
- [5] Dei Jeung Huh "Path Planning and Navigation for Autonomous Mobile Robot" IECON November 2002