

# Potential Field 모방 분산 퍼지 제어를 통한 이동 로봇의 장애물 회피

## Obstacle Avoidance of Mobile Robot Using Distributed Fuzzy Control with Imitation of Potential Field

곽환주\*, 박귀태\*\*  
Hwan-Joo Kwak\*, Gwi-Tae Park\*\*

**Abstract** - For the autonomous movement, the optimal path planning connecting between current and target positions is essential, and the optimal path of mobile robot means obstacle-free and the shortest length path to a target position. Many actual mobile robots should move without any information of surrounded obstacles. This paper suggests a new method of obstacle avoidance which is suitable in unknown environments. This method of obstacle avoidance is designed with a distributed fuzzy control system, and imitates a Potential Field method. A simulation confirms the performance and correctness of the obstacle avoidance.

**Key Words** :Fuzzy control, potential field, obstacle avoidance, mobile robot, unknown environment

### 1. 서론

시스템의 자동화에 관한 연구는 지속적으로 많은 관심을 받고 있는 분야이다. 로봇 분야의 대표적인 자동화에 관한 연구로는 이동 로봇의 자율적 주행 능력에 대한 연구가 있다. 최근 많은 로봇들은 다양한 환경에서의 다양하고 자율적인 활동을 위해서는 이동 능력의 확보가 필수적이다 [1]. 대부분의 실제 이동 로봇들은 자신이 활동하는 주위 환경의 정보를 충분히 가질 수 없다. 대부분의 이동 로봇들은 미지 환경(Unknown Environments)에서의 주위 환경 인식 수단으로 로봇에 장착된 센서로부터의 정보에 의존한다 [2]. 이에 본 연구에서는 이동 로봇의 자율적 주행을 위한 필수적 요소 중 하나인 소나 센서 (Sonar sensor) 정보를 통한 장애물 회피에 관한 내용을 연구 주제로 한다.

#### 1.1 퍼지 제어를 이용한 Potential Field 모방

이동 로봇이 미지 환경에서 장애물과의 충돌 없이 안전하게 목표지점까지 주행하기 위해서는 뛰어난 장애물 회피 능력이 중요시 될 수밖에 없다. 그리고 장애물 회피 기능의 가장 중요한 성능 요소는 센서로부터의 정보에 얼마나 정확하고도 빠르게 반응 할 수 있는가이다.

퍼지를 이용한 장애물 회피 방법은 적은 양의 데이터를 다루며, 계산 시간이 적게 드는 단순한 연산만으로 이루어지기 때문에 동적 미지 환경에서의 장애물 회피 기능 구현시 빠른 반응 속도를 얻을 수 있다 [3]. 뿐만 아니라 규칙 기반(Rule-based) 퍼지 제어 시스템의 경우 전문가의 지식에 바탕을 두고 발견적 해결 방법에 기반하고 있기 때문에 수학적 모델링 없이 손쉽게 적용 및 최적화 할 수 있는 장점이 있

다.

본 논문의 퍼지를 이용한 장애물 회피 기능은 기존 Potential Field 방법과 유사한 방식으로 동작 한다. Potential Field 방법의 경우 장애물과 로봇 사이에 반발적인 인위적 힘을 발생시키고, 그로 인해 서로간의 충돌을 피할 수 있도록 하고 있다. 본 논문에서의 퍼지를 이용한 장애물 회피 역시 장애물과 로봇간의 거리에 따른 반발적 힘에 의한 서로 간 충돌을 방지 할 수 있도록 한다 [4]. 단, Potential Field 방법의 경우 장애물에 대한 전체 정보를 미리 알고 있어야 하는 반면, 퍼지를 이용한 방법의 경우 로봇을 둘러싸고 있는 n개의 센서 정보만으로도 동작 가능하다. 본 논문에서 제안하는 장애물 회피 방법은 센서 정보에 기반을 둔 장애물 회피 방법이므로 유동적 미지 환경에서도 빠른 반응 속도를 통한 안정적 동작이 가능하도록 한다.

### 2. 본론

이동 로봇은 자신으로부터 목표까지의 거리와 방향을 정확히 알 수 있음을 가정한다. 또한 로봇은 다수의 센서를 통해 자신과 장애물과의 거리 및 방향을 알 수 있다. 본 장에서는 이 두 가지 가정을 바탕으로 미지 환경에서의 장애물 회피에 대한 새로운 방법을 제안한다.

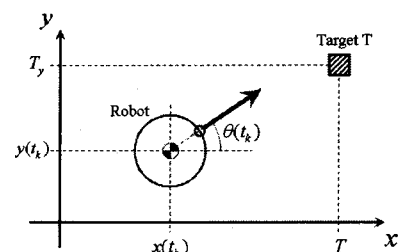


그림 1 좌표계와 제어 입력 변수들

저자 소개

\* 準 會 員 : 高麗大學 電子電氣工學科 碩博士統合課程

\*\* 正 會 員 : 高麗大學 電氣電子電波工學科 正教授·工博

## 2.1 이동 로봇 모델링

그림 1에서는 로봇의 좌표계와 제어 입력 변수를 도식화하고 있다.  $t_k (= kT_s)$ 가  $T_s$ 의 샘플링 시간을 가지는  $k$ 번째의 샘플을 뜻할 때,  $x(t_k)$ 와  $y(t_k)$ 는  $k$ 번째 샘플에서의 로봇의 위치 좌표이며,  $\theta(t_k)$ 는 로봇의 이동 각도이다. 그리고  $T_x$ 와  $T_y$ 는 목표지점  $T$ 의 위치 좌표이다. 이때, 로봇 자세  $P(t_k)$ 와 목표지점  $T$ 의 표현식은 식 (1), (2)와 같이 정의된다.

$$P(t_k) = [x(t_k) \ y(t_k) \ \theta(t_k)]^T \quad (1)$$

$$T = [T_x \ T_y]^T \quad (2)$$

그리고  $P(t_k)$ 는 다음 식 (3)과 같이 근사 될 수 있다.

$$P(t_k) = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^k v(iT_s) \cos\theta(i) \\ \sum_{i=0}^k v(iT_s) \sin\theta(i) \\ \sum_{i=0}^k w(iT_s) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x(0) \\ y(0) \\ \theta(0) \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서,  $v(t_k)$ 와  $w(t_k)$ 는 각각 로봇의 시간  $t_k$ 에서의 이동 속도와 회전 각속도이다. 또한, 각 시간에 따른 로봇에 장착된  $n$ 개의 소나 센서로부터 장애물까지의 측정 거리  $D(t_k)$ 와 측정 방향의 각도  $S(t_k)$ 는 식(4), (5)로 표현 된다.

$$D(t_k) = [d_0(t_k) \ \dots \ d_n(t_k)]^T \quad (4)$$

$$S(t_k) = \begin{bmatrix} s_0(t_k) \\ \vdots \\ s_n(t_k) \end{bmatrix} = \theta(t_k) \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s_0(0) \\ \vdots \\ s_n(0) \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서,  $s_0(0) \sim s_n(0)$ 는 각 소나 센서가 초기에 향하고 있던 방향의 각도를 나타낸다.

## 2.2 퍼지 제어를 이용한 Potential Field 모방

본 논문의 기존 Potential Field 방법을 모방한 퍼지 제어를 이용한 장애물 회피 방법은 로봇과 장애물 사이의 반발적인 힘에 기반하고 있다. 로봇에는 로봇이 계획된 경로를 따라 목표지점으로 향하고자 하는 힘과 주위 장애물에 의해 밀려나는 힘이 작용한다. 실제 로봇에 작용되는 힘  $R(t_k)$ 는 다음 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R(t_k) = R_p(t_k) + R_o(t_k) \quad (6)$$

여기서,  $R_p(t_k)$ 는 계획된 경로를 향해 이동하고자 하는 로봇의 이동력이며,  $R_o(t_k)$ 는 로봇과 장애물 사이의 반발력이다.

기존 Potential Field 방식의 경우 주위 환경을 이미 알고 있는 상황에서의 방법이므로 장애물이 로봇에 미치는 반발력을 정확히 알 수 있다. 하지만 미지 환경에서의 이동 로봇의 경우 단지 몇 개의 센서 정보만으로 주위 장애물들의 정보를

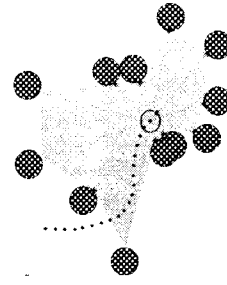


그림 2 각 센서의 장애물

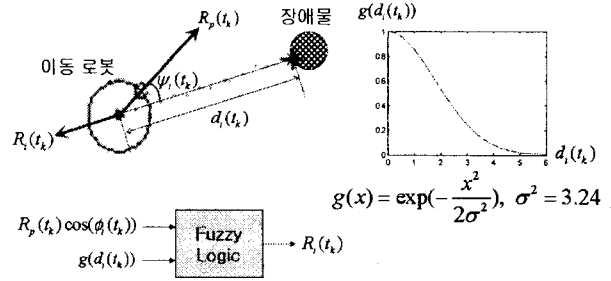


그림 3 장애물의 독립적 반발력

정확히 알기는 힘들다. 단지 각 센서가 향하고 있는 방향이 장애물과 얼마나 멀리 떨어져 있지만 알 수 있다. 이에 본 논문에서는 로봇과 장애물간의 관계를 그림 2와 같이 가정한 다.

로봇의 각 센서가 향하고 있는 위치에 각각의 장애물들이 하나씩 놓여 있으며, 각 센서는 로봇과 각 장애물간의 거리를 측정해 낸다. 이때, 로봇에 미치는 장애물로부터의 반발력은 식 (7)과 같이 각 센서가 향하는 방향에 놓인 모든 장애물들로부터의 반발력의 합으로 나타낼 수 있다.

$$R_o(t_k) = \sum_{i=0}^n R_i(t_k) \quad (7)$$

즉, 각 장애물들이 서로 독립적이라는 가정을 통해 각 센서에 대한 반발력을 여러 개의 독립적인 퍼지 제어 시스템으로 표현 및 분산시킬 수 있다. 로봇에 대한 각 장애물의 반발력  $R_i(t_k)$ 는 그림 3에서와 같이 로봇의 장애물을 향한 이동력  $R_p(t_k) \cos(\psi_i(t_k))$ 와 장애물과의 거리에 따른 Potential  $g(d_i(t_k))$ 를 입력으로 하는 퍼지 로직을 통해 결정된다.

이때, 각 장애물의 로봇에 대한 반발력  $R_i(t_k)$ 를 결정하게 위해 사용된 퍼지 규칙은 로봇과 장애물 사이의 Potential이 클수록, 로봇의 장애물을 향한 이동력이 클수록 로봇과 장애물간의 반발력 역시 크도록 구성한다.

## 2.3 모의 실험

본 논문에서 제안하고 있는 Potential Field 방법을 모방한 퍼지 제어를 통한 미지 환경에서의 센서기반 장애물 회피 기능의 성능을 모의실험을 통해 확인하고자 한다. 로봇은 미지 환경을 몇 개의 소나 센서를 통한 장애물과의 거리 정보만으로 목표지점까지 장애물과의 충돌 없이 이동 할 수 있어야 한다.

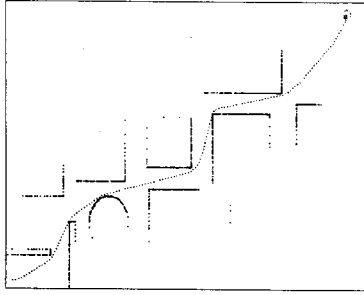


그림 4 인식된 주위 장애물

실험에는 그림 1에서의 이동 로봇 모델이 사용되었으며, 로봇의 몸체는 지름이 45cm인 원의 형태로 가정한다. 그리고 이 로봇에 장착된 소나 센서들은 30° 간격으로 12개가 배치되었다. 각 소나 센서들의 장애물까지의 거리 측정 범위는 0m에서부터 5.8m까지이며, 로봇은 항상 0.3m/step의 속도로 이동한다. 또한, 로봇은 (1m, 1m) 위치에서 0° 방향으로 출발하며, (35m, 25m) 지점을 목표로 이동한다.

본 논문에서의 장애물 회피 방법은 12개의 각 센서가 향하고 있는 방향에 그림 2에서와 같은 작은 장애물이 하나씩 위치해 있음을 가정하고, 각 장애물과 로봇간의 반발력을 통해 장애물을 회피 할 수 있음을 목적으로 한다. 이에 이러한 작은 장애물들에 의한 반발력이 로봇 주위 장애물들을 충분히 대표 할 수 있는지 살펴봐야 한다. 그림 4는 로봇이 이동함에 따라 인식된, 주위 장애물을 대표하는 작은 장애물들의 흔적을 작은 점들의 모임으로 나타낸 것이다. 그림 4에서의 결과를 볼 때, 각각의 작은 장애물들이 주위 장애물들의 전체적인 모습을 잘 대표하여 묘사하고 있음을 알 수 있다.

실험은 두 가지로 나뉘어 진행된다. 식 (6)에서의 계획된 경로를 향해 이동하고자 하는 로봇의 이동력  $R_p(t_k)$  만이 적용된 경우와  $R_p(t_k)$ 에 로봇과 장애물 사이의 반발력  $R_o(t_k)$  역시 적용된 경우이다.

그림 5는 Potential Field 모방 분산 퍼지 제어를 이용한 장애물 회피에 의해 생성된 최종적 형태의 이동 경로를 나타내고 있다. 본 결과를 통해 로봇이 주위 장애물과 일정 정도 이상의 거리를 잘 유지하고 있음을 볼 수 있다. 그리고 이는 그림 6을 통해 보다 확실히 알 수 있다.

그림 6은 로봇의 출발에서부터 도착에 이르기까지의 로봇과 주위 장애물간의 최소 거리를 장애물 회피 (Obstacle Avoidance : OA) 기능이 적용된 경우와 적용 되지 않은 경우로 구분하여 나타내고 있다. 장애물 회피 기능이 제외된 경우 6개의 구간에서 로봇과 장애물간의 거리가 0 이하가 된다. 즉, 6번의 장애물과의 충돌이 발생한다. 이에 반해 장애물 회피 기능이 적용된 경우 단 한 차례의 충돌도 발생하지 않는 것을 확인 할 수 있다. 뿐만 아니라, 장애물 회피 기능이 적용된 경우 그렇지 않은 경우에 비해 대체로 높은 로봇-장애물간 최소 거리 값을 가짐을 알 수 있다. 즉, 이동 로봇의 주행시 더 높은 안전성을 보장 할 수 있다.

### 3. 결론

목표 지점까지의 최소 이동거리를 고려하여 생성된 로봇의 이동 경로의 경우 주위 장애물과의 거리가 고려되지 않기 때문에 주변 장애물과의 충돌이 발생한다. 이에 본 논문에서는

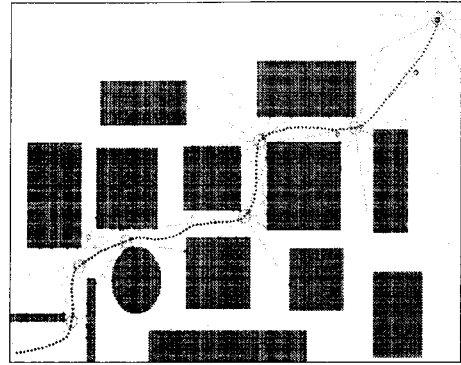


그림 5 장애물 회피가 적용된 경로 계획

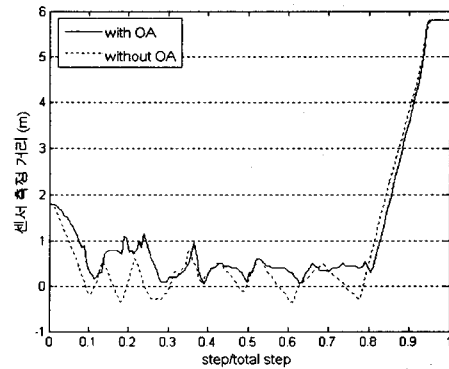


그림 6 장애물 회피가 적용된 경로 계획

Potential Field 모방 분산 퍼지 제어를 이용한 미지 환경에 적합한 장애물 회피 방법을 적용하고, 실험을 통해 본 장애물 회피 기능의 뛰어난 성능을 확인 할 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부가 지원한 "로보틱 크레인 기반 고층 건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발(과제번호:06 첨단융합 D01)"사업의 지원으로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] Howie Choset, Kevin M. Lynch, Seth Hutchinson, George Kantor, Wolfram Burgard, Lydia E. Kavraki, Sebastian Thrun, Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations, MIT Press, 2005
- [2] P. Krishnamurthy, F. Khorrani, "GODZILA: A Low-Resource Algorithm for Path Planning in Unknown Environments," Proceedings of the 2005 American Control Conference, pp.110-115, 2005
- [3] Bin Lei, Wenfeng Li, "A Fuzzy Behaviours Fusion Algorithm for Mobile Robot Real-time Path Planning in Unknown Environment," IEEE International Conference on Integration Technology, pp.173-178, 2000
- [4] Yong K. Hwang, Narendra Ahuja, "A potential field approach to path planning," IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.8, No.1, pp.23-32, 1992