

# 포텐셜 함수를 이용한 자율주행 로봇의 장애물 회피에 관한 연구

## Obstacle Avoidance Technique of the Autonomous Mobile Robot using Potential Function

남문호\*, 김민수\*\*, 정찬수\*\*\*

Mun-Ho Nam\*, Min-Soo Kim\*\*, Chan-Soo Chung\*\*\*

**Abstract** - Recently, the ability of sensing obstacles by oneself and creating suitable moving path in mobile robots are required to provide various kinds automation services. Therefore, in this paper, we studied the avoidance behavior of mobile robots from dynamic obstacles using potential function that minimizes distance and time. We examined the performance of the proposed algorithm by comparing the method of based on the geometrical experience in simulations.

**Key Words** : moving path, mobile robots, avoidance behavior, potential function, geometrical experience

### 1. 서 론

공장 자동화 및 의료 분야 등 산업화로 인하여 환경변화에 유연하게 대처할 수 있는 이동 로봇(mobile robot)의 필요성이 최근 증가되고 있다. 이의 한 형태인 자율주행에 관한 연구로서는 경로상에 존재할 수 있는 장애물체와의 충돌을 회피하여 최적의 경로를 구하여 찾아가는 경로 계획(path planning)에 대한 연구가 진행되고 있다.

Kant 등은 이동 장애물과의 충돌을 회피하기 위하여 Geometric Approach를 이용하여 경로를 변경하지 않고 계획된 경로 내에서만 속도를 감속하거나 가속하여서 이동 장애물과의 충돌을 회피하고자 하였다.[1]

Kyriakopoulos 등은 이동 장애물과의 거리를 추정하여 움직이는 장애물과의 충돌을 예측하는 거리함수를 만들어 충돌을 회피하는 방법을 제시하였다.[2]

Borenstein 등은 장애물의 감지에 초음파 센서를 사용하기 위해 인공 전위계 방법을 응용한 가상 역장(VFF : Virtual Force Field)과 벡터장 히스토그램(VFH : Vector Field Histogram)방법을 제안하였다.[3]

로봇분야에서 광범위하게 사용되는 또 다른 방법으로는 포텐셜 함수 방법이 있다.[4] 장애물은 포텐셜에 의한 척력을 발생하고 목표점은 인력을 발생시키도록 장애물과 목표점에 인공적인 포텐셜을 부여한다.[5]

본 논문에서는 포텐셜 함수 방법을 이용 이동경로 상에 존재하는 동적 장애물을 회피하여 목표점까지의 주행거리 및 주행시간을 최소화하여, 목적지에 도달하는 방법과 기하학적

경험에 바탕을 둔 방법을 시뮬레이션을 통해 성능을 비교하여 보았다.

### 2. 장애물 회피 방법

#### 2.1 포텐셜 함수 방법

포텐셜 함수 방법은 로봇이 목표점을 향해 주행하면서 장애물을 회피하기 위하여 목표점 방향으로는 가상 인력(virtual attractive force)을 선정하고 장애물 방향으로는 가상 척력(virtual repulsive force)을 선정한다. 가상 인력과 가상 척력의 벡터 합성을 이용하여 자율주행로봇의 결과력(resultant force)을 결정한다. 위치장을 이용한 자율주행로봇의 장애물 회피의 원리는 그림 1과 같다.

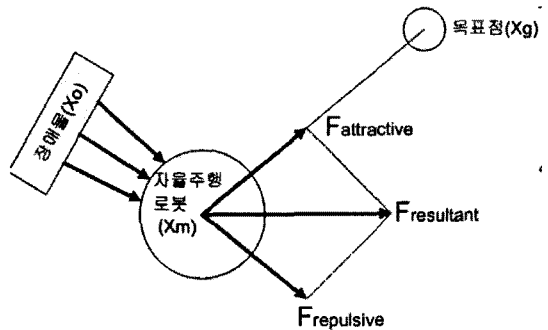


그림. 1 포텐셜 함수를 이용한 장애물 회피

그러므로 결과력은 식 (1)과 같다.

$$F_{resultant} = F_{attractive} + F_{repulsive} \quad (1)$$

식 (1)에서 인력과 척력은 식 (2)와 식 (3)으로 각각 나타

#### 저자 소개

- \* 남 문 호 : 숭실대학교 전기공학과
- \*\* 김 민 수 : 세종-목히드마린 우주항공연구소
- \*\*\*정 찬 수 : 숭실대학교 전기공학과

낼 수 있다.

$$F_{attractive} = -k_p (X_m - X_g) \quad (2)$$

$$F_{repulsive} = \begin{cases} \eta \left( \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right) \frac{1}{\rho^2} \frac{(X_m - X_p)}{|X_m - X_p|} & \text{if, } \rho \leq \rho_0 \\ 0 & \text{if, } \rho \geq \rho_0 \end{cases} \quad (3)$$

식 (2)에서  $k_p$ 는 비례상수,  $X_m$ 는 자율주행 로봇의 위치,  $X_g$ 은 목표점의 위치이다. 식 (3)에서  $\eta$ 는 비례 상수,  $X_p$ 는 장애물의 위치,  $\rho$ 는 장애물까지 최단거리,  $\rho_0$ 는 제한 거리이고 이다.

## 2.2 경험적 방법

### 2.2.1 장애물의 위치 및 속도

주행 환경에서 장애물과 자율주행 로봇과의 관계는 그림 2와 같다.

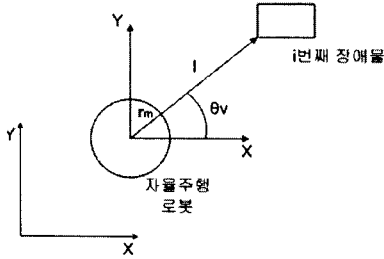


그림 2. 자율주행 로봇과 장애물

장애물의 절대위치를 계산하기 위해서는 먼저 로봇과 장애물 간의 상대위치를 계산하여야 한다.  $i$ 번째 장애물의 상대위치는 식 (4)와 같다.

$$x_{pi/m} = (r_m + l) \cos \theta_v \quad (4)$$

$$y_{pi/m} = (r_m + l) \sin \theta_v$$

식 (4)에서  $r_m$ 은 자율주행 로봇의 몸체 반경,  $l$ 은 로봇과 장애물과의 거리,  $\theta_v$ 는 비전 센서가 자율주행로봇에 부착된 위치의 절대각도를 나타낸다. 그러므로 장애물의 절대위치는 식 (5)로 표현된다.

$$x_{pi} = x_m + x_{pi/m} \quad (5)$$

$$y_{pi} = y_m + y_{pi/m}$$

식 (5)에서  $x_m$ 은 로봇 중심점의  $x$ 축 절대위치,  $y_m$ 은 로봇 중심점의  $y$ 축 절대위치를 나타낸다.

장애물의 절대속대 계산도 같은 방법으로 장애물의 상대속도로부터 계산하면 식 (6)과 같다.

$$v_{pix/m} = \frac{x_{pi} - x_{pi}}{h} \quad (6)$$

$$v_{piy/m} = \frac{y_{pi} - y_{pi}}{h}$$

식 (6)에서  $h$ 는 제어기의 샘플링 시간,  $x_{pi}$ 은  $h$ 초 후의  $i$ 번째 장애물  $x$ 축 상대좌표,  $y_{pi}$ 은  $h$ 초 후의  $i$ 번째 장애물  $y$ 축 상대좌표를 나타낸다.

그러므로 장애물의 절대속도는 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$v_{pix} = v_{mx} + v_{pix/m} \quad (7)$$

$$v_{piy} = v_{my} + v_{piy/m}$$

식 (7)에서  $v_{mx}$ 는 로봇의  $x$ 축 방향의 절대속도,  $v_{my}$ 는 로봇의  $y$ 축 방향의 절대속도를 나타낸다. 장애물의 절대위치와 절대속도를 계산하였으므로 장애물과 자율주행 로봇의 충돌 가능성을 검사할 수 있다.

### 2.2.2 충돌 가능성

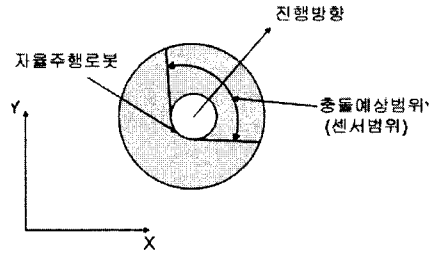


그림 3. 장애물 충돌 가능성 예측

센서 영역 중에서 충돌 가능 영역은 그림 3과 같다. 센서의 범위를  $R_{sensor}$ 라하고  $v_m$ 을 자율주행 로봇의 주행속도라 하면 현재의 위치에서 센서의 범위까지 자율주행 로봇이 주행하는데 걸리는 시간은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_{sensor} = \frac{R_{sensor}}{v_m} \quad (8)$$

그러므로 자율주행로봇은  $t = 0$ 에서  $t = t_{sensor}$ 까지 로봇과 장애물을 가상적으로 움직이면서 그 거리가  $D_w/2$ 보다 작게 되는 장애물을 찾는다.

### 2.2.3 충돌 예상점

이동 장애물의 충돌 예상점을 계산하기 위하여 먼저 장애물의 진행 방향을 식 (9)로부터 구하여야 한다.

$$\theta_{pi} = \text{atan} \left( \frac{v_{piy}}{v_{pix}} \right) \quad (9)$$

장애물의 속도와 장애물의 진행 방향은 일정하다고 가정하므로, 장애물의 주행 경로는 식 (10)과 같은 직선의 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$y - y_{pi} = \tan \theta_{pi} \times (x - x_{pi}) \quad (10)$$

자율주행로봇의 주행 경로도 직선의 방정식으로 나타내면 식 (11)과 같다.

$$y - y_m = \tan \psi \times (x - x_m) \quad (11)$$

식 (10), (11)로부터 두 직선의 충돌 예상점을 구하면 식 (12)와 같다.

$$x_{pi,c} = \frac{x_m \tan \psi x_{pi} \tan \theta_{pi} + y_{pi} - y_m}{\tan \psi - \tan \theta_{pi}} \quad (12)$$

$$y_{pi,c} = (x_{pi,c} - x_{pi}) \tan \theta_{pi} + y_{pi}$$

### 2.2.4 임시 목표점

이동 장애물의 경우 임시 목표점을 정하는 방법을 2가지 제안하였다.

첫 번째 방법은 자율주행 로봇이 이동 장애물보다 속도가 빠른 경우 장애물의 진행 방향으로 장애물을 앞질러 가는 방법으로 식 (13)과 같이 표현된다.

$$\text{if } \Delta V > 0 \quad x_t = x_{de} + \frac{D_w}{2} \times \cos \theta_{de} \quad (13)$$

$$y_t = y_{de} + \frac{D_w}{2} \times \sin \theta_{de}$$

두 번째 방법은 자율주행로봇이 이동 장애물보다 속도가 느릴 경우 장애물의 반대 방향으로 속도를 줄이면서 돌아가는 방법으로 식 (14)와 같이 표현된다.

$$\text{if } \Delta V \leq 0 \quad x_t = x_{de} - \frac{D_w}{2} \times \cos \theta_{de} \quad (14)$$

$$y_t = y_{de} - \frac{D_w}{2} \times \sin \theta_{de}$$

식 (13)과 (14)에서  $\Delta V = V_m - V_{de}$ 이고,  $(x_{de}, y_{de})$ 는 가장 가까운 충돌 예상점이고,  $\theta_{de}$ 는 이동 장애물의 진행 방향이다.

## 3. 시뮬레이션

### 3.1 시뮬레이션 방법

자율주행 로봇의 주행 환경은 1000mm×1000mm의 정 사각형의 형태이다. 시뮬레이션에서 거리의 기본 단위는 [cm] 이고 각도의 기본단위는 [radian]이다. 그러므로 자율주행 로봇의 주행 환경 좌표계는 시뮬레이션 환경에서 좌측 아래가 (0, 0) 이고 우측 위가 (100, 100)으로 정해진다. 자율주행 로봇의 폭( $D_w$ )은 75mm이므로, 좌표상에서 자율주행 로봇과 이동 장애물 간에 거리가 80mm 안에 들어 올 경우 충돌에 위험이 발생한다. 장애물의 감지하기 위한 센서의 측정 범위는 200mm로 하였으며, 이동 장애물의 경우는 움직이는 속도 (20m/sec)와 방향을 일정하다고 가정하였다.

먼저, 포텐셜 함수 방법을 기하학적 경험에 바탕을 둔 방법과 동일하게 일정 속도(20m/sec)로 주행하다가 이동 장애물을 감지할 경우 속도를 이동 장애물의 속도보다 빠르게 (30m/sec)하는 방법과 속도를 이동 장애물의 속도보다 느리게 (10m/sec)하는 방법으로 시뮬레이션을 하였다. 그 후, 기하학적 경험에 바탕을 둔 방법 두 가지 경우를 시뮬레이션 하였으며, 4m/sec당 한 픽셀이 출력되게 하였다.

### 3.2 시뮬레이션 결과

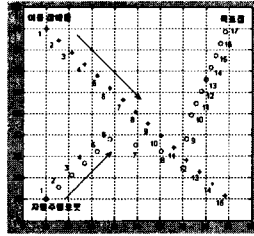


그림 4. 포텐셜 함수 방법1

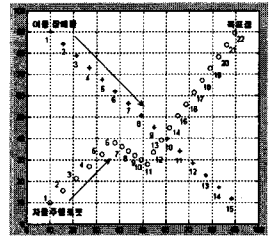


그림 5. 포텐셜 함수 방법2

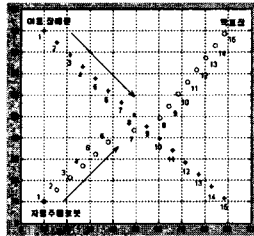


그림 6. 기하학적 경험1

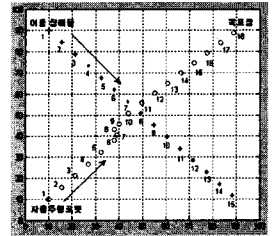


그림 7. 기하학적 경험2

## 4. 결론

본 논문에서는 자율주행 로봇이 이동 장애물을 회피하여 목표점을 향하여 주행할 때, 주행 거리와 주행 시간을 최소화 하는 방법을 제시하였다.

포텐셜 함수 방법과 기하학적 경험에 바탕을 둔 방법을 시뮬레이션을 통하여 기하학적 경험에 바탕을 둔 방법이 주행 거리와 주행 시간을 최소화하는데 더 유용하며, 그 중 속도를 줄일 경우는 주행 거리가 최소화 되고, 속도가 빠를 경우는 주행 시간이 최소화되므로 이를 최적화 시키는 것이 추후 연구과제이다.

## 참고 문헌

- [1] I. K. Kant and S. W. Zuer, "Toward efficient trajectory planning : the path-velocity decomposition", The International Journal of Robotic Research, vol. 5, no. 3, pp. 72-89, 1986
- [2] K. J. Kyriakopolos and G. N. Saridis, "An integrated collision prediction and avoidance scheme for mobile robots in non-stationary environments", Automatica, vol. 29, no. 2, pp. 309-322, 1993.
- [3] J. Borenstein and Y. Koren, "The vector field histogram fast obstacle avoidance for mobile robots", IEEE transactions. on Robotics and Automation, vol. 7, no. 3, pp. 278-287, 1991.
- [4] S. S. Ge and Y. J. Cui, "New potential functions for mobile robot path planning", IEEE transactions. on Robotics and Automation, vol. 16, no. 5, pp.615-620, 2000.
- [5] 남문호, 김민수, 이순환, 박형준, 정찬수, "이동 로봇의 포텐셜 함수를 이용한 장애물 회피에 관한 연구", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, D권, pp.2362-2364, 2004. 7.