

곡률 주행 기법을 이용한 무인 이동 개체의 장애물 회피 알고리즘

논문

58-4-24

Obstacle Avoidance of Autonomous Mobile Agent using Circular Navigation Method

이진섭* · 좌동경† · 홍석교**
(Jin-Seob Lee · Dongkyoung Chwa · Suk-kyo Hong)

Abstract - This paper proposes an obstacle avoidance algorithm for an autonomous mobile robot. The proposed method based on the circular navigation with probability distribution finds local-paths to avoid collisions. Furthermore, it makes mobile robots to achieve obstacle avoidance and optimal path planning due to the accurate decision of the final goal. Simulation results are included to show the feasibility of the proposed method.

Key Words : Avoidance, Circular Navigation, Obstacle, Mobile agent

1. 서론

이동 로봇의 작업 공간에는 미리 알고 있는 구조물들이 있거나, 그렇지 않은 경우 예상하지 못했던 장애물들이 있게 된다. 무인 이동 개체의 자율적인 주행을 위한 장애물 회피 및 경로 생성을 위해서는 장애물에 대한 인식뿐만 아니라 인식된 장애물을 효과적으로 회피할 수 있는 방법이 필요하다. 이동 로봇은 자율 주행시 장애물들의 회피를 위하여 많은 센서들을 사용하게 된다[1]. 기존의 장애물을 인식하는 방법으로는 적외선, 초음파, 레이저 센서, 비전 등의 센서를 사용한 방법이 있다. 이 중에서 적외선 센서는 정확한 위치 측정이 가능하나 측정 거리가 짧은 단점이 있으며, 원거리 측정이 가능한 초음파 센서의 경우 장애물에 대한 정확한 위치 측정이 어렵다는 단점이 있다. 레이저 스캐너는 다른 센서들에 비해 탐지 거리가 길고, 장애물과의 거리를 직접적으로 구해낼 수 있어 장애물 탐지에 많이 사용된다. 따라서 본 논문에서는 무인 이동 개체의 정확한 장애물의 측정을 위해 레이저 스캐너의 정보를 사용하도록 한다.

레이저 스캐너를 이용한 장애물 탐지와 장애물에 대한 다양한 방법들이 제시되어 왔고, 실내에서 뿐만 아니라 실외에서도 다양한 접근법이 제시되고 있다. 레이저 스캐너를 통해 추출한 장애물의 점들을 추출하여 점들 간의 거리를 계산하고, 계산한 값에 따라 많은 장애물들을 구분해 내는 방법이 제시되었다[2]. 이동중에 이동 로봇의 움직임에 따라 장애물들의 중계선들을 추출함으로써, 실내 환경에서의 장애물 지도를 작성하는 방법도 제시되어 왔다[3]. 이러한 연구들은 레이저 스캐너를 이용하여 거리를 측정하고, 그 거리를 효율적으로 사용하여 장애물 탐지 및 장애물 회피를 하고

있지만, 많은 장애물이 있는 곳에서는 사용하기 어렵다. 물체를 효과적으로 분류하지 못하는 단점을 보완하기 위하여 확률적인 방법을 사용하여 장애물 회피와 경로 생성을 하는 방법이 제시되었다[4]. 하지만 이 방법은 연산 상에 있어서 차원이 높아져 연산량이 많아지고, 이동 로봇의 자율 주행시 걸리는 시간이 길어지는 단점이 있다. 또한 좀 더 복잡한 장애물이 있을 때는 사용하기 어렵다. 따라서 이러한 단점들을 해결하기 위하여 확률적인 방법을 사용하되, 계산식과 차원을 최소화 시키고, 그에 따른 자율 주행시 시간과 거리를 단축할 수 있는 방법이 필요하다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 레이저 스캐너로부터 얻은 정보를 이용하여, 확률적으로 이동 로봇이 이동할 수 있는 지역들을 구분하고, 목표점과의 관계를 이용하여 이동 방향을 선택하는 알고리즘을 제안한다. 또한 확률적 방법을 적용했을 때 발생하는 이동 거리와 시간이 길어지는 단점을 보완하고자 곡률 주행을 이용한 장애물 회피 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘을 통해 이동 로봇의 자율 주행시의 경로를 줄이고, 목표점까지의 도달시간을 줄일뿐만 아니라, 로봇이 복잡한 장애물을 탐지하거나 회피할 때 일관성을 가지도록 한다.

2. 알고리즘

장애물의 회피를 위한 알고리즘은 장애물과의 충돌을 최소화 하면서 빠르게 목표점을 향하여 자율 주행을 할 수 있어야 한다. 기존의 많은 장애물 회피 방법 중 장애물의 감지를 위한 알고리즘은 빠른 계산 시간과 더불어 잡음에 의한 영향을 줄일 수 있어야 한다. 기존의 많은 클러스터링 방법 중 어떤 형태의 로봇에도 적용이 가능한 확률 분포를 사용한 방법이 많이 사용되었다. 그러나 복잡한 환경에서는 스캐너의 해상도가 높아야 하고, 확률 분포된 지도에서 정보를 획득할 때, 연산 과정이 복잡하게 된다. 또한 전체 지도를 하나의 가상공간으로 지정해야 하는 복잡함 때문에 좌표

* 준 회원 : 아주대학 전자공학부 석사과정

** 정 회원 : 아주대학 전자공학부 교수 · 공박

† 교신저자, 정회원 : 아주대학 전자공학부 교수 · 공박

E-mail : dkchwa@ajou.ac.kr

接受日字 : 2008년 12월 19일

最終完了 : 2009년 2월 4일

변환을 비롯한 연산 과정의 전체적인 차원이 높아지게 되는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 전체 지도를 확률 분포로 만드는 대신에, 장애물과 목표점에 대해서만 확률분포를 사용하여 연산량이 많아지는 단점을 해결하고, 여기에 곡률 주행을 추가하여 빠른 계산과 정확한 주행, 그리고 주행 시간과 거리를 단축할 수 있는 장애물 회피 알고리즘을 제안하고자 한다. 이 논문에서 제안하고 있는 알고리즘은 다음과 같이 크게 세 부분으로 나누어져 있다.

- (1) 레이저 스캐너로부터 얻은 정보를 이용하여 확률적으로 장애물이 없는 영역을 구분한다.
- (2) 생성된 영역에 대한 확률적 분포와 이동 로봇의 목표점에 대한 정보를 융합하여 이동방향을 선택한다.
- (3) 모서리를 추출한 후 원주를 따라 회전하며, 목표점과 주행각이 같을 시 자율 주행한다.

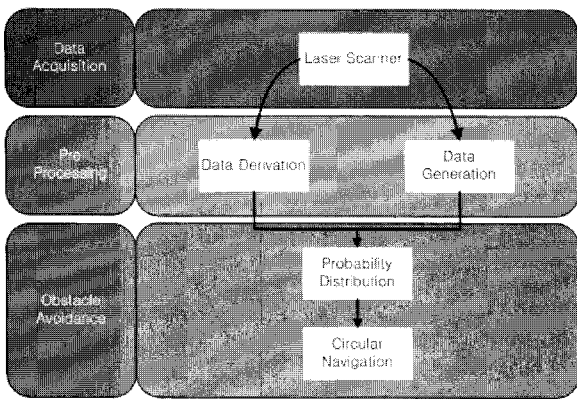


그림 1 장애물 회피 알고리즘 블록도
Fig. 1 Blockdiagram of obstacle avoidance

장애물 회피 알고리즘은 그림 1에서와 같은 처리 순서를 가진다. 정보 수집 단계에서 레이저 스캐너를 이용하여 장애물의 거리 정보 및 환경 정보를 수집한다. 전처리 단계에서 스캐너로부터 발생하는 Raw Data를 바탕으로 장애물에 대한 정보를 생성한다. 스캐너로부터 나오는 데이터를 바탕으로 장애물에 대한 가우시안 그래프를 생성하며, 그래프의 첨두 값에 따라 장애물이 없는 지역을 판별한다. 목표점과 가까운 지역으로 이동하며 모서리가 추출되면 모서리에 원주를 생성하여 곡률 주행을 한다. 곡률 주행시 목표각과 구동부의 heading각이 같아지면 곡률주행을 포기하고 목표점을 향한 자율 주행을 시도한다.

2.1 정보 수집

장애물에 대한 정보를 수집하기 위한 수단으로 레이저 스캐너를 사용한다. 장애물의 정보를 처리하는 과정에서 물체까지의 정확한 거리 측정이 필수적이다. 적외선, 초음파 센서 등의 거리 측정 센서는 크기가 작아 하드웨어의 공간적인 장점을 가지며 사용이 많이 되고 있지만, 원거리의 물체에 대한 정확한 위치 측정은 어렵다는 것인데 레이저 스캐너를 사용함으로써 이러한 단점을 해결할 수 있다.

2.2 무 장애물 지역에 대한 확률적 분포 알고리즘

레이저 스캐너를 통해 얻은 정보로부터 장애물이 없는 영역을 표현 할때, 빛이나 다른 외란으로 인해 장애물 정보의 오차가 존재하게 된다. 따라서 장애물이 존재하지 않은 영역을 가우시안 분포 함수 곡선을 사용하여 나타낸다. 가우시안 분포에서 나타내는 최대값은 확률적으로 장애물이 가장 없는 곳이라 예상되는 곳이다.

식 (1)은 무인 이동 개체가 자율 주행할 시 목표점과 무인 이동 개체의 거리를 판별하는 식이다. 식 (2)는 무인 이동 개체가 자율 주행시 항상 목표점의 각도를 가지고 주행할 수 있도록 한다.

$$D_t = \sqrt{(x_{robot} - x_{target})^2 + (y_{robot} - y_{target})^2} \tag{1}$$

$$\theta = \arctan\{(y_{target} - y_{robot}) / (x_{target} - x_{robot})\} \tag{2}$$

무인 이동 개체의 전방에 장애물이 없을 경우는 위 두 가지 정보만 있으면 무인 이동 개체는 목표점을 향해 주행할 수 있다. 하지만 장애물이 있을 경우 이에 대한 정보를 추가로 활용하는 것이 필요하다. 식 (3)은 장애물이 없는 영역에 대한 가우시안 분포 함수의 식을 나타낸다. x_i 는 이동 로봇 좌표계에서 x축의 값이고, σ_i 값은 장애물이 없는 영역의 표준편차, μ_i 값은 평균값이다.

$$f_i(x) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_i - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right] \tag{3}$$

장애물이 없는 영역을 이동 로봇이 통과할 때, 식(1)을 이용하여 장애물로부터 가장 안전한 영역을 표현할 수 있다. 장애물이 다양하고 복잡한 경우, 2개 이상의 장애물이 없는 영역에 대한 확률 분포를 갖게 된다. 그림 2와 같이 이동 로봇의 진행 방향에 장애물이 있고 Region 1과 Region 2의 두 곳이 장애물이 없는 경로이다. 이동 로봇은 두 경로를 따라 (a) 혹은 (b) 두 방향으로 진행할 수 있다. 장애물을 정면에 두고 로봇은 (3)을 이용하여 두 곳의 가우시안 분포를 나타낼 수 있다. Region 1은 표준편차 σ_1 , 평균값 μ_1 를 가지고, Region 2는 표준편차 σ_2 , 평균값 μ_2 를 가진다.

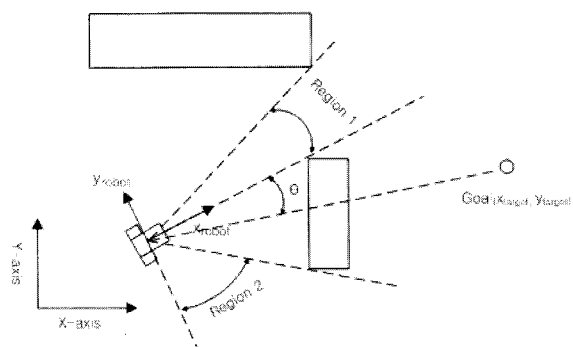


그림 2 로봇의 이동 방향과 장애물이 없는 지역
Fig. 2 Direction of mobile robot and non obstacle territories

Region 1과 Region 2는 그림 3과 같은 가우시안 분포가 표시될 것이라고 예상할 수 있다. 각각의 최대값이 되는 곳이 각각의 장애물이 없을 확률이 가장 큰 곳이 된다. 이동 로봇이 주행할 때, 목표점에 도달하기까지 최단의 경로로 목표점에 도달하는 것이 중요하다. 그림 3과 같이 두 개 이상의 장애물이 없는 영역이 생성될 때, 이동 로봇은 여러 개의 장애물이 없는 영역 중에서 한 영역을 선택하기 위하여 이동 로봇의 최종 목표점에 대한 정보를 이용한다.

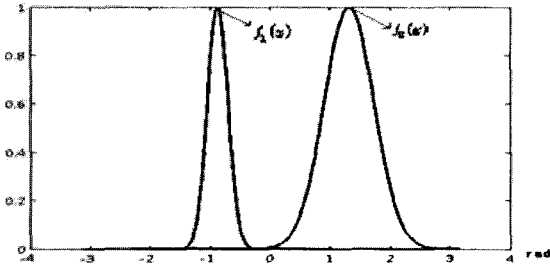


그림 3 Region 1과 Region 2의 예상 가우시안 분포 그래프
Fig. 3 Expectation gaussian distribution graph of Region 1 and Region 2

식 (4)는 목표점에 관한 정보를 활용한 가우시안 분포의 함수를 나타내고, 이때 x_g, μ_g, σ_g 값은 최종 목표점에 대한 x 축의 좌표, 표준편차, 평균값에 대한 정보이다.

$$f_g(x_g) = \frac{1}{\sigma_g \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_g - \mu_g)^2}{2\sigma_g^2}\right] \quad (4)$$

(4)를 이용하여 이동 로봇은 자신을 기준으로 하여 최종 목표점을 향한 각도정보를 이용하여 가우시안 함수를 생성하게 된다. 그림 4는 식 (4)를 이용한 최종 목표점의 예상 가우시안 분포 그래프를 나타낸다. 그림 4에서 첨두값이 나타내는 x좌표를 바탕으로 이동 로봇은 좌측 혹은 우측으로 방향을 예상 할 수 있다.

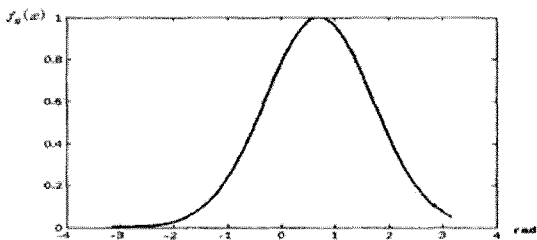


그림 4 이동 로봇의 최종 목표점의 예상 가우시안 분포 그래프
Fig. 4 Expectation gaussian distribution graph of goal point

장애물이 없는 지역을 표현한 식과 이동 로봇의 최종 목표점을 표현한 식을 이용하여 비용함수를 생성한다. 식(5)는 생성된 비용함수를 나타낸다.

$$f(x) = f_g(x_g) + \sum_{i=1}^N f_i(x_i) \quad (5)$$

식(3)과 식(4)를 더하여 $f(x)$ 의 비용함수를 생성하고, 합쳐진 비용함수를 바탕으로 이동 로봇은 최종 방향을 결정하게 된다. 여기서 N값은 장애물의 개수가 된다. 식 (5)에서 얻은 정보중 가장 최대로 하는 값을 가지는 방향이 최종 목표점을 향하는 방향이 될 것이다.

$$\theta_{sub} = \operatorname{argmax} \left(\sum_{i=1}^N f_i(x_i) + f(x_g) \right) \quad (6)$$

비용 함수는 그림 5와 같이 표시 될 것이고 식 (6)의 θ_{sub} 는 목표물의 방향을 유지하면서 장애물을 회피할 수 있다. 식(5)와 같은 비용함수를 통해 이동 로봇은 방향을 결정짓고, 장애물을 회피 하는 동안 식(6)에서 나타난 각도정보를 이용하여 목표점을 향해 주행을 계속 하게 된다.

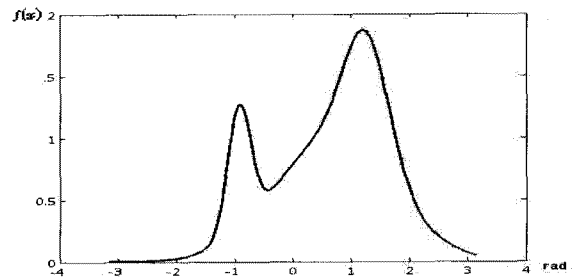


그림 5 비용 함수의 예상 가우시안 분포 그래프
Fig. 5 Expectation gaussian distribution graph of cost function

2.3 곡률 주행을 이용한 최단 거리 생성

그림 5와 같이 비용 함수를 이용하여 장애물을 회피하게 되면 장애물과 장애물사이의 가장 중간값을 통해 이동 로봇이 주행하게 됨으로 충돌에 대한 위험 없이 안전하게 회피를 할 수 있게 된다. 그러나 이동 로봇이 장애물을 회피 할 시, 로봇의 크기를 고려하여 장애물과의 충돌 위험 없이 최단 경로로 회전을 하게 되면 주행 속도와 주행 경로를 최대한 줄일 수 있게 된다.

2.3.1 모서리 추출

이동 로봇의 장애물 회피 시 회전 반경을 최대한 줄일 수 있는 부분이 모서리이다. 따라서 모서리 부분을 추출하여 그 부분에서 최대한 회전 반경을 줄일 필요성이 있다. 식 (7)은 목표점의 각도를 나타내고 식 (8)은 로봇의 주행 각을 나타낸다.

$$\theta_{target} = \arctan\left[\frac{(y_f - y_i)}{(x_f - x_i)}\right] \quad (7)$$

$$\theta_{robot} = [0 \ 1] \begin{bmatrix} v_c \\ \omega_c \end{bmatrix} \quad (8)$$

이동 로봇의 주행 시, 식(7)에서 나타나는 목표점에 대한 각도정보를 이용하여 이동 로봇이 가지고 있는 θ_{robot} 값을 변화시켜 목표점을 향해 주행하게 된다. 이때, 전방에 장애물이 탐지가 되면 비용함수를 이용하여 장애물을 회피 하게 되고, 목표점의 방향으로 장애물이 탐지되지 않을 때까지 로봇의 각도는 변화게 된다.

장애물을 회피할 시, 이동경로와 시간을 단축하기 위해서 장애물의 모서리를 탐지해야 할 필요가 있다.

$$x_{obstacle1} < x_{obstacle2} \text{ and } y_{obstacle1} = y_{obstacle2} \quad (9)$$

$$x_{obstacle1} = x_{obstacle2} \text{ and } y_{obstacle1} < y_{obstacle2} \quad (10)$$

이동 로봇의 장애물 회피 시 식(9)와 같이 장애물에 대한 정보가 x_i 값이 x_{i+1} 값보다 작게되고 y 값이 변화가 없을때, 혹은 식(10)과 같이 y_i 값이 y_{i+1} 값보다 작고, x 값이 변화가 없을때 사각 장애물의 모서리로 가정하고 탐지한다.

2.3.2 곡률 생성 및 주행

2.2.1에서 추출한 모서리 점을 중점으로 하는 원호를 생성하여 이동 로봇이 원호를 따라 주행하게 되면 이동 로봇의 회전 반경을 최소한으로 줄일 수 있다.

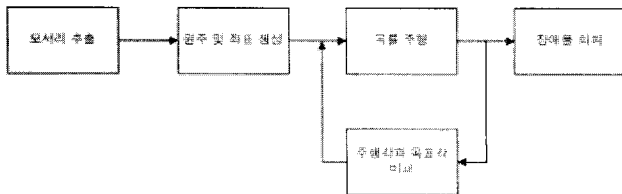


그림 6 곡률 주행 알고리즘
Fig. 6 Circular navigation method

그림 6과 같이 이동 로봇은 모서리를 추출하게 되면 원주를 따라 주행하게 되고 이동 로봇의 주행각과 목표각을 비교하면서 곡률 주행과 일반 주행을 결정하게 된다. 이동 로봇은 원주를 따라 주행하다가

$$\theta_{target} = \theta_{robot} \quad (11)$$

식 (11)과 같이 로봇의 주행각과 목표점의 각도가 일치할 경우 목표점을 향해 일반적인 주행을 하게 된다. 원호 생성 시 원의 크기는 로봇의 크기보다 크고 비용함수의 중간값 보다는 작다고 가정한다.

3. 모의실험

모의실험을 통하여 제안된 알고리즘의 효율성과 정확성을 검증한다. 모의실험을 수행하기 위해 이동 로봇의 크기는 가로 0.15m × 세로 0.2m, 레이저 스캐너의 각도는 180°로 가정하고, 이동 로봇의 초기 위치는 (15, 20) 최종 목표점의 위치는 (160, 80)으로 가정한다. 또한 이동 로봇 전방의 장

애물은 사각형이라 가정한다. 또한 무인 이동 개체는 정속 주행 하는 것을 가정한다.

그림 7은 이동 로봇이 장애물을 탐지하였을 때, 생성되는 비용함수를 나타낸다. 레이저 스캐너로부터 생성된 정보로 장애물이 없는 영역을 확률적 표현으로 나타내고, 목표점 정보를 추가하면 비용함수를 생성하는 것을 알 수 있다.

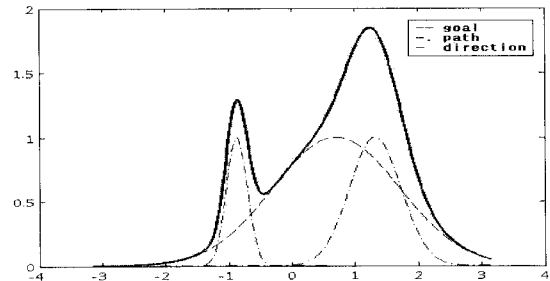


그림 7 비용함수의 가우시안 분포 그래프
(점선 : 목표점의 정보, 실선 : 비용함수의 정보)

Fig. 7 Gaussian distribution graph of cost function
(dotted line : information about goal point, solid line : information about cost function)

그림 8은 이 논문에서 제안하는 확률 분포 알고리즘을 사용하여 모의 실험한 결과와 potential field를 이용한 장애물 회피와의 비교를 나타낸 그림이다. 초기위치로부터 목표위치까지 장애물을 회피하면 이동 로봇은 그림 8과 같은 궤적을 그리면서 이동한다.

그림 8에서 보듯이 potential field를 사용하였을 경우 경로가 단순해지는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 장애물을 회피 한 후 목표점 까지 바로 가지 못하는 단점을 보이며, 이동 거리는 확률 분포를 사용 했을 때 보다 더 길어지는 것을 확인 할 수 있다.

그림 9는 확률 분포를 이용한 이동 로봇의 장애물 회피 알고리즘에 제안한 곡률주행 알고리즘을 이용하여 주행한

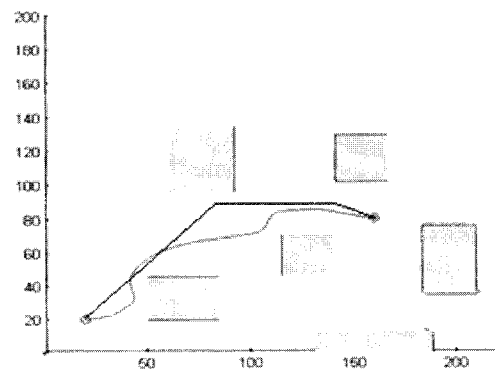


그림 8 확률 분포와 potential field를 이용한 이동 로봇의 장애물 회피 비교

Fig. 8 Obstacle avoidance of mobile robot using probability distribution and potential field

모의실험 결과와 potential field방법과의 장애물 회피 비교이다. 모서리 부분에 원주가 생성이 되고 이동 로봇은 이 원주를 따라 곡률 주행함을 알 수 있다.

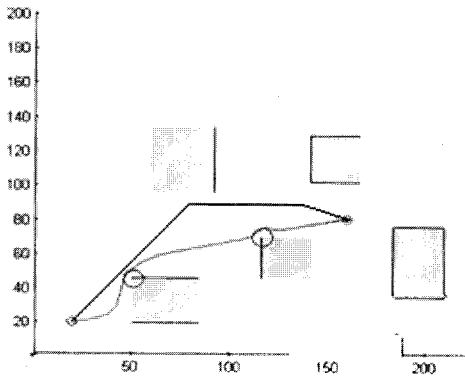


그림 9 곡률 주행과 potential field를 이용한 이동 로봇의 장애물 회피

Fig. 9 Obstacle avoidance of mobile robot using circular navigation and potential field

확률 분포 방법과 비교했을 때, 곡률 주행을 사용하였을 시, 이동 거리가 단축되는 것을 확인 할 수 있다.

potential field 방법을 보게 되면, 직선으로 주행 하는 구간이 있기 때문에 이동 개체가 이를 알고 있다면, 충분히 가속주행을 할 수 있다. 따라서 이동시간을 단축 시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 본 논문에서는 정속 주행을 가정하고 있기 때문에 potential field보다는 곡률 주행이 이동 시간이 빠르고, 이동 거리가 단축된다고 할 수 있다.

그림 10은 Wall following 방법[10]을 사용한 장애물 회피와 확률 분포를 사용한 장애물 회피의 비교를 보여준다.

Wall following 방법[10]에서는 확률 분포를 이용한 장애물 회피 방법 보다 주행 거리가 짧아지는 장점이 있지만, 장애물 회피시 일정 범위 내로 들어가게 되면 불안정한 주행을 하게 되고, 주행 방향에 있어서 장애물의 모서리 부

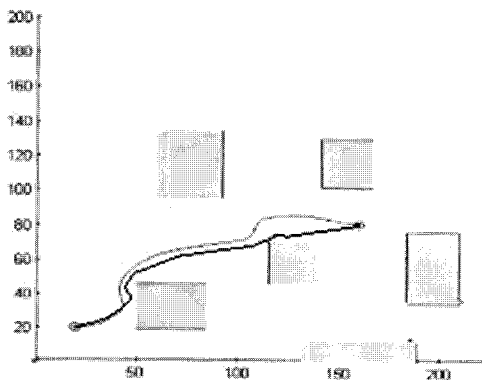


그림 10 곡률 주행과 Wall following을 이용한 이동 로봇의 장애물 회피

Fig. 10 Obstacle avoidance of mobile robot using circular navigation and wall following

분이 탐지되게 되면 반응속도가 느려져서 회피를 하지 못하는 단점을 보이고 있다.

그림 11은 확률 분포 방법만을 사용하여 주행하였을 때와 곡률 주행을 추가하여 주행하였을 때 주행 거리와 시간을 비교한 그래프이다.

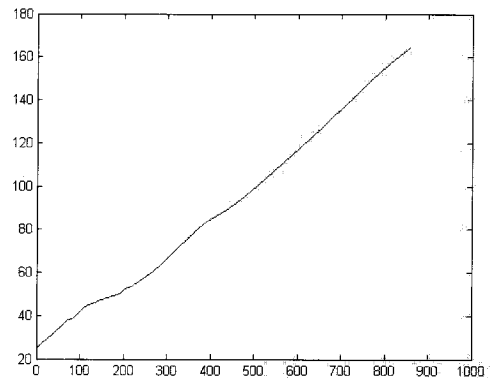
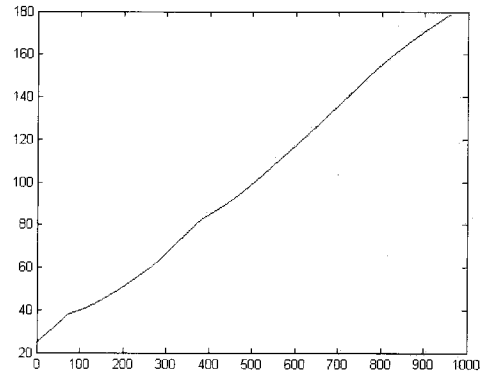


그림 11 확률 분포 사용과 곡률 주행 사용 시 시간과 거리 비교

Fig. 11 Time and distance using probability and circular navigation

그림 11에서 확인하듯이 확률 분포를 사용하였을 때, 최종 거리는 180m 가 되는 것을 확인할 수 있었으며, 곡률 주행을 사용하였을 때, 최종 거리는 약 170m 가 되는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 곡률 주행을 사용하여 확률 분포에서의 주행 시간과 거리를 단축시킬 수 있다.

모의실험을 통해 이동 로봇은 시작점으로부터 목표점까지 최단 경로를 형성하면서 장애물을 회피하고

있음을 알 수 있고, 장애물과의 충돌 없이 목표점까지 최단 경로를 따라 이동 로봇이 주행하는 것을 볼 수 있다.

4. 실험

4.1 하드웨어 구성

본 논문에서는 National Instrument사의 Compact RIO를 이용하여 구동부를 제어한다. 레이저 스캐너에서 얻은 거리 정보를 바탕으로 LabVIEW를 통해 거리에 따른 무 장애물 지역의 비용 함수를 생성하고, 그에 따른 장애물 회피를 하게 된다.

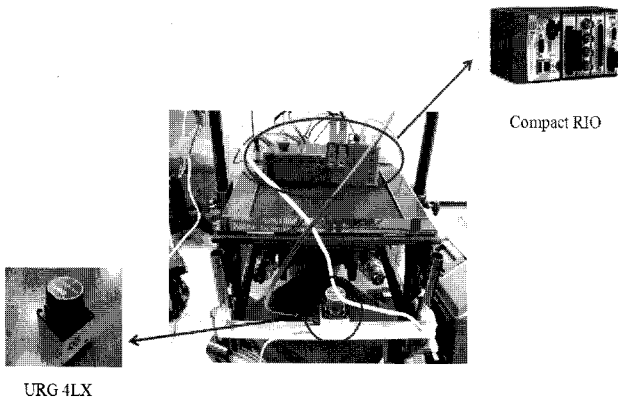


그림 12 센서와 Compact RIO를 이용한 모바일 로봇
 Fig. 12 Mobile robot using sensor and compact RIO

본 논문에서 사용된 구동부의 크기는 전폭 630mm, 전장 1110mm, 전고 940mm이며, 레이저 스캐너의 각도는 240°이다. 또한 실험을 위하여 전방의 장애물은 사각형이라고 가정한다.

4.2 레이저 스캐너

이 논문에 쓰인 레이저 스캐너는 Hokuyo Automatic사에서 만든 URG-04LX이다. 이 레이저 스캐너는 -30° ~ 210° 사이의 장애물을 측정할 수 있으며 $\frac{360}{1024}^\circ$ (≈0.36°)의 분해능을 가지고 있다. 측정 데이터에 대한 정확도는 1mm이며 최대 5600mm까지 측정이 가능하다. 또한 스캔 주기는 100ms이다.

그림 13은 serial 통신을 통해서 받은 레이저 스캐너의 raw data 값을 나타낸다. 레이저 스캐너의 90° 전방의 box를 탐지하고 있으며 거리는 40cm를 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

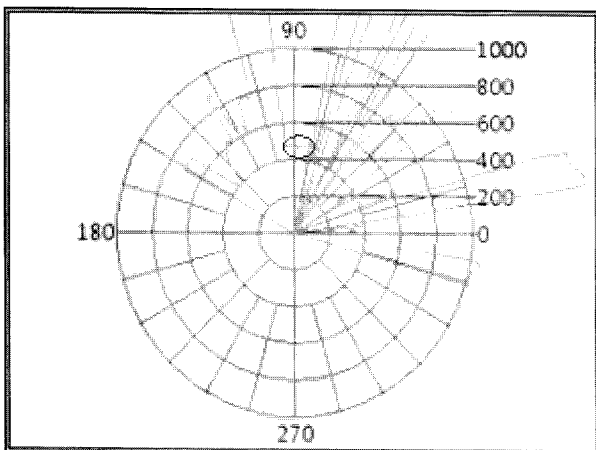


그림 13 레이저 스캐너의 장애물 측정 데이터
 Fig. 13 Obstacle data of laser scanner

그림 14는 실제 무인 이동 개체 실험 시 이동 환경에 대한 그림이다. 그림 14에서 무인 이동 개체와 장애물 간의 거리는 약 3m 정도이며 목표점은 장애물의 우측 뒤로 설정했다.



그림 14 무인 이동 개체의 실험
 Fig. 14 Experiment of unmanned mobile robot

그림 15는 그에 따른 무인 이동 개체의 자율주행 시 시간에 따른 거리의 변화량을 나타낸다.

왼쪽의 그래프는 확률 분포를 사용하여 주행한 그래프이다. 장애물을 회피함에 있어서 약 4.5m 정도를 이동한 것을 확인할 수 있다. 오른쪽의 그래프는 곡률 주행을 이용하여 자율 주행한 그래프이다. 장애물을 회피한 시간과 거리가 왼쪽의 그래프에 비해 짧아진 것을 확인할 수 있으며, 거리는 약 3.5m를 이동하였다. 실험 결과를 통해 확률 분포를 사용하여 목표점을 정확하게 인식하고 장애물 회피에 대한 안정성을 확보하였으며, 모서리를 추출하여 곡률 주행을 함으로써 확률분포가 가질 수 있는 시간과 거리의 단점을 충분히 보완하고 있음을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 무인 이동 개체가 장애물을 회피하고 목표점을 향해 자율주행을 할 때, 무 장애물 지역을 쉽게 파악하고 목표점까지 최단경로를 생성하는 알고리즘을 제안하였다. 이동 로봇이 주행하면서, 로봇과 목표점과의 거리를 계산하고, 각도를 연산하면서 목표점을 향해 주행을 하게 되고, 주행 중 장애물 탐지 시, 가우시안 분포를 이용하여 장애물이 없는 곳을 탐지하게 된다. 여러 개의 길이 있는 경우 목표점의 가우시안 분포를 이용하여 최단 경로의 방향으로 주행하게 된다. 또한 모서리를 추출하여 곡률 주행을 함으로써 주행 시 소요되는 이동 시간과 이동 경로를 최소화하게 된다. 기존의 확률 분포를 사용한 방법에 비해 연산식이 간단해졌고, 이동 로봇이 장애물 탐지시 연산 시간을 단축하였으며, 이동 시간을 단축하였다. 이 연구는 앞으로 전

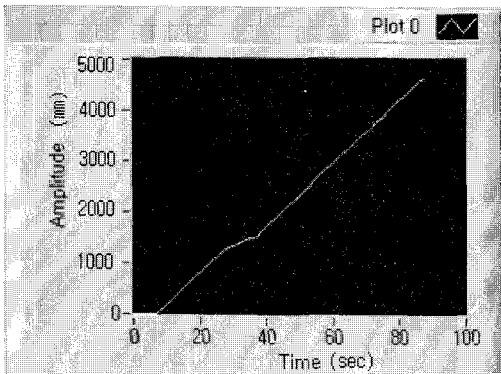
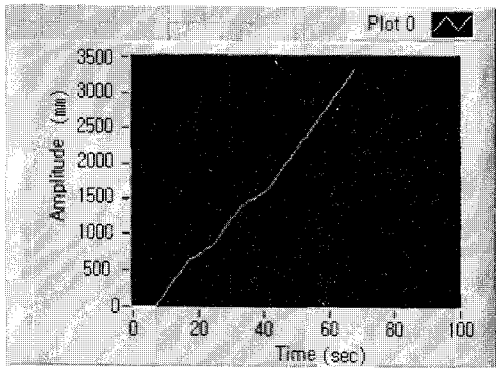


그림 15 자율 주행 시 시간에 따른 거리의 변화량
Fig. 15 Variation of distance about time at navigation

체적인 장애물을 식별하고, 실시간으로 변화하는 외부환경에서도 정확하고, 안전한 경로를 생성하는 방향으로 계속되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특장기초연구 R01-2006-000-11373-0 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] R.carrelli, R. Kelly, O. H. Nasisi, C. Soria and V. Mut, "Control based on perspective lines of a non-holonomic mobile robot with camera-on-board", *International Journal of Control*, Vol. 79, pp. 362, 2006

[2] A. Mendes, L. C. Bento and U. Nunes, "Multi-target detection and tracking with a laserscanner", *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, University of Parma, Parma, Italy*, June 14-17, 2004

[3] Z. Yan, T. Shubo, L. Lei and W. Wei, "Mobile robot indoor map building and pose tracking using laser scanning", *Proc. Int. Conference on Intelligent*

Mechatronics and Automation, Chengdu, China, 2004

[4] L. Kavraki, P. Svestka, J.C. Latombe, and M. Overmars, "Probabilistics roadmaps for path planning in high-dimensional configuration spaces", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 12, No 4, August 1996

[5] J. Borenstein and Y. Koren, "The vector field histogram fast obstacle avoidance for mobile robots", *IEEE journal of Robotics and Automation* Vol 7, No 3, June 1991, pp278-288

[6] Elfes, A., "Sonar-based real-world mapping and navigation" *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-3, No 3, 1987, pp.249-265

[7] 이기룡, 좌동경, 홍석교, "단일 레이저 스캐너를 이용한 모바일 로봇의 장애물 탐색 및 분리 알고리즘," *정보 및 제어 학술대회*, pp. 385-386, 2007.

[8] P. Payeur, "Improving robot path planning efficiency with probabilistic virtual environment models" *IEEE International Conference on Virtual Environment, Human-Computer Interfaces, and Measurement Systems*, Boston, MA, USA, 12-14 July 2004

[9] D. Nikovski, I. Nourbakhsh, "Learning probabilistic models for state tracking of mobile robots", *IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems EPFL*, Lausanne, Switzerland, Oct. 2002

[10] R. Chancharoen, V. Sangveraphunsiri, T. Navakulsirinart, W. Thanawittayakorn, "Target tracking and obstacle avoidance for mobile robot", *IEEE/ICT'02, Bangkok, THAILAND*

[11] S. Kong, I. Suh, "Nonholonomic 이동로봇의 호밍과 장애물 회피 알고리즘", *Trans, KIEE. Vol. 51D, No.12, DEC, 2002*

[12] S. Kim, W. Kang, D. Kim, D. Seo, N. Ko, "레이저 스캐닝 센서를 이용한 이동 로봇의 지역 장애물 회피 방법", *전기학회논문집 51p, 3호 2002년*.

[13] C. Park, "계층적 구조를 가진 이동 로봇의 장애물 회피", *전기학회논문집 50p, 2호, 2001년*.

저 자 소 개



이진섭 (李進涉)

1981년 6월 5일생. 2007년 아주대학교 전자공학부(공학사). 2009년 아주대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 현 (주)LG 이노텍 근무. 관심분야는 로봇제어, 장애물 회피, 장애물 인식.



좌 동 경 (左 東 京)

1971년 12월 23일생. 1995년 서울 대학교 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 석사. 2001년 동 대학원 박사. 2005년~현재 아주대학교 전자공학부 교수. 관심분야는 로봇제어, 비선형 제어, 적응제어.



홍 석 교 (洪 錫 敎)

1948년 8월 23일생. 1971년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1973년 동 대학원 석사. 1981년 동 대학원 박사. 1976년~현재 아주대학교 전자공학부 교수. 관심분야는 로봇제어, 컴퓨터 응용, 지능제어.