2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2003.7.21-23

A* 알고리즘을 이용한 이동로봇의 경로계획과 코너 주행에 관한 연구

이정웅*, 최용섭*, 이창구**
*전북대 메카트로닉스 공학과, **전북대 전자정보 공학부

Mobile robot path planning with A* algorithm and corner movement

Jeong-Woong Lee*, Young-Sup Choi*, Chang-Goo Lee**
Chonbuk national university

Abstract - 이동로봇의 주행을 위해서는 주변 환경에 대한 정보와 출발점과 도착점을 기초로 한 경로 탐색 알고리즘이 필요하다. 여러 경로 탐색 알고리즘 중 A* 알고리즘은 주어진 격자로 구성한 환경 정보 지도상에서 시작점과 목표점 두 Node가 주어지면 목표점까지 Node 단위로 탐색을 실시하여 시작점과 목표점 사이에 존재하는 수많은 경로 중 최저의 이동 비용 경로를 찾는 경험적인 알고리즘이다.

본 논문은 로봇의 가상 크기가 지도의 격자 방안 보다 큰 공간상에서 이동로봇의 경로 생성을 위해 격자 단위가 아닌 로봇의 가상 크기 단위로 탐색하도록 A*알고리즘을 보완하였으며 실험 결과 보완된 A* 알고리즘이 격자 단위 탐색으로 생성한 경로보다 로봇의 주행에 더 적합한 경로를 생성하였다. 또한 이동로봇의 코너 주행시 벽과의 충돌 가능성을 최소화 시키는 안전한 주행 방법을 제시하였다.

1. 서 론

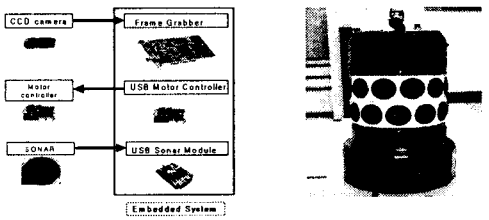
컴퓨터의 발달로 인해 주변 정보와 목표점을 주면 스스로 판단하여 목표점까지 주행하는 인공지능형 이동로봇이 활성화 되고 있다. 이동로봇의 인공지능은 주변 환경 정보 지도 생성, 자기 위치 인식, 장애물 회피, 주변 환경 정보 지도를 이용한 로봇의 주행 경로 계획이 뒷받침 되어야 가능하다. 이동로봇의 경로 계획은 전체 영역을 검색하여 경로를 생성하는 전역 경로 계획(Global Path-Planning)과 인접 장애물의 인식에 따라 최적의 경로를 생성하는 지역 경로 계획(Local Path-Planning)이 있다. 주변 환경 정보가 제공된다는 가정하에서 수행되는 전역 경로 계획은 주행에 들어가기 전 시작점부터 도착점까지의 가장 최단의 경로를 생성한다는 것이 큰 장점이다.[1]
하지만 최단의 경로를 생성함에 있어 전체 지도 정보를 사용함으로써 환경 정보량에 비례하여 탐색 시간이 증가한다는 단점이 있다.[2] 또한 경로 탐색시 이동로봇과 장애물 사이의 여유 공간을 고려하지 않아 장애물과의 충돌 가능성이 큰 경로가 선정되는 경우가 있다.

본 논문은 전역 경로 계획시 로봇의 안전한 주행을 고려하여 최적의 경로를 생성하는 보완된 A* 탐색 알고리즘을 제안하며 또한 로봇의 코너 부분 주행시 장애물과의 충돌 가능성을 최소화 시키는 주행 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 이동로봇의 시스템 구성에 대해 설명하고 3장은 이동로봇의 기구학에 관해 서술한다. 그리고 4장은 전역 경로 계획을 위한 A* 알고리즘 구현 방법과 로봇의 코너 부분에서의 주행 방법을 제시하며, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 이동 로봇의 시스템 구성

그림 1은 USB 인터페이스를 사용하여 구성한 로봇 시스템을 나타낸 것이다.
USB 모터 제어기는 DC 모터에 의한 바퀴의 구동과 조향 그리고 로봇의 몸체 회전을 위한 Turret 제어에 사용한다. USB 초음파 거리 측정기 보드는 외부의 환경 인식을 위한 15°의 지향 특성을 갖는 초음파 센서 24개를 제어한다.
또한 카메라를 통한 영상처리를 위해 METEOR II 영상 보드를 탑재하고 있다.
마지막으로 외부 시스템과의 통신을 위해 무선랜을 사용한다.



(a) 시스템 구성도 (b) 로봇 시스템 외관

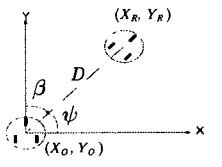
그림 1. 이동로봇의 시스템 구성

3. 이동 로봇의 기구학

이동 로봇은 DC 서보 모터에 의해 3개의 바퀴가 동시에 구동되는 동기식 방식으로 제자리 회전이 가능하고 전면과 후면의 구분이 없어 모든 방향으로 주행할 수가 있다. 또한 PWM 신호의 Duty비에 따라 모터의 정·역회전이 가능하다. 그림 2, 3은 조향을 실시하는 로봇의 정회전, 역회전 구동시의 기구학을 나타내며 그림 4는 조향이 없는 직진 구동시의 기구학을 나타낸다. 그림 5는 로봇의 조향각 계산을 나타낸다.

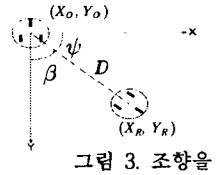
[용어 정의]

(X_O, Y_O) : 현재 위치 로봇의 좌표
(X_R, Y_R) : 차후 위치 로봇의 좌표
Ψ : x축을 기점으로 두 지점간의 각도
β : y축을 기점으로 두 지점간의 각도
θ_C : 로봇의 조향각, D : 로봇의 이동 거리
θ_O : y축을 기점으로 현재 위치에서의 로봇의 바퀴 각도
θ_N : y축을 기점으로 차후 위치에서의 로봇의 바퀴 각도



$$\beta + \psi = 90^\circ$$
$$\psi = tan^{-1}\left(\frac{Y_R - Y_O}{X_R - X_O}\right)$$
$$X_R = Dcos\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) = Dsin\beta$$
$$Y_R = Dsin\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) = Dcos\beta$$

그림 2. 조향을 실시하는 정회전 구동



$$\beta + \psi = -90^\circ$$
$$\psi = tan^{-1}\left(\frac{Y_R - Y_O}{X_R - X_O}\right)$$
$$X_R = Dsin\beta$$
$$Y_R = Dcos\beta$$

그림 3. 조향을 실시하는 역회전 구동

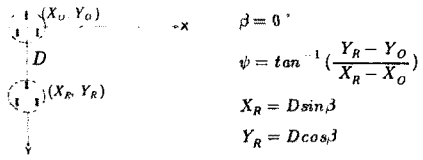


그림 4. 조향이 없는 직진 구동

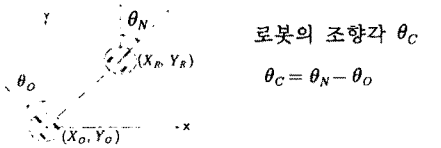


그림 5. 로봇의 조향각 계산

위에서 구한 기구학을 정리하면 아래 표1과 같다.

	$\beta + \Psi = 90°$	$\beta + \Psi = -90°$	$\beta = 0°$
V > 0 (정회전)	$X_R > X_O$ $Y_R \geq Y_O$	$X_R < X_O$ $Y_R \geq Y_O$	$X_R = X_O$ $Y_R > Y_O$
V < 0 (역회전)	$X_R < X_O$ $Y_R < Y_O$	$X_R > X_O$ $Y_R < Y_O$	$X_R = X_O$ $Y_R < Y_O$
조향각 θ_C	$\theta_N - \theta_O$		
Ψ	$tan^{-1}(\frac{Y_R - Y_O}{X_R - X_O})$		
로봇의 위치	$X_R = D \sin\beta$, $Y_R = D \cos\beta$		

표1. 로봇의 기구학

4. 경로 계획 및 코너 주행

4.1 전역 경로 계획

이동로봇의 주행을 위해서는 로봇의 경로를 선정하는 경로 계획이 필요하다. 경로 계획의 방법은 사용하는 지도의 종류에 따라 크게 그래프 지도 방식과 격자 지도 방식이 있다. 격자 지도 방식의 대표적인 경로 계획 알고리즘으로 거리변환, 가상역장, 벡터장 히스토그램 방법등이 있다.
본 논문에서는 장애물의 위치 정보를 갖는 격자 지도를 바탕으로 위에서 제시한 알고리즘 대신 경험적인 탐색 알고리즘인 A*을 사용하여 로봇의 주행 경로를 생성한다.

4.2 A* 알고리즘 개요

A* 탐색 알고리즘은 분기 및 한정 탐색을 변형시킨 것이다. 탐색 방법은 여러 개의 경로에서 최저 비용을 가진 경로만을 남기고 삭제함으로써 탐색 공간을 최소화 시킨다. 이것은 동적계획법 원리와 같다. 각 단계에서의 확장을 위한 최저 비용 경로 F는 시작 노드에서 선택 노드까지의 경로 비용 G에 선택 노드에서 목표 노드까지의 추정 비용 H를 더한 값이다. 여러 경로 중 최저 비용 노드를 선택하여 경로로 사용한다.[3]

$$F = G + H$$

F : 전체 추정 비용
G : 시작 노드에서 선택 노드까지의 경로 비용
H : 선택 노드에서 목표 노드까지의 추정 비용

만약, 이 추정 비용이 실제 비용에 대해 하한계(lower bound)이면 A* 탐색은 최적해를 구함을 보장한다. 대부분의 경로 계획에서 하한계 추정은 현재의 노드에서 목표 지점까지의 직선 거리이다.
그림 6은 A* 알고리즘을 구현한 순서도이다.

4.3 보완된 A* 알고리즘

경로 탐색 알고리즘은 로봇의 크기와 격자 지도 방안과의 매핑 관계에 따라 탐색 성능이 좌우된다. 표 2는 로봇의 크기를 기준으로 격자 지도 방안 크기를 선정하여 A* 알고리즘을 사용한 경우의 장·단점을 나타낸다.

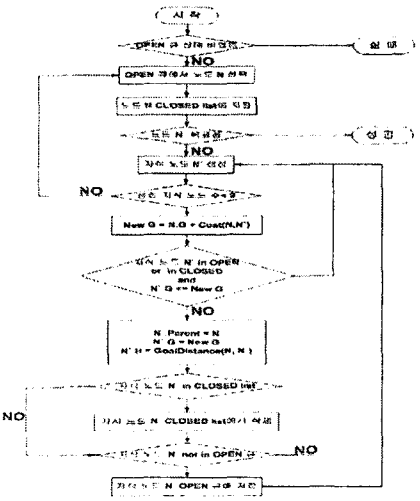
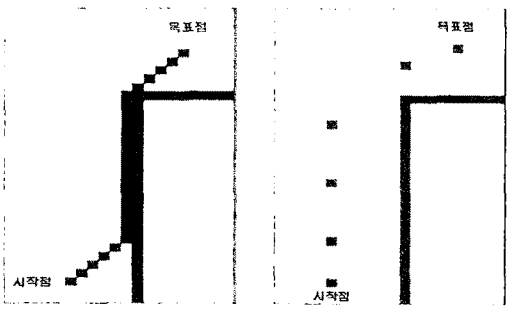


그림 6. A* 알고리즘 순서도

크 기	격자 방안 = 로봇 크기	격자 방안 < 로봇 크기
장 점	• 탐색속도 향상 • 실제 주행이 가능한 경로 생성	• 장애물 정보의 정확성 → 주행시 충돌 가능성 적음
단 점	• 장애물 정보의 부정확성 → 주행시 충돌 가능성 큼	• 탐색속도 저하 • 실제 주행에 적합하지 않는 조밀한 경로 생성

표 2. 격자 방안 크기에 따른 장·단점

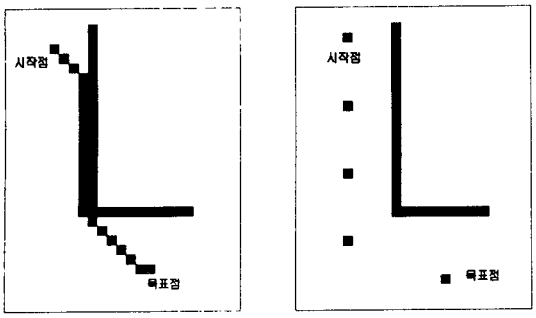
본 논문은 로봇의 크기보다 작은 격자 지도를 사용할 때의 장점과 로봇의 크기와 같은 격자 지도를 사용할 경우의 장점을 모두 갖도록 A* 알고리즘을 보완하였다.
다시 말하면 로봇 크기보다 작은 격자 지도를 사용함으로써 정밀한 장애물 정보의 이용이 가능하여 로봇 주행시 장애물과의 충돌 가능성을 최소화 시킬 수 있으며 경로 탐색은 로봇의 크기만큼의 격자로 수행하여 조밀한 경로를 생성하지 않고 로봇의 실제 주행에 곧바로 이용할 수 있는 경로를 생성하도록 하였다.
그림 7은 로봇 크기보다 작은 격자 지도상에서 기본 A*알고리즘과 보완된 A* 알고리즘의 경로 생성 결과이다.



(a) 기본 A* 알고리즘 (b) 보완된 A* 알고리즘

그림 7. 기본 A*알고리즘과 보완된 A* 알고리즘 탐색 결과

위 그림에서의 격자는 로봇의 주행 경유점을 나타내며 크기는 10[㎝]이다. 사용된 격자 지도는 로봇의 크기 70[㎝]보다 훨씬 작다. 그림 7.(a)는 기본 A* 알고리즘으로 생성한 경로로서 벽과의 여유가 없어 로봇의 주행에 직접 이용할 수 없다. 반면 그림 7.(b)는 보완된 A*알고리즘으로 생성한 경로로서 경유점 사이의 거리도 양호하고 벽과의 이격 거리도 여유가 있어 로봇의 주행이 가능하다.
그림 8은 다른 환경에서의 경로를 탐색한 결과이다.



(a) 기본 A* 알고리즘 (b) 보완된 A* 알고리즘

그림 8. 다른 환경에서의 기본 A*알고리즘과 보완된 A* 알고리즘 탐색 결과

그림 9는 보완된 A* 알고리즘의 다양한 환경에서의 탐색 결과를 보여준다.

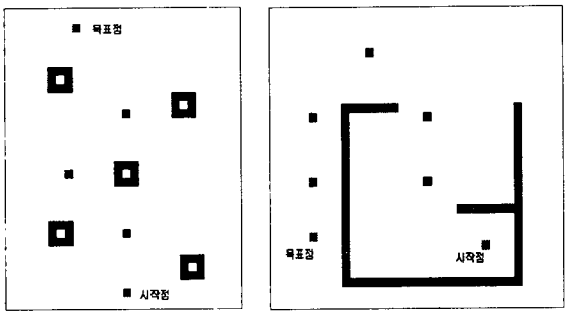
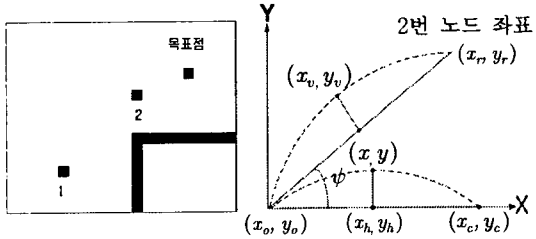


그림 9. 보완된 A* 알고리즘의 탐색 결과

위의 실험 결과는 보완된 A* 알고리즘이 로봇의 실제 주행을 위한 경로 생성에서 우수한 성능을 보임을 입증한다.

4.4 코너 주행

이동 로봇의 코너에서의 주행은 벽과의 여유거리를 고려하여 회전함으로써 안전하게 코너를 통과할 수 가 있다. 보완된 A*알고리즘은 정밀한 격자 지도상에서 안전한 경로를 생성하지만 그림10.(a)에서 보듯이 코너에서 노드 1로부터 노드 2까지의 주행시 로봇과 벽 사이의 충돌 가능성을 완전히 배제할 수는 없다. 따라서 그림 10.(b)처럼 코너에서의 현 노드와 다음 노드를 기점으로 타원을 형성하여 타원 선상에 경유점을 선정한다.



(a) 코너에서의 경로 (b) 두 노드로 구성된 타원

그림 10. 코너 주행

4.4.1 경유점 생성

(x_r,y_r)을 x축으로 ψ만큼 회전할 경우의 좌표를(x_c,y_c)라면 식(1)을 만족한다.

$$\psi = tan^{-1}\left(\frac{y_r - y_o}{x_r - x_o}\right)$$

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos\psi & sin\psi \\ -sin\psi & cos\psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r \\ y_r \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$x_h = \frac{x_c - x_o}{2}, \; y_h = \frac{y_c - y_o}{2}$$

두 점(x_o, y_o),(x_c, y_c)을 기점으로 중앙의 좌표가 (x_h, y_h)이고 장축이 a, 단축이 b인 타원의 방정식은 식(2)와 같다.

$$\frac{(x-x_h)^2}{a^2} + \frac{(y-y_h)^2}{b^2} = 1, a = \frac{\sqrt{(x_c-x_o)^2+(y_c-y_o)^2}}{2} \quad (2)$$

$$y = \frac{b}{a}\sqrt{(a-(x-x_h)^2} + y_h, \; b = 30$$

예를 들어 하나의 경유점만 통과할 경우 (2)식에 x = x_h 대입하면 $y = \frac{b}{a}\sqrt{a} + y_h$ 가 된다.

(x, y)를 실제 로봇의 경유점(x_v, y_v)으로 표시하기 위해 원래의 위치로 회전하여 좌표를 구하면 된다. 역회전 식은 (3)과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_v \\ y_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos\psi & -sin\psi \\ sin\psi & cos\psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (3)$$

3개의 경유점을 통하여 로봇이 회전한다고 하면 그 때의 x 좌표는 $x_1 = \frac{x_o + x_h}{2}$, x_h, $x_3 = \frac{x_h + y_c}{2}$ 이며 각각의 y좌표는 식(2)에 대입하여 구하고 식(3)을 통해 실제의 로봇 경유점을 구한 후 로봇의 주행 노드점으로 사용한다.

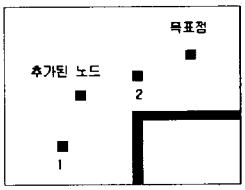


그림 11. 코너 주행시 추가된 노드

그림 11은 지역 경로 계획시 코너 부분에서의 벽과의 충돌 가능성을 최소화하기 위해 식(1),(2),(3)을 사용하여 경유점 1개를 선정한 경우이다. 로봇은 1번 노드에서 2번 노드로 직접 주행하지 않고 1번 노드 → 추가된 노드 → 2번 노드로 주행하도록 하여 코너 주행시 로봇과 벽간의 충돌 가능성을 최소화 시켰다..

5. 결 론

이동로봇의 전역 경로 계획시 보완된 A* 알고리즘이 로봇의 안전한 주행이 가능한 경로를 생성함을 보였으며 동기 구동 방식 이동로봇의 코너 주행은 경유점을 생성하여 주행함으로써 벽과의 충돌 가능성을 최소화 시켰다.

추후에는 이동 로봇이 여러 곳을 경유하면서 임무 수행을 할 수 있도록 A* 알고리즘을 확장하고 초음파 센서 정보와 카메라 영상 정보 바탕의 복합적 주행 알고리즘에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] Leszek Podsedkowski, "Modified A* algorithm suitable for on-line car-like mobile robots control", IEEE Robot Motion and Control, 1999

[2] Mark Deloura, "Game Progrogramming Gems", pp.363-381, 2001.1

[3] P.J.McKerrow, "로봇공학", pp.440-443, 1995.1