

단위 벡터장 기반의 목적지 변화에 따른 이동로봇의 효율적인 장애물 회피에 관한 연구

Univector Field based Obstacle Avoidance Method according to Destination for Mobile Robot

박현정, 이승관*, 정태충**
경희대학교 컴퓨터 공학과

Hyun-Jeong Park, Seung-Gwan Lee*, Tae-Chung Chung**
KyungHee Univ

요약

단위벡터장 항법은 목표지점으로의 항해를 위해 로봇에 필요한 자세(각도와 위치)를 보장한다. 단위벡터장 항법은 목적지에 따른 로봇의 자세를 수렴하는데 있어 효율적이나 기존의 방법에서는 목적지와 로봇의 위치를 고려하지 않고 단방향의 진행방향만을 중심으로 벡터장을 생성하였기 때문에 목적 위치에 따라서 비효율적인 회피 경로를 생성할 때도 있었다. 따라서 본 논문에서는, 이 문제를 해결하기 위해 로봇과 목표점을 중심으로 하는 벡터장을 생성하여, 어느 위치에서든 더 빠른 길로 장애물을 회피하여 목표지점까지 항해할 수 있는 방법을 제시한다.

Abstract

Generally, the mobile robot navigation with obstacle avoidance is one of the key issues to be looked into for successful applications of autonomous mobile robots. In this paper, the Univector field based method is proposed for mobile robot to accomplish the obstacle avoidance and the robot orientation at the target position. Univector field method guarantees the desired posture of the robot at the target position. But it is not effective Univector to avoid obstacles. To solve this problem, modified univector field is used. With this proposed method, robot navigation task becomes easier and effectively.

I. 서론

이동로봇의 제어 연구에서 장애물 회피를 위한 이동로봇의 항법은 자율 이동로봇의 성공적인 활용을 위한 중요한 이슈로 여겨져 왔다. 항법은 환경을 지도화(mapping)하는 작업 이외에 경로의 생성, 그리고 추종이라는 3가지 작업을 수반하는데, 로봇 항법에서의 문제는 이 경로의 생성과 추종 작업이 매우 까다롭고 많은 연구를 필요로 한다는 것이다. [2][3]의 경로 계획 작업에서 경로 생성 알고리즘은 장애물 없이 단지 시작점과 목표지점만을 연결하도록 연구되었다. 반면에, 중력장 항법(potential field method)과 같은 통합 항법[1][4][5]에서는 이 두가지 작업이 하나의 과정으로 통합되어 있다. 중력장 메소드는, 로봇 에이전트가 목표점으로부터 가상의 인력을, 장애물로부터 가상의 척력을 받는다고 가정하여 두 힘의 합력 방향으로 로봇을 움직이는 방식이다. 이 메소드는 간단하게 구현이 가능하고 실시간으로 로봇을 제어할 수 있다는 장점이 있으나, 좁은 길에서 떨림이 발생한다거나 장애물의 크기가 너무 클 때 로봇은 갈피를 잡지 못하고 목표지점으로 도달하기 어려운 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 단위벡터장 항법(Univector field method)[6]이 사용되었다.

빠른 이동 로봇의 제어를 위해서는 경로의 효율성과 짧은 항해 시간이 보장되어야 한다. 게다가 로봇 축구 시스템의 경우는 움직이는 장애물과 이동하는 표적이 있는 동적인 환경으로 구성되어 있기 때문에 짧은 시간 내 목표지점에 도달하기 위한 로봇의 자세(위치와 방향)가 매우 중요하다.

본 논문에서는 목표지점과 장애물을 중심으로 단위벡터장을 생성함으로써 로봇 에이전트가 멀리 돌아가던 문제점을 해결하고, 항해 시간을 줄일 수 있는 방법을 제안한다.

II. 관련 연구

1. 이동로봇의 기구학

이동 로봇의 기계적인 구조는 (그림1.a)와 같은 양바퀴 구동 로봇으로 간단한 구조로 되어있다[7]. 왼쪽 바퀴와 오른쪽 바퀴의 각 속도를 V_L , V_R 이라고 하면, Non-slipping 조건에서의 좌우측 바퀴의 지면과의 접촉점의 속도는 다음과 같다.

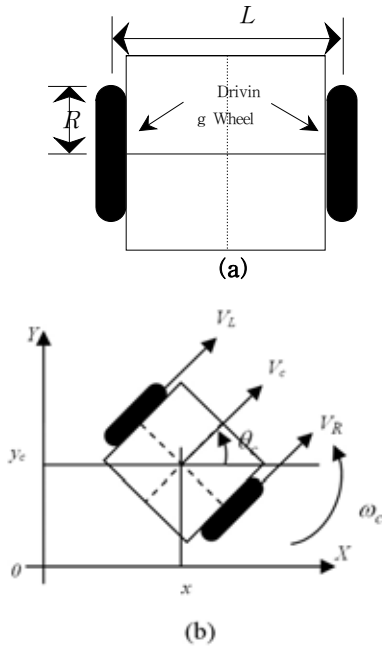
$$V_R = r\omega_R, V_L = r\omega_L. \quad (1)$$

r은 바퀴의 반지름이고, v는 로봇 중심에서의 선속도이며, ω는 각속도이다.

식(2)에서는 속도 벡터와 2개의 바퀴(V_L, V_R)와의 관계를 보여 준다 여기서 V_L, V_R은 각각 왼쪽과 오른쪽 바퀴의 속도를 의미 한다.

$$s = \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{V_R + V_L}{2} \\ \frac{V_R - V_L}{L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{-L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ V_L \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 L은 로봇의 폭(양 바퀴사이의 거리) 이다.



▶▶ 그림 1. 차동구동 이동로봇의 모양과 로봇 모델링 (a) 로봇 모델링, (b) 양 바퀴 구동 로봇

2. 단위벡터장 항법

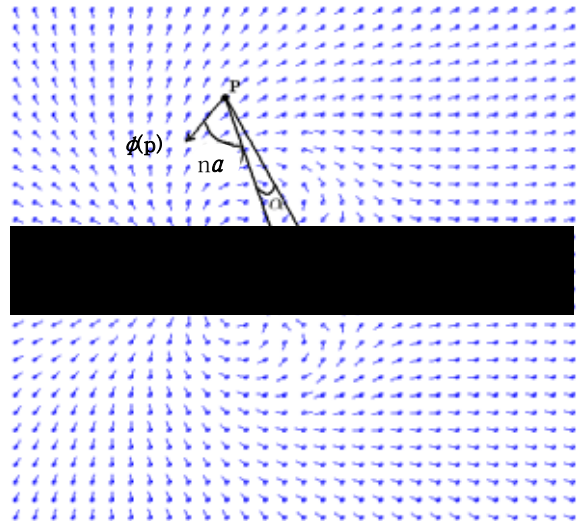
(그림2)는 단위벡터장을 나타낸 것이다. 그림에 표시된 작은 점과 선분들은 그 위치에서 로봇이 취해야 할 방향각을 나타낸다[8]. p는 현재 로봇의 위치이고, g는 로봇의 목표 위치이며, r은 목표위치 앞에 설정된 임의의 지점이다. 위치 P의 벡터장(x, y)은 F(p)나 F(x, y)라 정의되고, 위치 p=(x, y)에서 단위 벡터의 방향을(x, y)또는 ϕ(p)로 나타낸다. 벡터의 각도 ϕ(p)는 다음과 같은 식에 의해 생성 된다

$$\begin{aligned} \phi(p) &= \angle \vec{pg} - n\alpha \\ \alpha &= \angle \vec{pr} - \angle \vec{pg} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 n은 적절히 선정된 양의 상수이다. 단위 벡터장의 모양과 로봇의 회전 움직임은 계수 n과 선분 GR의 길이에 따라 달라진다.

계수 n이 커지거나 선분 GR이 길어지면, 로봇은 크게 돌아서 목표점을 수렴하게 된다. 따라서 지나치게 큰 값은 로봇을 불필요하게 먼 거리를 돌아가도록 할 수 있다. 값을 작게 하면 너무 작은 반경으로 돌기 때문에 빠른 속도로 목표점에 도달하지 못하거나 제어가 불안해 질 수 있다. 실제적으로 로봇 추구와 같은 프로그램에서 점 G는 공의 위치가 될 것이다.

(그림 2)의 음영 영역은 확장 영역을 나타낸다. 이 지역에서 는 로봇의 흔들림 현상을 방지하기 위해, 벡터장의 각도가 상수 n의 변화에 비교하여 매우 작게 움직인다.



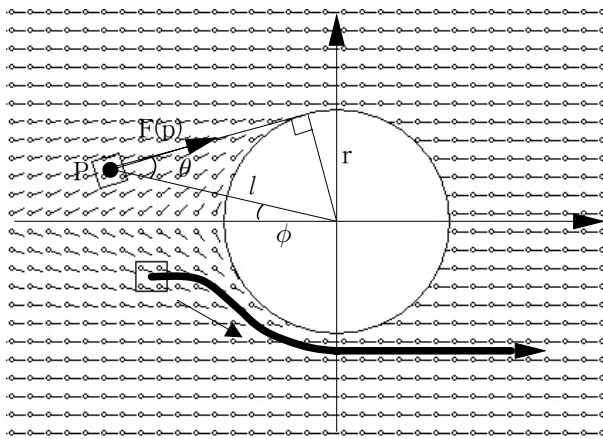
▶▶ 그림 2. 단위 벡터장 Method

목표점에 가까워오면 거의 서로 마주향하고 있는 벡터각으로 인해 이 지역 내에서는 로봇이 장애물을 피하는 것이 어렵게 된다. 따라서 이 지역은 (그림2)와 같이 확장되며, 확장 영역의 폭은 장애물의 크기를 기준으로 결정되고, 확장 영역 안에서는 단위벡터장과는 다른 n행동 범위를 가진다.

3. 장애물 회피를 위한 단위벡터장 항법

단위 벡터장 항법은 원하는 위치와 각도로 로봇을 제어하는 외에 장애물 회피에도 이용될 수 있다[7]. 장애물 근처의 단위 벡터장을 적절하게 변화시켜서 로봇이 장애물에 충돌하지 않도록 하는 것이다. 그림 3은 원형 장애물을 회피하기 위한 단위 벡터장을 나타낸 것이다. 이와 같은 단위 벡터장은 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

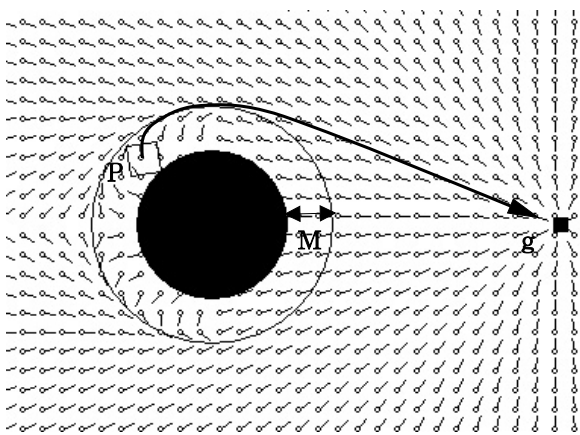
$$F(p) = \begin{cases} \theta - \phi = \sin^{-1}\left(\frac{R}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) - \tan^{-1}\left(-\frac{y}{x}\right) \\ \text{벡터의 연장선이 장애물과 만날 경우,} \\ 0 \text{ 그 외의 경우} \end{cases} \quad (4)$$



▶▶ 그림 3. 장애물 회피를 위한 단위 벡터장

위와 같은 방법으로 기본적인 장애물 회피를 할 수 있지만, 장애물에 근접해 있을 경우 장애물로부터 벗어나는 벡터 성분이 없는 것이 단점이 될 수 있다. 따라서 장애물에서 일정폭의 간격 M 을 두어 단위 벡터를 생성하고, 그 내부는 장애물로부터 밖으로 향하는 단위 벡터를 생성시킴으로써 이 문제를 해결할 수 있다.

여기서 간격 M 은 로봇 폭의 반 이상이 되어야 충돌 없이 피할 수 있다. 또한 M 간격 내에서는 단위 벡터장을 유선화하여 부드러운 곡선을 그리면서 목표점으로 수렴할 수 있게 한다. (그림 4)는 위의 조건을 적용한 단위 벡터장의 모습을 나타낸다.



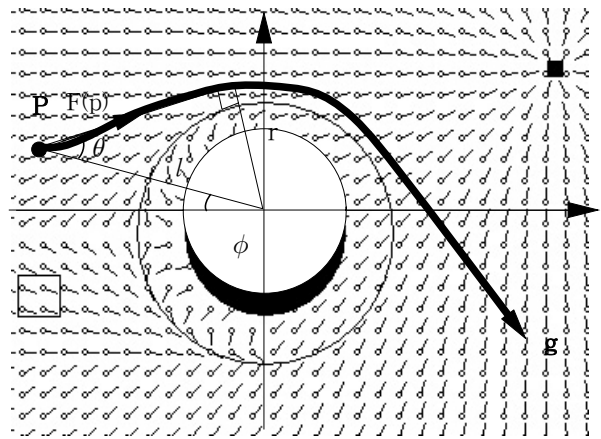
▶▶ 그림 4. 근접 회피를 위한 유선화된 단위 벡터장

III. 목표점에 따른 단위벡터장

앞서 소개한 단위벡터장 항법에서는 필드의 각 위치 $F(x, y)$ 에서 단위벡터 방향으로 연장선을 생성하여 연장선이 장애물을 지나는 경우의 단위벡터 방향을 단방향으로 고정하여 경계를 나누고, 가까운 쪽을 선회하도록 벡터장을 생성 하였다. 따라서 (그림 5)에서 보느냐와 같이, 출발위치 P 가 되고 g 가 목

표지점이 되는 상황에서는 실제로 장애물의 하단으로 선회하는 것이 더 빠른 길임에도 불구하고, 상단으로 선회하게 된다.

이로 인해 더 먼 경로로 돌아가게 되고 목표점으로의 도달 시간이 더 지연될 수밖에 없어 다소 비 효율적임을 알 수 있다.



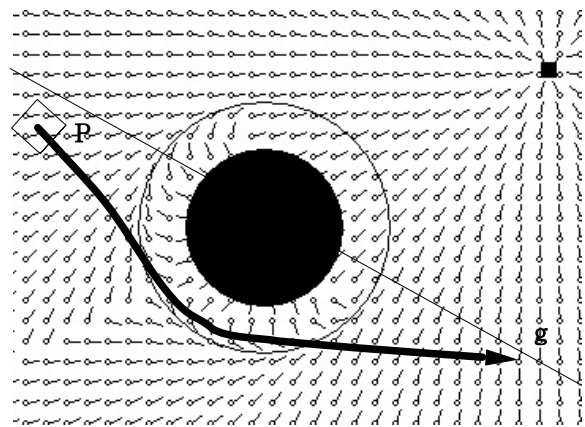
▶▶ 그림 5. 단위벡터장 경로 생성이 비효율적인 경우

이 문제를 해결하기 위해 단위벡터의 연장선이 장애물을 지나는 영역의 단위 벡터의 방향을, 목표점과의 각도를 중심으로 하는 단위 벡터장을 생성하였다.

$$\psi = \text{atan}\left(\frac{gy - y}{gx - x}\right) \quad (5)$$

여기서 ψ 는 각 단위벡터 $F(x, y)$ 로부터 목표점까지의 각도이다.

이렇게 함으로써 (그림 6) 과 같이, 로봇 에이전트가 어느 위치에서 출발하더라도 이에 상관없이 가장 가까운 방향으로 선회할 수 있도록 단위 벡터장이 생성 되는 것을 알 수 있다. 로봇의 출발 위치좌표와 목표점의 위치좌표는 (그림 5) 와 동일하다.



▶▶ 그림 6. 개선된 단위 벡터장

IV. 결론 및 향후 연구방향

목표점의 변화에 따라 효율적으로 대응하는 이동로봇의 장애물 회피를 위한 단위 벡터장을 생성하였다.

새롭게 제안된 항법으로 보다 효율적인 방향으로 장애물을 회피하여 목적지까지 도달할 수 있는 최적의 경로를 생성할 수 있었으나, 본 실험에서는 고정된 목표지점을 조건으로 하였기 때문에, 현재의 방법으로는 목표지점이 수시로 변화하는 시스템(로봇축구 등)에 적용하기에는 사실상 무리가 있다. 때문에 향후 연구 과제로는 목표지점의 동적인 변화까지 고려한 환경에 적용될 수 있는 단위 벡터장에 대한 연구가 필요할 것이다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] E. Rimon, "Exact robot navigation using artificial potential functions," *IEEE Trans. Robot. Automat.*, vol.8, pp.501 - 518, Oct.1992.
- [2] J.-M. Yang and J.-H. Kim, "Control of nonholonomic mobile robots," *IEEE Control Syst. Mag.*, vol.19, pp.15 - 23, 73, Apr.1999.
- [3] B. d'Andrea-Novel, "Control of nonholonomic wheeled mobile robots by state feedback linearization," *Int. J. Robot. Res.*, vol.14, no.6, pp.543 - 559, Dec.1995.
- [4] J. Borenstein and Y. Koren, "Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol.20, pp.1179 - 1187, Apr.1989.
- [5] J. Borenstein and Y. Koren, "The vector field histogram - Fast obstacle avoidance for mobile robots," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol.7, pp.278 - 288, Mar.1991.
- [6] J.-H. Kim, K.-C. Kim, D.-H. Kim, Y.-J. Kim, P. Vadakkepat, Path planning and role selection mechanism for soccer robots, in: *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Leuven, Belgium, 1998*, pp.3216 - 3221.
- [7] J.-H. Kim, Y.-J. Kim, D.-H. Kim, K.-T. Seow Soccer Robotics, pp.31 - 32, 129 - 130, Springer, New York, 2003.
- [8] J.-H. Kim et al., "Path planning and role selection mechanism for soccer robots," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat.*, vol.4, Leuven, Belgium, 1998, pp.3216 - 3221.