

비전센서를 사용하는 이동로봇의 골격지도를 이용한 지역경로계획 알고리즘

권 지 육, 양 동 훈, 흥 석 교
아주대학교 전자공학과

Skeleton-Based Local-Path Planning for a Mobile Robot with a Vision System

Ji-Wook Kwon, Dong-Hoon Yang and Suk-Kyo Hong
Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University, Suwon, Korea

Abstract - This paper proposes a local path-planning algorithm that enables a mobile robot with vision sensor in a local area. The proposed method based on projective geometry and a wavefront method finds local-paths to avoid collisions using 3-D walls or obstacles map generated using projective geometry. Simulation results show the feasibility of the proposed method.

1. 서 론

이동 로봇은 갖가지 환경에서 주어진 목표를 수행한다. 이때 환경은 마리 알고 있는 구조물들이나, 주행 중 갑자기 나타난 알지 못했던 물체 등으로 구성된다[1]. 로봇이 이러한 환경을 주행하기 위해서는 알고 있는 구조물을 피하기 위한 경로를 보유하여야 하고 미리 정의되지 않은 장애물을 감지하고 회피하기 위한 경로를 생성해야 한다. 자율주행을 하기 위해 이동로봇은 주변 환경을 감지하기 위해 카메라센서와 비전센서와 같은 추적적인 센서를 사용한다[1]. 그 중에서도 비전센서는 주변 환경을 종합적으로 감지할 수 있어 많이 연구되고 있다. 비전센서는 적외선이나 초음파센서와 같이 장애물과의 거리정보를 직접적으로 구할 수 없지만, 영상정보를 이용하여 안전하게 로봇이 동작하도록 하는데 많이 사용된다. 이와 같은 연구를 수행하기 위해 다양한 접근법들이 제시되었다. 이러한 연구는 주로 실내 환경을 가정하고 있고, 몇몇 적용 연구가 진행되고 있다. 미로의 각 상황을 신경 회의망을 이용하여 학습시키고, 로봇을 주행시키는 방법이 제시되기도 하였고[2], 긴 복도나 건물의 벽을 따라 생성되는 소실점이 이용하는 방법도 제시되어 왔다[1]. 이러한 연구들은 다른 센서들 보다 상대적으로 많은 연산량을 가지고 있는 비전센서의 단점을 보완하고 있지만, 미리 학습되지 않거나, 예상되지 않는 상황이 발생하면 사용하기 어렵다. 또한, 소실점이 사라지거나, 벽을 보고 있는 상황에서는 장애물과의 거리정보를 얻기 힘들기 때문에 모드를 전환하여 사용해야 한다는 번거러움이 생길 수 있다[3].

이 논문에서는 비전센서를 사용하여 주변 환경 정보를 획득, 가공하여 로봇의 지역경로를 생성하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘을 통해 로봇이 실내복도 환경이나 미로를 주행하는데 일관성과 유연성을 가지도록 한다.

2. 제안된 알고리즘

2.1 알고리즘 개요

이 논문에서 제안하고 있는 알고리즘은 다음과 같이 크게 세 부분으로 나뉘어져 있다.

1. 영상에서 장애물을 추출한다.
2. 2차원 영상정보를 3차원 정보로 변환한다.
3. 변환된 정보를 이용하여 지역 경로를 생성한다.

그림 1은 제안된 알고리즘을 나타내고 있다.

2.2 영상 내에서 벽, 장애물 영역 추출

많은 연구에서 영상 내에서 로봇이 주행하는데 피해야 할 장애물이나 벽을 판단하기 위해 주로 경계선 영상을 많이 사용하고 있다. 경계선 영상을 로봇 주변 장애물을 판단하는데 유용한 정보를 추출하는데 있어서, 연산량을 줄이고 쉽게 벽이나 장애물을 판단할 수 있도록 한다. 가로와 대각선 경계선은 그림 2와 같이 바닥과 벽을 분리하는데 유용하게 사용할 수 있다. 가로와 대각선 경계선은 바닥면과 벽면이 만나는 교선이다. 따라서 가로와 대각선 경계선은 벽의 위치와 대응된다[2].

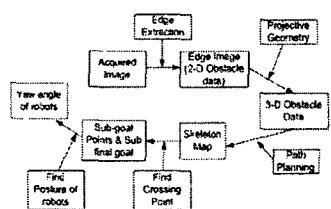


그림 1) 제안된 알고리즘의 블록 다이어그램

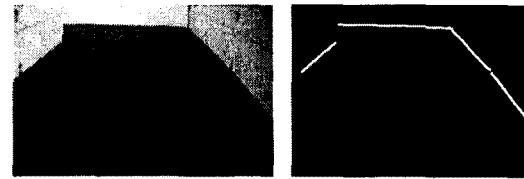


그림 2) 영상에서 가로와 대각선 경계선 추출

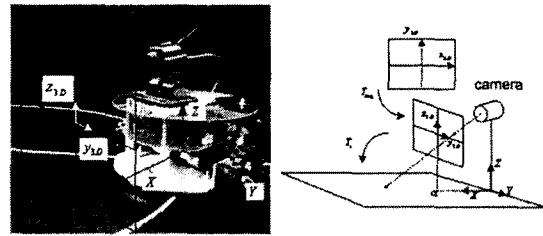


그림 3) 2차원 영상 좌표계와 3차원 로봇 좌표계

2.3 2차원 영상 정보의 3차원 정보로의 변환

이동 로봇이 주행하기 위해 장애물과의 거리를 아는 것은 매우 중요한 문제이다. 비전 센서는 장애물까지의 거리를 직접적으로 알아내기 힘들다. 따라서 2차원의 영상정보를 이용하여 장애물까지의 거리를 찾아내야 한다. 이 논문에서는 사영기하(projective geometry)와 동차 좌표계(homogeneous coordinate)를 이용하여 2차원의 영상정보를 3차원 공간에서의 정보로 변환하여 로봇 주변의 장애물 정보를 생성한다[4]. 그림 3은 로봇 좌표계와 2차원 영상에서의 좌표계와의 관계를 보여주고, 2차원 영상이 어떻게 3차원 정보로 변환되는지 도시하고 있다. 이 논문에서 사용하고 있는 변환은 크게 2단계로 구성된다. 이때 좌표와 평면의 표현들은 모두 동차 좌표계를 이용하여 나타내었다.

단계 1. 영상이 만들어지는 2차원 평면을 3차원 공간내의 위치한 평면으로 변환한다. 식 (1-2)은 동차 좌표계를 이용하여 2차원 영상 평면과 3차원 영상 평면을 변환하는 과정을 나타내고 있다.

$$T_{img} : [x_{2D} \ y_{2D} \ 1] \rightarrow [x_{3D} \ y_{3D} \ z_{3D} \ 1] \quad (1)$$

$$T_{img} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \alpha & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

이때 α 는 3차원 공간에 있는 영상 평면의 x 좌표이다.

단계 2. 영상이 만들어지는 평면위에 있는 장애물 정보를 로봇이 위치한 바닥면으로 투영한다. 식 (3-4)은 3차원 영상 평면의 로봇이 위치한 좌표계로 변환하는 과정을 나타낸다.

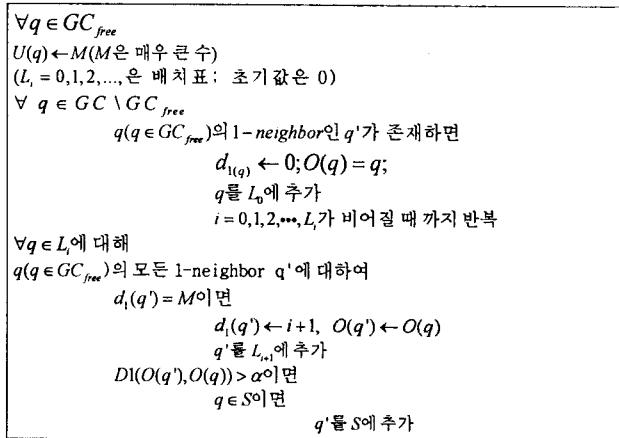
$$T_c = [x_{3D} \ y_{3D} \ z_{3D} \ 1] \rightarrow [X \ Y \ Z \ 1] \quad (3)$$

$$T_c = \begin{bmatrix} \mu_2 e_2 + \mu_3 e_3 + \mu_4 e_4 & -\mu_1 e_2 \\ -\mu_2 e_1 & \mu_1 e_1 + \mu_3 e_3 + \mu_4 e_4 \\ -\mu_3 e_1 & -\mu_3 e_2 \\ -\mu_4 e_1 & -\mu_4 e_2 \\ -\mu_1 e_3 & -\mu_1 e_4 \\ -\mu_2 e_3 & -\mu_2 e_4 \\ -\mu_3 e_1 + \mu_2 e_2 + \mu_4 e_4 & -\mu_3 e_4 \\ -\mu_4 e_3 & \mu_1 e_1 + \mu_2 e_2 + \mu_3 e_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

이때 $\mu[\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4]$ 는 로봇이 주행하는 바닥면에 수직인 벡터이고,

$e[e_1, e_2, e_3, e_4]$ 는 카메라의 위치이다. 위의 두 단계를 지나면, 우리는 미로 벽의 3차원 정보를 얻을 수 있다. 위의 두 단계의 변화를 정리하면 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$[X \ Y \ Z \ 1] = [x_{2D} \ y_{2D} \ 1] T_{img} T_c \quad (5)$$



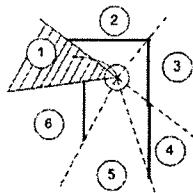
<그림 4> 골격지도 생성 알고리즘

2.4 지역 경로 생성

3차원 벽 정보를 이용하여, 로봇과 장애물과의 거리정보를 얻을 수 있다. 이러한 거리 정보를 이용하여 로봇이 벽과 충돌 없이, 안전하게 이동할 수 있는 경로를 생성할 수 있다. 비전센서로부터 획득한 주변 환경에 대한 지역 경로를 생성하기 위해 골격지도를 생성한다. 골격지도는 장애물로부터 가장 멀리 떨어진 점들로 이루어지며, 이 논문에서는 골격지도를 생성하기 위해 웨이브프론트 방법(wavefront method)을 사용 한다 [5]. 골격지도를 사용하면 충돌로부터 안정성을 확보할 수 있지만, [5]에서 제안된 골격지도는 장애물로부터 가장 멀리 떨어져 있는 점들의 집합으로 나타나기 때문에 연산량이 많고, 비효율적이다. 이 문제를 해결하기 위해 골격지도에 나타난 교차점을 이용한다. 골격지도의 교차점을 중에서 로봇이 도달할 수 있는 점들을 찾아, '보조 목표점'이라 정한다. 또한 보조 목표점을 중에서 마지막 점을 '마지막 보조 목표점'으로 한다.

2.5 마지막 보조 목표점에서의 이동 로봇의 자세 각 결정 알고리즘

보조 목표점을 통해 로봇이 주행하고 있는 동안에는, 현재 보조 목표점에서 다음 보조 목표점을 향해 로봇이 자세를 잡기 때문에 로봇의 자세 각에 대해 고려하지 않아도 된다. 그러나 마지막 보조 목표점에서는 다음 보조 목표점이 없기 때문에 로봇은 진행해온 방향을 계속 바라보게 된다. 이때 로봇이 벽을 향해 있거나, 벽과 가까워지면, 더 이상 경계선 영상을 얻기 어려워진다. 또한, 경계선 영상을 얻는다 하더라도 비전 센서가 보는 좁은 지역에서 지역경로를 생성하게 되면, 점점 더 벽과의 거리를 좁혀 지역 최소 문제에 빠질 수 있다. 따라서 이 논문에서는 장애물 정보를 이용하여 마지막 보조 목표점에서 로봇의 자세 각을 찾아내는 알고리즘을 제안한다.

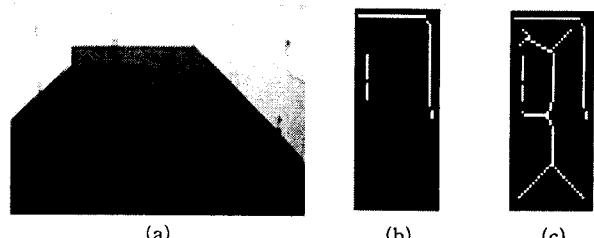


<그림 5> 마지막 보조 목표점에서의 로봇의 자세 각

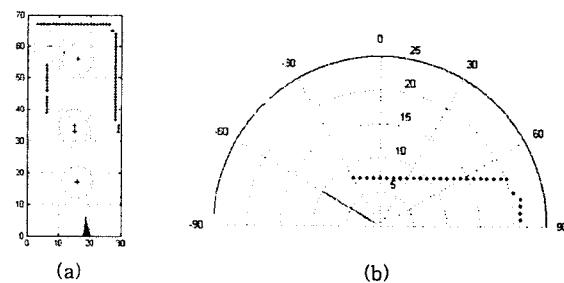
그림 5에서와 같이 마지막 보조 목표점과 기준으로 각 벽의 시작과 끝 점들을 연결하여 구역을 나눈다. 그런 후 각 영역 내에 장애물 유무를 판단하여 로봇이 계속 진행할 수 있는 방향을 찾는다. 그림 5에서 로봇이 5번 영역에서부터 진행 했다고 가정할 경우, 로봇이 진행해야 할 방향은 1번 영역이 될 것이다.

3. 실험 결과

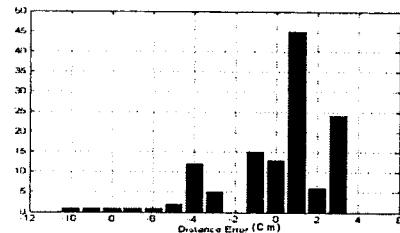
실험을 통하여 제안된 알고리즘의 효율성과 정확성을 검증한다. 그림 6은 2차원 영상 (a)을 사영기하와 동차 좌표계를 이용하여 3차원 환경 정보 (b)로 변환하고, 웨이브프론트 방법을 사용하여 골격지도 (c)를 생성하는 과정과 결과를 보여준다.



<그림 6> 골격지도 생성 알고리즘



<그림 7> 생성된 보조 목표점과 마지막 보조 목표점에서의 로봇의 자세 각



<그림 8> 로봇과 장애물간의 측정거리 오차 빈도 그래프

그림 7 (a)는 골격 지도의 교차점들을 중에서 로봇이 안전하게 주행할 수 있는 점들을 찾고 로봇이 주행 가능한 가를 검토한 결과를 보여준다. 그림 7 (b)는 마지막 보조 목표점에서 장애물 정보를 이용하여 로봇이 앞으로 주행 가능한 자세 각을 찾은 결과를 보여준다. 그림 8은 제안된 알고리즘을 이용하여 계산된 로봇과 장애물간의 거리오차의 빈도를 나타내고 있다. 약간의 오차가 발생하는 것을 볼 수 있지만, 거리 오차의 빈도가 0 근처에 집중되어 있는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

이 논문에서는 이동로봇이 실내의 복도나 미로와 같은 환경에서 주행할 때, 환경에 유연하고, 일관성 있는 알고리즘을 제안하기 위해 비전 시스템을 이용한 지역경로 생성 알고리즘을 제안하였다. 2차원 영상정보로부터 장애물이나 벽을 추출해내고, 사영기하와 동차 좌표계를 이용하여 2차원 장애물 정보를 3차원 정보로 변환한다. 이렇게 생성된 장애물 정보와 웨이브프론트 방법을 이용하여 골격지도를 만들고, 골격지도의 교차점을 중에서 이동 가능하고, 충돌로부터 안전한 교차점을 찾는다. 마지막 교차점에서 다음 연산을 위한 로봇의 자세 각을 결정한다. 이 연구는 앞으로 전역 경로와 함께 융합하여, 환경의 변화에도 정확하고, 안전한 경로를 생성하는 방향으로 계속되어야 할 것이다.

[참고 문헌]

- [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] 엄기환, 이정훈, 강성호, "자율이동로봇의 영상인식 미로탐색시스템", *Journal of Control, Automation and Engineering* Vol. 11, pp. 429, 2005
- [3] Sthfan Florczyk, *Robot Vision*, Wiley-VCH, Weinheim, 2005.
- [4] Michael A. Penna and Richard R. Patterson, *Projective geometry and its applications to computer graphics*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1986.
- [5] J. C. Latombe, *Robot Motion Planning*. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA 1991.