

시각 정보를 이용한 이동 로봇의 항법

조 동권*, 권 호열*, 서 일홍**, 변 중남*

*한국 과학기술원, **한양 대학교

Mobile Robot Navigation Using Vision Information

°Dongkwon Cho*, Hoyeol Kwon*, Ilhong Suh**, Zeungnam Bien*

*KAIST, **Hanyang University

ABSTRACT

In this paper, the navigation problem for a mobile robot is investigated. Specifically, it is proposed that simple guide-marks be introduced and the navigation scheme be generated in conjunction with the guide-marks sensed through camera vision.

For autonomous navigation, it was shown that a triple guide-mark system is more effective than a single guide-mark in estimating the position of the vehicle itself. the navigation system is tested via a mobile robot 'Hero' equipped with a single camera vision.

1. 서 론

스스로 움직여 작동할 수 있는 이동 로봇은 일반적인 산업용 로봇과 제한적인 작업 영역을 갖는 단점을 해결할 수 있기 때문에 공장내에서의 작업뿐만 아니라 인간이 작업하기에 유해하거나 위험한 환경에서의 작업이 기대되고 있다. 이러한 이동 로봇은 주변 환경에 관한 정보를 수집, 종합하여, 목적지까지 도달할 수 있는 경로의 계획, 경로상에 존재하는 장애물의 탐지, 충돌 회피를 하며 목적지까지 도달할 수 있는 기능, 즉 항법(navigation) 기능이 필수적으로 요구된다. 이러한 주변 환경에 대한 정보를 얻기 위하여 사용되는 감지 장치로서, 초음파 센서, 레이저 장치 및 시각 센서(카메라)등이 있다.

초음파 센서는 lateral resolution이 매우 나쁘며 반사물체의 형태에 따라 불필요한 반사파의 간섭이 생기는 문제가 있다. 레이저 장치는 가격이 비싸고 부피가 커서 이동 로봇에는 부적합하다. 한편, 시각센서는 비디오 카메라에 맺힌 영상을 처리함으로써 특정한 점의 위치, 거리, 물체의 형태등을 인식해 낼 수 있는 것으로 물체에 대한 3차원 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다.

이동 로봇의 항법에 관한 지금까지의 연구활동을 간략하게 열거하면 다음과 같다. Hart, Nilsson 과 Raphael은 unexplored terrain 에서의 navigation 방법을 SHAKY에 시도하였다[Nil, 69]. Thompson은 vision을 이용하여 다각 곡선 (polygonal curves)으로써 통과할 수 없는 벽(nontraversable walls)으로 이루어진 terrain 모델을 만들고, 이 모델로부터 최적 경로를 찾는 방법을 JPL Rover 에 시도하였다[Tho, 77]. Giralt, Sobek 과 Chatila도 Thompson과 유사한 방법으로 HILARE의 최적 경로를 찾는 방법을 시도하였다 [Gir, 79]. Lozano-Perez와 Wesley는 SHAKY 방법을 확장하여 manipulator의 충돌없는 이동 (collision free movement)에 적용하였고[Loz, 79], Brooks는 정돈되지 않았으나 알고 있는 환경 (cluttered but known environment) 에서의 경로 finding algorithm을 제안하였다[Bro, 83].

Moravec은 SMU cart에 stereo vision을 이용하여 로봇 주위에 있는 사물의 위치를 측정하고, 이 물체 주위에서 충돌없는 경로를 찾아서 1m 전진하고, 다시 scene analysis를 하는 작업을 반복하는 방법을 제안하였는데 이 방법은 미탐사 지역 (unexplored terrain) 에서의 navigation 방법으로 적용할 수 있으나 1m 전진하는데 5분이 소요되어 시간이 많이 걸렸다[Mor, 81].

본 논문에서는 이동로봇의 주행 작업 공간에 대한 전반적인 환경조건이 world map으로 알려져 있고, 이 map상에 로봇의 이동 경로 및 시각 감지 장치로 인식 될 수 있는 특징점으로서 Guide-Mark들의 위치가 주어졌을 때, 이동로봇가 주어진 경로를 가능한 빠른 시간내에 최소의 경로 오차로 추적할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

2. 시각 정보에 의한 항법 알고리즘

2.1 항법 체계

시각 정보를 이용한 항법 시스템의 동작 원리는 그림 2와 같다. 최초에 영상 처리 시스템(DT2853), 이동 로봇(HERO)와 통신하기 위한 주 컴퓨터내의 통신 port (i8250) 및 로봇 제어 변수들의 초기화 과정이 수행되고, 이때의 이동로봇의 위치는 world map상에서 절대 좌표로 주어진다. 먼저 이동 로봇은 추적하기 위한 Guide-Mark를 찾고 장애물에 충돌하지 않으면서 주어진 이동 경로에 대한 이말이 최소가 되는 국부적인 경로를 계획하게 되며, 현 위치에서 sub-goal 까지의 상대적인 거리를 계산하여 로봇을 구동하기 위한 motion vector로 이용한다. 즉 motion vector에서 로봇을 구동하기 위한 명령이 발생되고, 로봇은 설정된 sub-goal을 향하여 주행한다. 로봇의 주행이 끝나고 정지한 위치에서 이동 로봇은 자신의 현 위치를 결정하기 위하여 다시 Guide-Mark의 영상을 얻는다. 이때 현 위치가 원하는 sub-goal로 가지 않을 경우에는 경로를 교정하여 경로 주행하게 된다. 자신의 위치가 최종 목표점과 일치하면 주행 동작을 정지하고 목표점에 도달하면 관련 시스템에 알리며 일치하지 않으면 새로운 sub-goal을 설정하는 과정부터 반복한다.

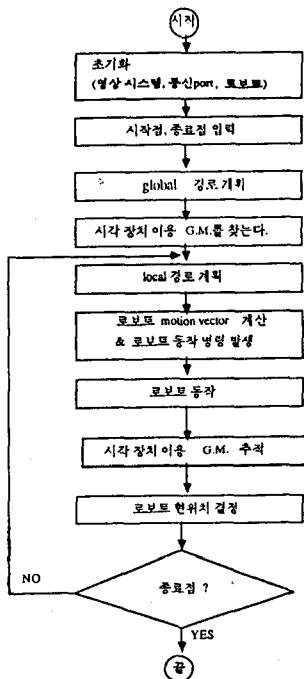


그림 2 시각 정보를 이용한 항법 알고리즘

2.2 이동 로봇의 현재위치 추정 알고리즘

2.2.1 motion stereo에 의한 방법

이동 로봇과 이동 작업공간의 상호 위치관계를 나타내고 효율적으로 항법기능을 수행하기 위하여 그림 3와 같은 좌표계를 설정한다. 특징점을 갖는 하나의 물체에 대해 상호간에 분리된 두 장소에서 얻은 두장의 camera image와 이때의 두 장소간을 이동한 로봇의 이동 체적을 알면 그 물체에 대한 로봇의 상대적 위치를 알 수 있으며, 이러한 특징점에 대한 정보가 world map 상에서의 Guide-Mark의 위치로 주어진다면 world map 상에서의 로봇의 현재 위치도 알 수 있다.

$${}^A P = {}^A R^B P + {}^A P_{BORG}$$

이 때

$${}^A P = (x_a, y_a)^T, \quad {}^B P = (x_b, y_b)^T, \quad {}^A P_{BORG} = (l_x, l_y)^T$$

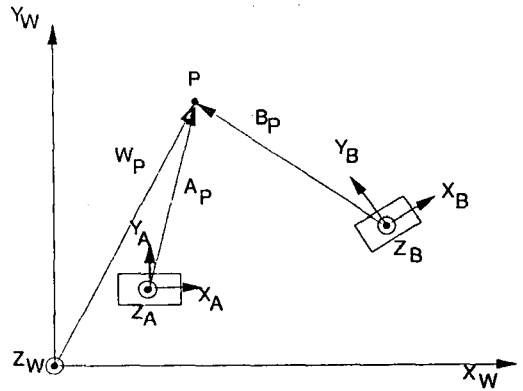


그림 3 이동 로봇의 항법 시스템을 위한 좌표계

이 식에서 변수인 (x_a, y_a) , (x_b, y_b) 는 다음과 같은 영상정보의 perspective projection 관계를 이용하여 소거할 수 있다.

$$x_a = \frac{x'_a}{f} y_a, \quad x_b = \frac{x'_b}{f} y_b.$$

따라서 world map 에서의 현 robot의 위치는 다음과 같다.

$${}^W P_{BORG} = {}^W P - {}^B R^B P$$

2.3. 다수개의 Guide-mark의 조합에 의한 절대좌표 추정 방법

이동 중에 있는 로봇에서 single camera를 이용하여 world 좌표계상에서 위치가 알려진 3개의 Guide-Mark를 확인(identify)할 수 있다면 로봇 위치의 절대좌표는 구해될 수 있다. 이를 수식적으로 보이면 그림 5 의 기하학적 관계로부터 아래 식을 얻는다.

$$d_{12}^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2d_1 d_2 \cos \theta_1$$

$$d_{23}^2 = d_2^2 + d_3^2 - 2d_2d_3\cos\theta_2$$

$$d_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2$$

$$d_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2$$

$$d_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2$$

위의 방정식으로부터 다음의 equation이 얻어진다.

$$d_{12}^2 = (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 - 2\cos\theta_1 \{[(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2] \cdot [(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2]\}^{1/2}$$

$$d_{23}^2 = (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 - 2\cos\theta_2 \{[(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2] \cdot [(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2]\}^{1/2}$$

이러한 두 연립 방정식으로부터 로봇의 절대좌표값 (x_w, y_w) 가 구해질 수 있다. 즉, camera 에서 얻은 영상으로부터 θ_1 과 θ_2 가 측정될 때 절대위치를 알 수 있다.

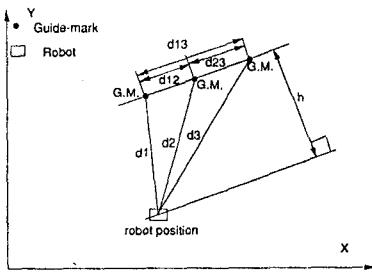


그림 5 세 개의 특징점을 이용한 위치 추정

3 실험과 검토

3.1 실험 시스템의 구성

본 논문에서 사용된 이동 로봇 시스템은 그림 6 과 같이 바뀌달린 이동 로봇 HERO와 하나의 CMOS 카메라 및 이 카메라로부터 입력된 scene을 처리하는 DT2853 및 영상 시스템으로 부터 받아들인 시각 정보를 분석, 판단하고 이를 바탕으로 이동 로봇의 주행을 제어하는 주컴퓨터 시스템인 IBM-PC/AT로 크게 나눌 수 있다. 이동 로봇의 주행작업 환경에 관한 world map은 2차원 평면상에 장애물 Guide-Mark들의 위치가 제공되며 장애물들은 볼록한 다면체로 근사되는 단순한 형태의 것으로서 그림 7 와 같이 제작된 것을 사용하고 지면은 평탄하고 로봇의 바퀴에 대하여 적절한 마찰력이 있는 것으로 가정하였다. Guide-Mark는 영상처리 시간을 단축하기 위하여 시각 감지 장치에 의하여 쉽게 인식될 수 있도록 단순한 형태를 장애물 표면에 부착하여 사용하였다.

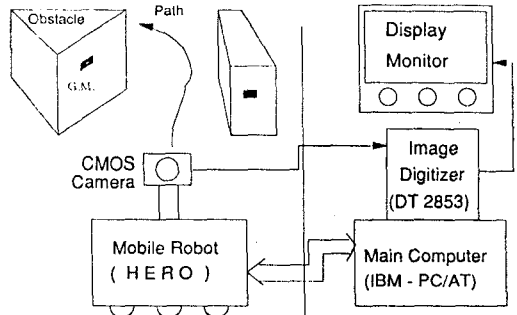


그림 6 시각 정보를 이용한 이동 로봇의 항법 시스템

3.2 특징점(Guide-Mark) 인식 알고리즘

well-defined 환경이므로 real-time processing이 가능한 projection method를 사용하였다. gray image를 적당한 threshold를 이용하여 binary image로 만든후에 x-축, y-축으로 projection 하였다. 이때 x-축, y-축의 center of Guide-Mark는

$$x_{center} = \frac{\sum_{i=1}^n i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad y_{center} = \frac{\sum_{j=1}^n j \cdot h_j}{\sum_{j=1}^n h_j}$$

가 된다. 이때 h_i 는 horizontal projection이 이고 h_j 는 vertical projection 값이다.

3.3 실험결과 및 검토

3.3.1 motion stereo를 적용한 경우

그림 10과 그림 11은 로봇의 motion이 정확히 측정될 수 있는 경우에 대해서 제안된 motion stereo 를 이용한 로봇의 위치 결정 알고리즘을 적용한 실험이다. 이중에서 90° 방향의 line 주행시의 추정 데이터가 45° 방향 주행시보다 정확한 추정값을 보여 주고 일반적으로는 Y축 성분보다 X축 성분의 추정이 더 정확했다. 이 실험으로부터 depth의 측정이 더 어려움을 알 수 있다. 또한 실제의 로봇 motion 에는 uncertainty가 포함되므로 실험해서 얻은 데이터가 30% 이상 오차를 나타냈다. 이는 로봇의 rotational uncertainty량이 결정적으로 vision sensor의 신뢰도를 떨어뜨리는 걸로 생각된다. 따라서 이 알고리즘은 이동 로봇의 navigation알고리즘으로는 부적당하다고 사료된다.

3.3.2 다수개의 Guide-Mark 를 동시에 이용한 경우

Guide-mark 1개 혹은 2개를 이용한 경우는 로봇의 motion을 이용 현재 위치를 추정하기 때문에 부정확한 값이 추정되었다. 3개의 Guide-Mark를 이용한 경우는 로봇의 motion을 이용하지 않고 절대좌표를 구할 수 있다.

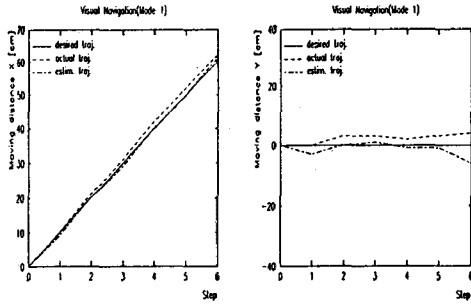


그림 3.10 로봇의 진행 방향이 Guide-Mark 와 90° 인 경우

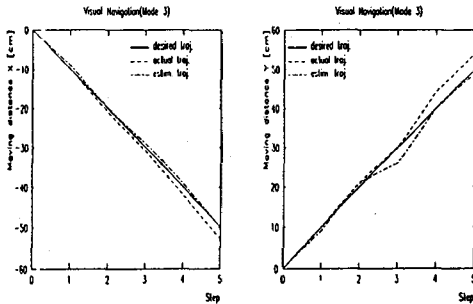


그림 3.11 로봇의 진행 방향이 Guide-Mark 와 45° 인 경우

그림 13 에 주어진 world map과 계획된 경로를 나타냈다. 이 경우는 직선을 주행 하는 데 이 것은 로봇가 어느 곳에 위치하거나 world map 상의 절대좌표가 알려져 있는 3개 이상의 Guide-Mark가 동시에 관측되어야 한다는 가정을 만족시키기 위하여 Guide-Mark를 보면서 가는 경우이다. 계획된 경로에 따라 2개의 sub-goals

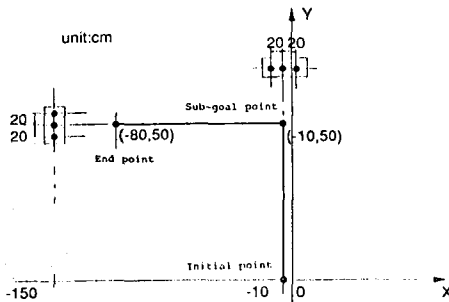


그림 3.13 주어진 world map 과 계획된 경로

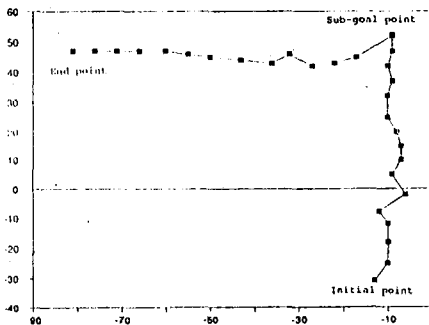


그림 3.14 이동 로봇의 주행 궤적(초기 위치 : (-14, -30))

설정했다. Guide-Mark의 위치는 그림의 13 에서 보듯이 3개가 하나의 장애물에 붙어 추적하기 용이하도록 하였다. 시작점 (-14, -30) 에서 sub-goal(-10, 50)를 거쳐 최종 종료점(-80, 50) 까지 주행하도록 하였다. 5cm 이동할 때마다 영상을 받아들여 위치를 추정하여 그 궤적을 그림으로 나타냈다. 그림 14 에서 보듯이 28 step 만에 최종 goal에 도달했는데 총 4 분이 경과했다.

4 결론

이동 로봇의 주행에 필요한 장애물 인식 및 충돌 회피 기능과 함께 주어진 경로를 주행하기 위하여 시각 감지 장치를 이용한 항법 시스템이 제안되었다. 특히 본 논문에서는 이동 로봇의 주행 작업공간에 관한 전반적인 환경조건이 world map 으로 알려져 있고 이 map상에 로봇 이동 경로 및 시각 감지 장치로 인식될 수 있는 특징점으로서 Guide-Mark 들의 위치가 주어졌을 때, 이동 로봇가 주어진 경로를 주행, 목표점에 도달할 수 있도록 하기 위하여, 시각센서를 이용하여 얻어진 데이터에 근거하여 로봇 자신의 현재 위치를 추정하고 다음 sub-goal 까지의 교정된 경로를 generation 하는 알고리즘을 제안하였다. 로봇의 현재위치 추정 알고리즘으로 특징점(Guide-Mark) 3개를 동시에 추적함으로써 로봇의 절대 좌표를 계산한 robust한 알고리즘을 제안, 실험함으로써 실용 가능성을 보였다. 이 알고리즘은 보행 로봇의 항법 시스템으로서 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대한다.

참고 문헌

[Mor,81] H. P. Moravec, "Rover Visual Obstacle Avoidance", *Proc. 7th Int. Joint Conf. AI.*, 1981.
 [Nil,69] N. J. Nilsson, "A Mobile Automation: An Application of Artificial Intelligence Techniques", *Proc. 1st Int. Joint Conf. AI.*, May, 1969.
 [Bro,83] R. A. Brooks, "Solving the Find-Path Problem by Good Representation of Free Space", *IEEE Trans. Sys. Man. Cyber.*, SMC-13(3), 1983.
 [Tho,77] A. M. Thompson, "The Navigation System of the JPL Robot", *Proc. 5th Int. Joint Conf. AI.*, 1977.
 [Gir,79] G. Giralt, et al, "A multilevel planning and navigation system for a mobile robot : A first approach to HILARE", *Proc. 6th Int. Joint conf. AI*, 1979
 [Loz,79] T. Lozano-Perez, and M. A. Wesley, "An Algorithm for Planning Collision Free Paths Among Polyhedral Obstacles", *Comm. ACM*, 22(10), 1979.