

시각 장치에 의해 감지된 가이드 마크를 이용한 이동 로봇의 효과적인 항법

Effective Navigation of a Mobile Robot Using Guide-Marks Sensed through Vision

趙 東 權* · 權 鎬 烈* · 徐 一 弘** · 卞 增 男***

(Dong-Kwon Cho · Ho-Yeol Kwon · Il-Hong Suh · Zeung-Nam Bien)

요 약

본 논문에서는 이동 로봇의 항법 문제가 연구되었다. 특히, 간단한 가이드 마크가 도입되었고, 시각 감지장치를 사용하여 확인된 가이드 마크와 연관된 항법 체계를 제안하였다. 자율적 항법에 있어서, 이동 로봇의 자신의 위치를 추정할 때 세개의 가이드 마크로 이루어진 시스템이 단일 가이드 마크 시스템보다 효과적임을 보였다. 항법 시스템은 실험실 환경하에서 하나의 카메라가 장착된 이동 로봇 HERO-I 을 통하여 시험되었다.

Abstract- 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 and orientation of mobile robot itself. The navigation system is tested via a mobile robot HERO-I equipped with a single camera in laboratory environment.

1. 서 론

스스로 움직여 작동할 수 있는 이동 로봇은

*正 會 員 : 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科 博士課程

**正 會 員 : 漢陽大 工大 電子工學科 副教授 · 工博

***正 會 員 : 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1989年 8月 5日

一次修正 : 1989年 10月 21日

일반적인 산업용 로봇이 제한적인 작업 영역을 갖는 단점을 해결할 수 있기 때문에 공장내에서의 작업뿐만 아니라 인간이 작업하기에 유해하거나 위험한 환경인 원자력 발전소에서의 방사능 물질 취급, 탄광에서의 채광작업, 유해한 화학적 오염 지역 등에서의 작업 및 우주탐사등에서 그 역할이 기대되고 있다. 이러한 이동 로봇은 주변 환경에 관한 정보를 수집, 종합하여, 목적지까지 도달할 수 있는 경로의 계획, 경로상에 존재하는 장애

물의 탐지, 충돌 회피를 하며 목적지까지 도달할 수 있는 기능, 즉 항법(navigation) 기능이 필수적으로 요구된다.[1] 이러한 주변 환경에 대한 정보를 얻기 위하여 사용되는 감지 장치로서, 초음파 센서, 레이저 장치 및 시각 센서(카메라) 등이 있다.

초음파 센서는 시스템이 간단하고, 가격이 저렴한 장점이 있으나, 측면의 선명도(lateral resolution)가 매우 나쁘며 반사물체의 형태에 따라 불필요한 반사파의 간섭이 생기는 문제등이 있다.[2] 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. 그러나 3차원 물체인식을 위한 스테레오 알고리즘들은 카메라로부터 얻어진 여러 영상들을 각각 처리하여 특징을 추출하고 이 특징들간의 스테레오 매칭 과정이 있는데 이들은 많은 계산량과 복잡성으로 인해 그 처리시간이 많이 소요된다.

이동 로봇의 항법에 관한 연구활동들을 간략하게 열거하면 다음과 같다. Hart, Nilsson과 Raphael은 미탐사 지역(unexplored terrain)에서의 항법(navigation)을 SHAKY에 시도하였다.[3] 이 로봇은 항법 문제를 다룬 시초라 할 수 있다. Thompson은 시각 장치(vision)를 이용하여 다각 곡선(polygonal curves)으로써 통과할 수 없는 벽(nontraversable walls)으로 이루어진 지역(terrain) 모델을 만들고, 이 모델로 부터 최적 경로를 찾는 방법을 JPL Rover에 시도하였다.[4] Gialt, Sobek과 Chatila도 Thompson과 유사한 방법으로 HILARE의 최적 경로를 찾는 방법을 시도하였다.[5] Lozano-Perez와 Wesley는 SHAKY방법을 확장하여 manipulator의 충돌없는 이동(collision free movement)에 적용하였고,[6] Brooks는 정돈되지 않았으나 알고 있는 환경(cluttered but known environment)에서의 경로를 찾는 알고리즘을 제안하였다.[7] Moravec은 SU cart에 stereo vision을 이용하여 로봇 주위에 있는 사물의 위치를 측정하고, 이 물체 주위에서 충돌없는 경로를 찾아서 전진하고, 다시 장면 분석(scene analysis)을 하는 방법을 제안하였는데[8] 이 방법은 영상신호 분석에 많은 시간이 소요되어 시간이 많이 걸렸다. Chattergy는 장벽(barrier) 탐지 및 장벽 추적(barrier following)하는 영상 경로(image path) heuristics를 고안하여 미탐사 지

역(unexplored terrain)에서의 경로계획 방법을 제안하였다.[9] 그러나 위의 방법들은 시각 장치로 잡은 영상 신호를 분석하는데 많은 시간이 소요되거나 경로 찾는 방법만을 거론 하였기 때문에 이동 로봇의 항법으로 직접 적용할 수는 없다.

이동 로봇의 항해(navigating)하는 과정중에서 실질적으로 중요한 문제는 로봇의 위치를 타당한 정확도로 실시간 결정하는 것이다. 로봇의 위치결정 문제를 다룬 몇가지 방법이 있다. 가장 많이 쓰이는 방법으로 전자계 유도 시스템(electromagnetic guidance system)이 있는데 이 방법은 라인 설치비용이 많이 들고 경로 변경이 어렵다는 단점이 있다.[10] 주어진 환경하에서 소멸점(vanishing points)의 perspective projection을 이용하거나[11] 표준 패턴인 diamond패턴[12], calibration sphere[13], planar quadrangle[14], spotmark[15]를 위치 결정에 이용한 방법이 있다. 이런 알고리즘들은 패턴의 특징점을 이용했다. 그러나 아직까지는 일반적인 패턴 선택 규칙이 제안되지 않았다.

본 논문에서는 시각 장치를 갖춘 이동 로봇의 항법 문제가 연구되었다. 특히, 영상 신호를 분석하는 시간을 줄이고 로봇 자신의 위치와 방향 추정을 도울 수 있는 간단한 가이드 마크가 도입되었다. 또한 시각 감지장치를 사용하여 확인된 가이드 마크와 연관된 항법 체계를 제안하였다. 실제 적용하기 위해서, 좀더 정확한 로봇 자신의 위치 추정을 위해서 세 개의 가이드 마크와 하나의 카메라를 이용한 알고리즘을 제안하였다. 이때 가이드 마크들의 위치는 주어진 world map에 알려진다. 실험실 환경하에서 항법시스템은 하나의 카메라가 장착된 이동 로봇 HERO-1을 통해 시험되었고 잘 동작함을 확인하였다.

앞으로의 전개는 2장에서는 논문 서술을 위한 좌표계와 기호를 정의하고 해결할 문제를 설정하며 3장에서는 가이드 마크와 연관된 항법체계를 제안하고 세 개의 가이드 마크와 시각 장치를 이용하여 이동 로봇의 이동 정보를 이용하지 않고 로봇의 위치와 방향을 추정할 수 있는 방법을 제안한다. 4장에서는 실험 환경을 설명하고 제안된 방법에 대한 실험 결과 및 검토가 있겠고 5장에서 결론을 맺도록 하겠다.

2. 문제 설정

효율적인 항법기능을 수행하기 위하여 그림 1과 같은 좌표계를 도입한다. world좌표계로 $\{W\}$, i

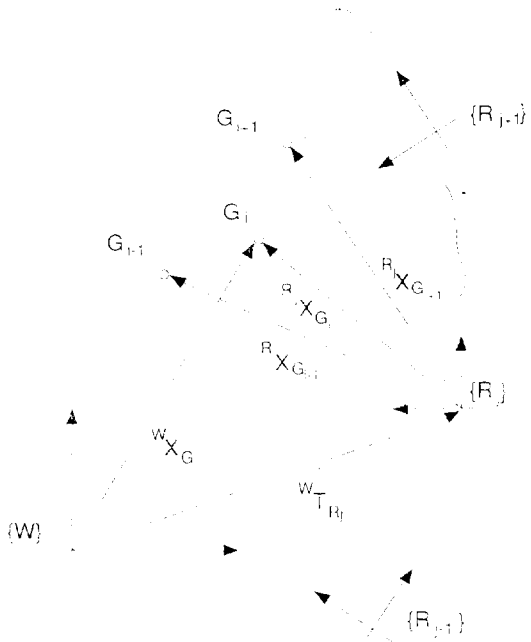


그림 1 항해상의 좌표계와 가이드 마크
Fig. 1 Coordinate frames and guide-marks navigation space

i 번째 가이드 마크 $G_i, i=1, 2, \dots, M$, 그리고 j 번째 로봇 좌표계 $\{R_j\}, j=1, 2, \dots, N$, 가 정의된다. 이때 ${}^W X_{G_i}$ 와 ${}^{R_j} X_{G_i}$ 는 각각 좌표계 $\{W\}$ 와 $\{R_j\}$ 에서 G_i 의 위치 vector를 의미하고, ${}^W_j T$ 는 world좌표계 $\{W\}$ 에 대한 로봇 좌표계 $\{R_j\}$ 의 homogeneous transform matrix를 의미한다. [16] 모든 vector들, ${}^W X_{G_i}$ 및 ${}^{R_j} X_{G_i}$, 은 독립이고 모든 $\{R_j\}$ 는 위치가 구별된다고 가정한다. 또한, 로봇 좌표계 $\{R_j\}$ 의 x 축은 로봇 $\{R_j\}$ 의 진행 방향과 일치신상에 있다고 가정한다.

j 번째 로봇 좌표계 $\{R_j\}$ 와 그것의 영상 평면은 그림 2와 같이 설치되고 카메라는 pin-hole 모델 [17]이 가정된다. 가이드 마크 G_i 는 로봇 $\{R_j\}$ 의 영상 평면상의 한 점 (u_{ij}, v_{ij}) 으로 mapping된다. 수평 편이각(deviation angle) θ_{ij} 와 azimuth angle ϕ_{ij} 는 다음 식과 같다

$$\theta_{ij} = \tan^{-1} \left(\frac{u_{ij}}{\lambda} \right) \quad (1)$$

$$\phi_{ij} = \cos^{-1} \left(\frac{v_{ij}}{(\lambda^2 + u_{ij}^2 + v_{ij}^2)^{1/2}} \right) \quad (2)$$

으로 된다. 이때 λ 는 카메라 렌즈의 초점 거리

시각장치에 의해 감지된 가이드 마크를 이용한 이동로봇의 효과적인 항법

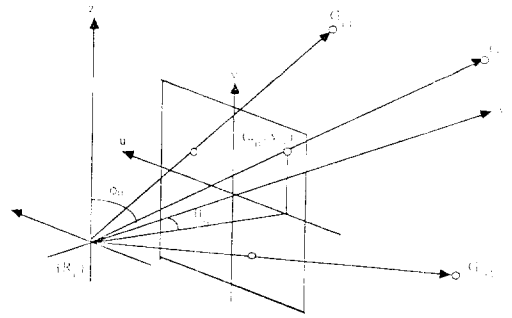


그림 2 영상 평면상의 가이드 마크의 mapping
Fig. 2 Mapping of guide-marks on image plane

(focal length)이다.

실질적으로 이동 로봇의 항해 환경은 2차원으로 고려될 수 있으므로 좌표변환은 그림 1과 같이 표현된다.

$${}^W X_{G_i} = {}^W_j T {}^{R_j} X_{G_i}, \quad i=1, 2, \dots, M, j=1, 2, \dots, N; \quad (3)$$

이때,

$${}^W X_{G_i} = [x_{G_i} \ y_{G_i} \ 1]^T, \\ {}^W_j T = \begin{bmatrix} \cos \alpha_j & -\sin \alpha_j & x_{R_j} \\ \sin \alpha_j & \cos \alpha_j & y_{R_j} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \\ {}^{R_j} X_{G_i} = [d_{ij} \cos \theta_{ij} \ d_{ij} \sin \theta_{ij} \ 1]^T,$$

이고 첨자 T 는 전치 행렬을 뜻하며 (x_{R_j}, y_{R_j}) 와 α_j 는 각각 world좌표계 $\{W\}$ 상에서 표현되는 j 번째 로봇 $\{R_j\}$ 의 위치와 방향을 의미하고 d_{ij} 는 i 번째 가이드 마크 G_i 와 j 번째 로봇 $\{R_j\}$ 사이의 거리이다.

그러면 이동 로봇의 위치 결정 문제는 다음과 같이 제기된다. i 번째 가이드 마크의 위치 ${}^W G_i, i=1, 2, \dots, M$,는 항법을 위한 world map에 주어지고 가이드 마크 G_i 의 영상은 j 번째 로봇 좌표계 $\{R_j\}, j=1, 2, \dots, N$ 상에 설치된 카메라로부터 얻어진다. 그리고 가이드 마크들은 그것에 해당하는 영상점들로 판정된다면 j 번째 로봇 $\{R_j\}$ 의 위치와 방향을 의미하는 homogeneous transform matrix ${}^W_j T$ 를 찾을 수 있다.

3. 시각 정보에 의한 항법 알고리즘

3.1 항법 체계

이동 로봇을 목표점까지 이동 시키고자 하는 경우에, 로봇의 이동 경로(path)는 먼저 기억된

지도(map)로 부터 대략 계획되고, 이 경로를 따라 주행하면서 시각 감지 장치등을 통해 얻은 주위 정보를 사용해 로봇트가 진행해야 할 경로를 보다 정밀하게 결정짓는 한편, 이동 중에 측정된 정보를 사용하여 지도상의 로봇트의 위치를 추정하고, 다가오는 환경을 예측한다. 이와 같이 이동로봇트기 현 위치를 추정하고 근처에 있는 3차원 장애물의 유무를 감지할 수 있는 시각 센서를 갖춘 경우, 특정한 형태의 가이드 마크(Guide-Mark)를 설치하면 영상신호 처리를 빨리 할 수 있다는 장점이 있다.

시각 정보를 이용한 항법 시스템의 동작 원리는

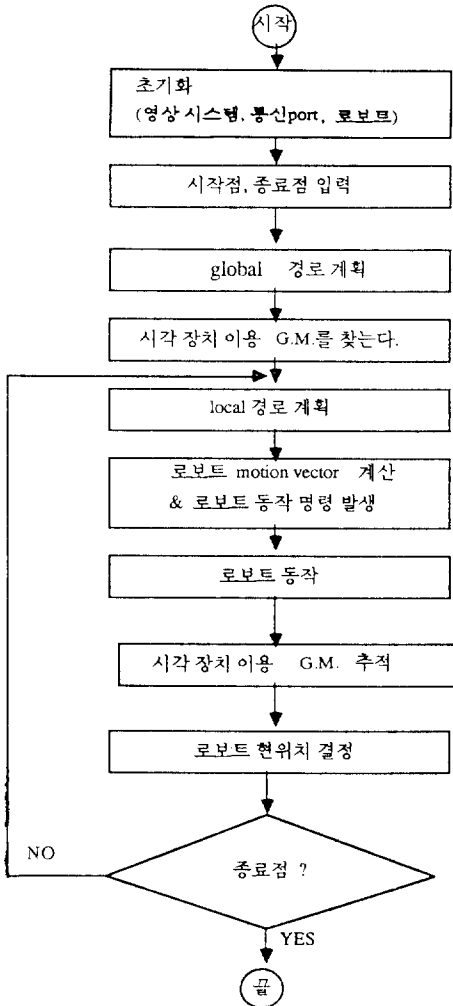


그림 3 시각과 가이드 마크를 이용한 항법에 대한 흐름도

Fig. 3 Flow chart for navigation using vision and guide-marks

그림 3과 같다. 최초에 영상 처리 시스템(DT2853), 이동로봇트(HERO)와 통신하기 위한 주 컴퓨터내의 통신 port(i8250) 및 로봇트 제어 변수들의 초기화 과정이 수행되고, 이때의 이동로봇트의 위치는 world map상에서 절대 좌표로 주어진다. 먼저 이동로봇트는 추적하기 위한 가이드 마크를 찾고 장애물에 충돌하지 않으면서 주어진 이동 경로에 대한 이탈이 최소가 되는 국부적인 경로를 계획하게 되며, 현 위치에서 sub-goal까지의 상대적인 거리를 계산하여 로봇트를 구동하기 위한 motion vector로 이용한다. 즉 motion vector에서 로봇트를 구동하기 위한 명령이 발생되고, 로봇트는 설정된 sub-goal을 향하여 주행한다. 로봇트의 주행이 끝나고 정지한 위치에서 이동로봇트는 자신의 현 위치를 결정하기 위하여 다시 가이드 마크의 영상을 얻는다. 이때 현 위치가 원하던 sub-goal로 가지 않을 경우에는 경로를 교정하여 경로 주행을 하게 된다. 자신의 위치가 최종 목표점과 일치하면 주행 동작을 정지하고 관련 시스템에 알리며 일치하지 않으면 새로운 sub-goal을 설정하는 과정부터 반복한다.

본 논문에서는 이동로봇트 자신의 위치를 결정하기 위하여 로봇트의 이동 정보를 이용한 방법을 소개하였고 하나의 카메라를 이용할 경우에 운동량 정보없이 위치 추정이 가능한 한 세 개의 가이드 마크 시스템을 제안한다.

3.2 이동로봇트의 위치 추정 알고리즘

3.2.1 로봇트의 이동 정보를 이용한 방법

로봇트 동작에 대한 측정이 가능하다면, 한 로봇트 좌표계 $\{R_j\}$ 에서 다른 로봇트 좌표계 $\{R_k\}$ 로의 변환 matrix kR_jT 내의 각 항들은 완전히 결정된다. 그래서 그 관계는 다음과 같이 얻어진다.

$${}^kR_jX_{G_i} = {}^kR_jT {}^R_jX_{G_i}$$

$$i=1, 2, \dots, M \text{ and } j=1, 2, \dots, N \quad (4)$$

그래서 식 (3)과 (4)로 부터 이동후의 위치가 결정된다. 그러나 이동로봇트가 기계적으로 잘 만들어졌다고 할 지라도 측정된 이동 정보는 많은 불확실한 값이 포함되므로 계산된 로봇트의 위치와 방향은 실지값들과 많은 차이가 있다. 시각 장치와 이동 정보를 이용하여 위치 추정 오차를 감소시키려는 방법들이 있으나 역시 영상에 의한 위치 추정이 로봇트 이동량의 측정에 의존적이라서 오차를 효과적으로 줄이지는 못 하였다. 그러므로 많은 불확실한 값을 포함하는 로봇트의 운동량을

배제한 위치 추정의 방법이 필요하게 되었다.

3.2.2 3개의 가이드 마크의 조합에 의한 절대좌표 추정 방법

하나의 카메라가 장착된 이동 로봇트가 한 위치에서 하나의 가이드 마크를 이용한다면 식 (3)에서 알 수 있듯이 2개의 독립 방정식과 4개의 미지 변수 $\{x_{Rj}, y_{Rj}, \alpha_j\}$ 와 $\{d_{ij}\}$ 이 나온다. 그러므로 다른 가이드 마크 2개를 더 이용한다면 6개의 독립 방정식에 6개의 미지 변수가 되므로 위치결정은 가능해진다. 그러나 식 (4)는 복잡한 비선형 식이므로 closed 형태의 해는 쉽게 구해지지 않으므로 실질적인 문제에서는 잘 정의된 가이드 마크의 구성으로 쉽게 로봇트의 위치와 방향을 계산할 수 있다. 즉, 그림 4와 같이 이동 중에 있는 로봇트에서 하나의 카메라를 이용하여 world 좌표계상에서 일직선상에 놓여 있고 그 위치가 알려진 3개의 가이드 마크를 찾을 수 있다면 로봇트 위치의 절대좌표와 방향은 구해질 수 있다. 이를 수식적으로 보이면 그림 4의 기하학적 관계로부터 아래 식을 얻는다.

$$\|D_{mn}\|^2 = d_{mj}^2 + d_{nj}^2 - 2d_{mj}d_{nj} \cos \tilde{\theta}_{mn}, \quad (5.1)$$

$$d_{mj} = \|{}^wX_{G_m} - {}^wX_{Rj}\|, \quad m \neq n, \quad m, n = 1, 2, 3. \quad (5.2)$$

이때,

$$\tilde{\theta}_{mn} = \theta_{mj} - \theta_{nj}, \quad D_{mn} = {}^wX_{G_m} - {}^wX_{G_n}$$

이고, $\|\cdot\|$ 는 vector의 Euclidean norm을 의미한다.

그런 다음 그림 4의 선분 D_{21} 에 h 만큼 떨어져 평행한 가상적 성분을 생각하면 다음의 삼각형의 비가 성립한다.

$$S_1 : S_2 : S_3 = \frac{1}{2} \|D_{21}\| h : \frac{1}{2} \|D_{32}\| h : \frac{1}{2} \|D_{13}\| h, \quad (6.1)$$

혹은,

$$= d_{1j}d_{2j} \sin \tilde{\theta}_{12} : d_{2j}d_{3j} \sin \tilde{\theta}_{23} : d_{3j}d_{1j} \sin \theta_{31} \quad (6.2)$$

이다.

이때, S_1 은 왼쪽 삼각형의 넓이이고, S_2 은 오른쪽 삼각형의 넓이이고, S_3 은 S_1 과 S_2 의 합이다. 식 (5.1), (6.1) 그리고 식 (6.2)으로 부터 다음의 관계식이 성립한다.

$$d_{1j} = \frac{\|D_{12}\|}{(1 + K^2 - 2K \cos \theta_{12})^{1/2}}, \quad (7.1)$$

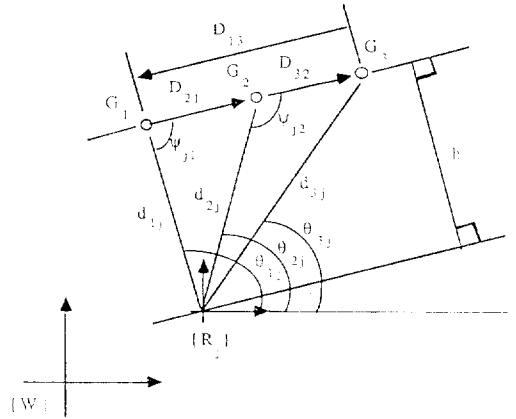


그림 4 세 개의 가이드 마크를 이용한 위치 추정
Fig. 4 Self-position estimation using three point guide-marks

$$d_{2j} = \frac{K \|D_{12}\|}{(1 + K^2 - 2K \cos \theta_{12})^{1/2}} \quad (7.2)$$

이때,

$$K = \frac{\|D_{23}\| \sin \tilde{\theta}_{31}}{\|D_{31}\| \sin \theta_{23}} \text{ 이다.}$$

또한 각도 ψ_{j1} 는 다음과 같다.

$$\psi_{j1} = \cos^{-1} \left(\frac{d_{1j}^2 - d_{2j}^2 + \|D_{21}\|^2}{2d_{1j}\|D_{21}\|} \right) \quad (8)$$

결국 알려진 vector D_{21} 와 world좌표계 $\{W\}$ 의 x -축 사이의 각도를 δ 라고 정의한다면 로봇트의 위치 ${}^wX_{Rj}$ 와 방향 α_j 은 다음과 같이 구해진다.

$${}^wX_{Rj} = {}^wX_{G1} + d_{1j}U_{j1}, \quad (9)$$

$$\alpha_j = 180^\circ + \delta - (\theta_{1j} + \psi_{j1}) \quad (10)$$

이때,

$$U_{j1} = \frac{R_{\psi_{j1}}D_{21}}{\|R_{\psi_{j1}}D_{21}\|} \text{ 이고}$$

$$R_{\psi_{j1}} = \begin{bmatrix} \cos \psi_{j1} & -\sin \psi_{j1} \\ \sin \psi_{j1} & \cos \psi_{j1} \end{bmatrix}$$

이다.

4. 실험 과 검토

4.1 실험 시스템의 구성

본 논문에서 이용된 시각장치를 갖춘 이동 로봇트 시스템은 카메라상의 장애물을 인식하고 충돌 회피를 하며 경로를 따라 진행할 수 있는 기능을

갖춘 것으로서 그림 5과 같다. 이 시스템은 microprocessor에 의해 제어되는 바퀴달린 이동 로봇 시스템인 HERO-1와 하나의 CMOS 카메라 및 이 카메라로부터 입력된 scene을 처리하는 DT2853 영상 시스템 및 영상 시스템으로부터 받아들인 시각 정보를 분석, 판단하고 이를 바탕으로 이동 로봇의 주행을 제어하는 주컴퓨터 시스템인 IBM-PC/AT로 크게 나눌 수 있다. 이동 로봇의 주행 작업 환경에 관한 world map은 2차원 평면상에 있는 장애물, 가이드 마크들의 위치가 제공되며 장애물들은 불록한 다면체로 근사되는 단순한 형태로 제작된 것을 사용함으로써 2차원 평면상에 장애물 위치 표시가 쉽고 장애물까지의 거리 계산이 쉽게 된다. 또한, 지면은 평탄하고 로봇의 바퀴에 대하여 적절한 마찰력이 있는 것으로 가정하였다. 가이드 마크는 영상처리 시간을 단축하기 위하여 시각 감지 장치에 의하여 쉽게 인식될 수 있도록 간단한 형태를 취하고 있으며 장애물 표면에 부착하여 사용하였다. 카메라의 위치는 HERO-1 로봇의 머리부분에 설치했고 방향은 로봇의 진행방향과 동일하도록 하였다. 그리고 추정되는 로봇의 위치 기준점을 카메라 렌즈의 중심이 되도록 하였다.

HERO-1 로봇의 전·후진 및 방향전환 동작은 전륜을 구동하여 이루어지는데 이 때의 전륜구동 명령은 전륜의 회전량만을 제어할 뿐 적절한 제동 장치가 없기 때문에 로봇의 실제 이동거리는 지면의 상태에 따른 바퀴와 지면과의 마찰력의 변동, 그리고 로봇의 관성 운동량의 크기에 따라 변하는 불확실성을 가지고 있다. 이러한 구동주행 특성상의 불확실성을 모델링하기 위하여 본 논문에서는 3번에 걸쳐 m 가지의 이동명령 x_i 에 대하여

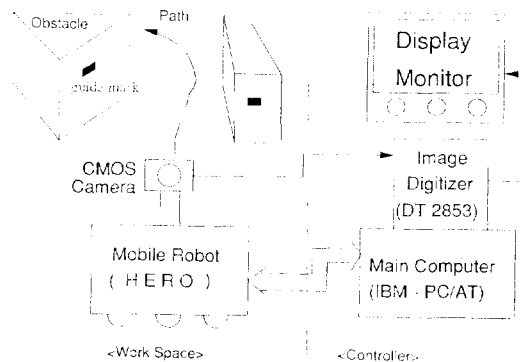


그림 5 이동 로봇의 항법을 위한 실험 시스템
Fig. 5 Experimental system for robot navigation

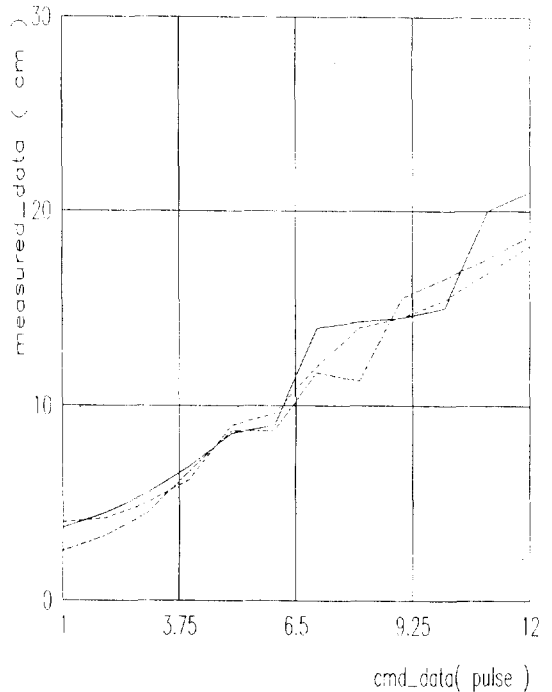


그림 6 HERO-1 로봇의 구동-주행 특성
Fig. 6 Driving characteristics of HERO-1

각각의 실제로 움직인 거리 y_i 를 측정할 다음 $y_i = ax_i + b$ 라는 1차 함수에 least square fitting을 적용하여 a 와 b 를 구하였다. 그림 6은 HERO로봇의 구동-주행 특성을 보여주고 있다. 이때 구해진 계수 a 와 b 의 평균값은 각각 1.5727, 0.6499이었는데 이값을 로봇의 동작 명령을 발생하는데 이용하였다.

실험실 환경이므로 실시간 영상신호 처리(real-time processing)가 가능한 투영법(projection method)을 사용하였다. gray영상을 적당한 임계값(threshold value)을 이용하여 binary영상으로 만든 후에 영상 평면의 수평, 수직축으로 투영하여 가이드마크의 중심값을 구하였다. 이 값은 가이드 마크 $\{G_i\}$ 가 로봇 $\{R_j\}$ 의 영상 평면에 mapping된 한 점 (u_{ij}, v_{ij}) 이 된다. 즉,

$$u_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^m i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^m h_i}, v_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^n j \cdot v_j}{\sum_{j=1}^n v_j}$$

가 된다. 이때 h_i 는 수평 투영(horizontal projection)값이고 v_j 는 수직 투영(vertical projection)값이며 m 과 n 은 영상 평면에 해당하는 영상 시스템의 수평, 수직의 총화소수이다.

4.2 실험 결과 및 검토

하나의 카메라가 장착된 이동 로봇의 항법에 대하여 가이드 마크 1개 혹은 2개를 이용한 경우는 로봇의 운동량 정보를 이용하여 현재 위치를 추정하기 때문에 부정확한 값이 추정되었다. 3개의 가이드 마크를 이용한 경우는 로봇의 운동량을 이용하지 않고 world좌표계 {W}에서 절대 위치를 구할 수 있다. 3개 이상의 가이드 마크를 이용한 경우는 이론적으로는 3개의 가이드 마크를 이용한 경우와 같다. 그러나 실질적 문제에서는 여분의 정보이므로 가이드 마크 인식의 부담만 가중된다. 그림 7에 주어진 world map과 계획된 경로를 나타냈다. 계획된 경로는 실험을 간단하게 하기 위해 단순한 경로를 설정했다. 이 경로는 로봇이 어느 곳에 위치하거나 world map상의 절대 위치가 알려져 있는 3개 이상의 가이드 마크가 동시에 관측되어야 한다는 가정을 쉽게 만족시키고 가이드 마크를 카메라 높이와 비슷한 위치에 설치하여 용이하게 찾을 수 있도록 했다. 이러한 가정들은 본 논문의 위치 결정 문제에 본질적으로 영향을 미치지 않는다. 가이드 마크의 위치는 그림 7에서 보듯이 3개를 하나의 장애물에 붙여 추적하기 용이하도록 하였다. 시작점은 (-40, -30)에서 subgoal(-10, 50)를 거쳐 최종 종료점(-80, 50)까지 주행하도록 하였다. 현재의 위치와 방향이 추정되고 차기 위치까지의 motion vector를 발생시킨다. 그런 다음 현재의 진행방향은 motion vector의 방향에 일치되도록 보정된다.

5cm 이동할 때마다 영상을 받아들여 위치를 추정하여 그 궤적을 그림 8에 나타냈다. 본 실험에 사용된 영상 시스템은 영상을 얻는 기능밖에 없기 때문에 영상 처리를 위해서는 영상데이터를 주 컴퓨터로 가져와야 하는 번거로움이 있었다. 영상 시스템이 영상 데이터 처리까지 가능한 시스템으로 대체한다면 많은 시간을 절약할 수 있을 것이다. 한 영상에 대한 영상 데이터 처리 자체는 window 기능을 부가해 1초를 넘지 않았으나 영상 데이터의 전송과 영상을 monitor에 보여주는 시간을 포함해 그림 8에서 보듯이 28 step 만에 최종 goal에 도달하는데 총 4분이 경과했다. Moravec은 영상 촬영후, 영상처리 및 1구간 이동에 5분이 걸렸으나 본 논문에서는 이 과정에 8.6초밖에 소요하지 않았다는 장점이 있다. 다만 Moravec의 단위 이동구간이 1m에 비해 단위 이동구간을 5cm로 작게 잡은 이유는 좁은 실험실 환경하에서의 동작이라는 제한 때문이다.

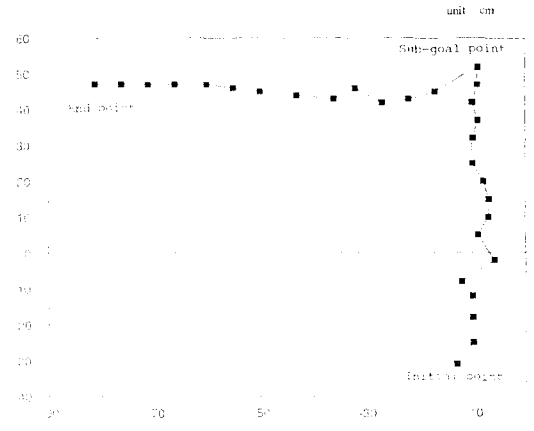


그림 8 이동 로봇의 주행 궤적
Fig. 8 Navigation trajectory of mobile robot

카메라의 한정된 해상도(resolution)로 인해 각 위치 추정 값들은 측면 방향에 대해서는 최대 2[cm], 진행 방향으로 최대 4[cm]의 오차(error)가 추정되었다. 실제 궤적에서 약간의 변동(fluctuation)은 HERO-1 로봇의 본질적인 기계적 구동의 불확실성(uncertain mechanical driving characteristics) 때문이다. 또한 카메라 시스템을 좀더 정확하게 calibration하고 pin-hole 모델보다 정확한 모델을 사용하면 추정된 위치 오차는 밀리미터 단위로 감소할 것이다. 결론적으로 3개의 가이드 마크를 동시에 이용하면, 이동 로봇의 항법에 유용하게 쓸 수 있음을 보여주고 있다.

간단한 가이드 마크를 도입하여 이동 로봇의 주행에 필요한 장애물 인식 및 경로 보정 기능과

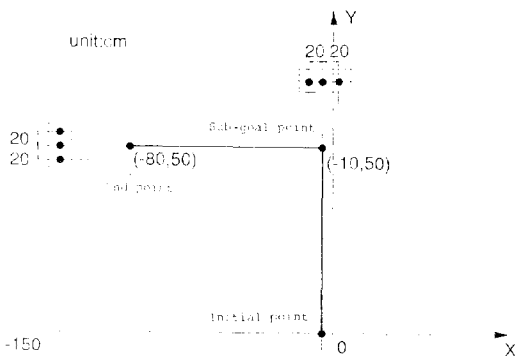


그림 7 world map과 계획된 경로
Fig. 7 World map and the planned path

5. 결론 및 추후 과제

간단한 가이드 마크를 도입하여 이동 로봇의 주행에 필요한 장애물 인식 및 경로 보정 기능과