

<論 文>

레이저거리계를 이용한 자율 주행로봇의 국부 경로계획 알고리즘

차영엽* · 권대갑**
(1994년 3월 19일 접수)

A Local Path Planning Algorithm of Free Ranging Mobile Robot Using a Laser Range Finder

Y. Y. Cha and D. G. Gweon

Key Words : Path Planning (경로계획), Laser Range Finder (레이저거리계), Subgoal Searching (부목표점 탐색), Sub-Subgoal Searching (부-부목표점 탐색), Local Minimum Problem (국부 최소점문제), Robot Vision (로봇비전), Mobile Robot (주행로봇)

Abstract

Considering that the laser range finder has the excellent resolution with respect to angular and distance measurements, a sophisticated local path planning algorithm is achieved by subgoal and sub-subgoal searching methods. The subgoal searching finds the passable ways between obstacles and selects the optimal pathway in order to reduce the moving distance from start point to given to given goal. On the other hand, the sub-subgoal searching corrects the path given in subgoal searching in the case of which the mobile robot will collide with obstacles. Also, the effectiveness of the established local path planning and local minimum avoiding algorithm are estimated by computer simulation and experimentation in complex environment.

기 호 설 명

D_r : 로봇몸체의 직경
 $(E_{attr})_{ij}$: i 번째 부목표점을 선정하기 위한 j 번째 후보점의 attractive 포텐셜
 $I(u, v)$: 2차원 영상함수
 k_i : Attractive 포텐셜을 계산하기 위한 상수 ($i=1, 2, 3$)
 $R(x, y)$: 물체까지의 거리 데이터
 S_i : i 번째 부목표점
 S_{ij} : i 번째 부목표점을 선정하기 위한 j 번째 후보점
 S_w : 스위프영역 (sweep area)의 폭에 대한 안

진 여 부

$SS\bar{i}$: 이미 결정된 부목표점에 의해 주어진 i 번째 부-부목표점
 u : 2차원 영상함수에서 열번호
 $V_{max}(u)$: u 번째 열에서 최대 밝기 (intensity)를 갖는 화소의 행번호
 w_{ij} : i 번째 부목표점을 선정하기 위한 j 번째 후보점 둘레의 장애물 사이의 최소폭
 $\Delta\theta_{ij}$: i 번째 부목표점을 선정하기 위하여 현재 위치를 기준으로 goal과 j 번째 후보점 사이의 각도
 $\Delta\phi_{ij}$: i 번째 부목표점을 선정하기 위하여 $t-1$ 에서 이동로봇의 조향각과 j 번째 후보점 사이의 각도

*원광대학교 기계설계공학과

**정회원, 한국과학기술원 기계공학과

1. 서론

주행로봇이 주위환경에서 스스로 조종되고 지능적인 목표를 달성하기 위해서는 먼저 주위 환경과 여건을 인식할 수 있어야 한다. 이를 위하여 범퍼 스위치, 엔코더, 자이로스코프, 비콘, 초음파, 적외선, 비전, 그리고 레이저센서 등이 사용되는데, 그 중에서 레이저센서는 주로 레이저스팟, 슬릿 그리고 스트라이프를 이용한다. 최근에 Tanaka⁽¹⁾는 거리측정을 위한 고속 샘플링 시스템을 제안하였는데, Yuta⁽²⁾는 평면에 수평한 레이저슬릿과 카메라를 이용하여 영상을 실시간으로 처리하였는데, 이 시스템에서 연속적인 영상처리에 걸리는 시간은 256열을 처리하는데 약 3초가 소요되었다.

다른 한편으로, 이동로봇의 항법을 위한 경로계획(path planning)은 자율 주행로봇의 실현에 있어서 피할 수 없는 문제 중에서 하나이다. 경로계획은 이동로봇이 주어진 목표점(goal)에 도착하기 위해서 그 사이의 경로를 여러 개의 기본 운동형태(basic motion)로 나누는 것이다. 형상공간방법(configuration space method)과 포텐셜방법(potential approach)에 기초한 많은 알고리즘이 이동로봇의 경로계획에 적용되었다. 형상공간방법의 경우, Lozano-Perez⁽³⁾는 V-그래프(visibility graph)에 의한 다각형들로 이루어진 환경에서 로봇을 한점으로 간주한 경로계획 문제를 처음으로 다루었다. 그러나 V-그래프는 로봇의 주위환경 뿐만 아니라 로봇의 크기에도 영향을 받는다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 Noborio⁽⁴⁾는 환경을 quadtree로 모델링하는 효과적인 방법을 제안하였다. 그러나 이러한 quadtree는 주위환경의 근사적인 표현일 뿐만 아니라 설정된 좌표계에 의존한다. 또한, 이러한 형상공간방법은 계산시간을 많이 요구한다.

포텐셜방법의 경우, Adams⁽⁵⁾는 척력(repulsive force)을 감지된 장애물과 상사(identify)시키고, 여기에 목표점 방향으로 인력(attractive force)을 첨가하여 경로생성을 하였다. 따라서 이동로봇은 그들의 합력벡터(resulting vector)의 방향으로 이동을 한다. Borenstein⁽⁶⁾은 환경을 사각형(square)으로 분할하고 각 사각형을 장애물이 될 확률로 결합하였다. 이 확률에 기초하여 artificial 힘을 계산하였다. 그러나 이 artificial 힘의 방향

과 크기는 많은 양의 계산을 요구하는 식을 풀어서 결정되어야 하는 단점이 있다. 그 외에도 퍼지이론과 신경회로망을 이용한 방법⁽⁷⁾과 포텐셜방법에서의 국부 최소점 문제해결을 위하여 비선형 마찰을 이용한 방법⁽⁸⁾ 등이 국내에서 연구되었다.

본 연구에서는 미지환경에서 로봇의 자율 주행을 위한 능동비전 시스템(active vision system)의 하나인 새로운 형태의 레이저거리계(laser range finder)에 기초한 경로계획 알고리즘을 다룬다. 이 레이저거리계는 레이저슬릿 발생기, CCD 카메라, 영상처리부분 그리고 주사장치(scanning mechanism)로 이루어져 있다. 여기서, 주사장치는 레이저슬릿 광선을 상하로 움직이게 할 뿐만 아니라 로봇주위로 회전할 수 있도록 하였다. 이와같은 레이저거리계가 각도와 거리측정에 대한 우수한 분해능을 가지고 있는 것을 고려하여, 정교한 경로계획 알고리즘이 형상공간방법과 포텐셜방법에 기초한 부목표점 탐색(subgoal searching)과 부-부목표점 탐색(sub-subgoal searching) 알고리즘을 이용하여 제안된다. 여기서, 부목표점 탐색은 복잡한 장애물 사이로 통과 가능한 여러개의 통로를 찾고, 이 통로들 중에서 목표점에 가장 빨리 도착할 수 있는 최적경로를 선택하는 것이다. 다른 한편으로, 부-부목표점 탐색은 이미 결정된 부목표점까지의 경로에서 장애물과의 충돌이 있는 경우에 이를 피하기 위하여 경로를 다시 만들고, 또한 그 경로를 유연하게 만든다. 그리고 부목표점과 부-부목표점 탐색에 의한 국부 경로계획 알고리즘에서의 국부 최소점 문제해결을 위하여 이동로봇의 조향각 변화를 이용한 방법도 제안한다. 이동로봇의 실시간항법을 위해 제안된 경로계획 알고리즘의 결과가 복잡한 환경에서 모의실험과 간단한 환경에서의 실제실험을 통하여 보여진다.

2. 레이저거리계

2.1 레이저거리계의 구조

Fig. 1은 주행로봇 "METRO-I"의 상부에 고정된 레이저거리계의 외관을 보여주고 있다. 이 주행로봇의 운동은 3개의 DC 서보모터에 의해서 이루어지는데 그들 중에서 2개는 2개의 바퀴를 독립적으로 구동하고 나머지 1개는 그 바퀴들을 동시에 조향시킨다.

Fig. 2는 레이저거리계의 구조를 보여준다. 전체



Fig. 1 Photograph of mobile robot "METRO-I" with laser range finder

구조는 상부 실린더와 하부 실린더로 구성되는데, 상부 실린더에는 CCD 카메라, 제3 반사경 회전기구 그리고 실린더 형상의 렌즈 세트가 장착되고, 하부 실린더에는 상부 실린더 회전기구가 장착되어 있다. 제1과 제2 반사경은 He-Ne 레이저 광원으로부터 나오는 빔을 직각으로 구부린다. 그 레이저 빔은 실린더 형상의 렌즈 세트에 의해서 슬릿 빔으로 바뀌고, 이 슬릿 빔은 반사경 회전용 모터와 베벨기어에 의하여 회전되는 제3 반사경에 의하여 앞 방향으로 구부러 진다.

다른 한편으로, 물체의 면에서 반사된 레이저 빔은 광학노이즈를 제거하기 위하여 CCD 카메라 앞에 부착된 광학 밴드-패스 필터(optical band-pass filter)를 통하여 CCD 소자에 의해서 검출된다. 여기서 발사되는 슬릿 레이저 빔은 상부 실린더 회전용 모터와 제3 반사경 회전용 모터에 의해서 좌우로 회전하고 상하로도 움직일 수 있다. 이들 각 모터의 원점위치를 지정해 주기 위하여 원점 판이 반사경 회전용 모터와 실린더 회전용 모터 각각에 연결된 베벨기어와 스퍼기어에 고정되어 있다.

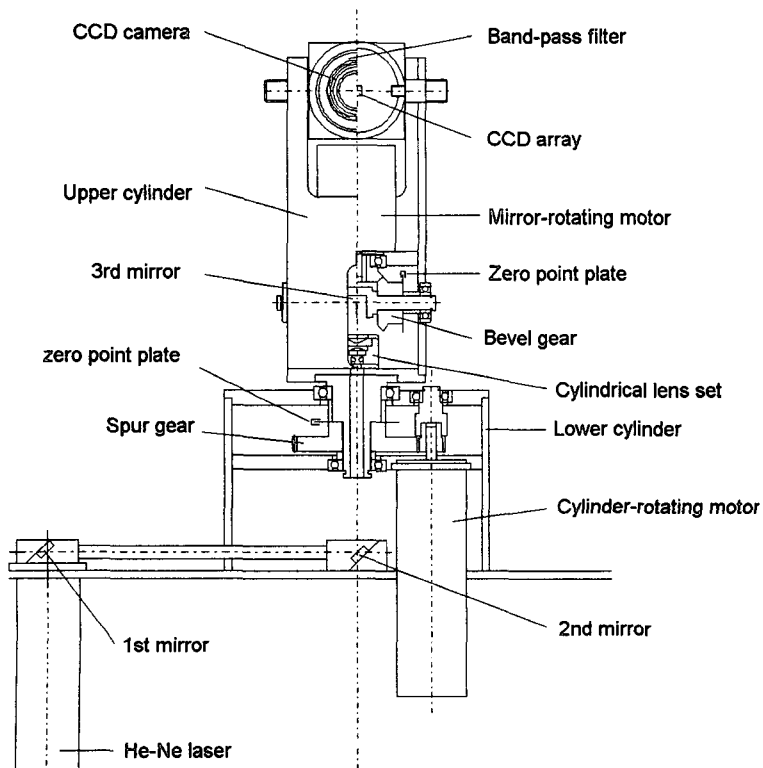


Fig. 2 Structure of laser range finder

2.2 영상처리

우리는 CCD 카메라에 잡혀진 반사된 레이저 빔의 영상으로부터 거리 데이터(range data)를 얻을 수 있다. Fig. 3은 카메라 영상으로부터 거리 데이터를 얻기 위한 순서도를 보여주고 있다. 그 영상 처리는 다음과 같은 다섯 단계로 이루어진다.

- (1) 물체 면에서 반사된 빔으로부터 영상을 받는다.
- (2) 각 화소의 밝기강도(gray-level intensity) $I(u, v)$ 를 읽는다.
- (3) 각 열(column)에서 최대 밝기강도를 가지는 화소를 찾는다. 즉,

$$V_{max}(u) = \text{Max}_v I(u, v) \quad (1)$$

- (4) 인근 화소와의 상대적인 거리시험(distance test)에 따라서 노이즈를 제거한다. 즉,

If $|V_{max}(u) - V_{max}(u-1)| < \epsilon_1$ or
 $|V_{max}(u) - V_{max}(u+1)| < \epsilon_1$ (여기서, ϵ_1 은 주어지는 값)
 then $V_{max}(u)$ survives
 else $V_{max}(u)$ is removed

- (5) 남아있는 화소들에 대해서 삼각법⁽⁹⁾을 적용

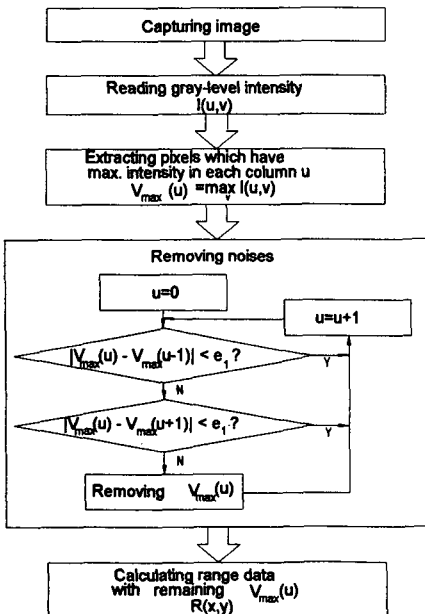


Fig. 3 Flow chart for obtaining range data form camera image

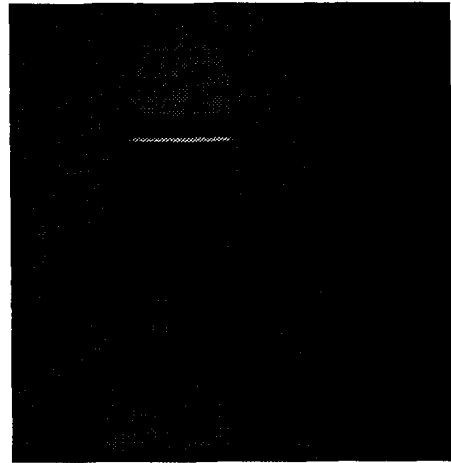


Fig. 4 Object used in experiment

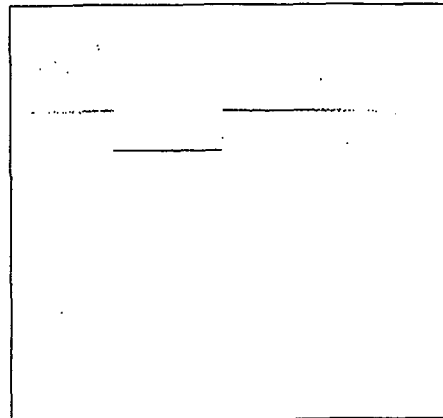


Fig. 5 Result of finding the pixels with maximum intensity in each column

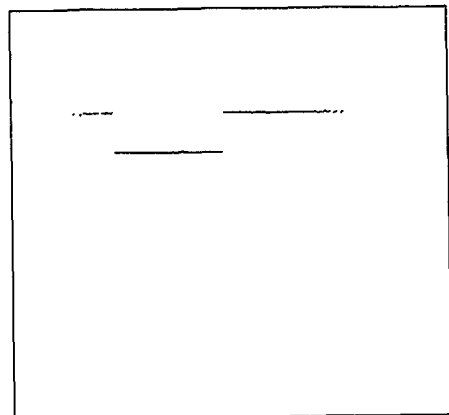


Fig. 6 Image after removing noises

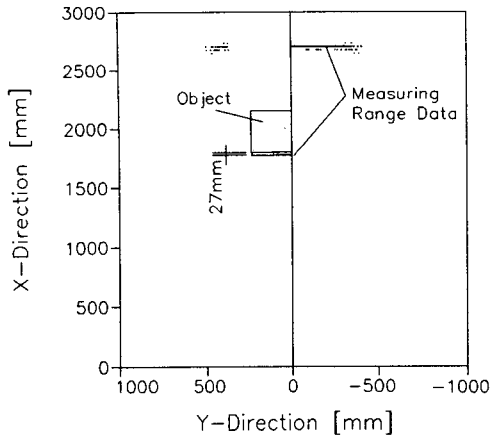


Fig. 7 Range map and measuring error

하여 거리 데이터 $R(x, y)$ 를 계산한다.

Fig. 4는 이 실험에서 사용된 물체를 보여주고 있다. 물체의 표면에서 반사된 레이저 빔은 CCD 카메라에 의해서 다음과 같은 처리가 행해진다. 먼저, 영상의 각 열에서 최대 밝기를 가지는 화소를 찾는데, 그 결과 Fig. 5에서 보여진다. 이 과정에서, 물체에서 반사된 레이저 빔 뿐만 아니라 노이즈도 동시에 나타나게 된다. Fig. 6은 이러한 노이즈를 제거하기 위하여 인근 화소와의 상대적인 거리시험에 의한 노이즈 제거 결과를 보여준다. Fig. 7은 노이즈를 제거하고 살아남은 화소에 대하여 삼각법으로 계산된 물체의 거리정보를 보여주고 있다. $X=1800$ mm에 놓여진 물체의 최대 측정오차가 27 mm이므로, 이동로봇의 경로계획을 위한 거리 데이터로서는 충분한 측정 정밀도를 가지고 있다. (실제 주로 사용되는 초음파센서와 비교해서) 즉 이 결과에서 보면 상자의 실제 위치와 비교해서, 제안된 레이저거리계가 좋은 측정 정밀도를 가지는 것을 알 수 있다. 또한 256열(column)의 한 영상프레임(image frame)을 처리하는데 약 1초의 시간이 걸렸다.

3. 국부 경로계획 알고리즘

3.1 부목표점 탐색

이동로봇의 항법을 위한 경로계획은 자율 주행로봇의 실험에 있어 피할 수 없는 문제중의 하나이다. 경로계획은 사용자로부터 주어진 목표점에 이동로봇의 도착하기 위해서 그 사이의 경로를 여러

개의 기본 운동형태로 나누는 것이다. 그리고 이러한 경로계획은 크게 전역(global) 경로계획과 국부(local) 경로계획으로 나뉘어진다. 전자는 전체 환경의 내부모델을 필요로 하고, 목표점까지의 개략적인 경로를 결정한다. 후자는 전역 경로계획에서 만들어진 개략적인 경로를 기준으로 국부 환경인식에 의한 이동로봇의 거동을 재 지정해 주는 역할을 한다. 여기서는 앞에서 거론한 레이저거리계가 각도와 거리측정에 대한 우수한 분해능을 가지고 있는 것을 고려하여, 형상공간방법과 토포설방법에 기초한 부목표점과 부-부목표점 탐색방법에 의한 정교한 국부 경로계획 알고리즘을 다룬다.

먼저 부목표점 탐색은 로봇의 현재 위치에서 장애물 사이에 있는 여러 개의 통로를 찾고, 이 통로들 중에서 목표점에 가장 빨리 도착할 수 있는 최적 경로를 선택하는 것이다. 제안된 레이저거리계의 최대 시야각(maximum view angle)은 약 60° 인데, 이는 레이저슬릿 발생장치의 하드웨어적인 제한과 광각 CCD 카메라 채움에 따른 분해능의 감소에 기인한다. 레이저거리계의 부목표점 탐색영역은 이동로봇의 현재 위치를 원점으로 하는 반경 3m인 원에서 목표점 방향을 중심으로 $\pm 90^\circ$ 인 반원의 내부로 제한 된다. 따라서 부목표점 탐색은 목표점 방향을 중심으로 3번의 주사(scanning)에 의해서 이루어진다. Fig. 8은 부목표점 탐색의 예를 보여준다. 여기서, 부목표점 탐색영역은 3개의 주사구역으로 나뉘어져 있다(제1, 제2 그리고 제3 주사구역). 앞 절에서 거론된 방법에 의해서, 각 구역에 대한 장애물의 거리정보를 얻을 수 있다. 이 거리정보를 이용하여, 장애물 사이의 로봇이 통과할 수 있는 부목표점의 후보점을 장애물 사이의 통로에서 찾을 수 있다. 이들 후보점은 통로의 최소폭과 로봇의 접근 가능성에 따라서 결정되고, 이들 각각의

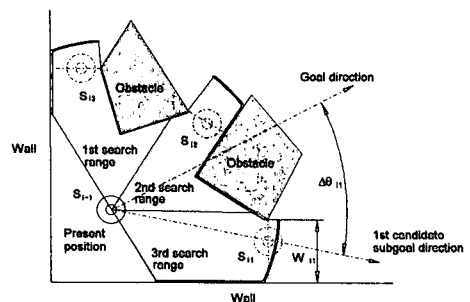


Fig. 8 Subgoal searching example

후보점은 각 장애물 사이의 최소폭을 연결한 선 위의 한점에 놓인다. Fig. 8에서 i 번째 부 목표점의 후보점들은 S_{i1} , S_{i2} 그리고 S_{i3} 이다. i 번째의 최적 부목표점 S_i 를 선택하기 위해서, j 번째 후보점의 attractive 포텐셜 (E_{attr}) $_{ij}$ 은 다음과 같이 제안된다.

$$(E_{attr})_{ij} = k_1 \frac{1}{\Delta\theta_{ij}} + k_2 w_{ij} + k_3 \frac{1}{\Delta\psi_{ij}} \quad (2)$$

여기서, $\Delta\theta_{ij}$ 는 로봇의 현재위치 S_{i-1} 을 기준으로 목표점과 j 번째 부목표점 후보 사이의 각도이고, w_{ij} 는 j 번째 부목표점 후보 둘레에 있는 장애물 사이의 최소폭이며, $\Delta\psi_{ij}$ 는 그림에는 나와 있지 않지만 시간 $x-1$ 에서 이동로봇의 조향각과 j 번째 부목표점 후보 사이의 각도이다. 또한 k_1 , k_2 그리고 각각의 가중치 상수이다(여기서는 가중치 값의 비교를 위하여 $k_1 + k_2 + k_3 = 1$ 로 하였다). 따라서 S_{i1} , S_{i2} 그리고 S_{i3} 와 같은 부목표점 후보 중에서 최대 attractive 포텐셜을 갖는 i 번째 최적 부목표점 S_i 는 다음과 같이 얻어진다.

$$S_i = \text{Max}_j (E_{attr})_{ij} \quad (3)$$

물론, 목표점 방향으로의 레이저 탐색영역 내에 장애물이 없는 경우에는, 현재 로봇 위치에서 목표점 방향으로 일정 거리만큼 떨어진 한점에 부목표점이 놓인다.

3.2 부-부목표점 탐색

다른 한편으로, 부-부목표점 탐색은 이미 부목표점 탐색에서 결정된 부목표점까지의 경로에서 장애물과의 충돌이 발생하는 경우 이를 피하기 위하여 경로를 다시 만들고, 또한 그것을 유연하게 만든다. 부-부목표점 탐색은 이미 결정된 부목표점 방향 주위로 단 한번의 주사(scanning)에 의해서 이루어진다. Fig. 9는 부-부목표점 탐색의 한 예를 보여준다. 여기서, 이동로봇이 현재위치 S_{i-1} 로부터 부 목표점 S_i 까지의 경로를 따라서 움직인다면 장애물과 충돌하게 된다. 이를 부목표점 탐색 알고리즘에서 로봇이 접근 가능한 통로의 유무를 확인하고 목표점에 가장 빨리 도착할 수 있는 통로를 선택할 뿐, 그 경로상의 장애물과 충돌이 일어나지 않는 것은 보장해 주지 않기 때문이다. 따라서 미리 결정된 부목표점으로 향하는 경로 위의 부-부 SS_j 의 위치는 이동로봇의 현재위치 S_{i-1} 와 이미 결정된 부목표점 S_i 를 연결한 선위에서 충돌 장애물과 가장 인접한 점에서의 수직선 위에서 결정되고,

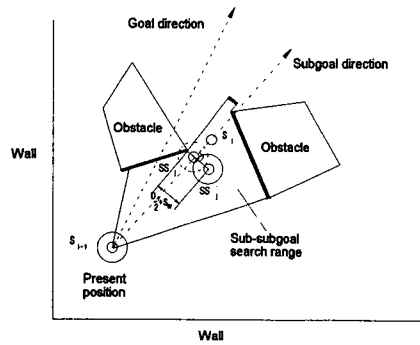


Fig. 9 Sub-subgoal searching example

충돌 장애물로부터 $\frac{D_r}{2} + S_w$ 만큼 떨어진 곳에 위치한다. 여기서, D_r 은 로봇몸체의 직경이고, S_w 는 안전여유이다.

3.3 국부 최소점 문제

척력을 감지된 장애물과 상사시키고 여기에 목표점 방향으로 인력을 벡터적으로 더해서, 이 벡터의 크기가 이동로봇의 전진속도가 있고, 그 방향이 조향각이 되는 포텐셜방법은 힘의 합력의 0이 되는 곳에서 이동로봇이 움직이지 못하는 국부 최소점 문제를 가지고 있다. 포텐셜방법과 마찬가지로 본 연구의 부목표점 부-부목표점 탐색에 의한 국부 경로계획 알고리즘도 이와는 성격이 약간 다르지만 국부적으로 오목한 환경에서 국부 최소점 문제를 가진다.

이러한 국부 최소점 문제에 대한 해결방법으로서 이전에도 많은 연구가 이루어졌다. 그중 하나는 이동로봇의 움직임에 관심을 주어서 주변의 포텐셜 언덕이 높지 않은 곳을 통과할 수 있도록 하는 방법인데 이는 포텐셜 언덕이 큰 경우에 이를 해결할 수 없는 단점이 있다. 또 다른 방법은 국부 최소점이 존재하지 않는 포텐셜 계를 이용하는 방법인데, 이 알고리즘은 전역 경로계획(global path planning)에 적합한 것이므로 국부 환경의 변화에 적절히 대응할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

부목표점과 부-부목표점 탐색에 의한 국부 경로 계획 알고리즘에서의 국부 최소점 문제해결을 위하여 이동로봇의 조향각 변화를 이용한 다음과 같은 방법을 제안한다. 이동로봇의 현재 위치와 목표점을 연결한 조향각이 +, -, +로 변화하거나 -, +, -로 변화하면 이는 국부 최소점에 빠진것을 의미한다. 이를 피하기 위하여 이동로봇의 조향각을 계속 저장하여 위와같이 부호변화가 반복되는

곳에서는 부호가 변하지 않는 한 방향을 선택하여 이동하면 국부 최소점에서 이동로봇이 빠져나오지 못하는 문제를 해결할 수 있다.

4. 실험결과

Fig. 10(a)는 부목표점 탐색 알고리즘만을 고려한 경우에 이동로봇의 경로를 보여주고 있다. 이 모의실험에서는 가로 15m 세로 11m의 가상 실내 환경 내에 여러개의 장애물이 놓여져 있고, 또한 두 종류의 센서 데이터가 얻어진다고 가정하였다. 그들 중에서 하나는 로봇의 위치추정을 위한 것이고, 다른 하나는 장애물을 피하기 위하여 국부적인 로봇 주위의 환경을 인식하기 위한 것이다. 전자의 센서로는 바퀴 회전용 엔코더가 사용되고, 후자의 센서로는 앞절에서 거론한 레이저거리계가 사용된다고 가정하였다. 이 모의실험에서 레이저거리계로부터 거리 데이터를 읽어서 부목표점과 부-부목표

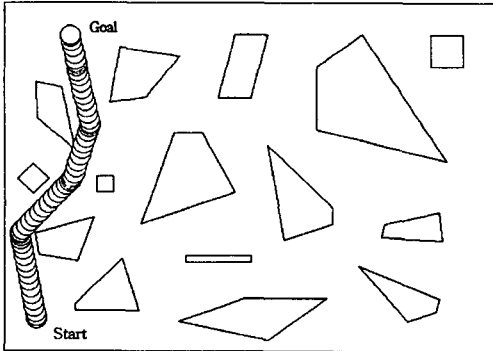


Fig. 10(a) Navigation result considering only subgoal searching algorithm

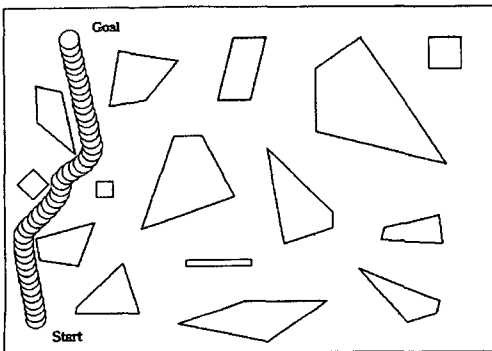


Fig. 10 (b) Navigation result considering subgoal and sub-subgoal searching algorithms simultaneously

점 탐색이 이루어지는 한 주기 시간(cycle time)은 3초이고, 레이저거리계의 주사범위는 반경 3m로 고정하였다. 이 모의실험 결과는 매 1sec마다 이동로봇의 경로를 원으로 표시한 것이다. 또한 attractive 포텐셜을 계산하기 위한 각각의 가중치 상수는 $k_1=0.4$, $k_2=0.2$ 그리고 $k_3=0.4$ 로 하였다. Fig. 10(a)에서 로봇은 완전한 장애물 회피를 하지 못하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 부목표점 탐색 알고리즘이 접근 가능한 통로들을 찾고, 이들 중에서 최적의 통로를 결정하는 것만 하기 때문이다. 이와같이 접근 가능한 통로로 향하는 경로가 장애물과 충돌할 때 이미 결정된 부목표점까지의 경로를 새로 만들어 주어야 하는데, 부-부목표점 탐색 알고리즘에 의해서 이루어진다. Fig. 10(b)는 부목표점과 부-부목표점 탐색 알고리즘을 동시에 적용한 이동로봇의 항법결과를 보여준다. 여기서 로봇은 복잡한 장애물들을 유연하고 완전하게 빠져 나가서 주어진 목표점에 도착하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 11은 역시 부목표점과 부-부목표점 탐색 알고리즘을 고려한 또 다른 환경(가로 10m, 세로 10m)에서의 이동로봇의 항법 결과를 보여주고 있다. 여기서 이동로봇은 좁은 통로, 넓은 통로, 접근 불가능한 통로 그리고 여러개의 부목표점 후보를 가지는 경우의 복잡한 환경에서 목표점에 성공적으로 도달하는 것을 알 수 있다. Fig. 12(a)는 국부 최소점 해결 알고리즘을 고려하기 전의 모의

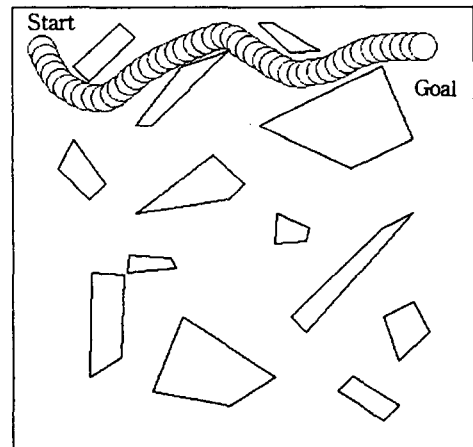


Fig. 11 Navigation result considering subgoal and sub-subgoal searching algorithms in another environment

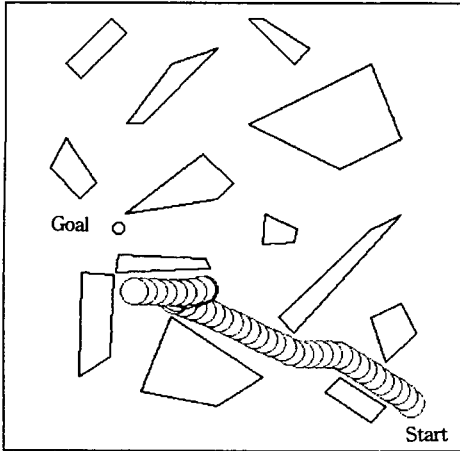


Fig. 12(a) Navigation result before considering the local minimum avoiding algorithm

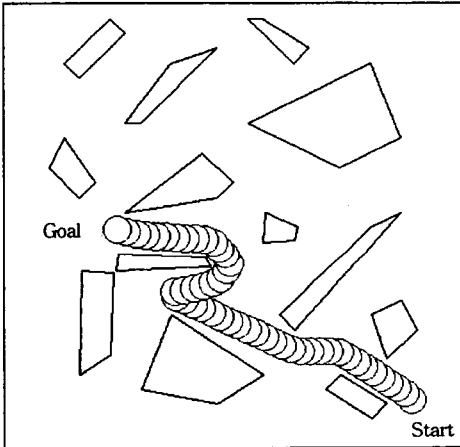


Fig. 12 (b) Navigation result after considering the local minimum avoiding algorithm

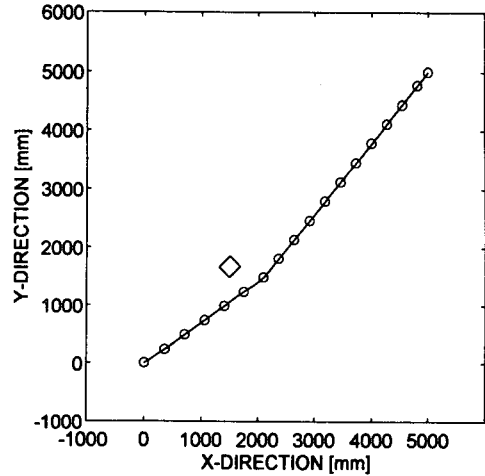


Fig. 13 Real navigation result

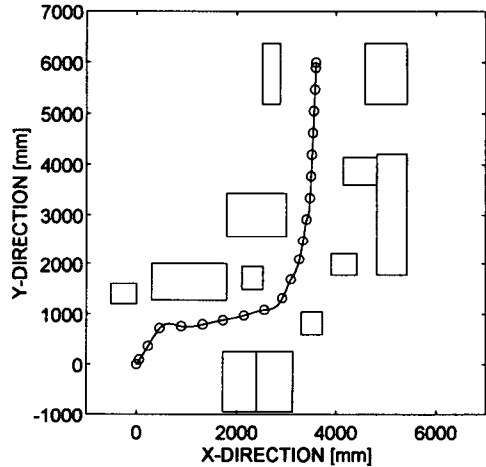


Fig. 14 Real navigation result in our laboratory

실험 결과인데, 여기서 보면 이동로봇이 국부 최소점에 빠져서 헤어나지 못하는 것을 보여주고 있다. Fig. 12(b)는 그 알고리즘을 고려한 후의 결과로서 국부 최소점을 잘 빠져 나오는 것을 보여주고 있다. Fig. 13은 간단한 환경에서 실제 이동로봇의 항법결과를 보여주고 있다. 이동로봇의 초기위치는 (0, 0)mm 이고, 목표위치는 (5000, 5000)mm 일때 주행경로 위에 한개의 장애물(가로 225 mm, 세로 315 mm) 있는 경우는 실험결과이다. Fig. 14는 여러가지 실험대와 상자들로 이루어진 본 실험실 내에서의 실제 주행결과를 보여주고 있다. 위 두가지의 실험결과에서와 같이 부목표점과 부-부목표점 탐색에 의한 이동로봇의 국부 경로계획 알고리즘이 모의실험 뿐만 아니라 실제실험에서도 유용함을 입

증하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 개발된 레이저거리계가 각도와 거리측정에 대한 우수한 분해능을 가지고 있는 것을 고려하여, 정교한 경로계획 알고리즘이 형상공간방법과 포텐셜방법에 기초한 부목표점과 부-부목표점 탐색 알고리즘을 이용하여 제한되었다. 여기서, 부목표점 탐색 알고리즘에서는 이동로봇이 통과 가능한 여러개의 통로를 찾고, 이 통로들 중에서 최적 통로를 선택하였다. 다른 한편으로, 부-부목표점 탐색 알고리즘에서는 이미 결정된 부목표점까지의 경로에서 장애물과의 충돌이 일어나는 경우에 이를

피하기 위해서 경로를 다시 만들고, 또한 이를 유연하게 하였다. 그리고 부목표점과 부-부목표점 탐색에 의한 국부 경로계획 알고리즘에서의 국부 최소점 문제해결을 위하여 이동로봇의 조향각 변화를 이용한 방법도 제안되었다. 이동로봇의 실시간항법을 위한 제안된 경로계획 알고리즘의 결과가 복잡한 환경에서 모의실험과 실제실험을 통하여 보여졌다.

참고문헌

- (1) Tanaka, Y., etc., 1991, "High-Speed Processing for Obtaining Three-Dimensional Distance Image and Its Application," *IEEE/RSJ Intern. Workshop on Intelligent Robots and Systems IROS '91*, Nov. 3~5, pp. 365~370.
- (2) Yuta, S., etc., 1991, "Implimentation of An Active Optical Range Sensor Using Laser Slit for In-Door Intelligent Mobile Robot," *IEEE/RSJ Intern. Workshop on Intelligent Robots and Systems IROS '91*, Nov. 3~5, pp. 415~420.
- (3) Lozano-perez, T. and Wesley, M. A., 1979, "An Algorithm for Planning Collision-Free Paths Among Polyhedral Obstacles," *Commun. ACM*, pp. 560~570.
- (4) Noborio, H., Naniwa, T. and Arimoto, S., 1988, "A Fast Path Planning Algorithm by Synchronizing Modification and Search of Its Path-Graph," *Proc. IEEE Intern. Workshop on Artificial Intelligent for Industrial Application*, pp. 351~357.
- (5) Adams, M. D. and Probert, P. J., 1990, "Towards a Real-Time Navigation Strategy for a Mobile Robot," *Proc. of the IEEE Intern Workshop on Intelligent Robots and Systems*, pp. 743~748.
- (6) Borenstein, J. and Koren, Y., 1991, "The Vector Field Histogram-Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, No. 3, pp. 278~298.
- (7) Beom, H. R. and Cho, H. S., 1992, "A Sensor Based Obstacle Avoidance Controller for a Mobile Robot Using Fuzzy Logic and Neural Network," in *Proc Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, pp. 1470~1475.
- (8) 최창규, 이주장, 박왕서, 1994, "이동로봇의 국부 최소점 문제해결을 위한 비선형 마찰을 이용한 경로계획," '94 로보틱스 및 자동화연구회 Workshop 논문집, pp. 58~67.
- (9) 차영엽, 권대갑, 1993, "자율 주행로봇을 위한 Laser Range Finder," 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 266~270.