

경험적 방법에 기초한 무인 반송차의 항법 알고리즘

차 영 업*, 권 대 갑**

A Heuristic Based Navigation Algorithm for Autonomous Guided Vehicle

Y. Y. Cha*, D. G. Gweon**

ABSTRACT

A path planning algorithm using a laser range finder are presented for real-time navigation of an autonomous guided vehicle. 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 using the human's heuristic method. In the case of which the man knows not the path, but the goal direction, the man forwards to the goal direction, avoids obstacle if it appears, and selects the best pathway when there are multi-passable ways between objects. These heuristic principles are applied to the path decision of autonomous guided vehicle such as forward open, side open and no way. Also, the effectiveness of the established path planning algorithm is estimated by computer simulation in complex environment.

Key Words : Local Path Planning (국부경로계획), Navigation (항법), Heuristic method (경험적 방법), Laser Range Finder (레이저 거리계), Autonomous Guided Vehicle (무인 반송차)

기호설명

- | | | | |
|--------------------|--|------------|-----------------------------------|
| $(E_{atr})_{ij}$: | i번째 Step에서 다수의 우회통로가 있는 경우에 최적일 수 있는 통로를 선택하기 위한 j 번째 통로 후보점의 Attractive 포텐셜 | 1, 2, 3) | |
| D_r : | 무인반송차 몸체의 직경 | $R(x,y)$: | 물체까지의 거리 데이터 |
| k_i : | Attractive 포텐셜을 계산하기 위한 상수 (i= | S_i : | i번째 step에서 통과 해야할 우회통로의 중심점 |
| | | S'_i : | 수정된 우회통로 위치 |
| | | S''_j : | i번째 step에서 통과 할 수 있는 j번째 우회통로 후보점 |

* 한국과학기술원 정밀공학과

** 한국과학기술원 정밀공학과 정회원

- S_w : 스위프 영역(sweep area)의 폭에 대한 안전 여유
- w_{ij} : i번째 최적이 될 수 있는 통로를 선택하기 위한 j번째 우회통로 후보점 둘레의 장애물 사이에 있는 통로의 최소폭
- $\Delta\theta_{ij}$: i번째 최적이 될 수 있는 통로를 선택하기 위해 현재위치를 기준으로 목표점과 j번째 우회통로 후보점 사이의 각도
- $\Delta\psi_{ij}$: i번째 최적이 될 수 있는 통로를 선택하기 위해 이전 step 에서 무인반송차의 전진방향과 j번째 우회통로 후보점 사이의 각도

1. 서 론

자율 주행형(free-ranging type) 무인반송차(automated guided vehicle:AGV:이동로봇)의 항법을 위한 경로계획(path planning)은 그것의 실현에 있어서 피할 수 없는 문제 중 하나이다.^[1,2,3,4,5] 경로계획은 무인반송차가 목표점에 도착하기 위해서 그 사이의 경로를 여러개의 기본 운동형태(basic motion)로 나누는 것이다. 형상공간 방법(configuration space method)과 포텐셜 방법(potential approach)에 기초한 많은 알고리즘이 무인반송차의 경로계획에 적용되었다. 형상공간 방법의 경우, Lozano-Perez^[1]는 V-그래프(visibility graph)에 의한 다각형들로 이루어진 환경에서 이동로봇을 한점으로 간주한 경로문제를 처음으로 다루었다. 그러나 이러한 V-그래프는 이동로봇의 주위환경 뿐만 아니라 그 크기에도 영향을 받는다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 Noborio^[2]는 환경을 quadtree로 모델링 하는 효과적인 방법을 제안 하였다. 그러나 이러한 quadtree는 주위환경의 근사적인 표현일 뿐만 아니라 설정된 좌표계에 의존한다. 또한, 이러한 형상공간 방법은 계산시간을 많이 요구한다. 다른 한편으로 포텐셜 방법의 경우, Adams^[3]는 반력(repulsive force)을 감지된 장애물과 상사(identify)시키고, 여기에 목표점 쪽으로 인력(attractive force)을 첨가하여 경로생성을 하였다. 따라서 이동로봇은 그들의 합력벡터(resulting vector)의 방향으로 운동을 한다. Borenstein^[4]은 반력과 인력의 합력벡터 뿐만 아니라, 환경을 사각형으로 분할하고 각 사각형을 장애물로 판단될 확률(probability)로 결합하였다. 이 확률에 기초하여, artificial 힘을 계산하였다. 그러나 이

artificial 힘의 방향과 크기는 실시간으로 구현하였지만, 실제로 인간이 장애물을 피해서 목표점에 도달하는 경험적 방식과는 큰 차이가 있다.

본 연구에서는 미지환경에서 무인반송차^[6,7]의 자율주행을 위한 능동 비전 시스템(active vision system)의 하나인 새로운 형태의 레이저 거리계(laser range finder)^[8,9]를 사용하여 인간의 경험적 방법에 기초한 무인반송차의 국부 경로계획 알고리즘을 다룬다. 이 레이저 거리계는 레이저 슬릿이 상하 뿐만 아니라 좌우로도 회전될 수 있는 진방향형이다. 이미 개발된 레이저 거리계가 각도와 거리측정에 대한 우수한 분해능을 가지고 있는 것을 고려하여, 정교한 국부 경로계획 알고리즘이 형상공간 방법과 포텐셜 발법에 기초하여 제안된다. 제안되는 무인반송차의 국부 경로계획 알고리즘은 사람이 새로운 도시를 여행할 때나 또는 한번도 가보지 않은 지역에서 목표점의 방향만 알고 그 행로에 대한 자세한 정보가 없을때, 목표점 방향으로 계속 접근하면서 나타나는 장애물을 피하고 여러개의 통로가 장애물 사이에 존재하는 경우 가장 빠르게 목표점에 도착할 가능성이 있는 통로를 선택하는 인간의 경험적 방법을 이용한다. 무인반송차가 레이저 탐색(laser searching)으로 부터 얻은 국부적인 거리 정보를 가지고 주위의 환경과 여건을 인식하고 인간의 경험적 방법에 기초한 지식 베이스(knowledge base)에 의하여 직진, 우회 또는 통로 없음과 같은 결정을 하여 목표점에 도착하도록 한다. 또한 무인반송차의 실시간 항법을 위해 제안된 경로계획 알고리즘의 결과가 복잡한 환경에서 모의실험을 통하여 보여진다.

2. 무인반송차와 레이저 거리계

2.1 무인반송차의 구조

Fig. 1은 한국과학기술원(KAIST) MECHATRONICS 연구실에서 개발한 자율 무인반송차 "METRO-I"과 그 상부에 고정된 레이저 거리계(laser range finder)의 외관을 보여주고 있다.^[6,7] 이 무인반송차의 운동은 3개의 DC 서보모터에 의해서 이루어지는데 그들 중에서 2개 모터는 좌우 2개의 바퀴를 독립적으로 구동하고 나머지 1개 모터는 그 바퀴들을 동시에 조향시킨다. Fig. 2는 이러한 무인반송차의 구조를 보여주고 있다. 따라서 이러한 무인반송차는 서로 독립된 좌우의 구동바퀴(driving wheel)에 의해 이동하고 그

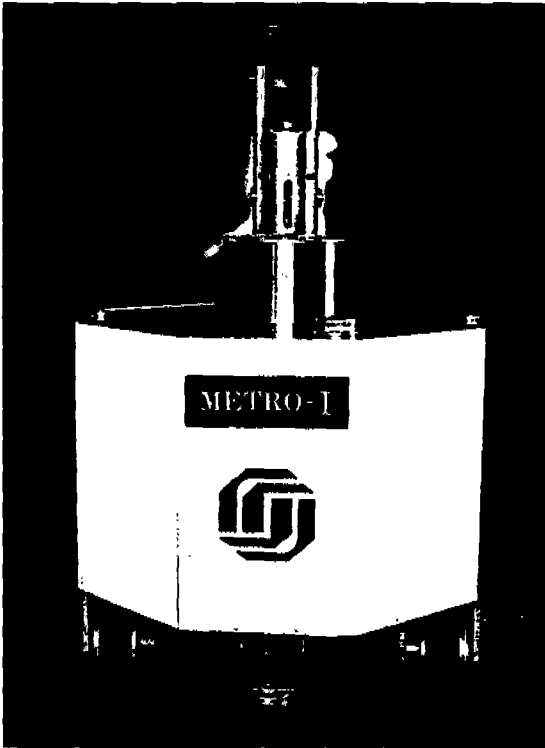


Fig. 1 Photograph of mobile robot "METRO-1" with laser range finder

속도차에 의해 몸체가 회전하는 기존의 AGV(Automated Guided Vehicle)운동과 2개의 구동바퀴를 같은 회전속도로 구동하고 동시에 조향(steering)시킴으로서 몸체가 항상 일정한 방향만 향하도록 하는 운동이 가능하다. 이와같은 무인반송차는 일반 AGV 운동 외에 구동바퀴의 조향기능을 하나 더 가지고 있기 때문에 몸체 회전없이 자유로운 평면운동이 가능하므로 좁은 통로 등에서 초음파 또는 적외선 센서와 같은 항범용 센서의 절대위치 변화없이 이동할 수 있는 장점이 있다.

2.2 레이저 거리계의 구조

Fig. 3은 이 레이저 거리계의 구조를 보여준다^[8,9]. 전체 구조는 상부 실린더와 하부실린더로 구성되는데, 상부 실린더에는 CCD 카메라, 제3 반사경 회전기구 그리고 실린더 형상의 렌즈 세트(lens set)가 장착되고, 하부 실린더에는 상부 실린더 회전 기구가 장착되어 있다. 제1, 제2 반사경은 He-Ne 레이저 광원으로 부터 나오는 빔(beam)을 직각으로 구부린다. 그 레이저 빔은 실린더 형상의 렌즈 세트에 의해서 슬릿 slit) 빔으로 바뀌고, 이 슬릿 빔은 제3 반사경 회전용 모터와 베벨기어에 의하여 회전되는 제3 반사경에 의하여 앞방향으로 구부러 진다.

다른 한편으로, 물체(object:obstacle)의 면에서 반

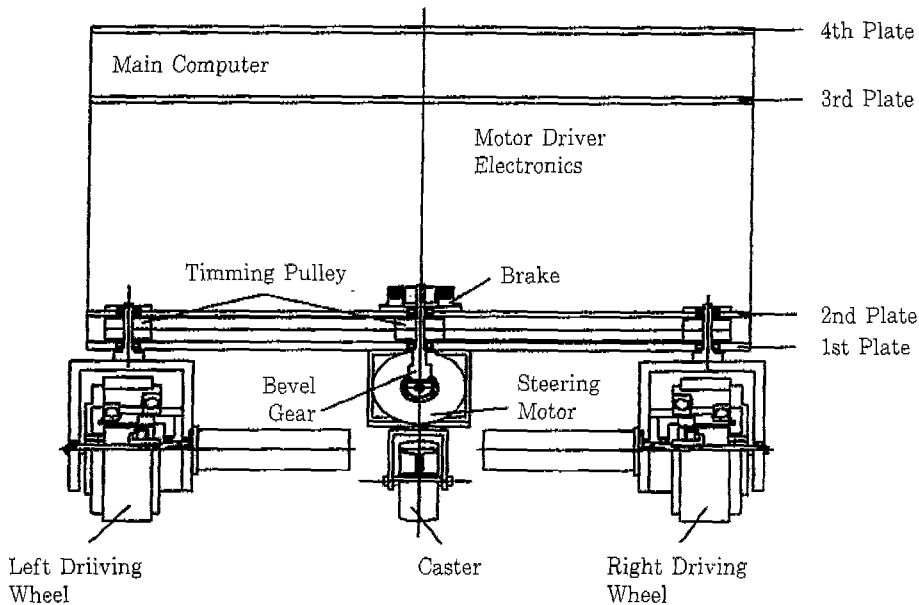


Fig. 2 Structure of mobile robot

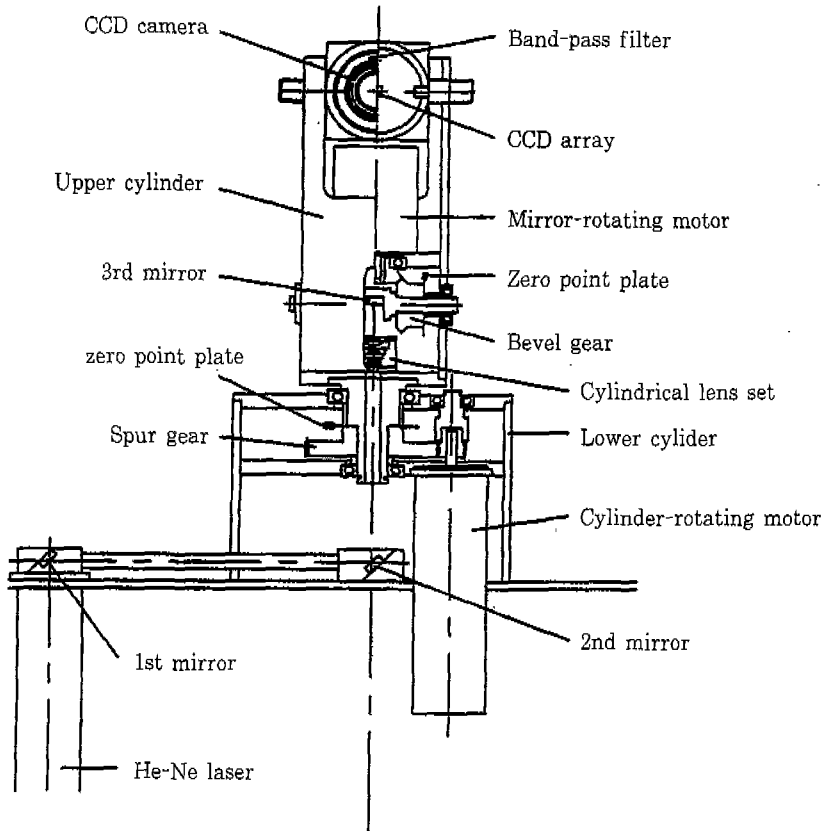


Fig. 3 Structure of laser range finder

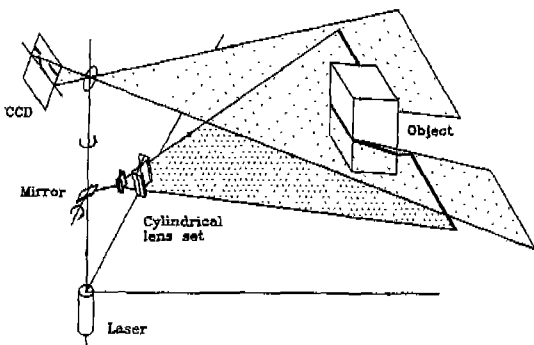


Fig. 4 Ranging principle of laser range finder

사된 레이저 빔은 광학 노이즈를 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 회전되고 상하로도 움직일 수 있다. 이들 각 모터의 원점 위치를 지정해 주기 위하여 원점 판(zero-point plate)이 제3 반사경 회전용 모터와 상부 실린더 회전용 모터 각각에 연결된 베벨기어와 스퍼기어에 고정되어 있다. Fig. 4는 이 레이저 거리계의 거리 측정 원리(ranging principle)를 보여주고 있다.

2.3 레이저 탐색과 거리 데이터

제안된 레이저 거리계의 최대 시야각(maximum

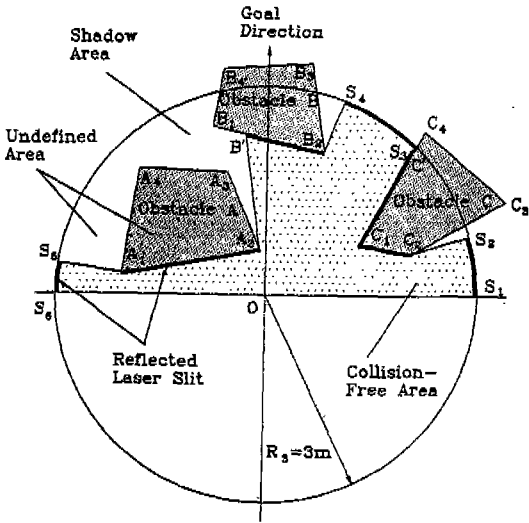


Fig. 5 Searching area of laser range finder

view angle)은 약 60° 인데, 이는 레이저 슬릿 발생 장치의 하드웨어적인 제한과 광각 CCD 카메라 채용에 따른 분해능의 감소에 기인한다. 따라서 레이저 탐색(laser searching)은 목표점 방향을 중심으로 $\pm 90^\circ$, 즉 180° 영역을 탐색하기 위해서는 3번의 주사(scanning)가 필요하다. 그리고 각 주사 영역의 거리정보는 삼각법에 의해서 얻을수 있다. Fig. 5는 레이저 거리계의 탐색영역을 보여준다. 레이저 거리계의 탐색영역은 무인반송차의 현재위치 O를 원점으로 하는 반경 R_s ($= 3m$)인 원에서 목표점 방향을 중심으로 $\pm 90^\circ$ 인 반원의 내부로 제한 된다. 그림에서 탐색영역 내에 3개의 장애물(obstacle) A, B 그리고 C가 놓여져 있고 각 장애물의 꼭지점은 아래 첨자로 표시되어 있다(예로서, 장애물 A의 경우 각 꼭지점은 A_1, A_2, A_3, A_4 로 이루어져 있다). 특히 작업영역의 바닥면에서. 반사되는 레이저 슬릿 중에서 점 S_3 는 장애물 C의 한면인 $\overline{C_1C_4}$ 위의 한점 C' 와 일치한다. 거리정보를 얻을 수 있는, 즉 레이저 슬릿이 반사되는, 면은 장애물의 결면 ($\overline{A_1A_2}, \overline{B_2B_3}, \overline{C_1C_2}, \overline{C_1C}$)과 작업영역의 바닥면 ($\overline{S_1S_2}, \overline{S_3S_4}, \overline{S_5S_6}$)이 된다. 이들 구간 사이에 레이저 슬릿의 불연속 구간($\overline{A_1S_5}, \overline{A_2B}, \overline{B_2S_4}, \overline{C_2S_2}$)이 존재한다. 이 불연속 구간들은 장애물과 또 다른 장애물, 또는 장애물과 바닥면 사이에 무인반송차가 통과 가능한 통로가 있을 수 있음을 암시한다. 따라서 무인반송차가

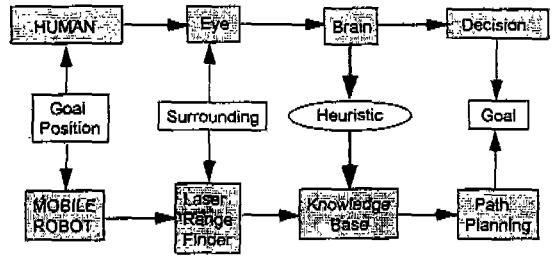


Fig. 6 Construction of knowledge base of mobile robot from human's heuristic

통과할 수 있는 구간은 레이저 슬릿이 바닥면 위에서 반사되는 영역과 불연속 구간으로 제한 되는데, 특히 불연속 구간은 무인반송차의 진행에 따른 레이저 거리계의 탐색위치 변화에 따라 통과 가능 또는 불가능한 통로로 확인된다.

따라서 레이저 거리계의 탐색영역은 무인반송차가 접근할 수 있는 자유영역(collision-free area)과 충돌이 야기될 가능성이 있는 비 확정영역(undefined area)으로 나눌 수 있는데, 이들 영역사이의 경계는 물체에서 반사되는 레이저 슬릿면 구간과 불연속 구간이 된다. 또한 비 확정영역은, 현재 무인반송차의 위치에서는 구분할 수 없지만, 장애물에 의해서 점유된 장애물영역(obstacle area)과 이들 장애물에 의해서 가려진 그림자 영역(shadow area)으로 나눌 수 있다. 이와같이 얻어진 장애물의 연속적인 거리 데이터와 통로의 유무에 대한 정보는 다음 절에서 거론할 경험적 방법에 의한 국부 경로계획 알고리즘에서 사용된다.

3. 경험적 국부 경로계획 알고리즘

3.1 경험적 국부 경로계획

무인반송차의 항법(navigation)을 위한 경로계획은 그것의 실현에 있어 중요한 문제 중의 하나이다. 이러한 경로계획은 크게 전역 경로계획(global path planning)과 국부 경로계획(local path planning)으로 나뉘어 지는데, 전자는 전체 환경의 내부모델을 이용하여 목표점까지의 개략적인 경로를 결정하며, 후자는 이미 결정된 개략적인 경로를 기준으로 국부 환경인식에 의한 무인반송차의 거동을 재 지정 해주는 역할을 한다. 여기서는 앞에서 거론한 레이저 거리계가 각도와 거리측정에 대한 우수한 분해능을 가지고 있는 것을 고

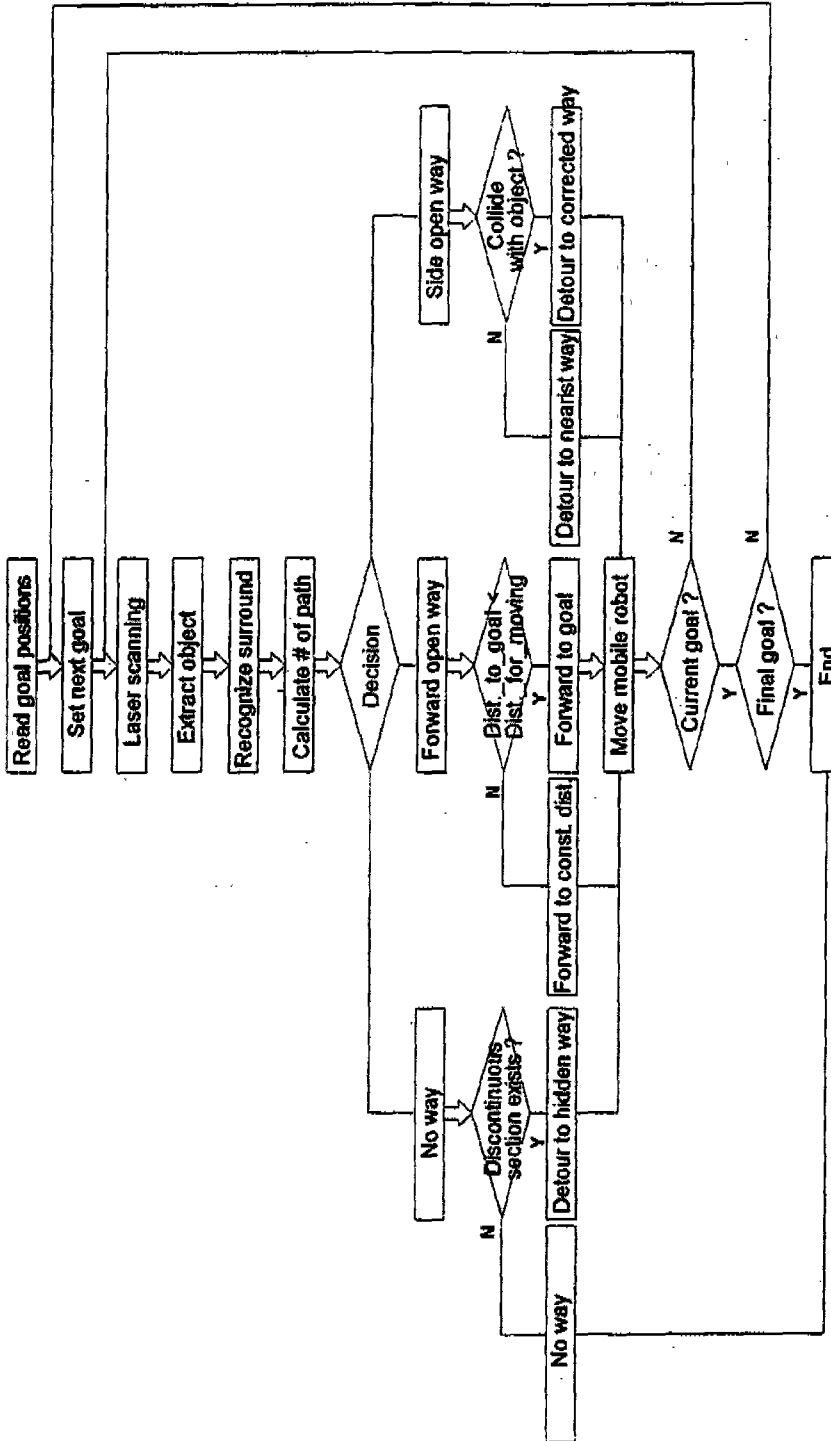


Fig. 7 Flow chart of heuristic based path decision algorithm

려하여^[8], 인간의 경험적 방법을 응용한 무인반송차의 국부 경로계획 알고리즘을 다룬다.

무인반송차가 자율적으로 주행하기 위하여 스스로 전진방향과 속도(또는 샘플링 시간동안 가야할 일정 이동 거리)를 결정해 주어야 한다. 특히 무인반송차의 전진 방향은 이미 얻어진 거리 데이터와 통로의 유무와 그 폭에 대한 정보를 이용하여 주위의 장애물과 충돌하지 않으면서 최단 경로로 목표점에 접근할 가능성이 있는 방향을 선택해야 한다. 이는 인간이 새로운 도시를 여행하면서 목표점의 방향만 알고 그 행로에 대한 자세한 정보가 없을 경우에, 목표 방향으로 계속 접근하면서 나타나는 장애물을 피하고 여러 개의 통로가 있을 때는 가장 빨리 목표점에 도착할 가능성이 있는 것을 선택하는 과정과 같다. Fig. 6은 인간과 무인반송차가 목표점이 주어진 경우 주위환경 인식과 경험적 방법 또는 이를 기초로한 지식 베이스를 이용하여 목표점에 도착하는 과정을 비교하여 보여준다. 즉 무인반송차가 레이저 탐색으로 부터 얻은 국부적인 거리정보를 가지고 주위의 환경과 여건을 인식하고 이를 바탕으로 인간의 경험적 지식을 응용한 지식베이스를 이용하여 직진, 선회 또는 통로없음과 같은 결정을 하여 목표점에 도착하도록 하였다.

Fig. 7은 레이저 거리계로부터 얻은 국부 거리정보와 무인반송차가 거쳐가야 할 순차적인 목표점의 위치가 주어진 경우 인간의 경험을 지식 베이스로 하여 여러가지 환경에서의 통과 방법을 결정하고 최종적인 목표점에 도착하는 순서도를 보여주고 있다. 여기서 보면, 먼저 첫 번째 목표점의 위치를 받아들이고 현재 무인반송차의 위치에서 주위의 국부 거리정보를 레이저 거리계를 통하여 얻는다. 이렇게 얻어진 국부 거리정보를 이용하여 장애물(obstacle, wall), 불연속 구간 그리고 작업장 바닥면들을 인식한 다음, 이들을 오른쪽에서 왼쪽으로 차례로 정렬시킨다. 예를들어 Fig. 5를 참고하면 그 순서는 바닥면-불연속구간-장애물-바닥면-불연속구간-장애물-바닥면이 된다. 그 다음 불연속 구간과 바닥면으로 이루어진 통로를 찾고 그 통로들의 폭으로 무인반송차가 통과할 수 있는지를 시험하여 이를 만족하는 통로의 위치와 폭 그리고 그 갯수를 저장한다. 이 정보를 가지고 인간의 경험적 방법을 지식 베이스로 구축한 decision block에서 여러가지 통로형태를 결정한다. 그 통로형태는 크게 직진통로(forward open way), 우회통로(side open way), 그리고 통로없음(no way)으로 나

눌 수 있다. 각각의 통로 형태에 따라 몇가지 시험이 이루어진 후에 세분화된 통과방법이 결정되고 무인반송차가 샘플링 시간동안 일정 거리만큼 이동한다. 그 후에 절대위치 센서에서 얻은 현재위치와의 비교에 따라, 현재의 위치가 목표점이 아니면 레이저 거리계에 의한 거리정보를 다시 얻어서 위 과정을 반복한다. 만약 목표위치이면 마지막 목표점 인지를 비교하여, 마지막 목표점이면 실행을 중단하고, 그렇지 않으면 그 다음의 목표점 위치를 읽어들이 위 과정을 반복한다. 다음절에서는 decision 방법과 그 결과에 따른 세분화된 통로형태와 그 통과방법에 대하여 거론한다.

3.2 직진통로의 전략

레이저 거리계로 부터 얻은 국부 거리정보와 장애물 사이의 통로 인식에 따라서, 무인 반송차의 현재위치를 기준으로 레이저 탐색영역 내에 장애물이 완전히 없거나, 장애물이 있더라도 목표점 방향으로 직진통로가 확보된 경우에 decision block에서는 직진통로(forward open way) 루틴(routine)으로 분기시킨다. 이와같이 분기된 경우에 현재 무인반송차의 위치에서 목표점까지의 거리가 샘플링 시간동안 가야할 일정 거리보다 더 짧은지를 시험한다. 만약 이 조건을 만족하면 무인반송차는 목표점까지만 직진하도록 명령된다(forward-to-goal 명령). 그러하지 않는 경우 무인반송차는 샘플링 시간동안 가야할 일정 거리만큼 직진 하도록 명령된다(forward to constant distance 명령). 이때 무인반송차의 전진속도는 장애물이 없는 확트인 환경에서는 빨리할 수 있고, 장애물 사이의 직진통로가 좁을수록 느리게 전진해야 한다.

3.3 우회통로의 전략

만약 앞에서 거론한 직진통로의 조건을 만족하지 않고 장애물 사이의 통로가 한 개 이상일 경우에 decision block에서 우회통로(side open way) 루틴으로 분기한다. 만약 우회통로가 한 개만 있을 경우에는 선택의 여지없이 그 통로로 이동하면 되지만, 두 개 이상일 경우는 그들 중에서 목적지에 가장 빨리 도착할 가능성이 있는 통로 한 개를 선택해야 한다. 먼저 그 통로를 선택하는 방법에 대해서 알아본다. 이를 위하여 불연속 구간과 바닥면으로 이루어진 각 통로의 위치를 대표하는 중심위치는 각 통로의 좌우에 있는 장애물 사이의 최소폭을 연결한 선 위의 중심점에 놓인다고 가정

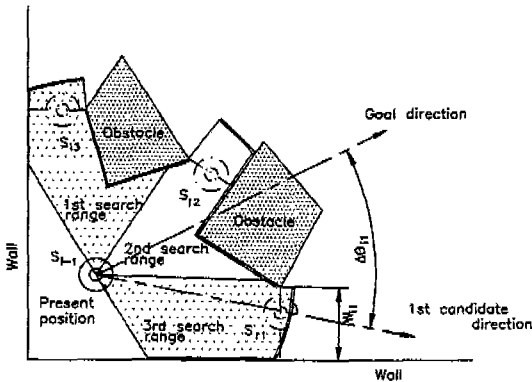


Fig. 8 Surrounding of detour-to-nearest way command

한다. 출발점에서 N step 만에 목표점에 도착한다고 가정하고 현재의 무인반송차 위치에서 이동해야 할 step을 i번째라고 가정한다. Fig. 8에서 보면 결정되어야 할 i번째 최적통로가 될 수 있는 후보점들은 S_{i1} , S_{i2} 그리고 S_{i3} 과 같이 3개이다. i번째의 최적통로가 될 수 있는 S_i 를 선택하기 위하여, j번째 우회통로 후보점의 attractive 포텐셜 (E_{attr})_{ij}은 다음과 같이 제안된다.

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

여기서, $\Delta\theta_{ij}$ 는 현재 무인반송차의 위치 S_{i-1} 를 기준으로 목표점과 j번째 통로 후보점 사이의 각도이고, W_{ij} 는 j번째 우회통로 둘레에 있는 장애물 사이의 최소폭이며, $\Delta\psi_{ij}$ 는 그림에는 나와있지 않지만 i-1번째 step에서 무인반송차의 전진방향과 j번째 우회통로 후보점 사이의 각도이다. 또한 k_1, k_2 그리고 k_3 는 상수이다 ($k_1+k_2+k_3=1$) 따라서 S_{i1} , S_{i2} 그리고 S_{i3} 와 같은 통로 후보점 중에서 최대 attractive 포텐셜을 갖는 i번째 최적통로가 될 수 있는 S_i 는 다음과 같이 얻어진다.

$$S_i = \text{Max}_j (E_{attr})_{ij} \quad (2)$$

무인반송차가 이렇게 결정된 최적통로 쪽으로 이동할 때, 주위의 장애물 모서리와 부딪치지 않는 경우 앞에서 결정된 통로 S_i 로의 우회명령이 주어진다(detour-to-nearest-side-way 명령). 만약 장애물에 부딪치는 경우는 수정된 통로로의 우회명령(detour-to-corrected-side-way 명령)이 주어지는데, 그 우회통로의 수정

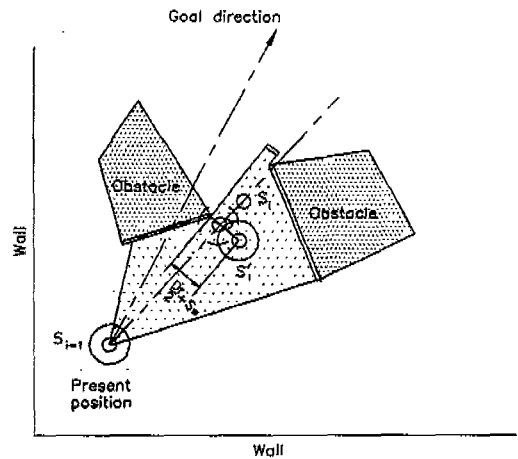


Fig. 9 Surrounding of detour-to-corrected-side-way command

방법은 다음과 같다. 이미 결정된 우회통로로 접근하는 경로에서 장애물과의 충돌이 발생하는 경우 이를 피하기 위하여 우회통로 위치를 다시 지정해 주어야 하고 그 예가 Fig. 9에서 보여진다. 여기서 무인반송차가 현재위치 S_{i-1} 로 부터 앞에서 결정된 우회통로의 위치 S_i 까지의 경로를 따라서 움직인다면 장애물과 충돌하게 된다. 따라서 앞에서 결정된 우회통로 위치 S_i 는 새로운 우회통로 위치 S'_i 로 수정되어야 한다. 새로 지정된 우회통로의 중심위치 S'_i 는 무인반송차의 현재위치 S_{i-1} 와 앞에서 결정된 우회통로 위치 S_i 를 연결한 선 위에서 충돌 장애물과 가장 인접한 점에서의 수직선 위에서 결정되고, 충돌 장애물로부터 $\frac{D}{2} + s$ 만큼 떨어진 곳에 위치한다. 여기서 D 은 무인반송차 몸체의 직경이고, s 는 안전여유이다.

3.4 통로가 없는 경우의 전략

만약 장애물 사이에 직진통로 뿐만 아니라 우회통로도 존재하지 않는 경우에 decision block에서는 통로 없음(no way)루틴으로 분기시킨다. 이때는 두가지 경우로 나누어 생각할 수 있다. 먼저 장애물 사이에 무인반송차가 통과 가능한 통로가 없더라도 불연속 구간이 있는지를 찾아보고 2.3절에서 거론한 바와 같이 그 불연속 구간의 폭으로 무인반송차가 통과할 수 있다면 무인반송차는 그 감춰진 통로로의 우회 명령이 주어진다(detour-to-hidden-side-way 명령). 이때는 현재의

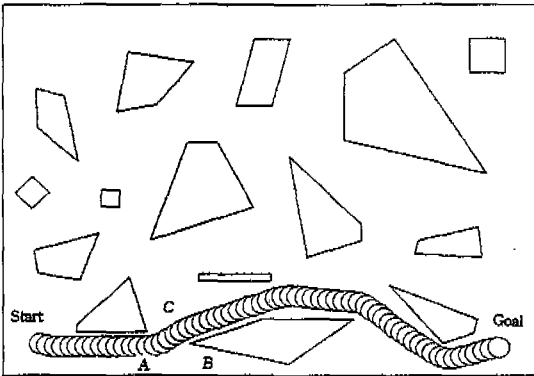


Fig. 10 Navigation result in surrounding of passable and non-passable ways

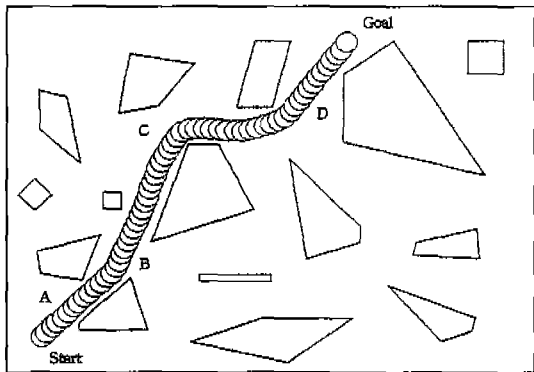


Fig. 11 Navigation result in surrounding of various pathway types

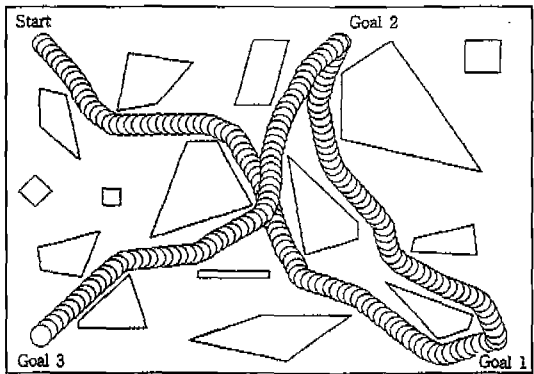


Fig. 12 Navigation result in the case of multi-goal command

무인반송차 위치에서 얻어진 거리정보에 의해서 접근할 수 있는 위치, 즉 무인반송차의 현재위치와 장애물의 꼭지점을 연결한 선에 대해서 수직한 선 위에서 결정되고, 그 장애물의 꼭지점으로부터 $\frac{r}{2} + s$ 만큼 떨어진 곳을 연결한 선의 방향이 무인반송차의 전진방향이 된다. 그리고 무인반송차를 그 방향으로 이동시킨 다음 다시 국부 거리정보를 얻어서 이전의 step에서 가정한 불연속 구간이 통과 가능한 통로 인지를 확인하여 이동한다. 만약 이러한 불연속 구간도 없는 경우에 무인반송차는 더이상 목표점으로 전진 할 수 없기 때문에 통로 없음 명령(no-way 명령)이 주어지고 실행을 중단한다. 통로 없음 명령이 주어진 후에 실행을 중단하기 전에 몇가지의 다른 방법을 생각할 수 있다. 그 첫번째는 목표점 방향과 반대쪽에 통로가 있는지를 조사하는 것이고, 두 번째는 통로를 막고 있는 것 중에서 moving 장애물이 있는지를 살펴보는 것이다. 전자는 레이저 거리계의 탐색범위를 목표점을 중심으로 $\pm 180^\circ$ 로 확장하여 무인반송차주위의 모든 방향으로 통로가 있는지를 검색한 다음 통로가 발견되면 전방의 장애물을 피해나가는 방법이다. 후자는 무인반송차의 현재위치에서 일정시간 간격으로 두번 이상의 레이저 탐색을 수행하여 장애물의 위치변화가 있는지를 확인하여, 만약 위치 변화가 있으면 그것을 moving 장애물로 확정하고 경고음을 낸 뒤에 그 장애물이 이동하여 통로가 확보된 것을 확인하고 주행하는 방법이다. 만약 위에서 거론한 두가지 조건 중에서 하나도 만족하지 않는 경우 실행을 중단한다.

4. 모의 실험

앞에서 거론한 국부 경로계획에 기초한 모의실험 결과가 Fig. 10에서 Fig. 12까지 나와 있다. 이들 그림에서는 벽과 장애물로 이루어진 가상의 실제 환경이 보여진다(가로 15m와 세로 11m). 그리고 여기서는 두 종류의 센서 데이터가 얻어진다고 가정한다. 그들 중에서 하나는 무인반송차의 위치추정을 위한 것이고, 다른 하나는 장애물을 피하기 위하여 국부적인 무인반송차 주위의 환경을 인식하기 위한 것이다. 전자의 센서로는 바퀴 회전용 엔코더가 사용되고, 후자의 센서로는 앞절에서 거론한 레이저 거리계가 사용된다고 가정하였다. 이 모의실험에서 무인반송차의 주행을 위한 한 step 시간은 3초로 하였고, 레이저 거리계의 주사범위는 반경 3m로 고정하였다. 이 모의실험 결과는 매 1초 마다 무

인 반송차의 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. 10은 통과 가능 통로와 불가능 통로가 있는 환경에서 무인반송차의 항법 결과를 보여주고 있다. 무인반송차가 A지점에 있을때 레이저 탐색에 의해 통로를 찾으면 벽과 장애물 사이의 통로 B와, 두 장애물사이의 통로 C를 찾을 수 있을 것이다. 여기서 무인반송차는 통로 C로는 통과 할 수 있지만 통로 B로는 통과할 수 없기때문에 통로 C를 선택하여 이동한다. Fig. 11은 구간마다 여러가지의 통로선택에 따른 무인반송차의 항법결과를 보여준다. 무인반송차는 출발점에서 시작하여 구간 A에서는 직진통로가 선택되고, 구간 B에서는 다수 우회통로가 있는 경우의 최적통로가 선택되며, 구간 C에서는 오직 한 개의 우회통로만 존재하는 경우이며, 구간 D에서는 직진통로로 목표점까지 도착하는 것을 보여주고 있다. Fig. 12는 다수의 목표점 명령이 주어진 경우에 무인반송차의 항법 결과를 보여주고 있다. 여기서 무인반송차는 좁은통로, 넓은통로, 접근 불가능한 통로, 그리고 여러개의 우회통로 후보를 가지는 경우의 복잡한 환경에서 다수의 목표점을 성공적으로 통과함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 미지환경에서 무인반송차의 자율주행을 위한 능동 비전 시스템(active vision system)의 하나인 새로운 형태의 레이저 거리계(laser range finder)에 기초한 국부경로계획 알고리즘을 다루었다. 레이저 거리계가 각도와 거리측정에 대한 우수한 분해능을 가지고 있는 것을 고려하여, 정교한 경로계획 알고리즘이 형상공간 방법과 포텐셜 방법에 기초하여 제안되었다. 제안된 무인반송차의 국부 경로계획 알고리즘은 무인반송차가 레이저 탐색으로부터 얻은 국부적인 거리정보를 가지고 주위의 환경과 여건을 인식하고 인간의 경험적 방법에 기초한 지식 베이스(knowledge base)에 의하여 직진, 우회 또는 통로 없음과 같은 결정을 하여 목표점에 도착하도록 하였다. 또한 무인 반송차의 실시간 항법을 위해 제안된 경로계획 알고리즘의 결과가 복잡한 환경에서 모의실험을 통하여 보여졌다.

참고문헌

1. Lozano-Perez T. and Wesley M.A., 1979, "An algorithm for planning collision-free paths among polyhedral obstacles", Commun. ACM, pp.560-570.
2. 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.
3. 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
4. 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.
5. B. H. Krogh, 1990, "Satisficing feedback strategies for local navigation of autonomous mobile robots", IEEE SMC-20 (6), pp.1383-1395.
6. Y. Y. Cha and D. G. Gweon, 1994, "Real-time control using explicit dynamic solutions of two-motion modes mobile robot", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I, accepted for publication: Journal of system and control Engineering, Vol.208, pp.157-167.
7. 차영엽, 권대갑, 1993, "3축 이동로봇의 동역학을 고려한 실시간 제어", 한국정밀공학회지, 제10권, 제4호, pp.192-199.
8. Y. Y. Cha, D. G. Gweon and D. G. Lee, 1994, "An active range sensor for free ranging mobile robot", Int. Symp. on Robotics and Manufacturing, Maui, USA, August, pp.15-17.
9. 차영엽, 권대갑, 1994, "자율주행로봇의 실시간 조종을 위한 레이저 거리계", 한국정밀공학회지, 제11권, 제3호, pp.131-139.