

로봇주행을 위한 장애물 탐지 및 거리측정 II

(Measurement of Distance to the Obstacles for Robot Navigation II)

김 태 홍*, 권 갑 현*, 전 용 식**
(Tae Hong Kim, Kap Hyun Kwon, Yong-sik Jeon)

| <목 차> | |
|---------|------------|
| 요약 | Ⅲ. 실험 및 분석 |
| Ⅰ. 서 론 | Ⅳ. 결 론 |
| Ⅱ. 측정원리 | 참고문헌 |

요약

자율 주행 이동 로봇에서 사용될 것을 목표로 미지의 장애물을 탐지하고 그 장애물까지의 거리를 측정하는 시스템을 레이저, CCD, 삼각측량법을 이용하여 소형 경량으로 구현하였다. 송신부에서 스캐닝 레이저빔을 이동 로봇 높이의 수평면으로 발사하고 수신부에 있는 한 대의 CCD카메라로 전방의 영상을 촬영한다. 삼각측량법을 이용하여 장애물까지의 거리를 측정하기 위해서는 송신부와 수신부 사이의 거리, 송신부에서 본 장애물의 각도, 수신부에서 본 장애물의 각도가 필요하다. 송신부의 레이저빔 발사 각도는 이를 구동하는 스텝핑 모터의 회전량 제어 펄스 수에 정비례하므로 공급한 펄스 수로써 구하고 수신부에서 본 장애물의 각도는 카메라

* 동양대학교 컴퓨터공학부
** 영주여자중학교

영상에서 빔의 위치가 영상의 중앙으로부터 몇 픽셀 떨어져 있는가를 계산하여 측정한다. 카메라의 영상은 미디언 필터를 거쳐서 잡음 제거 후 소벨 에지 검출 기법을 적용하여 에지를 검출한다. CCD의 상이 맺히는 위치에 따라 왜곡 오차가 발생하는데 이는 CCD의 시야가 넓을수록 커진다. 그러나 이 오차는 계산이 가능하기 때문에 보정할 수 있고 초점거리가 짧으면 다른 오차에 비하여 무시할만하다. 이 방법은 근거리에서 초음파 방법보다 정밀한 거리측정값과 우수한 공간 분해능을 가진다.

Abstract

A range measuring system was implemented using laser, CCD and triangulation for autonomous mobile robot located in unknown environment. A scanning laser beam was introduced as a transmitter which sweeps a horizontal plane.

To measure the distance to the obstacles, three parameters are necessary, which are the distance between laser transmitter and receiver, the angle of transmitter, and the angle of receiver to the obstacle. At the transmitter, the angle is measured by counting the number of pulses supplied to the stepping motor of laser. At the CCD camera, the angle was measured by counting the number of pixels from the center of image. The image was pre-treated by median filter to eliminate noises. The edge was detected by Sobel technique in the next step.

The distortion error occurred at the CCD is proportional to the angle of view of the camera. However, the magnitude of distortion can be calculated accurately, therefore it can be eliminated from the system error by calibrating.

This method has better spacial resolution and accurate measurement of distance comparing to the supersonic method.

I. 서론

산업현장에서 인간의 편리함과 생산성 향상을 위해 공장자동화가 실현되면서 로봇 기술의 연구가 급속히 증대되고 있다[1-13]. 현재 자동화된 공장에서는 인건비 절감과 공정의 효율성을 위해 조립용 로봇, 용접용 로봇 등이 사용되고 있으며, 제품의 운반에는 무인운반차(AGV: automatic guided vehicle)가 도입되어 효과적인 운송수단으로 사용되고 있다. 그러나 대부분의 AGV는 작업바닥에 설치된 고정 경로를 따라 주행하기 때문에 작업능률은 우수하지만 작업환경의 변화에는 적응할 수 없어 사용에 제한을 받는다. AGV는 이동 로봇의 일종이라고 할 수 있는데 이동 로봇은 크게 두 가지 방식으로 나눌 수 있다. 즉, 외부에서 데이터를 입력받아 수동적으로 움직이는 원격조종방식과, 주어진 환경에 대한 정보를 스스로 파악하여 장애물을 회피하는 자율 주행 방식이 있다. 그러나 자율 주행 방식이라 하더라도 이동 로봇의 특성상 정도의 차이는 있지만 원격 조종의 개입을 필요로 한다. 특히 미지의 환경이나 변하는 환경에 대응하여 작업을 수행하기 위하여서는 주변 상황을 스스로 감지하고 판단할 수 있어야 한다. 이러한 기능이 있는 로봇은 모든 동작을 지시해 주지 않아도 되므로 원격 조종에 필요한 작업량이 감소되고 능률적으로 임무를 수행할 수 있다. 그 외에도 빠른 속도와 조종의 용이성을 위하여 주변 환경을 자체적으로 모델링하고 센서를 이용하여 자신의 위치를 측정 또는 추정하며 환경이 변해도 자율 주행이 가능한 이동로봇을 개발할 필요가 있다. 능동형 이동 로봇이 실용화되기 위해서는 환경에 대한 정보를 획득할 수 있는 센서, 경로 계획 수립 및 보정을 위한 지도작성, 이들을 통합 제어하는 주행시스템 등이 개발되어야 한다.

이동 로봇의 주행 과정은 그림 1과 같다. 로봇의 주행 시에 첫 번째로 문제가 되는 것은 예상 주행 경로 상에 있는 장애물이다. 장애물에 대한 정확한 정보가 주어져야 장애물을 극복하든지 또는 회피하여 전진하기 위한 경로를 정할 수 있다. 미지의 환경에서는 로봇이 종점을 향해 주행하면서 장착된 각종 센서로부터 입력받은 정보에 따라 로컬 지도를 작성해서 그 목적을 이루지만, 이미 알려진 환경에서는 사전에 입력된 환경정보를 분석해서 최적경로를 결정한다. 로봇이 그 경로를 이동할 때 미지의 장애물이 존재하면 회피 알고리즘을 사용하여 환경을 다시 인지해서 주행한다.

이동 로봇의 주행 알고리즘은 벽면을 따라 주행하는 벽면추종(wall following)법[14], 장애물들의 모서리를 추출하여 그 모서리 사이에 존재하는 접선들을 모두 찾아내고 그 접선들 중에서 통과 가능한 경로들을 찾아내는 접선 그래프(tangent

graph)법[15], 장애물의 에지(edge)를 판별하고 그 에지 사이에 가상 선을 긋고 모서리와 임의의 가상선 영역을 장애물로 인식하여 그 장애물을 회피하여 시점에서 종점에 이르는 경로를 따라 이동하는 에지 판별법[14], 영역을 여러 그리드(grid)로

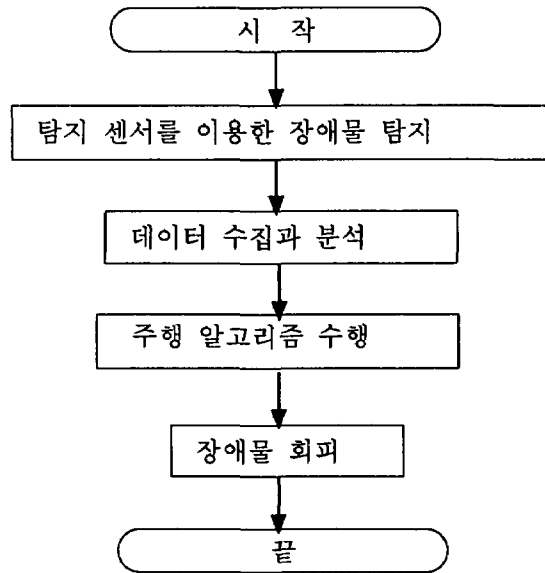


그림 1 이동 로봇의 주행 과정

나눈 후 각 그리드에서 장애물까지의 거리를 수치로 변환하여 이용하는 거리 변환(DT: distance transform)법[14], Borenstein과 Koren[16]이 제안한 벡터장 히스토그램(VFH: vector field histogram)법 등이 있다.

장애물을 탐지하고 거리를 측정하는 방법에는 비행시간(TOF: time of flight) 측정법, 위상차(phase-shift) 측정법, 주파수 변조(frequency modulation)법[17] 등이 있으며, 이러한 방법들은 실용화되어 군용이나 상용으로 쓰이고 있지만 소형 이동 로봇에 적용하기에는 너무 크고 무거우며 고가이다.

본 논문에서는 자율 주행 로봇의 주행 경로 상에 있는 장애물의 유무와 거리를 측정하는 데 레이저와 CCD를 이용하여 삼각측량법을 이용하는 방법을 제안한다. 이 방법은 소형, 경량이며 가격도 저렴하고 쉽게 구현할 수 있다.

II. 측정원리

본 논문에서 제안한 거리 측정 시스템은 송신부, 수신부, 데이터 처리부의 세 부분으로 구성된다. 기본 원리는 송신부에서 스텝핑 모터에 레이저 광원을 장착하고 일정한 각도마다 레이저빔을 발사하여 전방을 스캔하고 수신부의 탐지용 센서로 물체에서 반사되어온 레이저광을 검출하여 데이터 처리부에서 삼각측량법을 이용하여 물체까지의 거리를 계산하는 것이다. 송신부와 수신부의 거리를 d_1 , 송신부에서 물

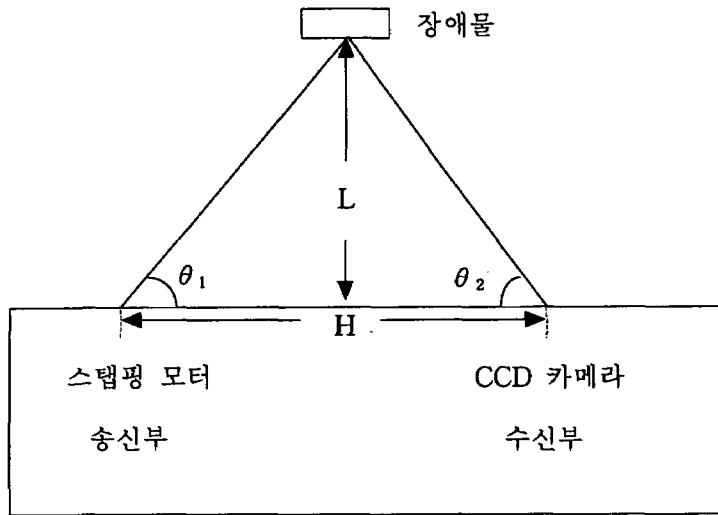


그림 2 송신부스캔-수신부CCD 방식

$$H = d_1 \frac{\tan \theta_2}{(\tan \theta_2 - \tan \theta_1)} \quad (1)$$

$$L = d_1 \frac{\tan \theta_1 \tan \theta_2}{(\tan \theta_2 - \tan \theta_1)} \quad (2)$$

체를 관측한 각도를 θ_1 , 수신부에서 관측한 각도를 θ_2 라 할 때 물체까지의 수평거리 H 와 수직거리 L 을 각각 식(1)과 (2)로 구한다[20]. 사용한 레이저빔은 단면이 작은 원으로 되어 있고 이것은 나중에 수신부에서 레이저빔을 인식하는 데 이용된다.

CCD를 사용하는 그림 2와 같은 방법은 송신부스캔-수신부스캔 방식에 비해 수신

부의 기계적인 스캔이 필요 없으므로 장애물 탐지 시간이 단축되어서 훨씬 나은 방법이라고 말할 수 있다. 이 방법은 CCD카메라로 장애물의 영상을 얻고, 영상 처리 기법을 이용하여 영상에서 물체의 에지를 검출하고, 장애물의 전체 배치상황을 데이터 베이스에 재구성하여 이 정보를 회피 경로를 정하는 데 쓴다.

그림 3은 송신부의 스캔에 따라 수신부의 CCD화면에 나타난 레이저빔을 나타낸 것이다. 이 화면에서 빗금 친 부분은 탐지 가능 영역이다. 송신부에서 발사한 레이저광은 이 탐지 범위에서 일차원 운동을 하게 된다. CCD화면에 나타난 이 레이저 반사광은 영상처리 기법을 통하여 인식한다. 송신부에서 이차원의 스캔을 하면 수신부의 CCD에 전방의 전체 모습을 얻을 수 있으나 이 연구에서는 한 개의 수평면 상에서 장애물의 유무와 거리측정을 구현하기 위하여 일차원 스캔으로 범위를 한정하였다. 수신부에서 관측한 물체의 각도는 반사광이 CCD화면 중심으로부터 얼마나 떨어져 있는가 하는 편차 값으로부터 구할 수 있다.

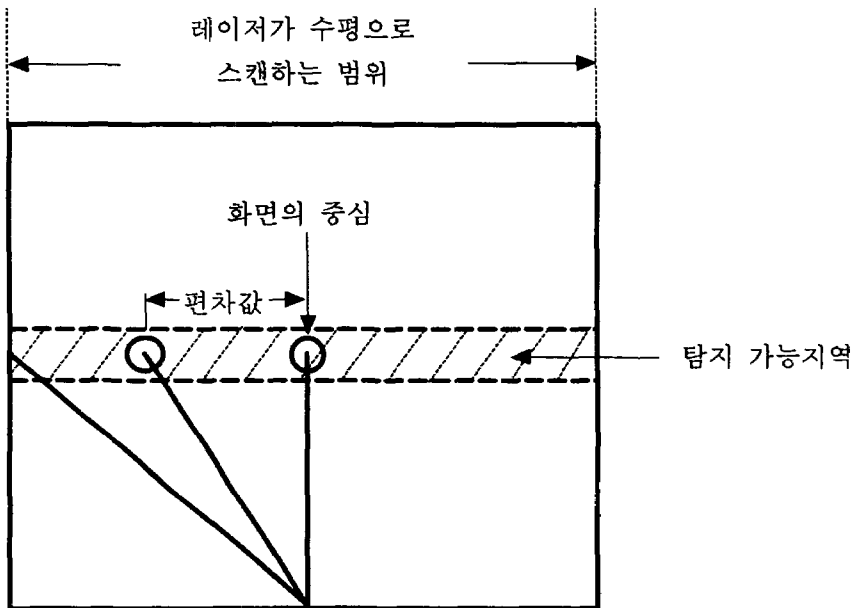


그림 3 레이저의 수평스캔 범위

장애물을 찾기 위한 알고리즘은 그림 4, 5와 같다. 송신부에서 레이저가 장착된 스텝핑 모터의 각도를 일정한 양 만큼씩 증가시키면서 레이저를 이동 로봇 전방에

수평으로 발사하며 동시에 수신부에서 CCD로 전방을 촬영한다. 송신부는 최대각도에 도달하면 다시 원점으로 돌아와서 스캔을 시작한다. 장애물이 존재하면 반사된 레이저빔이 같은 수평면 상에 있는 수신부에서 촬영한 화면에 나타나고 이것은 영상처리를 거쳐서 레이저의 반사광으로 인식되어서 삼각측량 알고리즘으로 거리가 계산된 후 데이터 베이스에 장애물의 위치가 표시된다.

그림 6은 배치공간(configuration space)[21, 22]에서 장애물과 로봇의 좌표를 나타내는데 로봇의 처음 위치를 $R(0,0)$, 이동 후 위치를 $R(a,b)$ 라고 하면 이동 중에도 항상 장애물의 좌표 $P(x,y)$ 를 추적할 수 있다. 이것은 데이터 베이스 내에 저장되어서 장애물 회피를 위한 알고리즘에 사용할 수 있다. 로봇에서 장애물까지의 거리는 $\sqrt{(H-a)^2 + (L-b)^2}$ 로 주어진다.

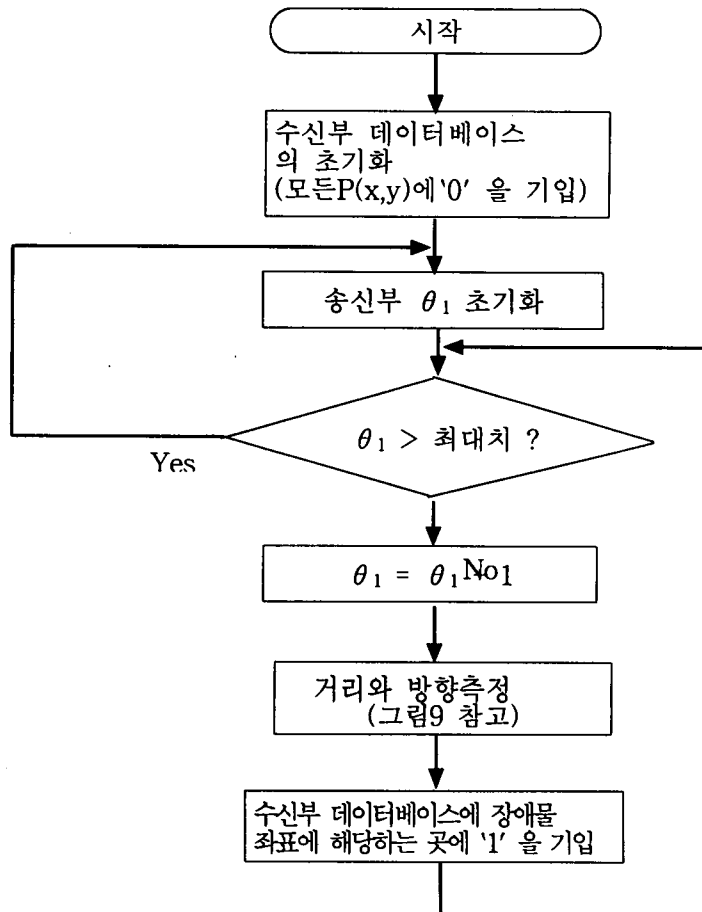


그림 4 장애물을 찾기 위한 알고리즘.

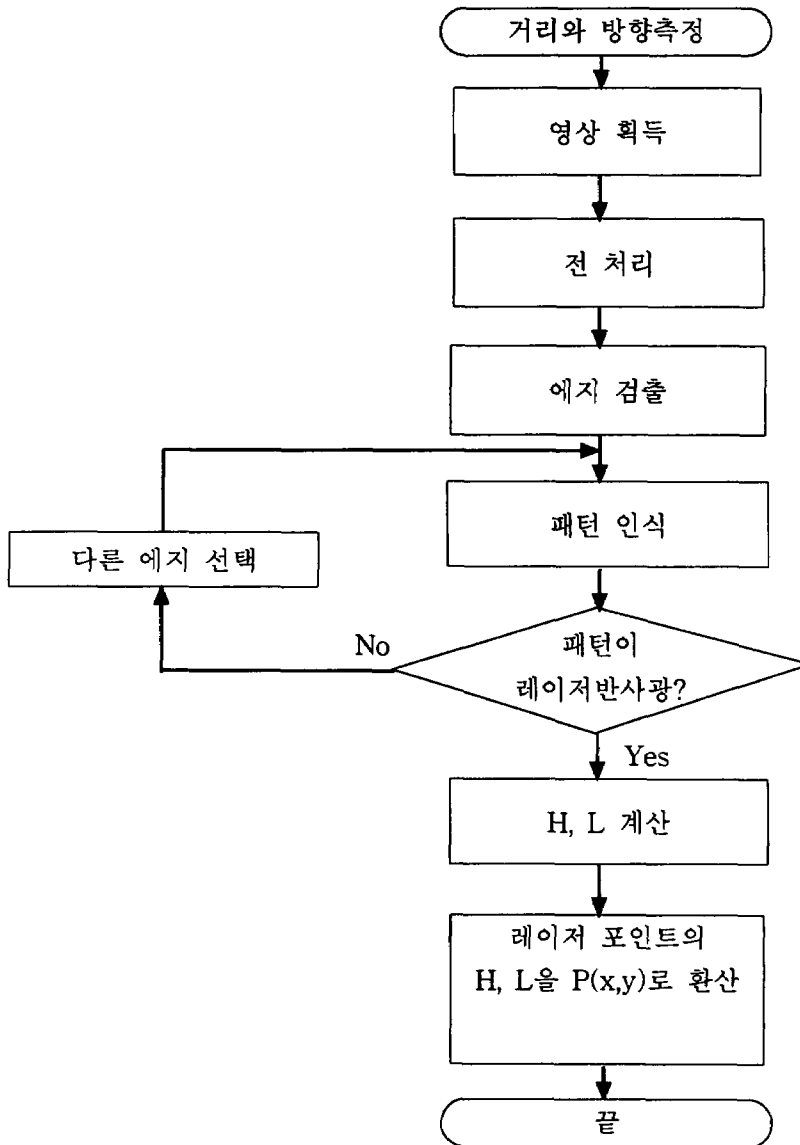
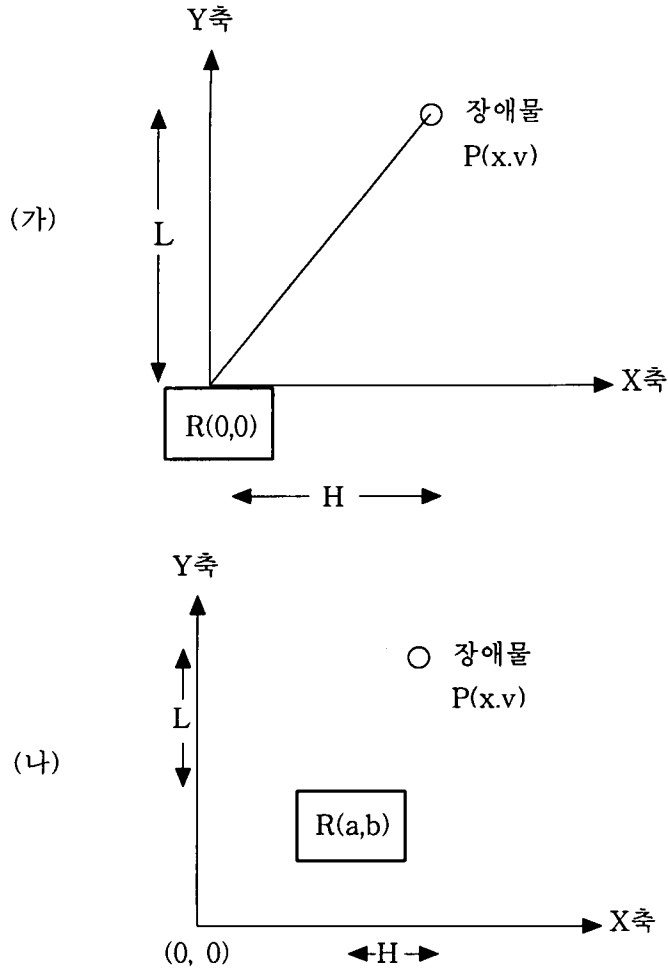


그림 5 거리와 방향측정에 대한 세부 순서도



$R(0, 0)$: 로봇이 원점에 있을 때

$R(a, b)$: 로봇이 좌표 (a,b) 에 있을 때

$P(H, L)$: 로봇이 원점에서 본 장애물의 위치

$P(H-a, L-b)$: 로봇이 $R(a,b)$ 에서 본 장애물의 위치

그림 6 장애물과 로봇의 좌표. (가) 로봇이 원점에 있을 때, (나) 로봇이 (a,b) 로 이동했을 때.

III. 실험 및 분석

실험에 사용한 CCD카메라의 명칭은 Ricoh 디지털 4200 이었으며, 화소는 132만 화소, 초점거리는 50mm이다. 이것으로 영상을 획득하여 입력한 후 그레이 영상으로 변환, 미디언 필터링을 하여 전처리 과정을 거쳤으며 소벨 연산자로 에지를 검출하였다. 그림 7은 로봇과 장애물 사이의 거리측정 순서를 나타낸 것이다.

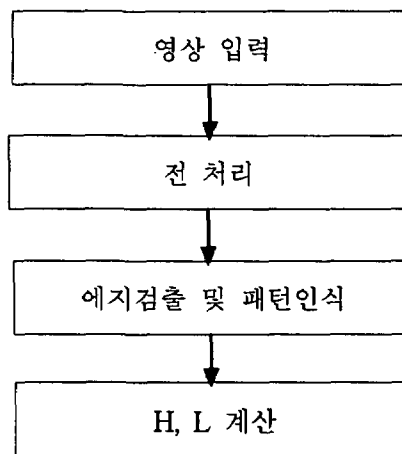


그림 7 로봇과 장애물간의 거리측정 순서

3.1 영상 획득

CCD카메라의 픽셀당 각도 분해능을 알기 위하여 그림 8에서 보인 배치로 640×480 크기의 영상을 얻고 분석하였다. 이 실험에서 레이저빔 송신부와 CCD 수신부 사이의 거리는 50cm, CCD 카메라와 물체 사이의 거리는 63cm이다. 이 상태에서 먼저 레이저빔이 화면의 중앙에 있는 영상을 얻고 그 다음에 레이저빔을 좌측으로 3cm씩 이동하여 6장의 영상을 얻었다. 영상의 오른쪽 부분은 중심선에 대하여 왼쪽 부분과 대칭 되므로 그림에서 생략하였다. 실험에 사용하기 위해 획득한 영상은 가장 이상적인 조건인 검은 바탕에서 레이저광을 촬영한 것이다. 실제 응용시 레이저

광의 밝기 값이 분석에 가장 큰 요인이 되며 콘트라스트가 작으면 구별하기 어렵고 배경에 따라 에지도 많이 발생한다.

획득된 영상의 해상도는 72 pixels/inch이다. 그림 9에서 레이저 반사광이 CCD카메라의 수직 전방에 있으므로 밝은 점이 화면의 정 중앙에 있다. 송신부, 물체, 수신부가 한 수평면 상에 있으므로 밝은 점이 화면의 중앙에 있다는 것은 물체가 로

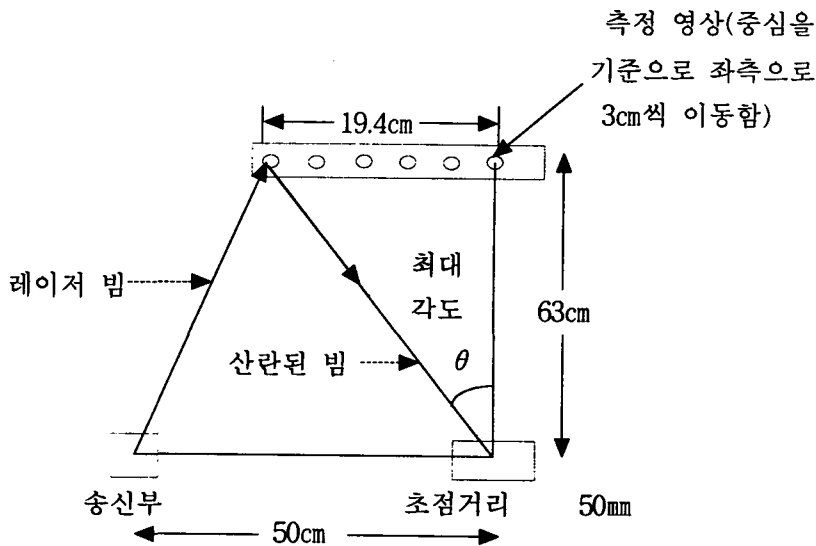


그림 8 영상 획득 실험도

봇의 수직 전방에 있다는 것을 의미한다. 제안된 방법에서는 일차원 스캔을 다루었으므로 이 수평면을 벗어난 물체는 탐지할 수 없다.

그림 10은 그림 9를 임의의 배율로 확대한 영상이며 이 영상에서 보이는 작은 사각형 하나는 한 개의 픽셀을 나타낸다. 그림 11은 수직 전방을 중심으로 반사레이저빔이 3cm 간격으로 좌측으로 이동한 영상들을 잘라 모아 놓은 것이다.

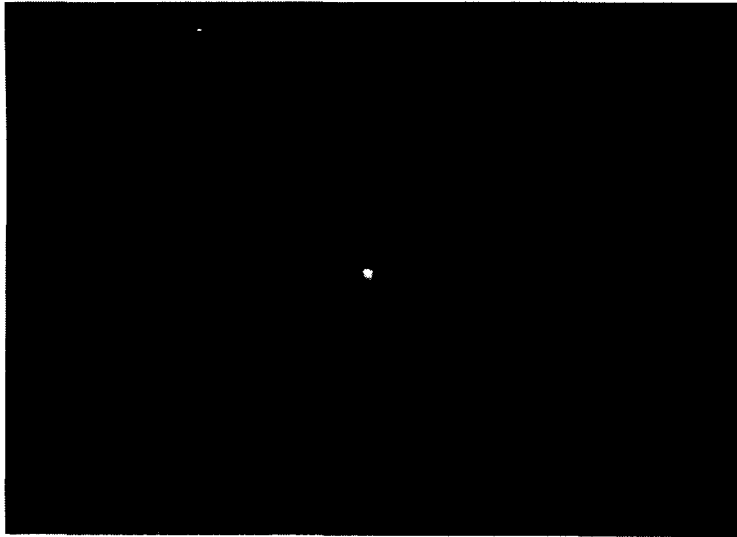


그림 9 물체가 로봇의 수직 전방에 있을 때

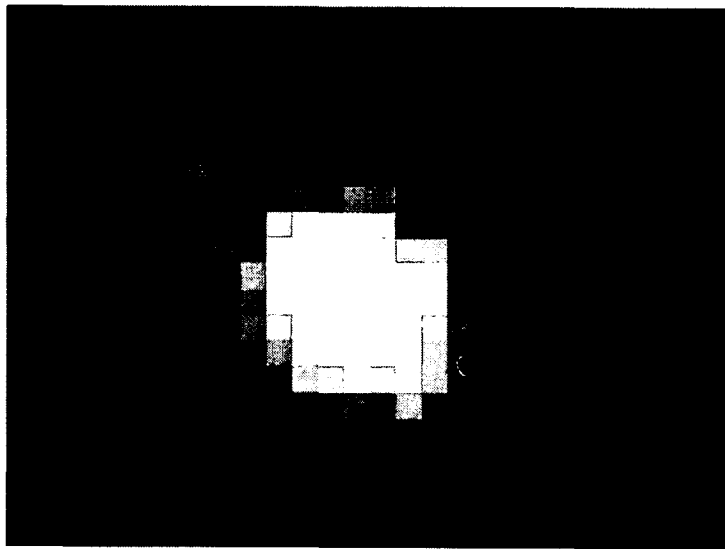


그림 10 임의의 배율로 확대한 영상

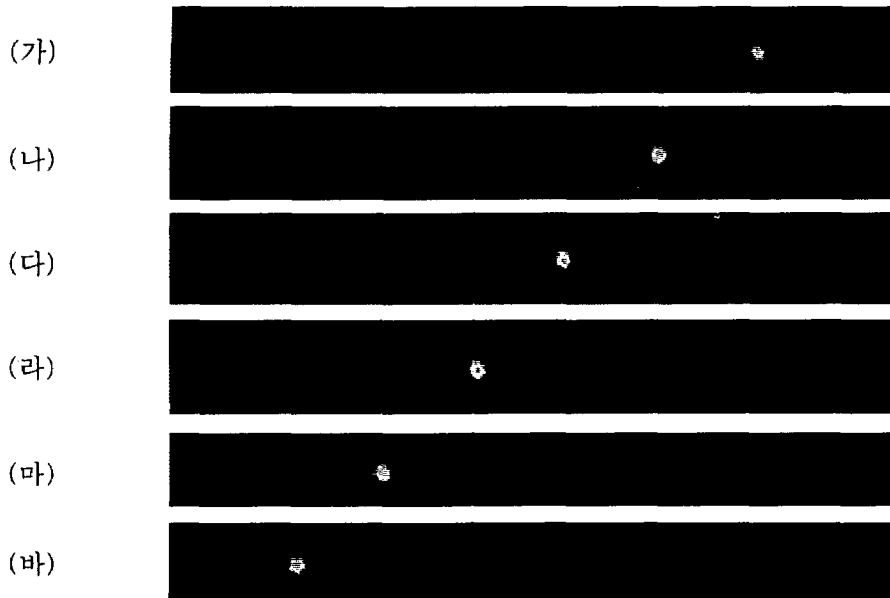


그림 11 전체 영상. (가)는 수직 전방의 영상이고 (나)~(바)는 왼쪽으로 3cm씩 이동한 영상임.

3.2 전 처리

입력된 영상은 정확한 에지의 검출을 위해 전처리의 단계를 거친다. 물체의 유무를 파악하여 거리를 측정할 때 반드시 칼라 영상일 필요가 없다. 칼라 영상은 그레이 영상보다 많은 정보를 필요로 하므로 영상 처리 시스템의 용량이 커야 한다. 그러므로 획득 영상은 칼라이지만 모든 처리 시간 단축을 위하여 그레이(gray) 영상으로 변환하여 처리하였다.

영상에 잡음이 섞일 수 있는데 이 경우 잡음 필터 기법을 사용하여 잡음을 감소시킨다. 저주파 통과 필터는 가우시안 잡음을 제거하는데 적합하고, 임펄스 잡음을 제거하기 위해서는 미디언 필터링 기법[23]을 사용한다. 미디언 필터의 가장 큰 장점은 에지를 보존한다는 것이다. 그러므로 CCD영상에서 발생하기 쉬운 임펄스 잡음을 제거하기 위하여 미디언 필터링을 사용하였다.

미디언 필터링은 한 영상의 화소들에 대하여 임의 크기의 윈도우를 슬라이딩하면

서 윈도우 안에 있는 화소들에 대하여 오름차순으로 정렬하여 그 중간값을 취하는 방법이다. 미디언 필터의 기본 함수는 매우 뚜렷한 밝기를 가진 점들이 그들의 이웃한 화소들과 유사하도록 만들어서 돌출 되는 화소값을 제거하는 것이다. 그림 12는 미디언 필터링을 적용한 영상이다.

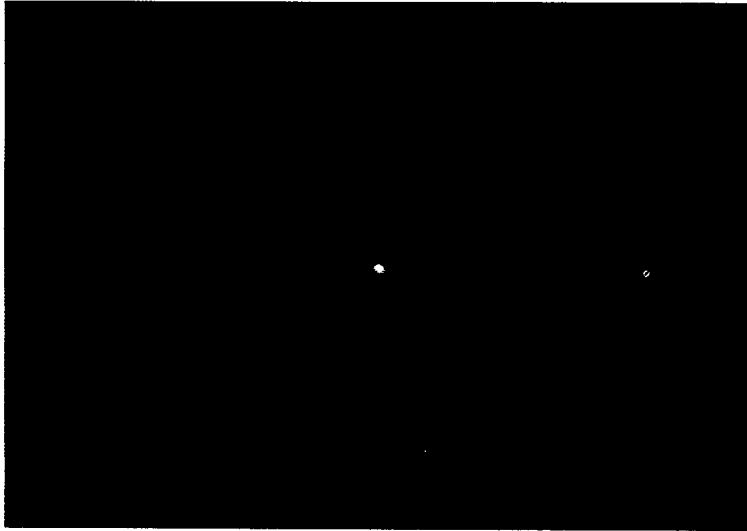


그림 12 미디언 필터링을 적용한 영상

3.3 에지 검출 및 패턴 인식

에지 검출은 물체의 유무나 위치를 파악하기 위해 실시한다. 본 논문은 소벨(Sobel)을 이용하였는데, 소벨 연산자는 1차 미분에 의한 가장자리를 검출하는 방법의 일종으로 수평, 수직 에지도 검출하지만, 특히 대각선의 에지를 민감하게 표현하는 방법이기 때문이다. 레이저빔의 형태가 원의 형태이므로 에지 역시 원의 형태로 검출되고 원에는 대각선의 성질이 많이 포함되었으므로 적절한 방법이라 할 수 있겠다.

그림 13은 소벨을 이용하여 찾은 에지 영상이며, 그림 14는 소벨 에지 영상을 임의의 배율로 확대한 영상으로서 작은 사각형 한 개는 한 개의 픽셀에 해당한다.

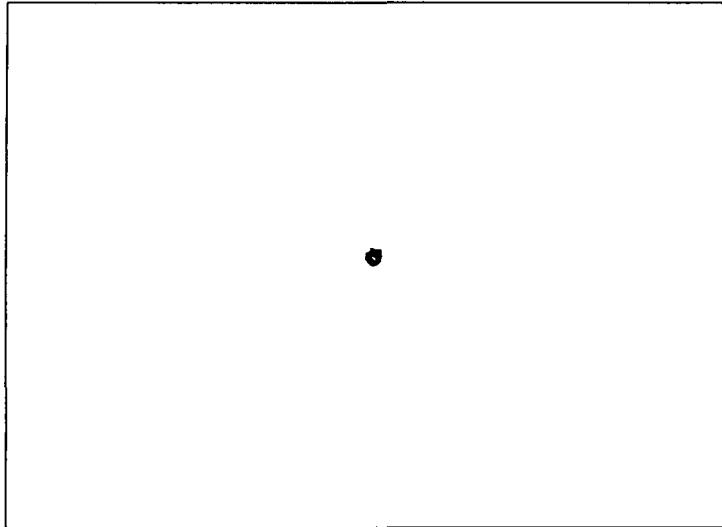


그림 13 소벨로 찾은 에지 영상

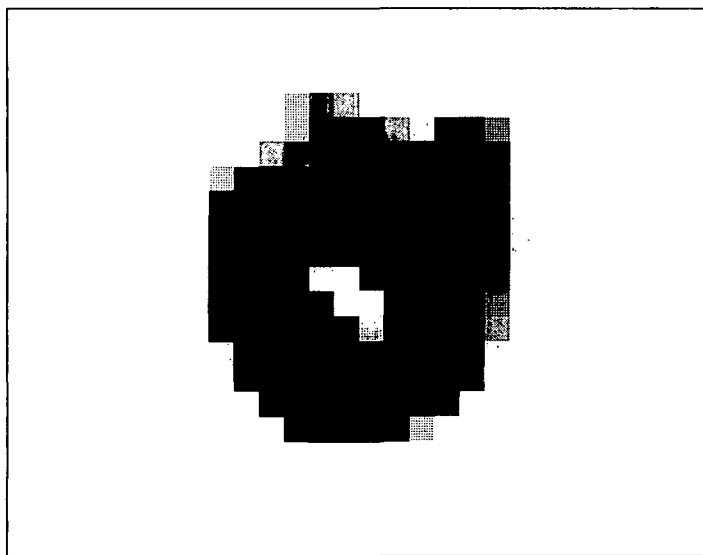


그림 14 임의의 배율로 확대한 에지 영상

에지를 찾은 영상은 그 영상에 레이저 반사광을 나타내는지를 판단하기 위하여 패턴 인식 과정을 거치게 된다. 레이저 반사광의 특징은 원 모양이므로 찾은 에지

도 원이어야 레이저 반사광이라고 판정을 한다. 이때 패턴 인식의 정확도를 높이기 위하여 에지의 두께를 가늘게 만드는 세선화 과정(thinning technique)을 거칠 수 있다. 그러나 화상처리에서 사용되는 세선화법은 이미지를 이치화(binary)한 후 선폭이 1픽셀(pixel)을 가질 때까지 반복하며 선의 중심 값을 찾아나가는 방법으로 많은 시간이 소요되며 이치화에서 레이저광의 밝기정보가 유실되고 노이즈가 많은 영상에서는 정확한 레이저광의 궤적을 구하기 어려우므로 레이저광의 에지를 찾는 데 사용하기에는 적합하지 않다.

3.4 분석

그림 15는 CCD에서 상이 맺히는 부분에 따른 오차를 비교한 것이다. CCD는 카메라에서 상이 맺히는 필름의 역할을 하는데 θ 가 수직 중앙에 있을 때와 탐지범위의 가장 끝 쪽에 있을 때와는 θ 에 포함된 픽셀의 개수가 달라지게 된다. 그러므로 두 부분의 픽셀당 각도를 같게 처리하게 되면 오차가 발생하고 이때의 오차는 식 (3)과 같이 계산할 수 있다.

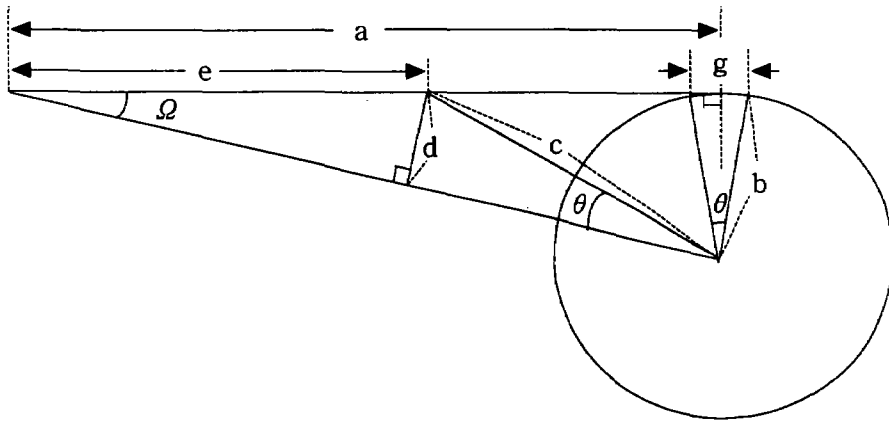


그림 15 CCD 영상의 왜곡 오차

이 왜곡 오차는 카메라의 시야가 넓을수록 커지는데 그 이유는 가장자리로 갈수록 θ 에 포함된 픽셀수가 많아지기 때문이다. 이 오차는 계산이 가능하기 때문에 보정할 수 있지만 초점거리 50mm의 카메라에서는 다른 오차에 비하여 무시할 만하다.

$$\frac{e}{g} = \frac{\frac{d}{\sin \Omega}}{2b \tan \frac{\theta}{2}} \quad (3)$$

$$= \frac{2b \tan \frac{\theta}{2}}{\frac{\sin(\tan^{-1} \frac{b}{a}) \cos(90^\circ - \Omega)}{2b \tan \frac{\theta}{2}}} \quad (4)$$

$$= \frac{1}{\sin(\tan^{-1} \frac{b}{a}) \cos(90^\circ - \tan^{-1} \frac{b}{a})} \quad (5)$$

가 된다.

$$\text{여기에서 } d = \frac{c}{b} g = \frac{c}{c \cos(90^\circ - \Omega)} 2b \tan \frac{\theta}{2},$$

$$\Omega = \tan^{-1} \frac{b}{a}.$$

이것을 본 논문의 영상 크기에 대입하여 오차를 계산하면 $a = 19.4 \text{ cm}$, $b = 63 \text{ cm}$ 일 때, $\frac{e}{g} \approx 1.09$ 가 된다. 즉, e 가 g 보다 각도 1° 당 1.09배 더 많은 픽셀을 가지고 있다. 또는 g 가 e 보다 8% 적은 픽셀을 가지고 있는 것이다. 이것은 물체가 화면 중앙에 있을 때와 가장자리에 있을 때 포함하고 있는 픽셀 수가 달라서 발생하는 현상으로 정확하게 예측이 가능하므로 보정하여 시스템 전체의 오차에서 제외시킬 수 있다.

탐지 방법의 수신부 분해능은 물체의 위치와 거리의 정확도에 영향을 미친다. 계산한 분해능은 화면의 중앙에서 $0.053^\circ / \text{pixel}$ 이다. 그러나 이 오차는 삼각측량법에 수반되는 다른 오차 요인과 비교하면 무시할 만한 양이다. 이 값을 구하기 위해 그림 20을 보면 최대각도가 $\tan \theta = \frac{19.4}{63}$ 에서 $\theta \approx 17^\circ$ 이므로 1 픽셀당 각도는

$$\frac{17^\circ}{320} = 0.053^\circ / \text{pixel} \text{ 가 된다.}$$

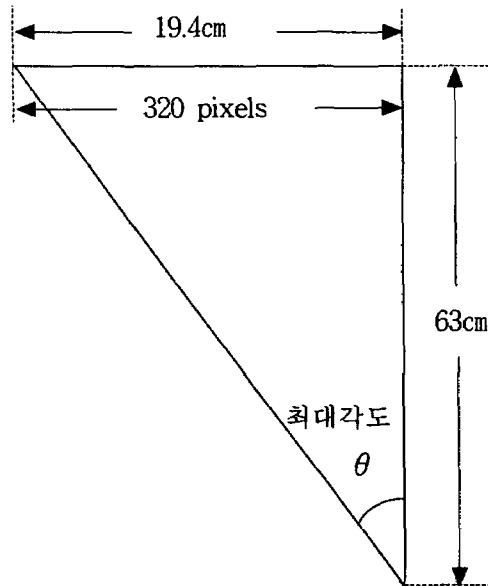


그림 16 최대각도 θ 와 픽셀당 각도 분해능의 계산

3.5 오차

레이저와 삼각 측량 방법을 이용하여 거리를 측정할 때 그 정밀도는 송신부 레이저와 수신부 CCD의 정밀도에 좌우되며 송수신부의 각도 불확실도를 $\Delta\theta$ 라 하면 장애물까지의 수직거리의 불확실도는 (6)으로 주어진다[20].

$$\Delta L = (d_1 + d_2) \tan(\Delta\theta) \quad (6)$$

송신부 각도의 불확실도는 $1.8^\circ / \text{step}$ 인 스텝핑 모터를 사용하여 구현할 경우에 d_1 이 20 cm이고 전방 200 cm에 장애물이 있다고 가정하면 θ 는 83.4° 보다 크고

85.2° 보다 작은 범위에 들어가고 $\Delta L = 238 - 173 = 65$ cm가 되므로 실제 값과 비교하면 ± 16.5 %의 오차를 가져온다. (표 3 참조) 같은 조건에서 장애물이 100 cm 전방에 있을 경우 θ 는 77.8° 와 79.6° 범위에 들어가고 $\Delta L = 109 - 93 = 16$ cm가 되므로 오차는 $\pm 8\%$ 로 200 cm 전방에 있는 물체까지의 거리를 측정 할 때 보다 절반 이상 줄어든다. 이 오차를 줄이기 위해서는 가능한 d_1 을 크게 하고 측정 각도가 작은 곳에서 탐지할 필요가 있다. 왜냐하면 tangent 함수의 성질상 90° 가까운 영역에서는 작은 각도의 변화라도 큰 차이를 가져오기 때문이다.

거리가 멀어질수록 측정오차가 증가하지만 탐지가 가능한 물체의 크기는 거리에 무관하게 일정한데 그 이유는 물체의 크기가 레이저빔의 직경보다 크고 거리에 따른 레이저 광 세기의 감소를 무시할 수 있다면 수신부의 CCD에 들어오는 세기는 패턴을 인식하는 데 충분하기 때문이다.

표 3은 스텝핑 모터의 해상도가 1.8° / step이고 $d_1 = 20$ cm일 때 실제 거리와 측정값 사이의 오차를 나타낸 것이다. 표 3에서 보이는 것 같이 수신부의 오차는 송신부 오차 보다 극히 작아 큰 장애물의 탐지에 영향을 미치지 않는다.

IV. 결 론

이 논문에서 소개된 거리측정 알고리즘은 레이저와 CCD를 이용한 삼각 측량 방법으로서 근거리에서 장애물의 유무와 거리 측정을 소형 경량 시스템으로 구현할 수 있는 한 가지 방법을 제안하였다. 간단한 장치로 가능한 높은 정밀도의 데이터를 얻기 위해 송신부에서 스텝핑 모터에 장착된 레이저빔을 발사하고 수신부에서 CCD를 이용하여 전방을 촬영한다. 획득된 영상은 영상처리 기법을 이용하여 각도를 산출하고, 삼각 측량 방법을 이용하여 거리를 계산하는 것이다. 측정 오차는 주로 송신부 레이저의 스캔이 불연속적으로 이루어지기 때문에 발생하는데 장애물까지의 거리가 10cm 일때 $\pm 4\%$, 100cm 일때 $\pm 8\%$ 의 오차를 보였다. 이에 비하면 수신부의 오차는 무시할 만한 양이었다. 거리가 멀어질수록 측정오차가 증가 하지만 로봇이 주행하는 데 있어 원거리 장애물의 오차는 크게 영향을 받지 않는다.

본 논문에서 제안한 방법의 적용분야는 장애물의 유무, 방향, 거리 측정을 할때 초음파를 사용한 방법보다 좋은 공간 해상도, 정밀한 근거리 거리 측정값이 필요한 곳이다. 레이저빔의 반사성을 이용하여 거리를 측정할 경우 제약점으로서 측정 물

체의 표면이 난반사성을 가져야 한다는 가정이 필요하다. 경면물체, 2차 반사가 이루어지는 경우에 대하여 또한 로봇의 자세에 따른 오차 보정에 대하여 계속적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] N. J. Nilsson, "A mobile automation : an application of artificial intelligence technique", Proceedings. 1st Int. Joint Conf. AI., pp. 509-520, May 1969.
- [2] D. F. Cahn and S. R. Phillips, "ROBNAV: a range-base robot navigation and obstacle avoidance algorithm", IEEE Trans. Syst. Man Cybern., SMC-5, pp. 544-551, September, 1975.
- [3] H. P. Moravec, "The Stanford Cart and the CMU Rover", Proceedings of the IEEE, vol. 71, no 7, pp. 872-884, July, 1983.
- [4] T. Tsumura, "Survey of Automated Guided Vehicle in Japan Factory", Proceedings, IEEE Int. Conf. Robotics and Autom., San Francisco, Cal., pp. 1329-1334, 1986.
- [5] J. Vertut and P. Coiffet, Robot Technology, vol. 3A, Prentice Hall, 1986.
- [6] D. J. Todd, Walking Machines: an introduction to legged robots, Kogan Page, 1985.
- [7] McGhee and Iswandhi, "Adaptive Locomotion of a Multilegged Robot over Rough Terrain", IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol. SMC-9, no. 4, 1979.
- [8] M. H. Raibert, et al., Dynamically Stable Legged Locomotion, Progress Report : October. 1982 - October. 1983, CMU-RI-TR-83-20, The Robotics Institute, Carnegie-Mellon Univ., December, 1983.
- [9] S. Hirose, "A Study on Design and Control of a Quadruped Walking Vehicle", Int. J. Robotics Research, vol. 3, no. 2, pp. 113-133, Summer 1984.
- [10] A. Miura and I. Shimoyama, "Dynamic Walk of a Biped", Int. J. Robotics Research, vol. 3, no. 2, pp. 60-74, 1984.
- [11] Y. S. Youn, et al, "Kinematic Design and Fabrication of Multi-legged Walking Robot", KAIST Dept. of M.E., MOST Research Report, 1990.
- [12] Z. Bien et al., "Development of Intelligent Supervisory System and Sensory Feedback Controller with Vision (III)", KAIST Dept. of E.E., MOST Research Report, 1990.
- [13] Z. Bien, Y. J. Lee, I. H. Suh, and J. Lee, "Development and Control of a Sensor Based Quadruped Walking Robot", Proceedings. 90 Korea Autom.

- Contr. Conf., pp. 1087-1092, Seoul, October, 26-27, 1990.
- [14] Mckerrow Philip, Introduction to Robotics, Addison, Wesley, 1993, pp. 431-476.
 - [15] V. J Lumelsky and A.A. Stepanov, "Path Planning Strategies for a Point a Mobile Automation Admidst Unknown Obstacle of Arbitrary Shape", Algorithmica, vol. 2, no. 4, 1987, pp. 403-430.
 - [16] Johann Borenstein and Yoram Koren, "Histogramic In-Motion Mapping for Mobile Robot Obstacis Avoidance", Proceedings Trans. on Robotics and Automation, vol. 7, no. 4, August 1991, pp. 535-539.
 - [17] The University of Michigan, Where am I?, Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning by J. Borenstein, and H. R. Everett, Proceedings, Contributing Authors: S. W. Lee and R. H. Byrne, Edited and Compiled by J. Borenstein April 1996, pp. 95-128.
 - [18] 고교청, *센서사전*, pp. 148.
 - [19] Polaroid Corporation, Ultrasonic ranging system, 1988.
 - [20] 김태홍, "로봇주행을 위한 장애물 탐지 및 거리측정", 동양대학교논문집, 제 6 집, 2000, pp. 135-138.
 - [21] Rovert J. Schilling, *Fundamentals of Robotics*, Prentice-Hall International Editions, 1990, pp. 362.
 - [22] Lozano-Perez, T. Spatial planning: *A configuration space approach*, Proceedings Trans. Computers, vol. C-32, 1983, pp. 108-120.
 - [23] Randy Crane, *영상처리 이론과 실제*, 홍릉과학출판사, pp. 119.