

## 이동 로봇을 위한 초음파 센서 기반의 주변 환경 지도 작성에 관한 연구

서남일 · 권석근 · 노영식  
전기 전자 및 자동화 공학부

### <요 약>

본 논문에서는 미지의 환경에서 작업하는 이동 로봇의 경로 계획과 위치 인식에 필요한 주변 환경에 대한 지도작성 방법에 대하여 다루었다. 주변환경에 대한 정보를 보다 간략하게 나타내기 위하여, 이동로봇의 실내주행 중에 초음파 센서로부터 얻어진 일반적인 격자 지도를 호프 변환을 이용하여 몇 개의 직선 선분으로 단순화시키는 방법을 제안하였다. 여기서 기본이 되는 실내 환경에 대한 격자 지도 표현은 이동 로봇 상부에 장착한 15개의 초음파 센서를 이용하여 실시간으로 얻었고, 생성된 격자 지도 정보를 Off-Line상에서 호프 변환을 사용하여 간단한 직선 선분으로 변환한 후, 직선 선분을 합성하여 주변 환경 정보 표현의 간략화를 구현하였다.

실제 실험한 결과, 이동 로봇의 주변 환경을 간략하게 표현할 수 있는, 적은 수의 직선 성분으로 구성된 지도를 얻을 수 있었다.

## A Study on the Ultrasonic Sensor based Map Building of Environment for Mobile Robot

Nam-il Seo · Seok-geon Kwon · Young-shick Ro  
School of Electrical, Automation Engineering

### <Abstract>

In this paper, we presents how to simply build a grid map, which forms with line segments through in indoor environment. The description of the grid map for indoor

environment is acquired in real time from 15 Ultrasonic sensors on a upper frame of mobile robot. To transform the grid map into the line segment map, the Hough transformation method is applied. In result, we could obtain the line segment map which will be able to describe a indoor environment with a small number of line segments.

Key Words : mobile robot, ultrasonic sensor, grid map, line segment map, Hough method

## 1. 서 론

반약 이동 로봇이 환경에 대한 정보 없이 단순히 근접한 장애물 회피능력만을 가진다면, 경로가 있음에도 불구하고 목표점에 이르지 못하거나, 먼 경로를 우회함으로써 시간적인 손실이 많을 것이다. 따라서 자율 이동 로봇이 미지의 환경에서 작업하기 위해서는 환경을 인지하고 장애물에 대한 정보를 기록하는 지도 작성 능력이 필수적이다. 그러나 지도 작성에 있어서 중요한 점은, 주위환경과 장애물에 대한 자세한 묘사가 주목적이 아닌 한, 어떻게 장애물에 대한 정보를 경로계획, 위치인식 등에 이용할 수 있는 최소한의 데이터로 표현하는가 라고 볼 수 있다.

이동 로봇을 위한 주위 환경을 표시하기 위하여 사용되는 방법으로는 작업 공간을 평면과 모서리, 구석 등의 모델로 표현한 모델 기반 지도(model-based map)와 격자형 환경정보를 이용한 격자 지도(grid map)가 있다[1]. 그러나 모델 기반 지도는 현재 이동 로봇에 사용되고 있는 저가의 센서들에 의한 정보의 불확실성 때문에 공간 내부의 위상학적 정보를 얻기 힘들어 미지의 환경에 대한 지도작성으로 사용하기 어렵다[2]. 반면 격자 지도는 불확한 정보로도 즉각적인 지도 작성과 정보의 변경이 가능하므로 많이 사용되고 있다[3].

격자지도는 초음파 센서나 적외선 센서 같은 근접센서들을 이용하여 장애물에 대한 정보를 격자로 구분한 작업공간상의 위치로 인식함으로써 표현된다. 초음파 센서에 대해서는 이전부터 많은 연구가 이루어져 왔으며, 그에 관한 효능과 단점이 어느 정도 입증됐다고 할 수 있다[4]. 그러나 지도 작성 후 정보를 저장함에 있어서 격자 지도는 주위 환경의 조건-장애물의 유무나 크기 등-에 상관없이 전체 작업공간에 대한 정보 전체를 저장해야만 한다. 따라서 장애물의 조건에 상관없이 작업공간이 증가하면 저장해야할 정보 또한 똑같이 증가하게 된다. 그리고, 센서의 부정확한 측정에 의하여 생성된 오류가 그대로 지도작성에 반영되므로, 정보 그 자체가 정확하다고도 할 수가 없다. 그러므로 격자지도를 좀 더 효율적으로 이용하기 위해서는 지도 정보를 좀 더 간략화 하는 방법을 연구해야만 한다.

따라서, 본 논문에서는 실내환경에서 이동 로봇 상부에 장착한 15개의 초음파 센서를 이용하여 실시간으로 얻어진 일반적인 격자 지도를 Off-Line상에서 호프 변환을 이용하여 직선 선분으로 변환시키고 이들을 서로 합성시킴으로써 주변 환경에 대한 정보를 좀 더 간략하고 단순한 직선 선분 지도로 나타내는 방법을 제시한다.

## 2. 초음파 센서 기반의 격자형 주변 환경 정보

본 논문에서는 초음파 센서의 부정확성 결점들을 해결하고자, 장애물에 대한 거리 검출에 있어서, 최소 측정 거리를 20 Cm, 최대 측정 거리를 200 Cm로 제한하여 방향성 오차를 감소시켰으며, 여러 개의 센서를 차례차례 순차적으로 구동하여, 주변 센서에 대한 간섭을 제거하였다. 또한 초음파 센서를 로봇 상단에 15° 간격으로 15개를 배치하여 장애물을 감지하는 센서 수를 늘려 반사각 민감성 문제를 해결하였다. 그림 2. 1은 본 논문에서 사용한 초음파 센서의 배치 구조와 거리 검출 허용 오차, 그리고 중첩 정도를 보여준다. 사용한 초음파 센서는 Polaroid사의 초음파 거리 측정 키트를 사용하였다.

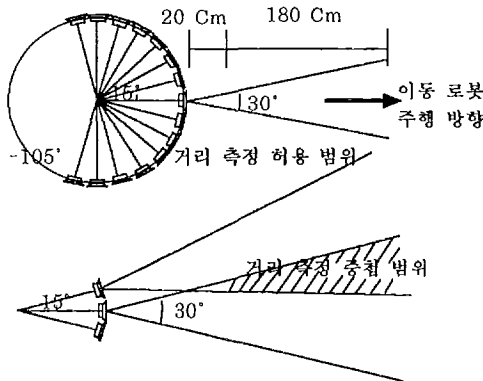


그림 2. 1 초음파 센서 배치 및 거리 측정 범위

격자를 바탕으로 한 지도(grid based map)는 주변 환경에 대한 구성의 제약 없이 이동 로봇의 작업 공간을  $m \times n$  크기의 2차원 평면으로 가정하고 전체공간을 일정한 형태의 격자 집합으로 표현한 후 각 격자에 장애물 유무의 가능성 정도를 나타내는 확실성 값(certainty value)을 할당하여 주변 환경을 표현하는 지도이다.

본 논문에서는 센서의 방향성 오차의 보상과 계산의 간소화를 위해 격자의 확실성 값은 초음파 센서의 음향축 상의 격자로 제한하였다. 격자의 증가분 I+는 한번 검색 시 +1만큼 증가시켰고, 감소분 I-는 0으로 주었다. 그림 2. 2는 실제 적용한 격자지도 생성 방법을 보여준다.

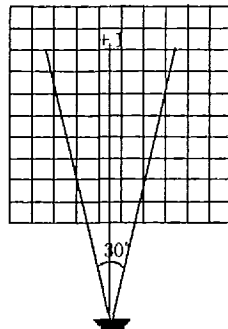


그림 2. 2 격자 확실성 값 결정 방법

### 3. 호프 변환(Hough transform)에 의한 직선 선분 지도 작성

#### 3.1 직선 선분(Line segment)의 정의

그림 3.1처럼 직선 선분에 대한 좌표계는 전역 좌표계로 고정되며, 가정된 전역 좌표계의 원점으로부터의 매개변수(parameter)들로 구성된다[5].

$P_m$  : 외부 좌표계에서 직선 선분의 중점

$\theta$  : 직선 선분의 방위

$h$  : 직선 선분의 중간 길이

$\sigma_\theta$  : 방위에서의 불명확성(기준 편차)

$\sigma_c$  : 직선 선분에 대한 수선 위치에서의 불명확성

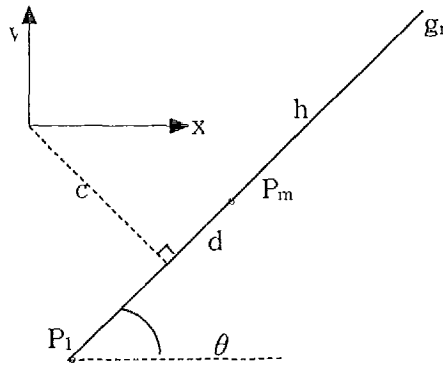


그림 3.1 직선 선분의 구성

직선 선분에 대한 여분의 매개변수는 다음과 같다.

$a, b$  :  $a = \sin(\theta)$ ,  $b = -\cos(\theta)$

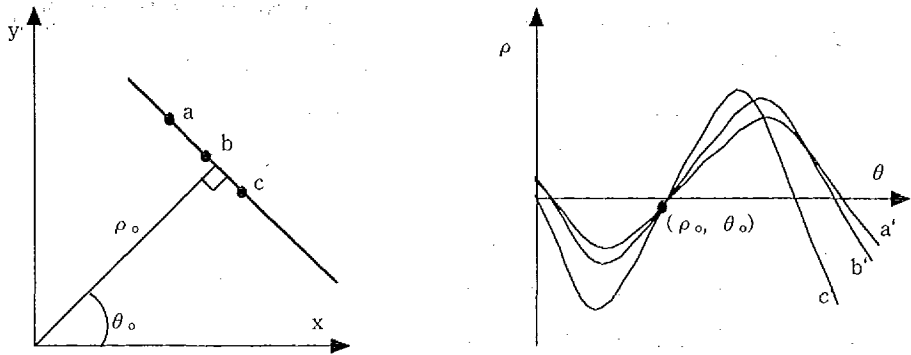
$c$  : 원점에 대한 수직 거리,  $c = -ax - by$

$d$  : 가로지른 수선으로부터 직선 선분의 중심점에 대한 원점까지의 거리

$P_r$  : 직선 선분의 오른쪽 끝점

$P_l$  : 직선 선분의 왼쪽 끝점

### 3. 2 호프 변환(Hough transform)에 의한 직선 선분 추출



(a) (x, y)공간상의 각 점 a, b, c

(b) (ρ, θ)공간상의 각 점 a, b, c

그림 3. 2 일반적인 호프변환의 기본 이론

호프 변환의 매개변수화를 위해서는 극좌표계 표현 방식인 식 (3 - 1)을 사용할 수 있다.

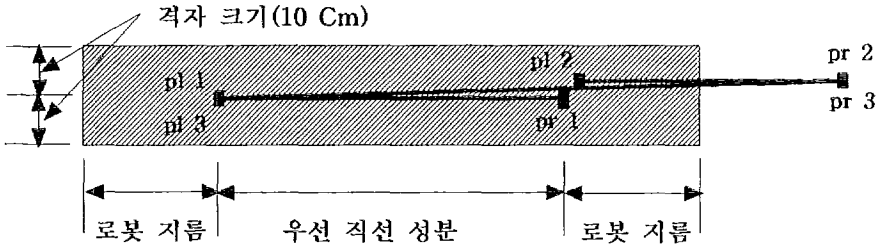
$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (3 - 1)$$

이것은 고정된 x, y에 대하여 (ρ, θ) 공간상에서 sin파를 생성한다. 일반적인 호프 변환의 기본 원리를 설명하고 있는 그림 3. 2에서 보는 것처럼, 전역 좌표계에 대해 일정한 각도 θ<sub>0</sub>와 법선 거리 ρ<sub>0</sub>를 갖는 x, y 공간상의 직선은 호프 변환에 의해 극좌표 공간상에 한 점에서 교차한다. 따라서 격자지도 상의 점들을 극좌표 공간에 맵핑하고 교차되는 횟수가 극대화되는 점을 찾으면 격자지도의 직선 정보를 얻을 수 있다. 이는 법선거리와 각도만으로도 정보의 저장에 충분하므로 원래의 격자 지도의 정보양보다 월등히 효율이 높아 주변 환경에 대한 훨씬 더 간략한 표현이 가능하다. 얻어진 직선 정보를 다시 격자지도에 적용하여 직선의 시작점과 끝점을 갖는 직선 선분을 추출한다.

### 3. 3 직선 선분의 합성

호프변화에 의해 얻어진 직선 선분들은 3. 1장에서 표현된 직선 선분의 매개 변수들을 갖게 된다. 따라서 추출된 직선 선분들의 상관 관계를 쉽게 추정할 수 있게 되기 때문에, 이미 얻어진 직선 선분들과 새로 얻어진 직선 선분을 합성하거나 삭제할 수 있다. 합성 가능한 조건은 다음과 같다.

- (1) 기존의 선과 새로운 선을 비교할 때, 길이가 긴 직선이 우선한다.
- (2) 그림 3. 6과 같이 우선하는 직선 선분 주위로 합성 가능 구역을 설정한다. 가능 구역의 크기는 우선 직선 선분의 중심을 기준으로 위, 아래로 격자 크기만큼의 여유를 가지고, 좌우로 로봇 지름(60 Cm)만큼의 여유를 가지는 공간으로 설정한다.



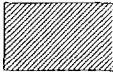
- pl 1 : 우선 직선 성분 왼쪽 점       합성 가능 구역
- pr 1 : 우선 직선 성분 오른쪽 점
- pl 2 : 합성 가능 직선 성분 왼쪽 점
- pr 2 : 합성 가능 직선 성분 오른쪽 점
- pl 3 : 결과 직선 성분 왼쪽 점
- pr 3 : 결과 직선 성분 오른쪽 점

그림 3. 3 직선 선분 합성 조건

- (3) 만약 합성 가능 구역 안에 합성 가능한 다른 직선 선분이 있다면, 그림 3. 4와 같은 방식으로 새로운 직선 선분을 도출한다.
- (4) 이 때, 만약 두 직선 선분 사이의 각이  $30^\circ$  를 넘는다면, 합성되지 못하는 선으로 설정한다.
- (5) 기존의 두 직선 선분을 삭제하고, 합성된 새로운 직선 선분만을 저장한다.
- (6) 또 다른 직선 선분이 발생하면, (1)에서 (5)의 방법을 반복한다.

h : 우선 직선 선분 길이 / 2  
 dist(a, b) : a와 b 사이의 거리

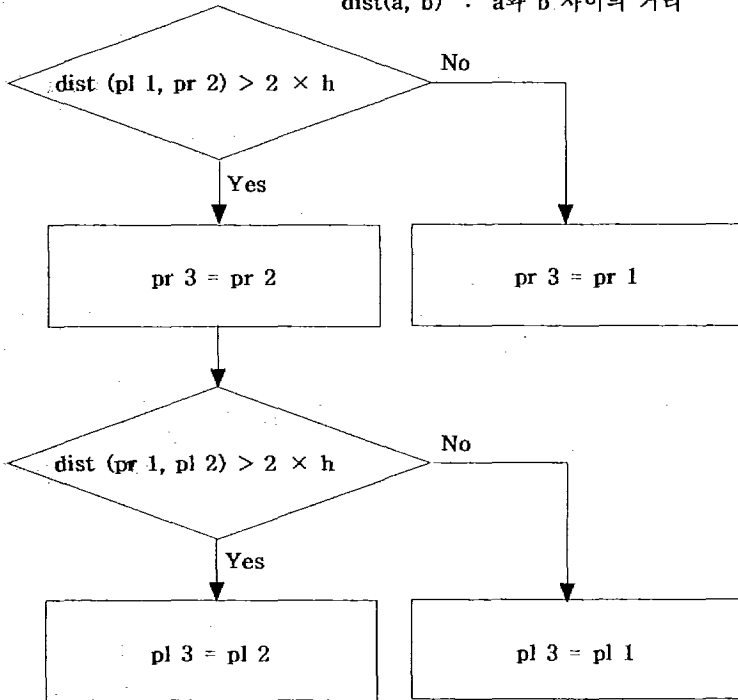


그림 3. 4 직선 선분 합성 방식

## 4. 실험 및 결과

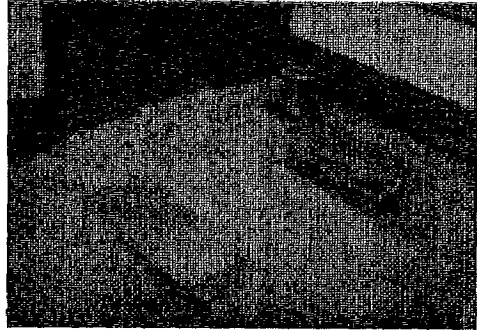
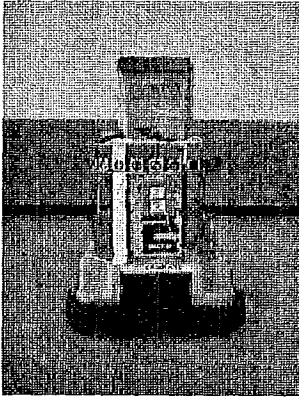
### 4. 1 이동 로봇 개요

본 논문에서는 미국 TRC사의 LABMATE를 시험차량으로 이용하였으며, 초음파 센서와 바퀴구동 제어 등의 기능을 수행하는 제어용 486 DX 66컴퓨터를 장착하였으며 상호간의 정보교환은 RS232 직렬통신을 사용한다. 높이 69cm에 직경 60cm의 원판을 장착하고, polaroid사의 초음파 센서를 15도 간격으로 15개를 배치하였다. 전체 운반체의 크기는 폭 64cm, 길이64cm, 높이81cm이며 전체 몸체는 그림 4. 1(a)과 같다. 본 실험에서 초음파 센서로부터 얻어진 격자 지도 정보의 호프 변환 알고리즘은 그림 4. 2에서 설명된다.

### 4. 2 실험 환경

작업 공간을 10 M ×10 M로 설정하고, 그 안에 가변 벽을 이용하여 임의의 실내 환경을 구축한 후, 책상을 이용하여 임의의 장애물을 설치하고, 이동 로봇을 구동하였다. 이동

로봇의 주행 경로는 작업 공간을 모두 지나갈 수 있도록 [6]에서 언급한 형식의 주행 알고리즘을 이용하여 경로를 지정해 주었다. 그림 4. 1(b)은 실험 작업 공간을 보여준다.



(a) 실험용 이동 로봇

(b) 실험 공간

그림 4. 1 실험용 이동 로봇 및 실험 공간

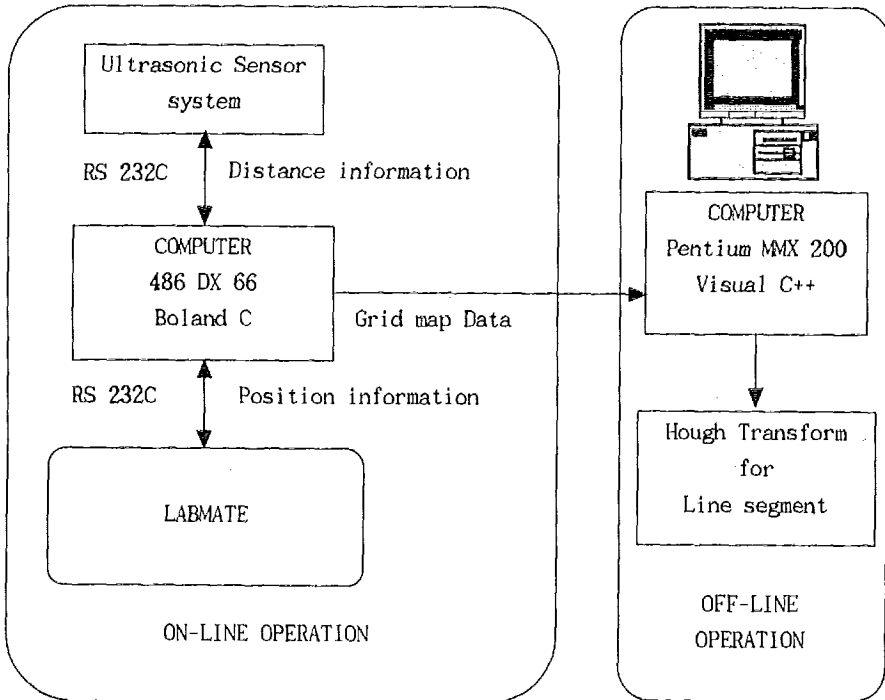


그림 4. 2 실험용 이동 로봇 시스템 구조



### 4.3 실험 결과

1) 복도 주행의 경우(울산대학교 공학 1호관 4층 복도)

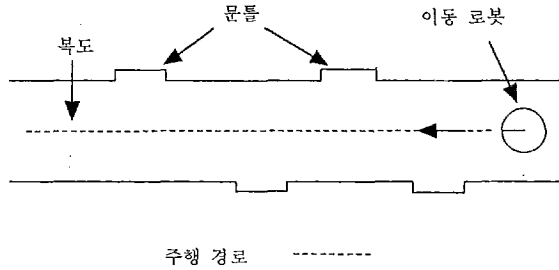
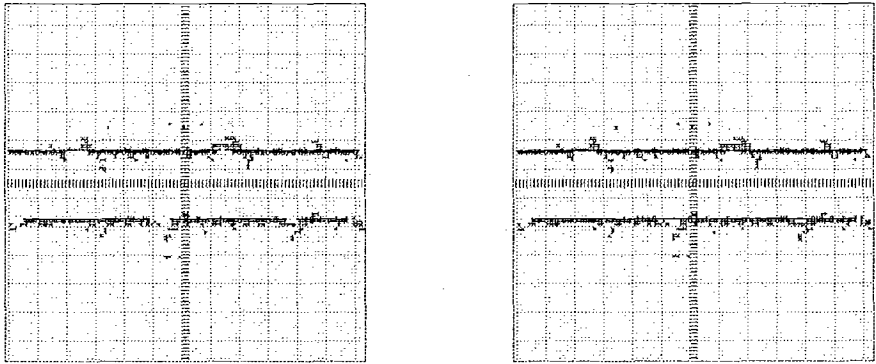


그림 4.3 복도 구조 및 주행 경로



(a) 직선 선분 합성 전(직선 개수 : 6) (b) 직선 선분 합성 전(직선 개수 : 2)

그림 4.4 복도 주행 결과

2) 로비에서 장애물이 모인 상태에서 주행한 경우

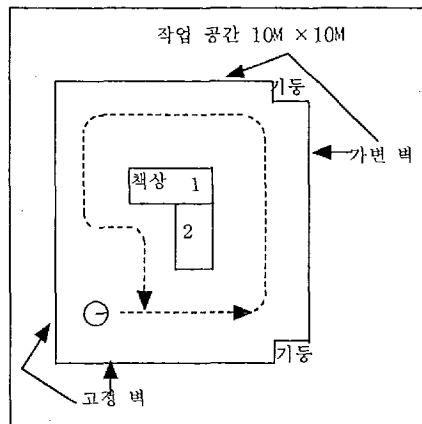


그림 4.5 장애물이 모인 로비 구조 및 주행경로



## 5. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 초음파 센서를 이용하여 주변 환경에 대한 정보를 각 격자의 확실성 값(certainty value)으로 나타내는 격자 지도를 생성한 후, 얻어진 격자 지도 정보에서 호프 변환을 이용하여 직선 선분으로 도출하였다.

실제 실험 결과, 초음파 센서를 통하여 실시간으로 얻어진 격자 지도 정보에 오류가 포함되어 있다고 하더라도, 확실성 값이 일정값 이하인 격자를 배제함으로써 잘못 인식된 장애물 정보를 제거할 수 있었고, 또한 그렇게 얻어진 격자정보를 가지고 호프 변환을 실시하였을 경우, 주변 환경에 대한 정보를 직선 선분으로 표현함으로써 결론적으로 주변 환경에 대한 지도의 표현이 훨씬 더 간단해짐을 알 수 있었다. 또한 격자 지도 정보를 이용하여 직선 선분을 얻고자 호프 변환하였을 때 제안한 방법을 이용하여 얻어진 직선 선분을 합성함으로써, 좀 더 적은 개수의 직선 선분으로 이루어진 주변 환경에 대한 간략한 직선 선분 지도를 얻을 수 있었다.

앞으로 연구의 주요 과제는 두 가지로 요약될 수 있다. 첫 번째로, 현재 off-line 으로 수행되는 직선 선분 지도 작성을 실시간으로 옮기는 문제이다. 그리고, 얻어진 직선 선분 지도를 이동로봇의 위치보정과 경로계획에 이용하기 위한 알고리즘 개발도 앞으로의 중요 과제이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Kok Seng CHONG, Lindsay KLEEMAN, "Indoor Exploration Using Sonar Sensor Array : ADual Representation Strategy" IEEE Proc. IROS 97, pp676-682, 1997.
- [2] T.Skewis, V.Lumelsky, "Experiments with a Mobile Robot Operating in a Cluttered Unknown Environment" IEEE Journal of Robotics System Vol 11, No 4, pp. 281-300, June 1994.
- [3] A.G.Pipe, B.Carse, A.Winfield, "A Topological Map based Navigation System for Mobile Robotics" Proceeding of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp4394-4399, 1.1997.
- [4] H.Chung, Y.S.Choi, J.G.Lee, "Path planning for a mobile robot with grid type world model" Proc. 1992 IEEE/RSJ Conf. on Intelligent Robot and Systems, pp439-444, 1992.
- [5] James L. Crowley, "World Modeling and Position Estimation for a Mobile Robot Using Ultrasonic Ranging" IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp 674-680, 1989.
- [6] 이운근, "자율 이동 로봇을 위한 이동 명령 시스템에 관한 연구", 울산대학교 석사학위 논문, 1992.