

# 초음파 센서를 이용한 이동 로봇의 직선선분 지도 작성

## Line Segments Map Building Using Sonar for Mobile Robot

홍 현 주, 권 석 근, 노 영 식

(Hyun-Ju Hong, Seok-Geon Kweon, and Young-Shick Ro)

**Abstract :** The purpose of this study is to build and to manage environment models with line segments from the sonar range data on obstacles in unknown and varied environments. The proposed method subsequently employs a two-stage data-transform process in order to extract environmental line segments from the range data on obstacles. In the first stage, the occupancy grid extracted from the range data is accumulated to a two-dimensional local histogram grid. In the second stage, a line histogram extracted from an local histogram grid is based on a Hough transform, and matching is a process of comparing each of the segments in the global line segments map against the line segments to detect similarity in overlap, orientation, and arrangement. Each of these tests is made by comparing one of the parameters in the segment representation. After the tests, new line segments are composed to the global line segments map. The proposed technique is illustrated by experiments in an indoor environment.

**Keywords :** mobile robot, map building, line segments, histogram grid, Hough transform

### I. 서론

이동로봇에서 초음파 센서는 전방에 있는 물체에 대한 거리정보를 손쉽게 값싸게 제공해 주므로 이동로봇의 장애물 회피를 위하여 가장 널리 사용되고 있다. 비록 장애물에 대한 정보가 부정확하고, 거울현상으로 자주 잘못된 정보를 제공하는 단점이 있으나 초음파 센서는 이동로봇이 실시간으로 장애물과의 충돌을 회피하면서 목표점까지 주행하는데 필요한 충분한 정보를 제공해 준다. 또한 이동로봇 주행중에 얻은 장애물 위치정보를 누적하면 장애물 형상에 대한 정보를 제공해 줄 수 있으므로 이를 2차원 지도 작성(map building)에 이용할 수 있다.

초음파 센서에 의한 지도작성 방법으로는 격자지도(grid map) 방법과 모델 기반 지도(model-based map) 방법으로 분류할 수 있다[1]. 격자지도 방법은 작업공간을 일정한 크기의 격자로 나누고 각 격자에 장애물이 점령하고 있는지에 대한 확률적 값을 부여하는 방법이다[2][3]. 이 방법은 실시간으로 얻은 장애물 정보를 쉽게 누적시킬 수 있고, 정확도가 떨어지는 초음파 센서나 적외선 센서같은 근접센서들을 이용하여도 장애물 회피나 지도작성에 필요한 장애물 정보를 안정적으로 제공해주는 장점이 있다. 반면 주변 환경의 조건-장애물의 유무나 크기 등에 상관없이 전체 작업공간에 대한 정보를 저장해야 하므로 효율적이지 못하다. 특히 이동로봇의 위치오차 혹은 작업환경의 변화 등에 의해 실존하지 않는 지도상의 장애물 정보를 제거할 수 있는 적절한 방법이 없어 진행이 될수록 지도의 정확성이 떨어지는 단점이 있다. 반면 모델 기반 지도는 공간을 평면, 모서리, 구석 등의 모델로 표현한 지도이다[4][5]. 이러한 지도는 이동로봇 주위환경에 대한 센서정보를 이용하여 기존

의 정보를 수정하기 용이하며 작업공간 내의 장애물 정보를 효율적으로 표현할 수 있다. 따라서 지도를 이동로봇의 위치보정, 전역 경로계획 등에 효과적으로 활용할 수 있다. 그러나 모델기반 지도 방법은 센서의 정도에 민감하여 초음파 센서와 같이 부정확하고 자주 오류 정보를 제공하는 센서를 이용하여 지도를 생성하는 경우 장애물에 대한 기하학적 형상을 제대로 인식하지 못하여 모델 정보를 생성하지 못하거나 잘못된 모델을 다량 생성하는 문제가 있다.

본 논문에서는 상기 두 지도작성 방법을 혼합한 직선선분 지도 생성 방법을 제안하였다. 먼저 초음파 센서 정보를 이동로봇의 주변 일정영역에 설정된 지역 히스토그램 격자(local histogram grid)에 누적시켜 장애물의 기하학적 형태가 격자지도에 형성되도록 하였다. 다음으로 지역 히스토그램 격자지도로부터 직선 선분을 추출하여 직선 선분들로 구성된 모델 기반 지도를 생성하였다. 즉 장애물에 대한 기하학적 정보를 얻기 위해 이동로봇 이동중에 초음파 센서로부터 얻어진 장애물 위치에 대한 정보를 그대로 이용하지 않고 격자지도에 누적된 정보를 이용함으로써 센서 정도에 둔감하고 안정된 모델 정보를 얻을 수 있고, 동적이고 제한된 크기의 격자지도를 사용함으로써 정보량을 줄이고 변화하는 환경에도 적용 가능하도록 하였다. 특히 지역 히스토그램 격자지도는 VFH(vector field histogram)에 의한 장애물 회피[6]에도 그대로 사용할 수 있으므로 지도작성 문제와 장애물 회피 문제를 동시에 다룰 수 있는 장점이 있다.

### II. 지역 히스토그램 격자지도 생성

전역 히스토그램 격자지도는 이동로봇의 이동중에 검출된 장애물 정보를 기록하고 이를 실시간 장애물회피에 이용하기 위하여 개발된 방법이다[7]. 각 격자에는 그림 1에서 보는 바와 같이 장애물에 의한 점령 가능성을 보여주는 확실성값(certainty value)이 부여되어 있다. 이동로봇이 이동

접수일자 : 2001. 6. 25., 수정완료 : 2001. 8. 10.  
홍현주, 권석근, 노영식 : 울산대학교 전기전자정보시스템 공학부  
(honghj@shinbiro.com/selfking@chollian.net/ysro@mail.ulsan.ac.kr)

중에 실시간으로 확실성값을 부여하기 위하여 그림 2와 같은 간략화된 방법을 사용하였다. 즉 장애물이 검출된 경우 초음파 센서 중심 축 상에 있는 하나의 격자만 확실성값을 3 증가(최대값은 15)시키고 그 격자에 이르는 선상에 있는 격자들의 확실성값은 1 감소(최소값은 0)시킨다. 이는 오류 검출로 인한 잘못된 확실성값을 보정하고 각 격자에 장애물의 존재 유무에 대한 확률적 해석이 가능하게 하기 위한 방법이다. 상기 방법을 실제 적용시 초음파 센서의 부정확성에 의한 영향으로 장애물 표면에 해당하는 격자의 확실성값이 고르지 않고 산만해지는 경우가 자주 발생하게 되는데 이를 보정하기 위하여 GRO(growth rate operator)를 도입하였다. GRO는 장애물이 검출된 주변 격자의 확실성값에 따라 검출된 격자의 확실성값을 증가시켜 주어 인접한 격자들의 확실성값을 고르게 해주는 저역 필터와 유사한 역할을 수행한다. 이상의 고려에 의해 장애물이 감지된 격자의 확실성값은 다음 (1)에 의해 결정된다.

$$CV'_{i,j} = CV_{i,j} + I^+ + \sum_{p,q=-1}^{p,q=1} (w \cdot CV_{i+p,j+q}) \quad (1)$$

- (i, j) : 장애물이 감지된 격자의 인덱스
- $CV'_{i,j}$  : 장애물 감지 후 확실성값
- $CV_{i,j}$  : 장애물 감지 전 확실성값
- $I^+$  : 확실성값 증분(=3)
- w : GRO 하중인자(=0.5)

본 연구에서 작업공간내 직선선분 추출을 위해 사용하는 지역 히스토그램 격자지도는 로봇 주위의 제한된 공간 내에 있는 격자들로 구성되며 이는 전역 히스토그램 격자지도의 일부가 아닌 독립적인 동적 격자지도이다. 그림 3

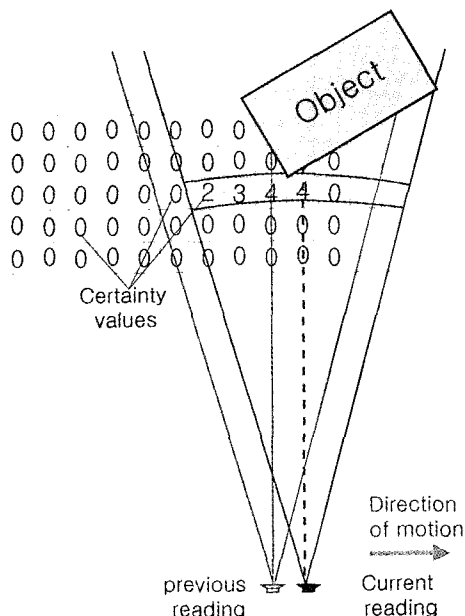


그림 1. 히스토그램 격자의 생성 과정.  
Fig. 1. Generation of the histogram grid.

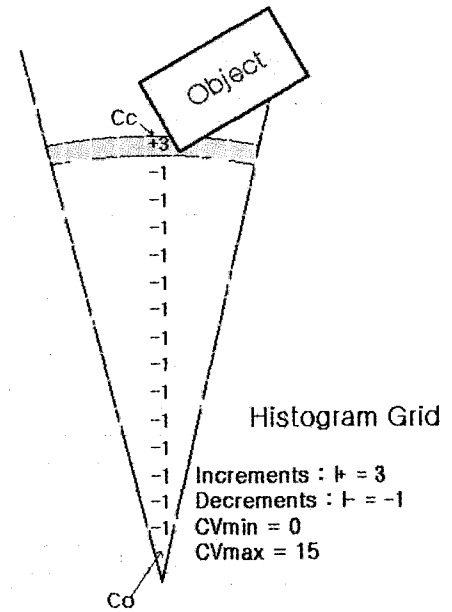


그림 2. 격자 확실성 값 변경 방법.  
Fig. 2. Updating certainty value of grid.

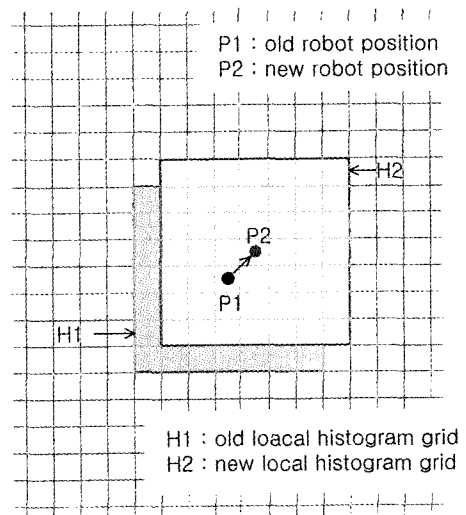


그림 3. 지역 히스토그램 격자지도.  
Fig. 3. Cartesian space of local histogram grid.

에서와 같이 이동로봇이 격자사이를 이동하면 새로운 격자지도영역이 형성되고 이에 포함되지 않는 과거의 격자 정보는 제거된다. 따라서 정보량은 항상 일정하며 과거 장애물 정보가 제거되므로 변화하는 환경에 대응할 수 있다. 본 연구에서는 이동로봇의 크기(80cm×80cm)를 고려하여 격자 크기를 10cm×10cm로 하였고, 지역 히스토그램 격자지도의 크기는 초음파 센서의 유효측정 거리(2m)를 고려하여 310cm×310cm로 하였다.

### III. 격자지도로부터 직선선분 추출

#### 1. 직선선분의 정의

지도상의 각 직선선분은 그림 4에서와 같이 기준 좌표계에 대하여 정의되며, 위치정보를 표시하는 4개의 매개변수, 위치 오차범위를 표시하는 2개의 매개변수, 존재여부의

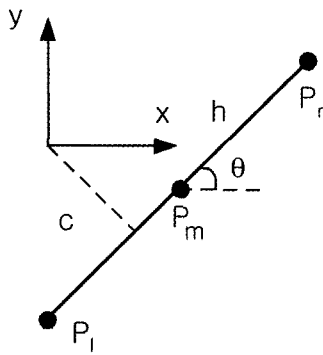


그림 4. 직선선분의 표현.  
Fig. 4. Parametric representation for line segment.

확실성을 표시하는 1개의 매개변수 등 총 7개의 매개변수로 표시한다.

- $P_m$  : 직선선분의 중점(xm, ym)
  - $\theta$  : 직선선분의 방향
  - $h$  : 직선선분의 반 길이
  - $\sigma_\theta$  : 방향오차의 표준편차
  - $\sigma_c$  : 거리오차의 표준편차
  - CF : 확실성 인자(confidence factor)
- 직선선분에 대한 여분의 매개변수는 다음과 같다.
- $c$  : 수직 거리( $= -\sin(\theta)x + \cos(\theta)y$ )
  - $P_r$  : 직선선분의 오른쪽 끝점
  - $P_l$  : 직선선분의 왼쪽 끝점

2. 직선선분의 추출

지역 히스토그램 격자지도에 형성된 장애물 형상에 대한 정보로부터 직선선분을 추출하기 위해, 이미지 정보로부터 기하학적 형상을 추출하는 수단으로 많이 이용되고 있는 허프변환(Hough transform)을 사용한다[8]. (2)의 직선 방정식을 이용하여 직각좌표계 공간의 점들을 허프 파라미터 공간으로 변환한다.

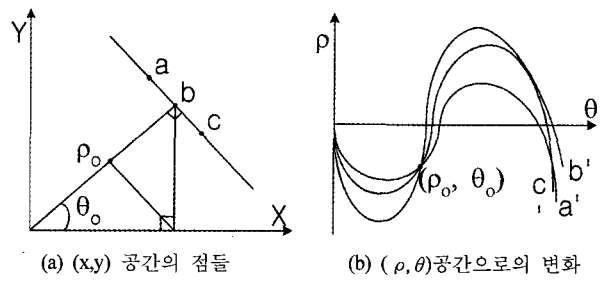
$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2)$$

그림 5는 (2)를 이용하여 허프변환한 결과를 보여주고 있다. 점 a, b, c는 (x, y)공간에서 직선 상의 점들로 이를 허프변환하면 그림 5(b)와 같이  $(\rho, \theta)$ 공간에서 각각 정현파 곡선으로 변환되며 하나의 점에서 교차하게 된다. 따라서 정현파가 많이 교차하는 교점의 위치를 찾아서 이를 (x, y)공간에 적용하면 직선선분을 추출할 수 있다.

실제 알고리즘을 구성할 때 교점의 위치를 찾기 위하여  $(\rho, \theta)$ 공간을 일정한 크기로 분할하여 격자를 생성하고 정현파 곡선 상에 놓이는 격자의 값을 증가시키면 격자값은 정현파 곡선의 교차횟수를 표시하게 된다. 따라서 교점의 위치를 찾는 문제는 지역 최대 격자값을 갖는 격자를 찾는 문제가 된다.

그림 6은 복도 주행 중 이동로봇이 생성한 지역 히스토그램 격자지도에서 그림 7과 같이 허프변환 후 다시 역변환하여 직선 선분을 추출한 예를 보여준다.

허프변환을 이용하여 생성된 직선선분과 실제 장애물 표



(a) (x, y) 공간의 점들 (b)  $(\rho, \theta)$ 공간으로의 변화  
그림 5. 허프변환.  
Fig. 5. The Hough transform.

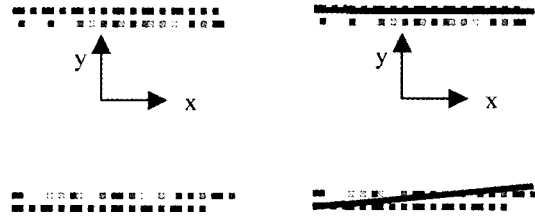


그림 6. 지역 히스토그램 격자지도와 허프 변환에 의해 추출된 직선 예.  
Fig. 6. An example of local histogram grid and line segments extracted by Hough transform.

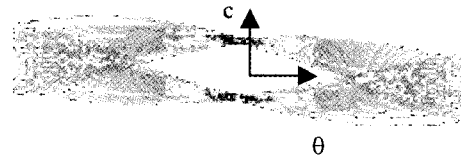


그림 7. 그림 6에서의 격자 지도에 대한 허프변환.  
Fig. 7. Hough transform for a local histogram grid.

면과는 정확하게 일치하지 않으며 이러한 오차의 주요한 원인은 작업공간의 격자화에 따른 양자화 오차와 이동로봇 위치 오차 때문이다. 먼저 양자화 오차에 의한 위치오차 분산은 생성된 직선선분의 시작점 및 끝점의 위치에 대한 불확실성 값을 동일하게  $\sigma_w$ 라 놓으면 다음 (3)과 같이 구할 수 있다[9][10].

$$\begin{aligned} \sigma_{c\theta}^2 &= \frac{\sigma_w^2}{2} \\ \sigma_{\theta y}^2 &= \frac{\sigma_w^2}{2h^2} \end{aligned} \quad (3)$$

또한 이동로봇의 위치오차 분산을  $C_{xy}$ 라 할 때 다음 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma_{cr}^2 &= M^T C_{xy} M \\ &= [a \quad b] \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 \end{bmatrix} [a \quad b]^T \\ &= a^2 \sigma_x^2 + 2ab \sigma_{xy} + b^2 \sigma_y^2 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $a = -\sin(\theta), b = \cos(\theta)$ 이다.

상기 두 가지의 직선선분의 위치오차 원인은 상호 독립적이므로 격자지도로부터 생성된 직선선분의 위치오차는 다음 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma_c^2 &= \sigma_{c_q}^2 + \sigma_{c_r}^2 \\ \sigma_\theta^2 &= \sigma_{\theta_q}^2 + \sigma_{\theta_r}^2 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $\sigma_{\theta_r}^2$ 는 이동로봇의 방향 오차분산 값이다.

**IV. 직선선분의 융합**

지역 히스토그램 격자지도에서 추출된 직선선분이 전역 지도 상에 등록된 직선선분들과 융합되는지를 알기 위해 중복 검사, 방향 검사, 정렬 검사를 수행하고 결과에 따라 전역지도에 직선선분의 추가, 융합, 삭제 등의 작업을 수행하여 직선선분 지도를 작성한다[4].

**1. 중복 검사**

중복 검사는 이동로봇 주위의 장애물 정보에 의하여 생성된 직선선분이 이전에 기록된 장애물에 대한 정보와 중복이 되는지를 검사한다.  $L_1$ 은 새로 생성된 직선선분으로 매개변수는  $(p_{l_1}, p_{r_1}, p_{m_1}, c_1, \theta_1, \sigma_{c_1}, \sigma_{\theta_1})$ 라 가정하고,  $L_2$ 는 전역지도상에 있는 기존의 직선선분으로  $(p_{l_2}, p_{r_2}, p_{m_2}, c_2, \theta_2, \sigma_{c_2}, \sigma_{\theta_2})$ 라 가정한다. 그림 8에서와 같이 두 직선이 겹쳐지는 부분의 오른쪽 끝점은  $P_{r_1}$ 이고, 왼쪽 끝점은  $P_{l_2}$ 이다. 양 끝점사이의 각을 2등분하는 직선을 긋고 이를 직선  $L_3$ 라 한다. 직선선분  $L_1$ ,  $L_2$ 와 직선  $L_3$ 가 만나는 점을  $p_1(x_1, y_1)$ ,  $p_2(x_2, y_2)$ 라 하면 (6)에 의해 두 직선선분의 거리를 평가하고 중복성 여부를 판단한다. 여기서  $\delta_d$ 는 거리 평가 상수이다.

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} < \delta_d \quad (6)$$

만약 새로운 직선선분이 전역지도 상의 어떠한 직선선분과도 중복되지 않는다면 이는 지도상에 기록되지 않은 장애물 정보를 표현하고 있는 것으로 판단하여 이를 지도에 추가한다.

**2. 방향 검사**

중복검사에서 새로운 직선선분과 중복되는 기존의 직선선분이 찾아지면 두 직선선분의 각도 차가 융합하기에 적합한지를 (7)을 기준으로 평가한다. 여기서  $\delta_\theta$ 는 방향오차 허용범위를 결정하는 상수이다.

$$(\theta_1 - \theta_2)^2 \leq \delta_\theta (\sigma_{\theta_1}^2 + \sigma_{\theta_2}^2) \quad (7)$$

두 직선선분의 각도 차가 오차허용범위 보다 크다면 융합 불가능하고 기존의 직선선분은 오류정보일 가능성이 크다.

**3. 정렬 검사**

방향 검사를 통과하면 일단 두 직선선분은 융합 가능하다고 가정하고 융합된 직선선분의 방향  $\theta$ 를 (8)과 같이 구한다.

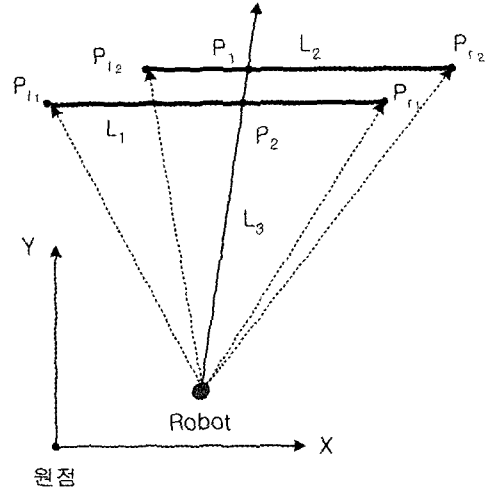


그림 8. 두 직선에 대한 중복검사.  
Fig. 8. The overlap test for lines.

$$\begin{aligned} k_\theta &= \frac{\sigma_{\theta_1}^2}{(\sigma_{\theta_1}^2 + \sigma_{\theta_2}^2)} \\ \theta &= \theta_1 - k_\theta(\theta_1 - \theta_2) \\ \sigma_\theta^2 &= \sigma_{\theta_1}^2 - k_\theta \sigma_{\theta_1}^2 \end{aligned} \quad (8)$$

다음 두 직선선분에 융합 방향  $\theta$ 를 각각 적용하여 원점으로부터 수직거리  $c_1$  및  $c_2$ 를 (9)와 같이 구한다.

$$\begin{aligned} c_1 &= -\sin(\theta)x_{m_1} + \cos(\theta)y_{m_1} \\ c_2 &= -\sin(\theta)x_{m_2} + \cos(\theta)y_{m_2} \end{aligned} \quad (9)$$

정렬검사는 그림 9과 같이 직선선분  $L_1$ ,  $L_2$ 간의 거리가 융합 가능한 범위에 있는가를 검사하는 것으로 (10)을 기준으로 판단한다. 여기서  $\delta_c$ 는 거리오차 허용범위를 결정하는 상수이다.

$$(c_1 - c_2)^2 \leq \delta_c (\sigma_{c_1}^2 + \sigma_{c_2}^2) \quad (10)$$

두 직선선분의 거리가 오차 허용범위보다 크다면 융합 불가능하고 기존의 직선선분은 오류정보일 가능성이 크다.

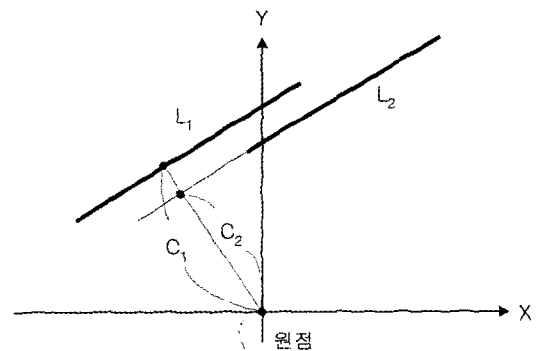


그림 9. 정렬검사를 위한 직선 파라미터.  
Fig. 9. Line segment parameter for alignment test.

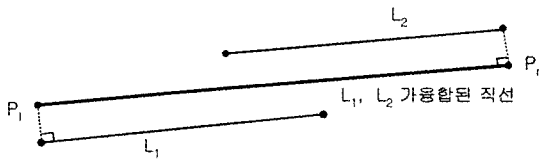


그림 10. 정렬 검사 후 융합된 직선.  
Fig. 10. Matched line segments after the alignment test.

4. 직선 선분 융합

두 직선선분이 3가지 검사를 모두 만족하면 하나의 직선선분으로 융합할 수 있다. 융합한 직선의 매개변수  $c$ , 및  $\sigma_c$ 는 (11)에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 k_c &= \frac{\sigma_{c_1}^2}{(\sigma_{c_1}^2 + \sigma_{c_2}^2)} \\
 c &= c_1 - k_c(c_1 - c_2) \\
 \sigma_c^2 &= \sigma_{c_1}^2 - k_c \sigma_{c_1}^2
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

그림 10은 상기 과정을 거쳐 융합된 직선선분을 보여준다.  
5. 직선의 추가 및 삭제

새롭게 발견된 장애물에 대한 직선선분을 전역지도에 추가하거나 전역지도 상에 있는 오류 선분을 삭제하는 것은 융합과정에 직선선분의 확실성 인자 CF값을 관리함으로써 이루어진다. 그림 11는 CF값을 결정하는 방법을 설명하고 있다. 여기서  $i$ 는 전역지도 상에 있는 직선선분을,  $k$

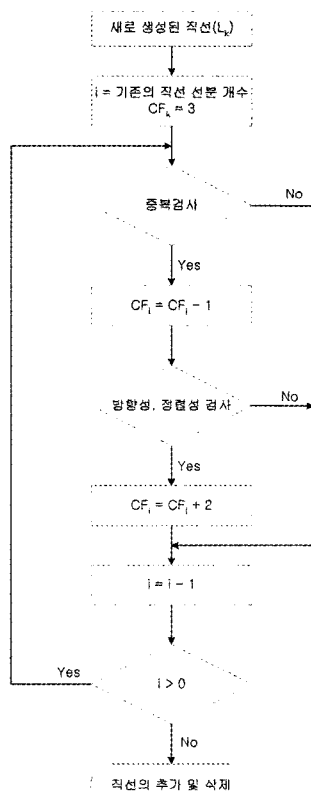


그림 11. CF값 결정을 위한 플로차트.  
Fig. 11. The flowchart for CF value decision.

는 새로 생성된 직선선분을 나타낸다. 새로운 직선선분이 생성되면 CF값은 3으로 초기화하고, 생성된 직선선분이 기존의 직선선분들과 중복되지 않거나 융합되지 않으면 전역지도에 생성된 직선선분을 추가한다. 만일 새로운 직선선분과 중복되는 기존 직선선분이 존재하나 융합되지 않으면 기존 직선선분의 CF값을 감소시키고, 융합되면 CF값을 증가시킨다. CF값이 0인 직선선분은 오류 선분으로 판단하여 전역지도에서 제거시킨다.

V. 실험 및 결과

실험에 사용된 초음파 센서는 Polaroid사 제품으로 중심으로부터  $\pm 15^\circ$  범위에 있는 장애물을 10m까지 측정할 수 있으나 장애물회피 혹은 지도작성을 위하여 감지거리를 2m로 제한하여 사용하였다. 이동중에 전방 및 측방에 있는 장애물에 대한 충분한 정보를 얻기 위하여 15개의 센서를  $15^\circ$  간격으로 원형으로 배치하였고 한번에 한 개씩 동작하는 스캔 방식으로 동작하며 1회 스캔시간은 약 1초이다. 이동로봇은 미국 TRC사의 LABMATE를 이용하였다. 주행중에 장애물에 의해 점령된 모든 격자를 감지할 수 있도록 주행속도를 10cm/s로 제한하였다. 이동 로봇의 주행 속도와 초음파 센서의 1회 스캔 시간을 고려하여 격자크기는 10cm로 결정하였다. 그림 12는 본 실험을 위하여 사용된 이동로봇과 원형 초음파 센서 시스템을 보여준다.

실험은 그림 13에서와 같이 건물내의 로비(16m×6m)에서 수행하였고 이동 로봇은 미리 정해진 경로를 따라 주행하도록 계획하였다.

실험을 수행하기 이전에 예비실험을 통하여 허프변환을 통한 직선선분을 추출하기 위한 경계값을 실험적으로 선정하였다. 주요 경계값으로 허프변환 대상 격자를 결정하기 위한 격자확실성 경계값(CV<sub>th</sub>), 허프변환 후 직선으로 판단하기 위한 격자수 경계값(HT<sub>th</sub>), 그리고 허프 역변환 후 일정크기 이상의 직선만 추출하기 위한 선분길이 경계값

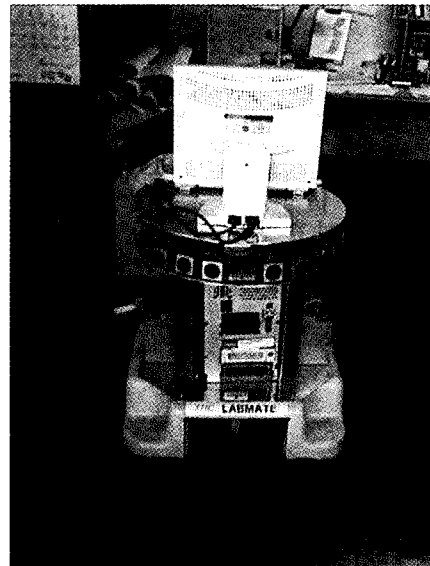


그림 12. 초음파 링을 장착한 이동로봇.  
Fig. 12. Mobile robot equipped with the sonar ring.

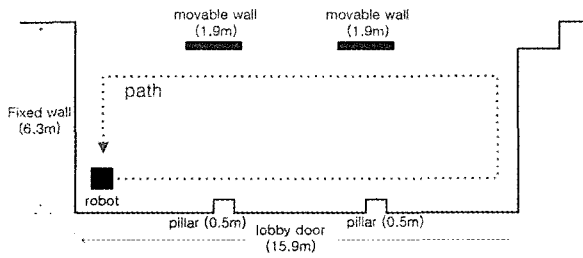


그림 13. 실험공간의 구조와 로봇의 경로.  
Fig. 13. The layout and robot path for the experiment.

표 1. 실험에 사용된 경계값.  
Table 1. Threshold of Experiment.

	경계값
CV_th	3
HT_th	7
IHT_th	80(cm)

(IHT\_th)이 있고 표 1에 나타내었다.

실험에 사용한 통계적 정보로 작업공간의 격자화에 따른 직선선분의 양자화 오차를 결정하는  $\sigma_w$ 는 격자크기의 1.5배(15cm)로, 이동로봇의 위치오차는 반복 실험을 통하여 (12)와 같이 상수로 설정하였다.

$$C_{xy} = \begin{bmatrix} 100 & 0 \\ 0 & 100 \end{bmatrix} [cm^2]$$

$$\sigma_{\theta}^2 = 1^0 [deg^2] \quad (12)$$

그림 14에서 16은 실험 결과를 보여주고 있다. 이동로봇은 정해진 경로를 주행하면서 직선을 생성하며, 경계값 IHT\_th에 의해 80cm 미만의 직선은 생성하지 않도록 제한하였다. 따라서, 작업환경 내에 있는 기둥에 대한 직선선분은 생성되지 않으므로 이론에 의해 생성될 수 있는 최소의 직선선분은 7개이다. 실험에서는 한번 주행한 후에 10개의 직선선분으로 이루어진 작업공간 지도를 작성하였다.

그러나, 동일 경로를 두 번 주행한 후에는 8개의 직선선

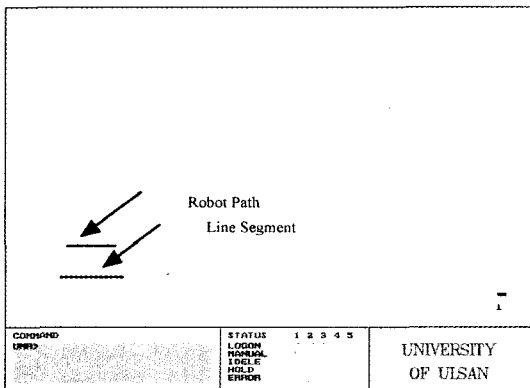


그림 14. 1차 주행에서 20초 동안 주행한 결과.  
Fig. 14. Line segments after 20 seconds in first run.

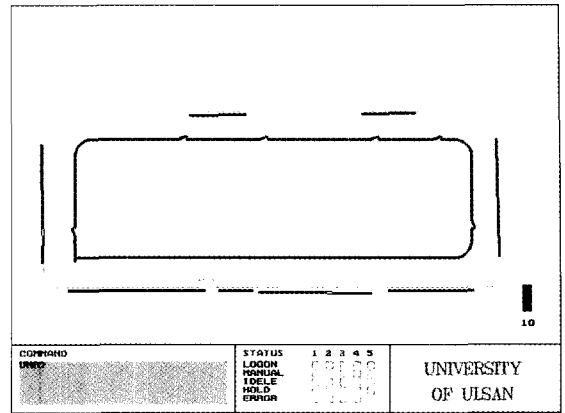


그림 15. 1차 주행 후의 결과.  
Fig. 15. Line segments after first run.

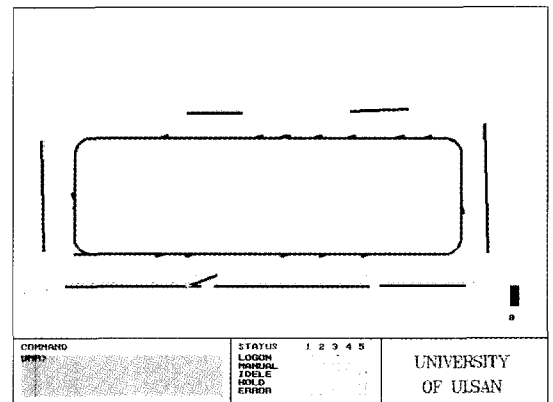


그림 16. 2차 주행 후의 결과.  
Fig. 16. Line segments after second run.

분으로 감소하였다. 이는 직선선분 융합과정에서 선분들의 추가, 융합, 및 삭제 등 작업이 적절하게 이루어지고 있음을 보여 주며, 위치오차, 방향오차에 의해 최소의 직선 선분은 아니지만 작업환경을 직선선분으로 모델링하기에는 적절한 수의 직선이 생성됨을 보여준다. 그리고, 모서리 부분에서는 직선이 생성되지 않는데 이는 초음파 센서의 특성에 의한 것이다.

### VI. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문은 작업공간상에 있는 장애물의 직선선분들을 효율적으로 추출하여 이동로봇의 운행에 필요한 대략적인 지도를 작성하고 이를 향후에 경로계획 혹은 위치보정에 이용하고자 하는 것이다. 이를 위해 본 논문에서는 이동로봇이 일정한 속도로 주행하면서 이동로봇 상부에 부착된 초음파 센서를 이용하여 이동로봇 주위의 일정한 범위내의 정보를 격자지도로 생성한 후 허프 변환을 하여 직선선분을 추출하였다. 추출된 직선은 이동로봇의 위치오차와 측정 오차, 격자지도에서 직선을 추출할 때 생기는 양자화 오차 등을 포함하고 있다. 따라서 이 오차들을 이용하여 직선의 불확실성을 계산하고, 계산된 불확실성을 고려하여 중복검사, 방향검사, 정렬검사를 통하여 전체지도에 융합 혹은 추가하였다.

본 논문에서는 건물 실내환경 중 현관을 주행하면서 경계값 결정 실험 후 직선선분 지도작성 실험을 수행하여 제안된 지도작성 방법이 작업공간을 적절한 수의 직선선분으로 모델링할 수 있음을 보였고, 또한 현재 생성된 직선선분과 기존 직선선분의 비교를 통하여 기존의 지도를 update할 수 있음을 보임으로써 불필요한 선분들을 제거하여 효율적으로 지도정보를 관리할 수 있음을 보였다.

본 논문의 향후 과제는 미지환경에서 이동로봇의 주행을 위하여 얻어진 직선선분 지도를 이용한 이동로봇의 위치보정 문제, 부분적으로 알려진 환경에서 경로계획 문제 등을 다루는 일이다.

**참고문헌**

[1] K. S. Chong and L. Kleeman, "Indoor exploration using sonar sensor array : A dual representation strategy," *Proc. of the 1997 IEEE/RSJ International Conf. Intelligent Robots and Systems*, vol. 2, pp. 676-682, 1997.

[2] B. Yamauchi, A. Schultz, and W. Adams, "Mobile robot exploration and map-building with continuous localization," *Proc. 1998 IEEE International Conf. Robotics and Automation*, vol. 4, pp. 3715-3720, 1998.

[3] J. Borenstein and Y. Koren, "Obstacle avoidance with ultrasonic sensor," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 4, no. 2, pp. 213-218, April, 1988.

[4] J. L. Crowley, "World modeling and position estimation for a mobile robot using ultrasonic ranging," *Proc. 1989 IEEE International Conf. Robotics and Automation*, pp. 674-680, 1989.

[5] J. Gasos and A. Martin, "A fuzzy approach to build sonar maps for mobile robots," *Computers in Industry*, vol. 32, pp. 151-167, 1996.

[6] J. Borenstein and Y. Koren, "The vector field histogram - fast obstacle avoidance for mobile robots," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 7, no. 3, pp. 278-288, June, 1991.

[7] I. Urich, "The GuideCane - a computerized travel aid for the active guidance of blind pedestrians," *Proc. of the IEEE International Conf. Robotics and Automation*, vol. 2, pp. 1283-1288, April, 1997.

[8] D. H. Ballard and C. M. Brown, *Computer vision*, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 123-131, 1982.

[9] R. C. Smith and P. Cheeseman, "On the representation and estimation of spatial uncertainty," *International Journal of Robotics Research*, vol. 5, no. 4, pp. 56-68, Winter 1987.

[10] J. L. Crowley, "Mathematical foundations of navigation and perception for an autonomous mobile robot," *Tutorial at the Workshop on reasoning with uncertainty in robotics*, December, 1995.



**홍 현 주**

1999년 울산대 전기공학과 졸업. 동대학원 석사(2001), 동대학원 박사과정. 관심분야는 로봇틱스 및 자동제어.



**권 석 군**

1995년 울산대 전기공학과 졸업. 동대학원 석사(1998), 동대학원 박사과정. 1998년~현재 삼창기업(주) 제어기술연구소 연구원으로 근무. 관심분야는 로봇틱스 및 자동제어.



**노 영 식**

1981년 연세대 전기공학과 졸업. 동대학원 석사(1983), 동대학원 박사(1987). 1991년~현재 울산대학교 전기공학과 교수. 관심분야는 로봇틱스 및 자동제어.