

# 좁은 환경에서 초음파 및 적외선 센서를 융합한 강인한 지도작성

## Robust Map Building in Narrow Environments based on Combination of Sonar and IR Sensors

한 혜 민<sup>1</sup>, 송 재 복<sup>2</sup>

Hye-Min Han<sup>1</sup>, Jae-Bok Song<sup>2</sup>

**Abstract** It is very important for a mobile robot to recognize and model its environments for navigation. However, the grid map constructed by sonar sensors cannot accurately represent the environment, especially the narrow environment, due to the angular uncertainty of sonar data. Therefore, we propose a map building scheme which combines sonar sensors and IR sensors. The maps built by sonar sensors and IR sensors are combined with different weights which are determined by the degree of translational and rotational motion of a robot. To increase the effectiveness of sensor fusion, we also propose optimal sensor arrangement through various experiments. The experimental results show that the proposed method can represent the environment such as narrow corridor and open door more accurately than conventional sonar sensor-based map building methods.

**Keywords:** Sensor Fusion, Map building, Sonar Sensor, Infrared sensor, Mobile robot.

### 1. 서론

신뢰성 있는 자율주행을 위해 최우선적으로 필요한 것은 환경정보를 나타내는 지도이다. 로봇은 지도를 통해 환경 내에서 자신의 위치를 인식하며, 목적지까지의 경로를 생성한다. 따라서 안정적이고 정확한 지도를 작성하는 것이 매우 중요하다<sup>1)</sup>.

로봇의 보급화를 위해 주로 사용되는 저가센서 중에 초음파센서는 레이저 스캐너보다 정확도가 낮지만, 광학센서로는 측정할 수 없는 유리 같은 재질에도 적용이 가능하며, 적은 센서의 개수로 넓은 영역을 측정할 수 있다. 이러한 초음파센서를 이용한 지도 작성법은 거리 데이터의 기하학적 정보를 이용한 형상 기반의 지도작성<sup>2)</sup>과 로봇의 주변 환경을 일정한 격자로 나누어 각 격자에 물체가 점유되

어 있을 가능성을 확률적으로 표현하는 방법이 제안되었<sup>3)4)</sup>. 더 나아가 환경에 따라 발생하는 거울반사(specular reflection) 현상을 제거하기 위해 초음파 데이터에 신뢰도를 부여한 지도작성 방법이 고안되었다<sup>5)</sup>. 그러나 제안된 방법은 로봇이 좁은 통로를 지날 때 정확한 센서 데이터를 잘못된 데이터로 오인하여 낮은 신뢰도를 부여하기 때문에 지도가 부정확해지는 문제가 있다.

이렇게 초음파센서만으로 정확한 지도를 작성하는 것은 한계가 있기 때문에 초음파센서에 IR 센서, 그리고 스테레오 카메라를 더하여 각 센서의 부정확한 데이터를 상호 보완하는 방법이 제안되었다<sup>6)</sup>. 그러나 스테레오 카메라는 고가의 장비이며, 세 개의 센서를 융합하는 과정은 단순히 거리정보를 합하는 데 그쳐서 정확한 지도작성은 수행되지 못하였다.

이러한 문제점을 보완하기 위해 본 논문에서는 초음파 센서와 적외선센서를 융합한 지도작성 방법을 제안한다. 초음파센서 및 적외선센서는 로봇의 병진이동과 회전이동에 따라 각각 다른 정확도를 나타내므로, 로봇의 병진 및

Received : Aug.28.2010; Reviewed : Dec.17.2010; Accepted : Dec.29.2010

※ 본 연구는 지식경제부 지원으로 수행하는 21C 프론티어 연구개발사업 (인간기능 생활지원 지능로봇 기술개발사업)과 융복합형 로봇전문인력 양성사업의 지원으로 수행되었음.

<sup>1</sup> 고려대학교 기계공학과 석사과정

<sup>2</sup> 고려대학교 기계공학과 교수

회전 이동량에 따라 서로 다른 가중치를 부여하여 상황에 맞게 센서정보를 융합할 수 있도록 한다. 또한, 다수의 실험을 통해 초음파센서와 적외선센서의 최적화된 센서 배열을 제시한다. 이를 통해 좁은 통로 지역에서 더 안정적이고 정확하게 지도를 작성할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 연구에 사용된 센서의 기본적인 정보에 대하여 기술하고, III장에서는 초음파센서 기반 격자지도 작성시 발생하는 문제점에 대해 살펴본다. IV장에서는 지도작성시 초음파센서와 적외선센서의 정보를 로봇의 이동 방향에 따라 각기 다른 가중치로 융합하는 방법에 대하여 설명하고, V장에서는 실험을 통하여 최적의 센서 배열을 찾고, 제시한 센서융합 방법의 성능을 검증한다. 마지막으로, VI장에서 결론을 맺는다.

## 2. 센서 구성

실험에 사용한 무라타(Murata)사의 MA40B8 초음파센서는 수신부(R)와 발신부(S)가 분리되어 있어서 하나의 모듈로 구성하여 사용한다. 이 센서는 0.05 ~ 3m의 측정거리와 45°의 유효각도를 갖는다. 측정거리가 짧아서 근접한 장애물을 측정하기에 용이하고 유효각의 폭이 넓어 적은 센서로 로봇 전 방향의 장애물을 감지할 수 있다.

일반적으로 적외선센서를 이용하여 지도를 작성할 경우에는 적외선 스캐너(IR scanner)를 사용하나, 본 연구에서는 저가센서 기반의 지도작성을 위해 단품의 적외선센서를 사용한다. 실험에 사용한 적외선센서는 Sharp사의 PSD (Position Sensitive Detector) 센서로 적외선의 반사각을 이용하여 거리를 측정하기 때문에 근접한 장애물까지의 거리를 비교적 정확하게 측정할 수 있다. 실험에 사용한 적외선센서는 0.2 ~ 3m의 측정 거리를 갖는다.

센서 구성은 그림 1과 같다. Mobile Robot사의 로봇 Pioneer 3DX 위에 초음파센서를 45° 간격으로 부착하여 모든 방향을 감지할 수 있다. 적외선센서는 가능한 최소한의 개수로 최대한 정확하게 환경을 표현하기 위해 센서의 위치를 변경하며 실험하였다. 적외선센서 1번과 2번은 로봇 좌표를 기준으로 ±10° 방향에 위치하고, 0번과 3번 센서는 ±50°, ±90°, ±170°로 위치를 변경하여 실험하였다. 그림 1(b)는 적외선센서 0번과 3번을 ±90°의 위치에 부착한 모습이다.

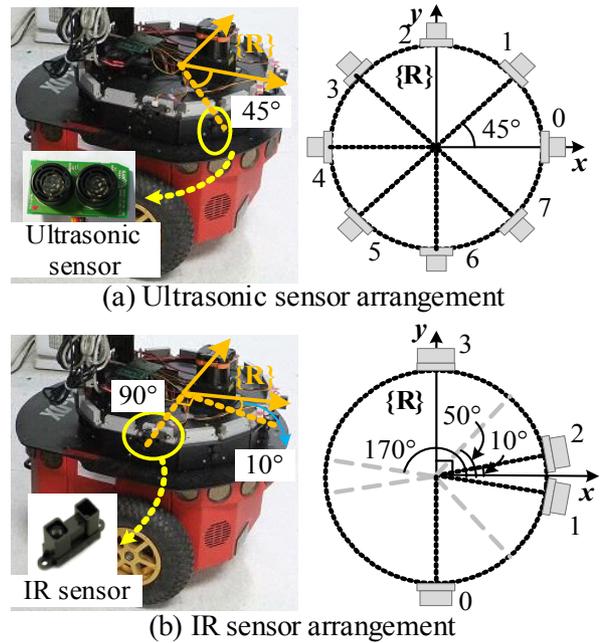


그림 1. 초음파센서 및 적외선센서의 배열

## 3. 초음파 데이터의 정보교합 실패

초음파센서로부터 방사된 초음파는 호 모양으로 퍼져나가서 유효각도 내에 서로 다른 위치에 있는 장애물을 모두 측정할 수 있기 때문에 장애물의 정확한 위치를 알 수 없다. 이러한 초음파센서를 이용하여 물체의 정확한 위치를 파악하기 위해서는 데이터간의 정보교합(data association)을 하게 되지만, 정보교합은 로봇과 장애물의 위치 관계에 따라 실패할 수 있다.

예를 들어, 가느다란 봉 형태의 장애물이 놓여 있을 때, 그림 2(a)와 같이 초음파센서가 봉을 중심으로 원을 그리듯 이동해야 장애물의 형태와 위치를 잘 추출해 낼 수 있다. 그러나 그림 2(b)와 같이 이동하면, 그림 2(c)에서 직선을 측정한 경우와 유사한 초음파 데이터를 얻어 직선으로 오인하게 된다. 이와 같이 측정한 장애물의 형태가 달라도 같은 센서 데이터를 얻을 수 있기 때문에, 초음파 데이터

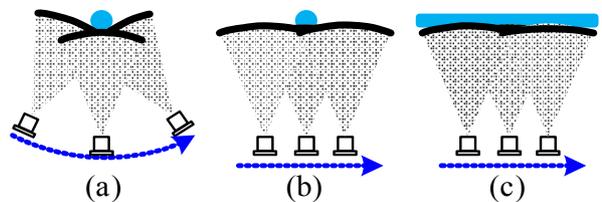


그림 2. 장애물 형상과 센서 위치에 따른 초음파 데이터

의 정보교합을 기반으로 초음파의 신뢰도를 부여하여 지도를 작성하면, 점 형태로 추출되어야 할 곳이 직선의 형태로 추출되는 경우가 발생한다. 그림 3은 이러한 문제를 잘 보여준다.

그림 3(a)는 1cm의 정확도를 갖는 레이저스캐너로 작성된 CAD 지도이고, 그림 3(b)은 초음파센서로 작성된 지도이다. 그림 3(b)에서 원으로 표시된 부분은 실제로는 ‘L’자 모양의 통로이지만 막혀 있고, 사각형으로 표시된 부분은 장애물이 실제로는 없었지만 지도상에는 장애물이 있는 것처럼 점유격자로 표시되었다. 또한, 좁은 통로에 접어드는 부분은 거의 실제 환경보다 더 좁게 지도가 작성되는 경향을 보인다.

좁은 통로가 막힌 원인은 로봇이 제자리에서 회전하였기 때문이다. 그림 2의 예에서 보듯이, 점 형상의 특징을 정확히 추출하기 위해서는 초음파데이터가 장애물을 감싸듯이 있어야 하므로, 그림 4(a)와 같이 점 형상인 코너를 추출하려면 로봇이 코너를 감싸듯이 이동해야 한다. 그러나 그림 4(b)와 같이 제자리 회전을 하게 되면 점 형상이 아닌 직선 형상이 추출된다. 따라서 그림 3(b)에서 원으로 표시된 부분처럼 완전히 막히게 된다. 또 다른 원인으로는 로봇이 그림 4(c)와 같이 진행할 때 초음파의 넓은 빔폭으로 인해 장애물이 잘못 표시되는 것이다. 특히 로봇의 전방(0°)에 부착된 센서가 로봇의 진행방향과 일직선상에 놓이기 때문에 이러한 문제가 더 잘 나타난다. 그림 3(b)에서

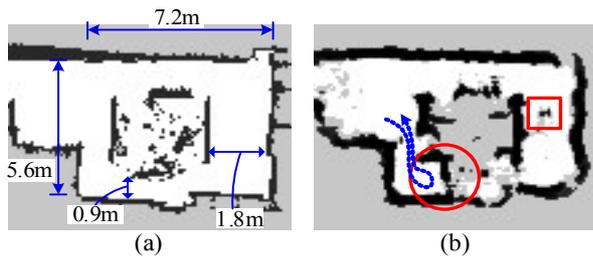


그림 3. 좁은 통로에서 발생하는 초음파센서 기반 격자지도 작성법의 문제점

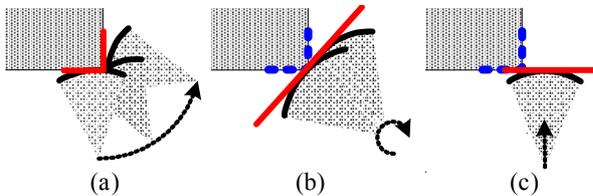


그림 4. 코너지역에서 로봇의 이동경로에 따른 정보 교합

사각형으로 표시된 부분이 이런 문제로 인해 발생한 결과로, 주변 장애물의 틈새가 초음파센서의 빔폭 범위 내에 걸려 정보교합이 이루어지고, 이로 인해 지도가 잘못 작성되었다.

#### 4. 병진 및 회전 이동량에 따른 센서 융합

본 논문에서는 협소한 환경에서도 안정적으로 지도를 작성하기 위해 초음파센서와 적외선센서를 융합하는 방식을 제안한다. 초음파센서는 물체의 탐지 능력은 우수하지만, 넓은 빔 폭에 의해 물체의 위치를 정확하게 측정할 수 없다. 반면에, 적외선센서는 초음파센서로 측정하지 못하는 좁은 영역도 측정할 수 있지만, 측정 정확도가 초음파보다 떨어지고 먼 거리를 측정하면 매우 불안정한 모습을 보이며, 빛을 흡수하거나 통과하는 물체는 정확한 거리를 측정할 수 없다<sup>7)</sup>. 이러한 두 센서를 융합하면, 초음파센서로 탐지하기 어려운 환경에서는 적외선센서를 통해 정확한 지도를 작성할 수 있다.

로봇이 제자리에서 회전할 때 초음파센서로 작성한 지도의 정확도가 감소하므로, 로봇의 회전반경 따라 센서를 융합한다. 로봇의 회전반경은 센서 측정을 통해 직접적으로 얻지 못하므로, 로봇의 병진 및 회전 이동량을 이용하여 계산한다.

평균 위를 운동하는 로봇이 그림 5의 점선으로 표시된 경로를 따라 시간  $k$ 에서  $k+1$ 로 이동하면, 로봇은 절대좌표계를 기준으로  $\Delta s_r$  및  $\Delta \theta$  만큼 이동하게 된다. 한 스텝 동안 로봇이 이동한 병진 이동량  $\Delta s_r$ 은 다음과 같다.

$$\Delta s_r = \rho \cdot \Delta \theta \tag{1}$$

여기서  $\rho$ 는 로봇이 이동한 경로의 곡률, 즉 로봇의 순간

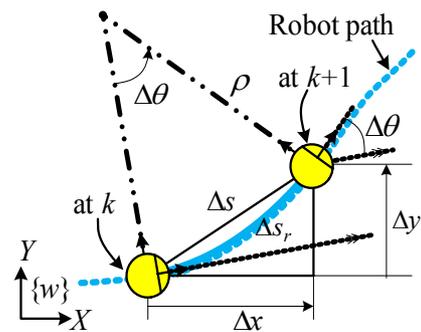


그림 5. 로봇의 병진 및 회전 이동량.

회전반경이다. 한 스텝의 수행시간이 매우 짧기 때문에 한 스텝 동안 로봇의 회전 이동량  $\Delta\theta$ 도 매우 작아서  $\Delta s_r$ 은  $\Delta s$ 와 크기가 거의 같다. 따라서 로봇의 순간 회전반경  $\rho$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\rho = \frac{\Delta s_r}{\Delta\theta} \approx \frac{\Delta s}{\Delta\theta} = \frac{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{\Delta\theta} \quad (2)$$

이 때 임계값  $\rho_{th}$ 를 설정하여 로봇이 어떠한 운동을 하는지 결정한다. 본 논문에서는  $\rho_{th}$ 를 1m로 설정하여, 회전반경  $\rho$ 가  $\rho_{th}$ 보다 크면 로봇이 병진운동을,  $\rho_{th}$ 보다 작으면 회전운동을 한다고 판단하였다. 초음파센서와 적외선센서의 융합은 회전반경  $\rho$ 에 따라 다음과 같이 결정되는 가중치  $\alpha$ 를 이용한다.

$$\alpha = \begin{cases} (\alpha_{max} - \alpha_{min})\rho + \alpha_{min}, & \text{for } \rho < \rho_{th} \\ \alpha_{max}, & \text{for } \rho \geq \rho_{th} \end{cases} \quad (3)$$

여기서  $\alpha_{max}$ 는 최대 가중치,  $\alpha_{min}$ 은 최소 가중치를 나타내는데, 본 연구에서는 실험을 통하여 각각 0.5과 0.1로 설정하였다. 그림 6은 로봇의 회전반경( $\rho$ )과 가중치( $\alpha$ ) 사이의 관계를 나타낸 선도이다.

$$p(m_i | x_{0t}, z_{0t}) = \alpha p_{i,sonar} + (1 - \alpha)p_{i,IR} \quad (4)$$

식 (3)에서 구한 가중치는 격자의 확률을 계산할 때 반영된다. 식 (4)는 두 센서를 융합하여 작성된 지도에서의 격자  $i$ 의 확률이고,  $p_{i,sonar}$  및  $p_{i,IR}$ 는 각각 초음파센서와 적외선센서에 의해서 계산된 지도에서의 격자  $i$ 의 확률이다. 각 센서는 측정거리를 반영한 센서모델을 가지며, 초음파센서의 경우 빔폭과 정보교합 정확도도 센서모델에 반영

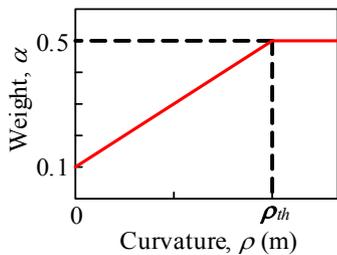


그림 6. 곡률가중치 곡선

되어 있다<sup>[5][7]</sup>. 로봇이 1m 이내의 반경으로 회전하게 되면 (즉, 좁은 통로에서의 회전), 식 (3)에 의해 가중치는 작아지게 되므로 초음파센서에 의한 격자 확률이 상대적으로 작게 반영된다. 한편, 로봇의 회전반경이 1m 이상일 때에는  $\alpha=0.5$ 가 되어 초음파센서와 적외선센서의 가중치가 같아지므로 두 센서의 격자 확률이 동등하게 반영된다. 지도의 갱신방법은 베이시안 갱신(Bayesian update) 방법을 사용한다<sup>[8]</sup>.  $\alpha$ 와  $\rho_{th}$ 은 로봇의 크기, 센서의 배열상태, 센서의 정확도 등에 따라 달라지므로, 실험을 통해 사용자가 적절한 값을 선택하여야 한다.

## 5. 실험 및 분석

### 5.1 적외선센서 위치에 따른 지도작성 결과

본 연구에서 제안한 지도 작성법은 적외선센서를 어느 위치에 부착하느냐에 따라 결과가 달라지는데, 이는 로봇의 같은 이동량에도 적외선센서의 배열에 따라 갱신할 수 있는 격자의 수가 달라지기 때문이다. 보급형 로봇에 맞게 가능한 한 적은 수의 센서를 사용하면서도 최대한의 성능을 얻기 위해서는 적외선센서의 위치를 변경하면서 환경 지도를 작성하는 실험을 통하여 최적의 센서 배열을 찾는 것이 바람직하다.

최적의 센서 배열을 찾기 위해 몇 가지 배열을 가지고 지도작성 과정을 가정해 보았다. 그림 7에 세 센서 배열 1, 2, 3을 나타내었는데, 각 센서 배열에 따라 직진 또는 회전

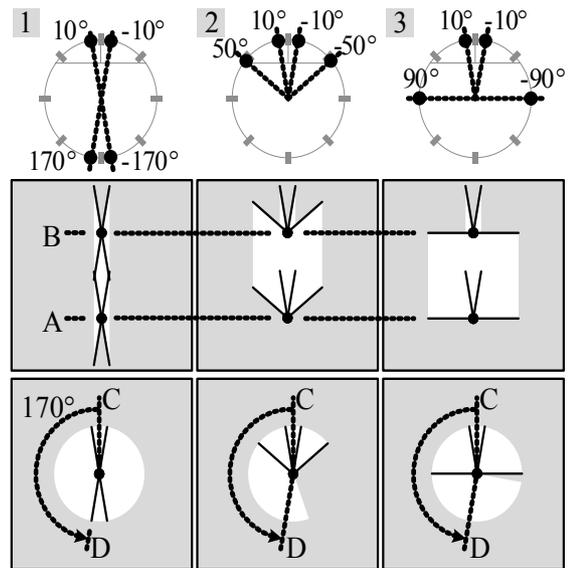


그림 7. 적외선센서의 배열에 따른 갱신영역의 크기

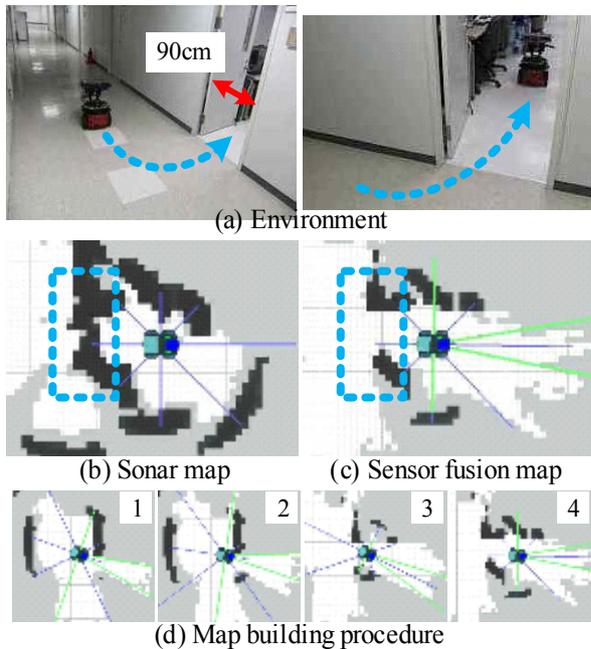


그림 10. 열린 문에서 작성된 격자지도.

하였을 때 갱신될 수 있는 영역을 흰색으로 나타내었다. 먼저 로봇이 A에서 B로 직진한 경우를 가정하면, 1번 배열은 전방의 센서가 이미 측정된 부분을 후방의 센서가 중복으로 측정하여, 2번이나 3번 센서 배열보다 더 적은 격자의 정보만 갱신할 수 있다. 다음으로 로봇이 제자리에서 C에서 D까지 170°만큼 회전할 때 각 센서정렬 별로 측정

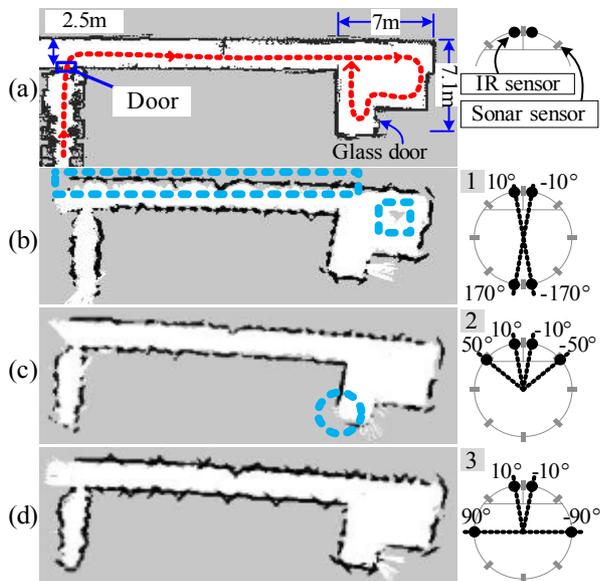


그림 8. (a) CAD 지도, (b)-(d) 적외선센서의 다양한 배열에 따른 격자지도

할 수 있는 영역은 1번 배열의 경우 360°, 2번 배열은 270°, 3번 배열은 350° 만큼의 영역을 측정할 수 있다. 따라서 제한된 센서의 개수로 더 많은 측정 가능 영역을 최대화 하려면 3번 센서 배열이 가장 적절하다. 이때 로봇 전방에 부착된 두 센서( $\pm 10^\circ$ )의 위치를 고정시킨 이유는 앞서 3장 그림 4(c)에서 설명하였듯 전방에 부착된 센서가 정보교합을 통해 잘못된 지도를 작성할 확률이 높기 때문이다.

이러한 결과를 바탕으로 실제 지도를 작성해 보았다. 그림 8(a)의 환경에서 로봇은 점선으로 표시된 경로를 따라 이동하였다. 그림 8(b)-(d)는 적외선센서의 배열을 변경하면서 작성한 지도이다. 지도가 약간 틀어진 이유는 오도메트리 오차 때문이다. 지도 작성의 결과, 그림 8(b)는 사각형으로 표시된 부분과 같이 미지영역으로 나타난 부분이 다른 지도보다 많았는데, 이는 1번 배열이 직진 주행 시에 많은 영역을 측정하지 못하기 때문이다. 그림 8(c)와 그림 8(d)의 경우에는 전반적으로 실제 환경과 유사하게 작성되었지만, 그림 8(c)는 원으로 표시된 부분처럼 코너 등에서 회전을 할 때 지도가 명확하게 나타나지 않았다. 따라서 본 논문에서는 3번 센서 정렬인  $\pm 10^\circ$ 와  $\pm 90^\circ$ 에 적외선센서를 배치하는 것을 제안한다.

### 5.2 센서 융합을 통한 지도작성

초음파센서와 적외선센서의 융합에 기반한 격자지도 작성법의 성능 평가를 위해 좁은 통로 환경에서 지도를 작성하였다. 좁은 통로 환경은 폭이 0.6~2m인 환경을 말하며, 최소 폭은 로봇이 지나가기 위해 최소로 필요한 0.6m이고, 최대 폭은 실험에 사용한 초음파센서의 최대 감지거리(3m)일 때 측정 폭인 2.3m보다 작은 값인 2m로 정하였다.

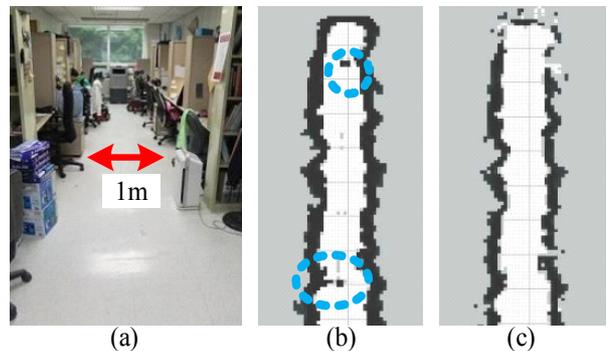


그림 9. 좁은 통로 환경(a)에서 작성한 초음파센서 기반 지도(b)와 센서 융합 기반 격자지도(c).

첫 번째 실험환경은 그림 9(a)로 넓이가 11.5m×3.5m인 폭이 좁고 긴 직사각형 모양의 공간으로 로봇이 이동할 수 있는 공간의 폭은 약 1m 내외이다. 그림 9(b)는 초음파센서만을 이용하여 작성한 지도이고, 그림 9(c)는 제안된 초음파센서와 적외선센서를 융합하여 작성한 지도이다. 초음파센서만 이용하여 지도를 작성한 경우에는 가장자리에 있는 물체에 의해 실제 장애물이 없는 부분(점선원으로 표시)이 점유영역으로 표시되었다. 반면 초음파센서와 적외선센서를 융합하여 작성한 지도는 통로가 막히지 않고 환경과 유사한 지도를 얻을 수 있었다.

두 번째 실험은 그림 10(a)와 같이 문을 통과하면서 작성한 지도이다. 로봇은 폭이 90cm인 문을 그림 10(a)에 점선으로 표시된 경로를 따라 이동하였다. 초음파센서를 이용하여 작성한 지도인 그림 10(b)에서는 문이 막혀서 마지벽과 같이 표현되었지만, 센서를 융합하여 작성한 지도인 그림 10(c)는 문의 열린 공간이 막히지 않았다. 뿐만 아니라, 지도가 작성되는 과정을 순차적으로 나타낸 그림 10(d)를 보면, 지도작성이 안정적으로 정확하게 이루어 졌다.

마지막으로, 봉 형태의 장애물 사이를 주행하면서 지도를 작성하는 실험을 수행하였다. 봉 형태의 장애물은 초음파로 정확한 위치를 파악하기 어려운 물체이다. 실험은 지름 4cm인 봉 장애물 6개를 1m 간격으로 세워둔 그림 11(a)와 같은 환경에서 로봇이 그 주위를 주행하며 수행되었다. 이 실험에서 로봇은 봉 주위를 3분간 임의의 경로로 주행하였고, 그 결과로 작성된 지도가 그림 11(b)와 그림 11(c)이다.

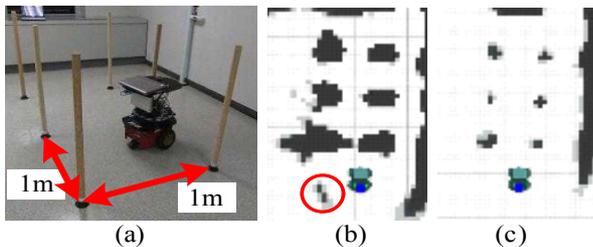


그림 11. 로봇이 가는 봉 사이를 주행하며 작성한 지도: (a) 환경, (b) 초음파센서 기반 지도, (c) 센서융합 기반 격자지도.

표 1. 실제환경 대비 지도작성 결과 비교

지도작성 방법	초음파	센서 융합
평균 점유격자 수	32.5개	4.83개
최대 점유격자 수	61개	8개

표 1은 실험 결과를 나타낸다. 실제 한 개의 봉은 한 개의 격자만 차지하지만 초음파센서로 작성된 지도에서는 평균 약 30개의 격자를 차지하였으며, 최대 약 60개의 격자를 차지하기도 하였다. 반면에, 센서 융합을 통해 작성된 지도는 평균 약 5개, 최대 8개의 격자만 차지하여 기존보다 향상된 결과를 볼 수 있다. 이는 센서모델에 의한 센서의 불확실성과 오도메트리에 의한 누적 거리오차를 고려했을 때 상당히 향상된 결과이다.

## 6. 결론

본 논문에서는 기존 초음파센서 기반 지도작성법에서 발견된 좁은 통로에서의 지도작성의 부정확성을 개선하기 위해 적외선센서와의 융합을 제안하였다. 초음파센서와 적외선센서는 로봇의 회전 반경에 따라 다른 가중치를 부여하는 방식으로 융합하였다. 또한, 가능한 적은 수의 센서를 이용하여 최대한 안정적으로 지도를 작성하기 위해, 실험을 통해 제안된 방법에 적합한 최적의 센서 배열을 찾아내었다. 제안한 방법을 통하여 다양한 환경에서 실험을 수행한 결과, 초음파센서만을 이용하여 작성한 지도는 좁은 통로나 열린 문 공간 등이 쉽게 막혔지만, 제안한 방법으로 작성된 지도는 좁은 통로나 문을 실제 환경과 유사하게 표현할 수 있었다. 또한, 초음파센서로는 지도상에 정확하게 표현하기 어려운 봉 형태의 장애물도 제안된 지도작성법으로는 크기와 위치를 비교적 정확하게 표현할 수 있음을 확인할 수 있었다.

그러나 본 연구에서는 제안한 지도작성 방법은 센서가 지면과 수평하게 설치된 경우만을 고려하여, 센서보다 낮게 존재하는 장애물이나 계단과 같은 낭떠러지 등은 지도상에 나타낼 수 없었다. 따라서 향후에는 지면과 수평하게 장착된 초음파센서와 바닥 지향 적외선센서를 융합한 격자지도작성에 대한 연구를 할 계획이다.

## 참고문헌

- [1] R. Siegwart and I. R. Nourbakhsh, "Autonomous mobile robots," *MIT Press*, Cambridge, 2004.
- [2] J. J. Leonard, and H. F. Durrant-Whyte, "Directed Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation," *Kluwer Academic Publisher*, 1992.
- [3] H. P. Moravec, and A. Elfes, "High Resolution

Maps from Wide Angle Sonar,” *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 116-121, 1985.

- [4] D. W. Cho, and H. P. Moravec, “A Bayesian Method for Certainty Grids,” *AAAI Spring Symposium on Robot Navigation*, pp.55-60, 1990.
- [5] Y. Choi, “Autonomous Navigation of a Mobile Robot Using Low-Cost Range Sensors,” in Master Thesis, Korea Univ., 2009.
- [6] M.A. Lanthier, D. Nussbaum and A. Sheng, “Improving vision-based maps by using sonar and infrared data,” *Proc. of 10th Int. Conf. on Robotics and Applications, USA*, 2004
- [7] 권태범, 송재복, “저가 적외선센서를 장착한 이동로봇에 적용 가능한 격자지도 작성 및 샘플기반 정보교합”, *로봇학회논문지*, 4권 3호, pp.169-176, 2009.
- [8] S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox, “*Probabilistic Robotics*,” MIT Press, 2005.



### 송재복

1983 서울대학교 기계공학과  
(공학사)  
1985 서울대학교 기계공설계  
학과(공학석사)  
1992 MIT 기계공학과(공학박사)  
1993년~현재 고려대학교 기계

공학부 교수

관심분야 : Design and Control of Safe Manipulators,  
Mobile Robotics, Haptics



### 한혜민

2010 고려대학교 기계공학과  
(공학사)  
2010~현재 고려대학교 기계  
공학과 석사과정 재학 중  
관심분야 : Mobile Robotics