

초음파 데이터를 이용한 강인한 형상 검출기 개발

이세진*, 임종환**, 조동우#

Development of Robust Feature Detector Using Sonar Data

Se-Jin Lee*, Jong-Hwan Lim** and Dong-Woo Cho#

ABSTRACT

This study introduces a robust feature detector for sonar data from a general fixed-type of sonar ring. The detector is composed of a data association filter and a feature extractor. The data association filter removes false returns provided frequently from sonar sensors, and classifies set of data from various objects and robot positions into a group in which all the data are from the same object. The feature extractor calculates the geometries of the feature for the group. We show the possibility of extracting circle feature as well as a line and a point features. The proposed method was applied to a real home environment with a real robot.

Key Words : Mobile Robot (이동 로봇), Sonar Sensor (초음파 센서), Feature Extraction (형상 추출), Data Filtering (데이터 필터링)

1. 서론

이동 로봇에 장착된 센서에 의해 인지되는 환경 형상은 로봇이 장애물을 회피하거나 환경 지도를 작성하고 로봇과 지도의 위치를 보정하는데 사용될 수 있을 뿐만 아니라 로봇이 자율 주행을 하고자 함에 있어 전반적으로 중요한 정보를 제공한다.^{1,2} 주위 환경에 대한 형상 정보의 양적인 면에서는 저가인 초음파 센서가 고가인 레이저나 비전 센서보다 다소 부족한 것이 사실이다. 하지만 초음파 센서는 다른 센서에 비해 물체의 빛에 대한 투명도나 주위 조명의 세기 등과 같은 주위 환경의 조건에 크게 상관없이 운용하기가 수월한 편이다.

따라서 초음파 센서를 이용하여 주위 환경 형상을 강인하고 간단하게 검출해내는 방법의 연구는 실용성이나 경제적인 측면에서 볼 때 충분한 가치가 있다.^{1,3,4} 특히 형상 지도를 작성하면서 동시에 작성된 지도 내 형상들의 위치를 보정하기 위해서는 초음파 데이터로부터 검출되는 형상의 위치 정보가 정확해야 할 뿐만 아니라 동일 물체를 일관되게 검출할 수 있어야 한다.

그러나 Fig. 1 에서 볼 수 있듯이 데이터 A_1 및 A_2 는 실제 물체를 정확하게 감지하고 있으나 감지각이 넓어서 물체의 정확한 방위는 제공할 수 없다. 또한 초음파는 물체 표면에서 거울 반사 현상을 일으켜 데이터 B_1 및 B_2 와 같이 잘못된 거리

접수일: 2007년 10월 16일; 게재승인일: 2007년 11월 21일
* 포항공과대학교 기계공학과
** 제주대학교 메카트로닉스공학과
교신저자: 포항공과대학교 기계공학과
E-mail: dwcho@postech.ac.kr Tel. (054) 279-2171

정보를 빈번히 제공하기도 한다.³ Fig. 1 에서 회색 원은 센서 링이 위치한 장소를 나타낸다. 원호들은 각각의 측정된 초음파 데이터를 의미하고 굵은 선들은 주위 환경의 모양을 나타내고 있다. 따라서 여러 위치에서 측정된 다양한 데이터 중 동일 물체에 대한 데이터를 따로 분류할 수 있는 데이터 교환 방법이 있다면 넓은 감지각과 거울 반사효과에도 불구하고 초음파 센서 만으로도 유용한 환경 형상 추출이 충분히 가능할 것이다.

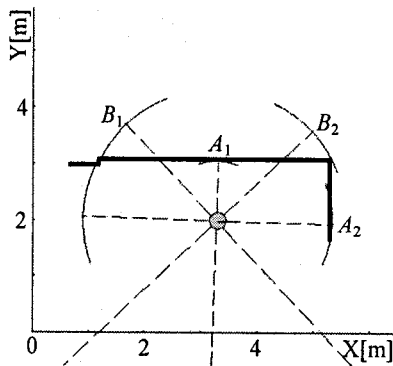


Fig. 1 Range data measured at arbitrary location by the fixed-type sensor ring equipped with 8 Murata sonar sensors which have the beam directivity of 45 degrees roughly

Leonard 와 Durrant-Whyte⁵ 는 로봇에 장착된 하나의 초음파 센서를 회전시켜 감지 거리 데이터를 조밀하게 측정함으로써 RCD(Regions of Constant Depth)라는 하위 데이터 단위를 생성하여 환경에 대한 선과 점 형상을 추출하는데 사용하였다. 또한 Heale 와 Kleeman⁶ 은 스캐너 타입의 실시간 DSP 초음파 에코 프로세서를 개발하여 초음파 데이터를 조밀하게 측정하고 분석함으로써 의미 있는 선과 점 형상을 추출하였다.

Tardos⁷ 연구팀은 Hough Transform 을 이용하여 고정형 초음파 센서 링으로부터 측정된 데이터를 이산화된 파라미터 영역에 교합시킴으로써 동일 파라미터 영역에 있는 초음파 데이터를 분류하였다. 이 연구에서는 선과 점 형상의 2 차원 파라미터 영역에 초음파 데이터를 교합하여 선택 회수가 가장 많은 파라미터에 대한 형상을 선택하였다. Kang 과 Lim⁸ 은 초음파 센서 링 데이터로부터 작성된 격자 지도를 바탕으로 Hough Transform 을 이

용하여 형상 정보를 추출하는 연구를 하였다. Bank 와 Kampke⁹ 는 고정형 초음파 센서 링에 초음파의 지향각이 서로 겹치도록 다수의 센서를 배열하여 송신 센서에 의해 측정된 반사파뿐만 아니라 인근 센서에 의해 측정된 반사파까지 측정하고 분석하여 믿을만한 선 형상을 추출하였다. Fazli 와 Kleeman¹⁰ 역시 다수의 센서가 장착된 초음파 센서 링을 사용하여 초음파 데이터를 측정하고 분석함으로써 신뢰할 만한 선과 점 형상을 추출하였다.

Arras¹¹ 는 초음파 센서가 아닌 레이저 센서를 이용하여 지도를 작성함과 동시에 위치를 추정하는 연구를 수행하였다. 또한 Lee¹² 연구팀은 천장에 비전 센서를 장착하여 이동 로봇의 형상을 추출해내고 위치를 추적하는 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 일반적인 고정형 초음파 센서 링을 이용하여 여러 위치에서 측정된 초음파 데이터 중 동일한 물체에 대한 데이터만을 따로 분류시킬 수 있는 데이터 교환 필터를 제안한다. 이 필터에 의해 분류된 초음파 데이터로부터 추출되는 형상은 위치 오차가 작을 뿐만 아니라 동일 물체를 일관되게 검출할 수 있는 것이 특징이다.

점이나 직선 형상과 달리 초음파 센서 데이터로부터 원 형상을 추출해내는 것은 쉬운 일이 아니다. 따라서 지금까지 초음파 센서 데이터를 이용해 원 형상을 추출해내고자 하는 시도는 거의 없었다. 또한 Hough Transform 을 이용하여 원 형상을 추출하려면 선이나 점 형상과는 달리 3 차원의 파라미터를 이산화하여 사용해야 하기 때문에 계산 부담이 커진다. 그리고 한 위치에서 단일 초음파 센서를 회전시켜 조밀한 데이터로부터 얻은 단일 RCD 로 원 형상을 추출해내기엔 정보가 부족하여 원 형상에 대한 반지름이나 중심 점을 예측해낼 수 없다. 본 연구에서는 제안된 데이터 교환 필터를 통해 원 형상까지 일관성 있게 추출할 수 있는 가능성을 제시한다.

2. FPA 모델

본 연구에서 제안하는 데이터 교환 필터는 기본적으로 서로 다른 위치에서 측정된 두 개의 단일 초음파 데이터가 형상학적으로 선, 점 또는 원 형상 중에서 어떤 형태의 물체로부터 비롯된 것인지 판단해 주는 것으로서 FPA(Footprint Association) 모델이라 명명한다.

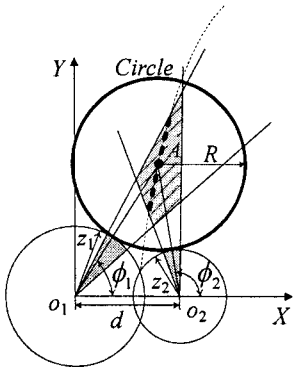


Fig. 2(a) Geometric relationships between two individual sonar measurements returned up to a circle

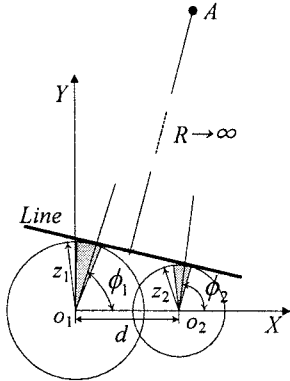


Fig. 2(b) Geometric relationships between two individual sonar measurements returned up to a line

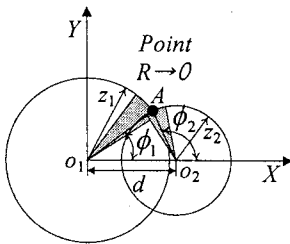


Fig. 2(c) Geometric relationships between two individual sonar measurements returned up to a point

Fig. 2 는 거리가 d 만큼 떨어진 서로 다른 위치 (o_1 과 o_2)에서 측정된 두 거리 데이터 (z_1, z_2) 중 o_1 을 원점으로 하고 o_1 과 o_2 를 x 축으로 하여 나타낸 그림이다. 그림에서 가는 실선 원은 각 데이터의 거리 (z_1, z_2)를 반경으로 하는 원이고 굵은 실선 원은 거기에 외접하는 원이다. 각 데이터에 의해 형

성되는 원 영역 중에서 유효 감지각 내에 포함되는 부분을 회색의 부채꼴로 나타내었다. 두 데이터가 중점이 A 인 원 형상을 감지한 것이라 가정할 경우 각 원의 원점에서 외접원 중점까지의 방향각은 각각 ϕ_1 과 ϕ_2 가 된다.

Fig. 2(a)에서와 같이 두 초음파 데이터가 반지름이 R 인 원 형상으로부터 비롯되었다고 가정하면 ϕ_1 과 ϕ_2 는 코사인 제 2 법칙에 의해 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\phi_1 = \cos^{-1} \left(\frac{(z_1 + R)^2 - (z_2 + R)^2 + d^2}{2d(z_1 + R)} \right)$$

$$\phi_2 = \pi - \cos^{-1} \left(\frac{(z_2 + R)^2 - (z_1 + R)^2 + d^2}{2d(z_2 + R)} \right) \quad (1)$$

if $\theta_1^i \leq \phi_1 \leq \theta_u^i$ and $\theta_1^i \leq \phi_2 \leq \theta_u^i$, then confirm as circle.

식 (1)에서 i 번째 초음파의 지향각(센서의 중심 방향)을 θ_m^i , 유효 감지각도 범위를 ω 라 할 때 θ_1^i 과 θ_u^i 는 다음과 같다.

$$\theta_1^i = \theta_m^i - \frac{\omega}{2}, \quad \theta_u^i = \theta_m^i + \frac{\omega}{2} \quad (2)$$

물리적으로 ω 는 감지 거리와 물체의 종류에 따라 달라지지만 실제 실내 환경에 적용 시에는 초음파 센서에 의한 물체 감지 거리의 편차와 물체 표면 특성에 대한 영향이 크지 않기 때문에 본 연구에서는 감지 거리와 물체의 종류에 상관없이 상수 값으로 가정한다. Fig. 2 에서 회색 부채꼴은 초음파 데이터와 나타내고 빗금 그어진 회색 사각형 영역은 두 초음파 데이터의 빔 폭에 의한 공통 가시 영역이 된다. 굵은 점선은 존재 가능한 외접원의 중심의 궤적 중 두 초음파 데이터의 공통 가시 영역 안에 포함된 궤적을 나타낸다.

또한 Fig. 2(b)와 같이 두 초음파 데이터가 선 형상으로부터 비롯되었을 경우 형상학적으로 선 형상에 해당하는 외접원의 반지름은 무한대라 할 수 있다. 따라서 식 (1)에서 외접원의 반지름 R 을 무한대라 가정하면 각각의 방향각 ϕ_1 과 ϕ_2 는 다음과 같이 다시 정의 할 수 있다.

$$\phi_1 = \cos^{-1} \left(\frac{z_1 - z_2}{d} \right), \quad \phi_2 = \pi - \cos^{-1} \left(\frac{z_2 - z_1}{d} \right) \quad (3)$$

if $\theta_1^i \leq \phi_1 \leq \theta_u^i$ and $\theta_1^i \leq \phi_2 \leq \theta_u^i$, then confirm as line.

마지막으로 Fig. 2(c)에서와 같이 두 초음파 데이터가 점 형상으로부터 비롯되었을 경우 형상학적으로 두 초음파 데이터의 유효 감지가 범위에 안에서 교차하는 점은 반드시 존재하게 되고 이 교차점에 해당되는 외접원의 반지름은 0 이라 할 수 있다. 따라서 식 (1)에서 외접원의 반지름 R 을 0 이라 가정하면 각각의 방향각 ϕ_1 과 ϕ_2 는 다음과 같이 다시 정의 할 수 있다.

$$\phi_1 = \cos^{-1}\left(\frac{z_1^2 - z_2^2 + d^2}{2dz_1}\right), \quad \phi_2 = \pi - \cos^{-1}\left(\frac{z_2^2 - z_1^2 + d^2}{2dz_2}\right) \quad (4)$$

if $\theta_1' \leq \phi_1 \leq \theta_1''$ and $\theta_2' \leq \phi_2 \leq \theta_2''$, then confirm as point.

결국 식 (1)-(4)를 사용하여 데이터들을 형상 별로 분류하고 Fig. 3 과 같이 예측된 형상에 접하는 위치 (x, y) 를 저장하여 그룹화한다. 이렇게 저장된 위치 정보는 다음 장의 Table 1 에서와 같이 사용되어 최소 자승법을 통해 형상 정보를 추출하기 위해 사용된다.

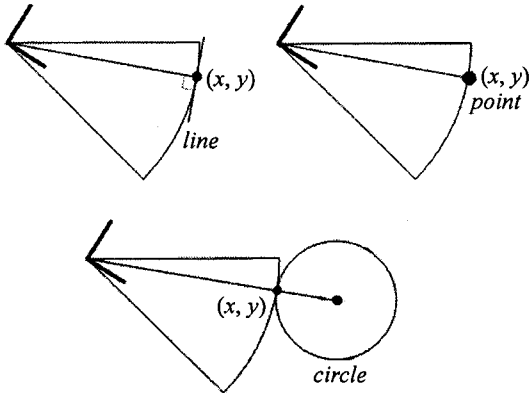


Fig. 3 Position (x, y) on the edge of sonar footprint contacted with features

3. 형상 추출

고정형 초음파 센서 링을 사용하는 경우 한 위치의 초음파 데이터 만으로 형상을 추출하는 것은 불가능하며 서로 다른 위치에서 동일 물체를 측정 한 데이터가 필요하다. 이 경우 FPA 모델을 이용하여 서로 다른 위치에서 측정된 데이터가 동일 물체에 대한 것인지의 여부를 판단한다.

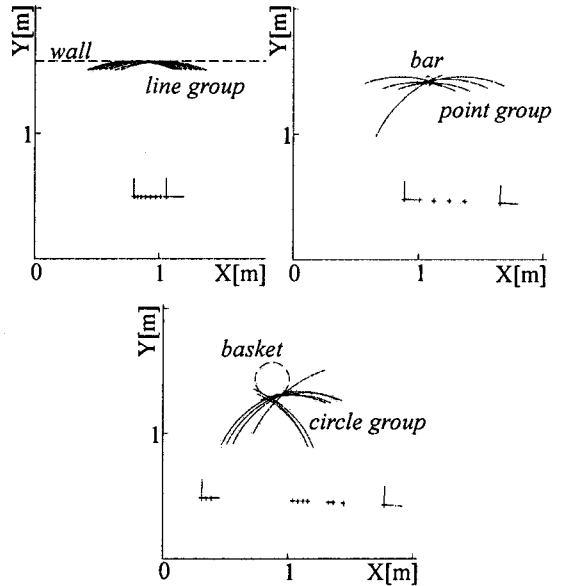


Fig. 4 Sonar footprints classified by the FPA model into the same cluster for estimating a line, a point and a circle feature during a robot exploration

Fig. 4 은 약 45° 의 유효 감지각을 갖는 Murata 초음파 센서 8 개로 구성된 고정형 센서링을 이용하여 측정된 데이터를 FPA 모델을 통해 형상 별로 분류한 결과이다. Fig. 4 에서 원호들은 각각의 측정된 초음파 데이터를 의미하고 점선으로 이루어진 형상들은 실제 물체의 모양을 나타낸다. 그리고 십자 마크는 FPA 모델에 의해 선택된 초음파 데이터가 측정되었을 때의 로봇의 위치를 나타낸다. 직선 형상에 대응되는 데이터들은 원호가 동일 직선에 공통으로 접하는 형태를 보이고 있고 점 형상에 대응하는 데이터들은 서로 교차하고 있으며 원호 형상의 경우는 데이터의 원호가 가상 원에 접하고 있음을 알 수 있다. 그러나 Fig. 4 의 점 형상에서와 같이 원호들이 정확하게 하나의 점에서 교차하고 있지는 않다. 이것은 로봇의 위치 오차 및 센서의 측정 오차에 기인된 것으로서 직선 및 원호 형상에서도 마찬가지이다. 이와 같이 각 형상 별로 분류된 오차를 갖는 데이터들로부터 최적의 형상을 추출하기 위해 다음과 같이 최소 자승법을 이용한다.

각 형상에 대한 모델 파라미터를 \hat{x} 라 하면 이를 구하기 위한 선형 방정식은 다음과 같다.

$$A\hat{x} \approx \bar{b} \tag{5}$$

방정식의 개수, 즉 FPA 모델에 의해 분류된 초음파 데이터의 개수가 m 이고 구하고자 하는 해의 개수, 즉 형상에 대한 모델 파라미터의 개수가 n 이면, 위 식 (5)에서 A 는 $m \times n$ 차원의 기지 행렬이 되고, \hat{x} 는 n 차원의 미지 벡터가 된다. 그리고 \bar{b} 는 m 차원의 기지 벡터가 된다. 본 연구에서 사용하는 각 형상의 종류에 대한 형상 모델과 선형 방정식의 A 행렬과 \bar{b} 는 Table 1 과 같다.

식 (5)에 대한 오차 자승을 최소화 시키는 해는 최소 자승법을 통해 다음 식 (6)과 같이 표현되고, 이 식 (6)의 해는 Singular Value Decomposition¹³ 을 사용하여 다음 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$A^T A \hat{x} = A^T \bar{b} \tag{6}$$

$$\hat{x} = V \Sigma^+ U^T \bar{b} \tag{7}$$

식 (7)에서 V 와 U 는 $n \times n$ 과 $m \times m$ 차원의 orthogonal 행렬이고 Σ 는 $m \times n$ 차원의 diagonal 행렬이다. 그리고 Σ^+ 는 Σ 의 non-zero entries 역행렬이다.

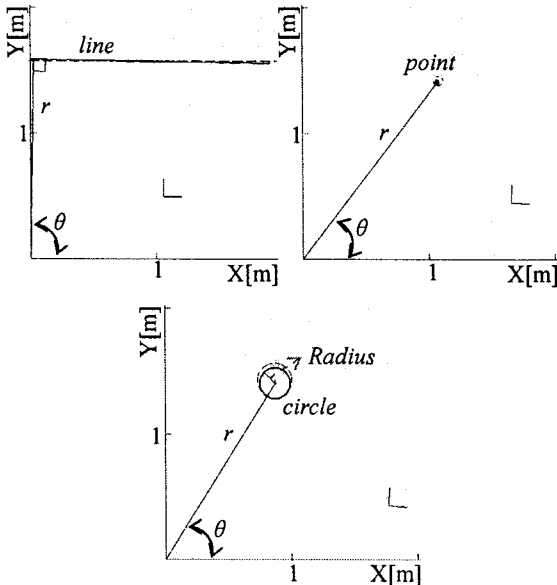


Fig. 5 Results of feature extraction from sonar data shown in Fig. 4 through Least Squares

Fig. 5 는 Fig. 4 의 결과를 이와 같은 방법으로 분류한 형상 및 그 위치를 나타내며 각 형상의 위치 정보는 원점에서부터 형상까지의 최단거리와

방향각에 의해 표현될 수 있다. 원 형상은 거리와 방향각 정보와 더불어 반지름 정보가 추가된다. Table 2 는 Fig. 5 와 같이 원점을 기준으로 했을 경우의 실제 형상과의 오차를 나타낸다. 사실 로봇의 위치를 오차 없이 정확하게 측정하는 것은 불가능하기 때문에 Table 2 의 형상 위치 오차는 초음파 센서의 측정 불확실도와 더불어 로봇의 위치 불확실도로부터 기인된 것이라 할 수 있다. 그리고 원 형상은 다른 형상들보다 형상 정보를 추출함에 있어 데이터 량이 부족하기 때문에 오차가 비교적 클 수 밖에 없다. 그럼에도 불구하고 Table 2 의 결과는 RCD 를 이용하여 추출한 선과 점 형상에 대한 위치 오차와 거의 차이가 없음을 알 수 있다.⁵

Table 1 Feature model equations and given matrix and vector of the linear equation

	feature model	A	\bar{b}
line	$\alpha + \beta = y$	$\begin{bmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x_m & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix}$
point	$\alpha = x$ $\beta = y$	$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}_{m \times 1}$	$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix}$
circle	$\alpha(x^2 + y^2) + \beta x + \gamma y = 1$	$\begin{bmatrix} x_1^2 + y_1^2 & x_1 & y_1 \\ x_2^2 + y_2^2 & x_2 & y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_m^2 + y_m^2 & x_m & y_m \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}_{m \times 1}$

Table 2 Pose errors of the extracted features in comparison with the given true map

feature type	coordination	error
line	r [mm]	3.63
	θ [degree]	0.46
point	r [mm]	12.36
	θ [degree]	0.02
circle	r [mm]	17.21
	θ [degree]	0.74
	Radius [mm]	16.572

4. 실험 결과

Fig 6(a)와 같이 약 45 도의 감지각을 갖는 8 개의 Murata 초음파¹⁴ 고정형 센서 링을 장착한 Pioneer-3DX 이동 로봇을 사용하여 실험을 하였다. 8 개의 초음파 센서들은 45 도의 간격으로 센서 링에 배치되어 장착되었다. 고정형 센서 링의 반지름은 16cm 이고 지면에서부터 센서 링까지의 높이는 37cm 이다. Pioneer-3DX 자체에 장착되어 있는 Polaroid 초음파 센서들은 본 실험에서 사용되지 않았다. Fig 6(b)와 같이 로봇은 약 7×5 m 크기의 일반 가정 환경에서 실험을 수행하였다. Fig 6(a)에서의 사진들은 Fig 6(b)에서 보는 바와 같이 A, B, C 그리고 D 방향에서 촬영한 사진들이다.

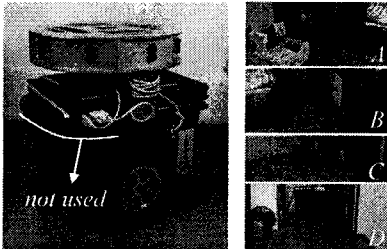


Fig. 6(a) Pioneer-3DX mounted on the fixed-type sensor ring equipped with 8 Murata sonar sensors which have the beam directivity of 45 degrees roughly. And pictures of home surroundings

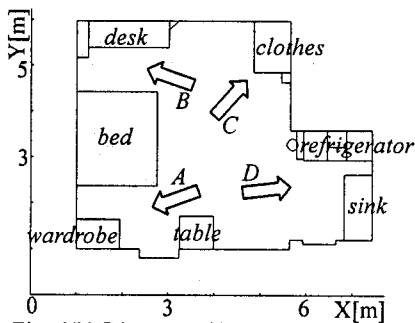


Fig. 6(b) Diagram of home surroundings

Fig. 7 에서는 로봇의 주행 전 구간에서 측정된 초음파 데이터를 나타내고 있다. 이동 로봇의 주행 방향은 수동으로 직접 조정되었다. 이동 로봇이 실험 환경을 한 바퀴를 주행하는데 움직인 거리는 약 20.04m 이었고 속도는 약 0.2m/s 이었다. 로봇이

움직이는 동안 초음파 거리 데이터는 5Hz 의 빈도로 측정되었다. Fig. 7 에서 보는 바와 같이 측정된 모든 초음파 데이터 중 넓은 지향각과 거울 반사 현상으로 인해 정확한 위치를 제공하지 못하는 데이터가 다수 발생함을 알 수 있다. Fig. 7 에서 점선은 실제 가정 환경의 모양을 나타내고 있다.

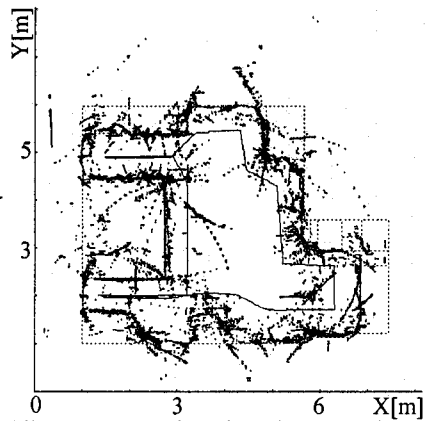


Fig. 7 All sonar returns based on the true trajectory were drawn by solid lines

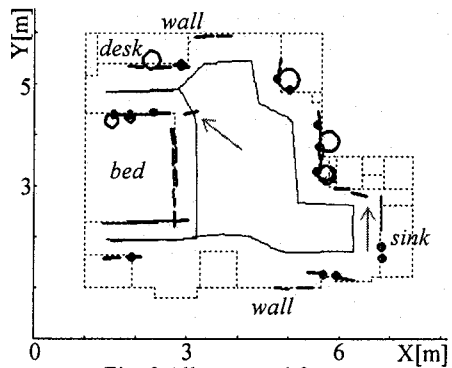


Fig. 8 All extracted features

Fig. 8 에서 보는 바와 같이 주행 전 구간에서 검출된 대부분의 선, 점, 그리고 원 형상들은 실제 환경 형상을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다. 형상의 평균 검출 시간은 0.0426 초이며 형상 검출 시행 간격은 로봇의 속력에 따라 최소 2 초에서 최대 3 초가 걸렸다. 선 형상의 경우 침대, 싱크대, 책상 그리고 벽면과 같이 표면 윤곽이 일정하게 끝은 물체에서 검출될 가능성이 높은 것을 확인할 수 있다. 하단에 위치한 테이블은 높이가 고정

형 센서 링의 높이보다 낮기 때문에 테이블에 대한 형상이 제대로 검출되지 못하였다. 검출된 대부분의 선 형상이 실제 환경 형상을 잘 반영하고 있지만 화살표로 표시된 두 개의 선 형상과 같이 초음파의 넓은 감지각에 의해 잘못 추출되는 형상도 드물게 검출되는 것을 알 수 있다. 점 형상의 경우 벽면 모서리, 싱크대 손잡이, 침대 표면과 같이 모서리나 홈이 나 있는 부분에서 검출될 가능성이 높은 것을 확인 할 수 있다. 원 형상의 경우 둥근 모양을 띄는 쓰레기통이나 모서리와 같은 곳에서 검출될 수 있음을 확인할 수 있다.

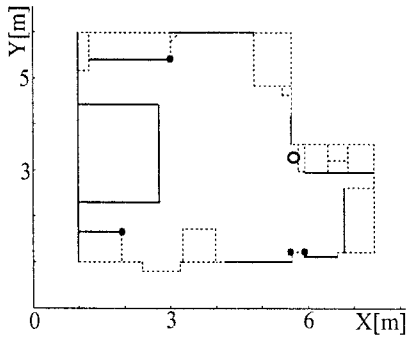


Fig. 9(a) Landmarks selected in the true map

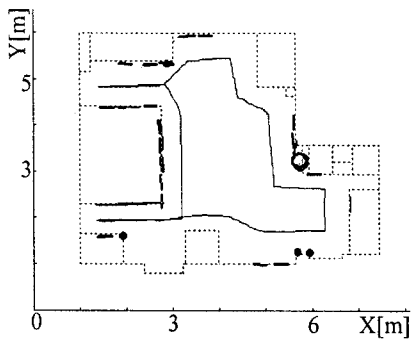


Fig. 9(b) Features accepted by data association with map landmarks based on the true trajectory

검출된 형상의 위치 오차를 평가하기 위해 Fig. 9(a)에서 보는 바와 같이 지도 형상들을 선별한다. Fig. 9에서 굵은 선으로 표시된 선, 점, 원은 각각 선, 점, 원 형상 지표를 나타낸다. 그리고 이동 로봇의 주행 전 구간에서 검출된 형상들 중 Leonard와 Durrant-Whyte가 사용한 확률적 데이터 교합법(data association, correspondence test)⁵을 통해 선별된

지도 형상과 연관성이 있다고 판단된 형상들을 Fig. 9(b)와 같이 구분해낸다. 즉, 센서의 측정 불확실도에 의해 평가된 형상의 위치 불확실도를 이용하여 추출된 형상이 Fig. 9(a)의 지도 형상에 속하는 지에 대한 판단을 하는 것이다. 이와 같은 방법으로 Fig. 9(b)에서 44 개의 선 형상, 9 개의 점 형상 그리고 2 개의 원 형상이 검출되었고 지도 형상에 대한 검출된 형상의 평균 위치 오차는 Table 3 과 같다. Table 3 의 평균 위치 오차는 원점을 기준으로 했을 경우 실제 형상과의 거리와 방향 오차를 나타낸다. Table 3 의 결과는 로봇이 직진 운동을 할 때 추출된 Table 2 의 단일 형상의 위치 오차에 비해 비교적 증가되었다. 이는 환경이 좀더 복잡해져 빔 폭이 넓은 초음파의 측정 정보가 더욱 불확실해 졌을 뿐만 아니라 로봇의 이동 경로가 복잡해짐에 따라 로봇의 위치 불확실도 또한 증가하였기 때문이다. 하지만 이 정도의 형상 위치 오차는 EKF 를 이용하여 로봇의 위치를 추정하기에 아무런 문제가 없음을 Lee 연구팀 결과에서 확인할 수 있다.¹⁵

Table 3 Average errors of associated features pose in Fig. 9(b)

feature type	coordination	error average
line	r [mm]	89.56
	θ [degree]	2.1
point	r [mm]	55.98
	θ [degree]	1.62
circle	r [mm]	27.77
	θ [degree]	0.62
	Radius [mm]	40.98

5. 결론

본 연구에서는 일반적인 고정형 초음파 센서 링을 이용하여 동일 물체를 여러 위치에서 측정된 초음파 데이터를 잘 분류시킬 수 있는 데이터 교합 필터를 제안하였다. 이 필터에 의해 분류된 초음파 데이터로부터 추출되는 형상은 위치 오차가 작을 뿐만 아니라 필터에 의한 형상 검출기는 동일 물체를 일관되게 검출할 수 있음을 확인하였다. 또한 제안된 데이터 교합 필터를 통해 원 형상까지 일관성 있게 추출할 수 있는 가능성을 제시하였다. 본 연구에서 개발된 강인한 초음파 형상 검출기는 가정 환경에 대한 형상 지도를 작성하거나

로봇의 위치를 보정하기 위해서 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 결국 환경 형상을 추출하기 위해서 레이저나 비전 센서 대신에 초음파 센서를 이용하여 주위 환경 형상을 강인하고 간단하게 검출해냄으로써 이동 로봇의 실용성과 경제성을 높였다고 할 수 있겠다.

검출된 대부분의 선 형상이 실제 환경 형상을 잘 반영하고 있지만 초음파의 넓은 감지각에 의해 잘못 추출되는 형상도 드물게 검출되는 것을 알 수 있다. 하지만 이런 일관성 없는 형상들은 지도를 작성하거나 로봇의 위치를 추정함에 있어 데이터 교합율이 낮기 때문에 필요에 따라 추후 충분히 제거될 수 있을 것이다. 초음파 센서를 사용하여 이동 로봇의 자율 주행을 위해 추후 연구에서는 개발한 형상 검출기를 이용하여 완성도 높은 형상 지도를 작성할 계획이다.

후 기

This work was supported in part by MIC & IITA through IT Leading R&D Support Project.

참고문헌

1. Lim, J. H., "Map construction, exploration, and position estimation for an autonomous mobile robot using sonar sensors," PhD dissertation, Pohang University of Science and Technology, pp. 2-4, 1994.
2. Elfes, A., "Sonar-Based Real-World Mapping and Navigation," IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No. 3, pp. 249-265, 1987.
3. Lee, S. J., Lim, J. H., Kang, C. U., Chung, W. K. and Cho, D. W., "Feature Based Map Building Using Sparse Sonar Data," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Shaw Conference Center, pp. 492-496, 2005.
4. Wijk, O. and Christensen, H. I., "Triangulation-Based Fusion of Sonar Data with Application in Robot Pose Tracking," IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 16, No. 6, pp. 740-752, 2000.
5. Leonard, J. and Durrant-Whyte, H., "Directed Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation," Kluwer Academic Publishers, pp. 39-121, 1992.
6. Heale, A. and Kleeman, L., "A real time DSP sonar echo processor," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1261-1266, 2000.
7. Tardos, J. D., Neira, J., Newman, P. M. and Leonard, J. J., "Robust Mapping and Localization in Indoor Environments Using Sonar Data," The International Journal of Robotics Research, Vol. 21, No. 4, pp. 311-330, 2002.
8. Kang, S. K. and Lim, J. H., "Feature based Map Building by using Orientation Information in a Grid Map," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 22, No. 12, pp. 61-69, 2005.
9. Bank, D. and Kampke, T., "High-Resolution Ultrasonic Environment Image," IEEE Transactions on Robotics, Vol. 23, No. 2, pp.370-381, 2007.
10. Fazli, S. and Kleeman, L., "Simultaneous landmark classification, localization and map building for an advanced sonar ring," Robotica, Vol. 25, Issue 3, pp. 283-296, 2007.
11. Arras, K. O., "Feature-Based Robot Navigation in Known and Unknown Environments," PhD. Thesis, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, pp. 121-146, 2003.
12. Lee, K. H., Kim, S. H. and Kwak, Y. K., "Mobility Improvement of an Internet-Based Robot System Using the Position Prediction Simulator," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 6, No. 3, pp. 29-36, 2005.
13. Anderson, E., Bai, Z., Bischof, C., Blackford, S., Demmel, J., Dongarra, J., Croz, J. D., Greenbaum, A., Hammarling, S., McKenney, A. and Sorensen, D., "LAPACK User's Guide," Third Edition, SIAM, <http://www.netlib.org/lapack/lug/node53.html>, 1999.
14. Piezoelectric Ceramic Sensors(PIEZOTITE®), Catalog No. P19E-7, Murata Manufacturing Co., Ltd.
15. Lee, S. J., Lim J. H. and Cho, D. W., "EKF Localization and Mapping by Using Consistent Sonar Feature with Given Minimum Landmarks," SICE-ICASE International Joint Conference, pp. 2606-2611, 2006.