

# 실내 자율주행 로봇을 위한 벽과 모퉁이 인식방법

## Wall and Corner Recognition Method for Indoor Autonomous Mobile Robot

이만희\*  
Man-hee Lee\*

조항\*\*\*  
Whang Cho\*\*\*

**Abstract** - For localization, it is very important for an autonomous mobile robot to be able to recognize indoor environment and match an object it detect to an object within a map developed either online or offline. Given the map defining the locations of geometric beacons like wall and corner existing in the robot operation environment, this paper presents a stereo ultrasonic sensor based method that can be conveniently used in recognizing the geometric beacons. The stereo ultrasonic sensor used in the experiment consists of an ultrasonic transmitter and two ultrasonic receivers placed symmetrically about the transmitter. Experiment shows that the proposed method is more efficient in recognizing wall and coner than the conventional method of using multiple number of transmitter-receiver pairs.

**Key Words** : autonomous mobile robot: Indoor navigation: localization: stereo ultrasonic sensor.

### 1. 서 론

환경지도 생성과 함께 현재 로봇이 놓여 있는 위치 및 방향의 효율적 인식은 로봇의 자율 주행을 위하여 필요한 매우 중요한 기능이며 이를 위한 다양한 방법이 개발 중에 있다. 로봇의 위치결정은 상대 위치 결정과 절대위치 결정으로 크게 나뉘어 진다. 상대 위치 결정은 기준 위치로부터 주어진 시간 동안 이동한 거리, 속도 및 각속도를 계산하여 현재 위치를 결정하는 방법으로, 주로 바퀴의 회전수를 측정할 수 있는 엔코더를 이용한 추측방법 기술이 이용되지만 바퀴의 미끄러짐이나 기계적 공차에 의하여 이동 거리나 이동시간에 따라서 오차가 계속 누적되는 단점이 있으며, 이러한 누적오차를 보정하기 위해서는 주기적으로 절대 위치 결정을 해야 한다. 절대 위치 결정 방법은 로봇 주행 환경 내에 이미 알고 있는 표식들의 위치들로부터 로봇의 거리 및 방향을 측정하여 기하학적으로 위치를 결정하는 방법으로서, 로봇의 주행 환경 지도가 중요한 역할을 한다.[1]

구조화가 잘 된 로봇 주행 환경은 평면, 구석, 모서리, 원주의 요소들로 모델링 될 수 있고, 초음파 센서를 사용하여 이들과 관련된 RCD(Region of Constant Depth)를 추출하여 이용하는 방법이 사용되기도 한다.[3][4][5] Leonard 와 Durrant-Whyte는 초음파 데이터로부터 얻어진 기하학적 표식들의 RCD와 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter)를 사용하여 위치추정기법을 개발 하였다.[2]

본 논문에서는 이동 로봇의 위치 측정을 목표로 환경지도가 주어 진 상황에서 스테레오 초음파센서를 장착한 로봇이 이동하여 얻는 센서 값을 순차적으로 처리하여 이를 통해 센서의 감지 대상체가 환경지도 내의 벽, 모퉁이, 모서리를 맵과 비교하여 현재 위치를 판별하며 또한 중간에 지도상에 표현되지 않는 장애물이 있을 경우 원하는 벽면과 코너를 판단하는 위치추정기법을 제안한다.

### 2. 스테레오 초음파센서 모델링

그림 1은 초음파의 정반사(specular reflection)특성을 고려한 스테레오 초음파센서 구조를 나타낸다.

$$r_1 = \overline{TB} + \overline{BR}_1 = \overline{TB} + \overline{BR}_1 \quad (1)$$

$$r_2 = \overline{TA} + \overline{AR}_2 = \overline{TA} + \overline{AR}_2 \quad (2)$$

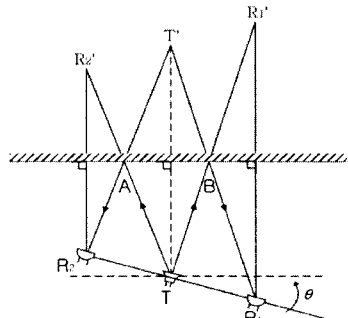


그림 1. 스테레오 초음파센서의 벽에서의 정반사  
Fig. 1. Specular reflection of Stereo ultrasonic sensor on a wall

저자 소개

\* 正 會 員 : 광운大學 제어계측공학學科 博士課程

\*\*\* 正 會 員 : 광운大學 제어계측공학學科 正教授 · 工博

그림 1에서  $\theta$ 는 벽과 평행하게 정의된 점선에 대해 스테레오 초음파 센서가 상대적으로 놓인 각도를 나타내며,  $d$ 는 송신기 T로부터 벽과의 최단거리를 나타낸다. 스테레오 초음파 센서를 이용하여 송신기에서 발생된 음파가 두 개의 수신기에 도착하는 시간을 각각 측정하여 송신기로부터 두 수신기까지 거리정보  $r_1, r_2$ 를 얻어낸 후 정반사 원리를 이용하여  $\theta$ 와  $d$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

그림 1에서  $\triangle TR_1T'$ 와  $\triangle TR_2T'$ 에 대해 cosine법칙을 적용하여 각각  $r_1$ 과  $r_2$  구하면 다음식과 같이 구할 수 있다.

$$r_1^2 = s^2 + 4d^2 + 4sd \cdot \sin \theta \quad (3)$$

$$r_2^2 = s^2 + 4d^2 - 4sd \cdot \sin \theta \quad (4)$$

두식 (3)와 (4)로부터 두 개의 미지수  $d$ 와  $\theta$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d = \frac{1}{2} \left( \frac{r_1^2 + r_2^2}{2} - s^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

식(5)의 괄호 안이 0보다 커야 하지만 측정에 에러가 발생하면 0보다 작아질 수 있다. 이런 경우는  $d$ 값을 결정할 수 없게 된다. 식(5)의  $d$ 값을 식(3)에 대입하여 정리하면  $\theta$ 값을 다음식과 같이 구할 수 있다.

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{r_1^2 - r_2^2}{8sd} \right) \quad (6)$$

식(6)의 경우도 괄호안의 크기를 1과 비교하여, 만약 1보다 크면 센서 에러가 발생한 경우가 되고, 1보다 작을 때만 센서와 벽면과의 각도가 얻어지게 된다.  $\theta$ 의 부호는 다음과 같이 결정된다.

$$\theta > 0 \quad \text{if} \quad r_1 > r_2 \quad (7)$$

$$\theta < 0 \quad \text{if} \quad r_1 < r_2 \quad (8)$$

그림 2의  $d$ 는 송신기와 모퉁이까지의 최단거리를 나타내며  $\theta$ 는 송신기와 모퉁이의 가상벽면선과 이루는 각도를 나타낸다.

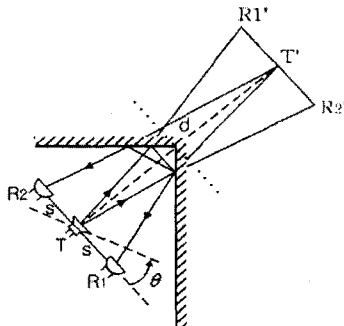


그림 2 스테레오 초음파센서의 모퉁이에서의 정반사  
Fig. 2. Specular reflection of Stereo ultrasonic sensor on a corner

그림 2는 모퉁이에서 음파의 반사구조는 점선 모양의 가상벽면이 생긴다고 가정하여 평면에서와 마찬가지로 정반사 특성을 사용하여 다음 조건을 만족하는 식을 구할 수 있다. 거리  $r$ 은  $r_1 = \overline{R_1T}$ ,  $r_2 = \overline{R_2T}$ 로 구할 수 있으며, 두개의 삼각형  $\triangle TR_1T'$ 와  $\triangle TR_2T'$ 에 대해 cosine 법칙을 적용하면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$r_1^2 = s^2 + 4d^2 + 4sd \cdot \sin \theta \quad (9)$$

$$r_2^2 = s^2 + 4d^2 - 4sd \cdot \sin \theta \quad (10)$$

식(9)와 (10)는 벽면에서 구한 식(3)과 (4)는 동일하므로  $d$ 와  $\theta$ 를 구하는 방법은 식 (5)~(8)과 동일하다. 이런 결과는 스테레오 초음파센서는 모퉁이를 가상벽면으로 인식한다는 의미이며 벽면과 모퉁이 구별은 스테레오 초음파센서 모듈의 위치를 변화시켜 1개 이상의 위치에서 얻어진 데이터를 적절한 방법으로 판독함으로써 가능하게 된다.

### 3. 하후변환을 통한 벽면인식 방법

초음파 센서를 이용한 주변 환경 인식에서의 모퉁이 및 모서리 인식은 기본적으로 벽면 인식을 기초로 이루어진다. 벽면을 인식하기 위해서는 직선 성분의 검출이 선행 되어야 한다.

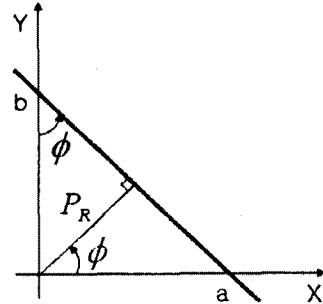


그림 3. 하후 변환  
Fig. 3. Hough Transformation

그림 3은  $a, b$  두 점을 연결하는 직선방정식을  $y = -\frac{b}{a}x + b$  이 식을 정리하면 다음식과 같다.

$$ax = -bx + ab \quad (19)$$

여기서  $a \cos \phi = r$ ,  $b \sin \phi = r$  놓고 이식을 (19)식에 대입하여 정리하고, 여기서  $r$ 값을  $P_R$ 값으로 놓으면 다음식과 같이 정리된다.

$$P_R = x \cos \phi + y \sin \phi \quad (20)$$

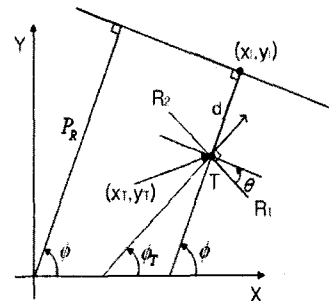


그림 4. 스테레오 초음파 센서와 벽면의 좌표  
Fig. 4. Coordinates of Stereo ultrasonic sensor and wall

그림 4를 통해 변수  $(P_R, \phi, P_\phi)$ 에 대한 방정식을 구하면 다음과 같다.

$$\phi = \phi_T + \theta \quad (21)$$

벽면의 위치  $x_1$ 와  $y_1$ 의 좌표를 계산하기 위해 식(21)에서  $\phi$ 로 좌표값을 구할 수 있다.

$$x_1 = x_T + d \cos \phi \quad (22)$$

$$y_1 = y_T + d \sin \phi \quad (23)$$

위의 식은  $x_i$ 와  $y_i$ 값이 정해지면 전역좌표계와 벽과의 최단 거리 값  $P_R$ 을 구할 수 있다.

$$P_R = x_i \cos \phi + y_i \sin \phi \quad (24)$$

$P_R$ 값에 따라  $P_V$ 값이 다음식과 같이 정의할 수 있다.

$$P_V = -1 \text{ if } P_R < 0, \quad P_V = +1 \text{ if } P_R > 0 \quad (25)$$

식(25)에서 정의된  $P_V$ 는 전역좌표계 원점에서 보았을 때 이는 벽(+1)과 안 보이는 벽(-1)을 구별하기 위한 파라미터이다.

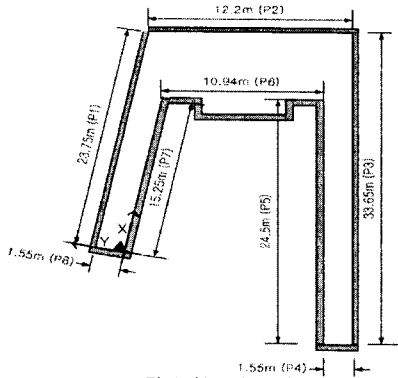


그림 5. 복도의 모델링  
Fig. 5. Modeling of floor

그림 5는 실제 로봇이 주행하는 지역의 평면도를 단순화 시켜 그린 것이다. 이 그림으로 전역좌표계(X, Y)에서 각 벽의 ( $P_R, \phi, P_V$ )값을 구한 것이 표1이다. 로봇이 같은 벽면( $P_i$ )을 주행할 때 X좌표의 위치만 거의 변하게 된다. P2 벽면에서는 각과 Y좌표가 주로 변하게 될 것이다. 따라서 현재 주행하는 벽면을 알 수 있고 정확한 위치는 미리 주어진 맵과 벽이 만나는 점인 모퉁이 지점을 비교함으로써 판단할 수 있다.

표 1. 전역좌표계에서 벽면 모델링과 모퉁이 좌표

Plane No.	$P_R$	$\phi$	$P_V$	$(X_i, Y_i)$	$(X_c, Y_c)$
P1	1.55	90	1	$(X_i, 1.55)$	$(23.75, 1.55)$
P2	22.5	11	1	$(X_i, Y_i)$	$(22.5, -15.3)$
P3	15.3	281	1	$(X_i, Y_i)$	$(-9.5, -15.3)$
P4	9.5	191	1	$(X_i, Y_i)$	$(-9.5, -13.8)$
P5	13.8	281	-1	$(X_i, Y_i)$	$(12.2, -13.8)$
P6	14.97	11	-1	$(15.2, -Y_i)$	$(12.25, 0)$
P7	0	0	1	$(X_i, Y_i)$	$(12.25, 0)$

그림 6은 유한 길이를 갖는 벽을 수학적으로 표현하기 위하여 벽의 양 단을 정의하는 두 개의 변수 L와 M을 정의하는 방법을 도식적으로 보여주고 있다. 이 방법은 일시적 장애물이 센서에 감지된 경우 벽으로 잘못 인지되는 경우를 막기 위해 사용될 수 있다. 예로 그림 6에서  $P_R$ 값과 작은  $(\sqrt{2}, 135^\circ)$ , 임의의 좌표 점  $(x_i, y_i)$ 을 식(24)식에 대입하여 그림에서 (1)~(4)까지 벽면에 대해서 4개의 식이 구해진다. 여기에 초음파 센서의 오차( $\epsilon$ )를 고려하여 (1)선과 (2)선을 곱하고 (3)선과 (4)선을 곱한 값이 둘 다 0보다 작으면 내부에 있고, 둘 다 0보다 크면 외부에 있다고 볼 수 있다. (1)선과(2)선을 곱한 값이 0보다 크고 (3)선과 (4)선을 곱한 값이 0이라면 경계 값에 위치한다.

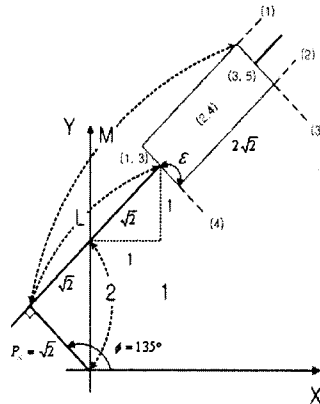


그림 6. 유한 길이의 벽면의 수학적 표현  
Fig. 6. Mathematical Model of Wall with Finite Length

#### 4. 결론

본 논문에서는 벽면, 모퉁이를 효율적으로 인식 하는 새로운 스테레오 초음파센서 측정 방식과 인식 결과를 이용하여 이동 로봇이 지도에 근거하여 현재 위치를 동적으로 추정하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 기존의 엔코더를 이용한 추측 항법 적용할 때 발생하는 오차를 보정하기 위해서 스테레오 초음파센서로부터 얻어진 데이터를 환경지도에서 주어진 벽면과 모퉁이 정보와 비교하여 현재 위치정보를 보정하는 방법으로 사용될 수 있다. 개발된 스테레오 초음파센서를 이동 로봇에 설치하여 실험을 진행하고 있으며 차후 로봇이 이동하면서 순차적으로 얻는 거리 데이터를 이용하여 벽면과 모퉁이와 모서리를 구별 인식함으로써 환경 지도를 스스로 생성하는 방법 개발에 확장 적용할 예정이다.

#### 참고 문헌

- [1] Ming Yang and S. L. Hill "Localization of Plane Reflector Using a Wide-Beamwidth Ultrasound Transducer Arrangement", IEEE Instrumentation and Measurement, vol. 46 No. 3 pp. 711-715, Jun. 1997.
- [2] John J. Leonard and H. F. Durrant-Whyte, "Directed Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation", Kluwer Academic Pub., 1992.
- [3] Youngjoon Han, Hernsoo Hahn, "Localization and Classification of Target Surfaces Using Two Pairs of Ultrasonic Sensors", IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 637-643, May 1999.
- [4] B. Barshan and R. Kuc, "Differentiating sonar reflections from corners and planes by employing an intelligent sensor", IEEE Trans. Pattern Anal Machine Int. vol. 12, no. 6, pp. 560-560, Jun. 1990.
- [5] L. Kleeman and R. Kuc, "An Optimal Sonar Array for Target Localization and Classification", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 4, pp. 3130-3135, 1994.