

# 초음파 센서를 이용한 실내 환경 실시간 계측 모델

정회원 이 만 희\*, 조 황\*\*

## Real-time Measurement Model of Indoor Environment Using Ultrasonic Sensor

Man hee Lee\*, Whang Cho\* *Regular Members*

### 요 약

이동형 로봇의 자율주행 능력을 높이기 위해서는 미리 알려진 주위 환경 특징들을 효과적으로 인식하는 방법의 개발이 매우 중요하다. 본 논문은 실내 로봇 주행 환경 내에서 위치 및 방향 정보가 미리 알려져 있는 벽과 모퉁이 같은 환경 특징들을 초음파 센서를 이용하여 실시간적으로 인식하는 방법을 제안한다. 초음파 센서는 한 개의 초음파 송신기와 이를 중심으로 적절한 거리에 대칭적으로 위치한 두 개의 초음파 수신기로 구성된다. 초음파 센서로부터 얻어진 정보는 확장 칼만 필터를 이용하여 기존 방법과는 달리 실시간적으로 처리됨으로써 인식된 환경 특징들에 대해 상대적으로 로봇의 위치 및 방향의 보정을 가능하게 한다.

**Key Words** : autonomous mobile robot, Indoor navigation, localization, stereo ultrasonic sensor, extended Kalman filter.

### ABSTRACT

In order to increase the autonomous navigation capability of a mobile robot, it is very crucial to develop a method for recognizing a priori known environmental characteristics. This paper proposes an ultrasonic sensor based real-time method for recognizing a priori known indoor environmental characteristics like a wall and corner. The ultrasonic sensor consists of an ultrasonic transmitter and two ultrasonic receivers placed symmetrically about the transmitter. Unlike previous methods the information obtained from the sensor is processed in real-time by extended Kalman filter to be able to correct the position and orientation of robot with respect to known environmental characteristics.

### I. 서 론

로봇이 자율적으로 주위환경 특징들을 인식하여 획득한 정보를 기초로 자기의 위치 및 방향 정보를 산출하는 기술은 로봇의 자율주행 성능을 결정하는 핵심 요소이기 때문에 다양한 센서를 이용하여 주위 환경을 효과적으로 인식하는 기술 개발은 매우 중요하다. 주위환경 인식을 위한 센서로는 접촉센서

적외선 센서, 초음파 센서, 레이저 등이 사용되고 있으나 이들 중 측정 거리 오차가 적고 비용이 저렴한 초음파 센서를 사용한 방법들이 활발하게 연구되고 있다<sup>1,2)</sup>.

그러나 거리 측정에 흔히 사용되는 한 쌍의 송수신부로 구성된 초음파 센서는 음파의 저조한 지향성으로 인하여 이동 로봇의 실시간 위치 추정을 위한 다양한 주변 환경 인식에 사용하기 위해서는 많

\* 광운대학교 제어계측공학과 메카트로닉스 연구실(tely2k@korea.com)

\*\* 광운대학교 제어계측공학과 메카트로닉스 연구실(robot@daisy.kw.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-04-146, 접수일자 : 2005년 4월 8일

은 개선의 여지를 남겨두고 있다. 한편 실내 환경과 같이 벽면, 구석, 모서리, 원기둥등과 같은 특징 요소들로 구조화가 잘 되어있는 로봇 주행 환경에서는 여러 개의 초음파 센서를 적절하게 사용함으로써 이 특징 요소들을 인식할 수 있는 방법들이 개발되었다<sup>3-5)</sup>.

특히 Leonard 와 Durrant-Whyte는 초음파 데이터로부터 얻어진 기하학적 표식들의 RCD(Region of Constant Depth) 정보를 추출하고 이 정보를 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter)를 이용하여 처리함으로써 로봇의 위치 및 방향 정보를 수정할 수 있는 방법을 제안하였다<sup>6)</sup>. 하지만 이 방법은 RCD 정보 추출 과정을 실시간화 하기가 어렵기 때문에 실용성이 매우 저조하다는 문제점을 남기고 있다. 또한 기준신호를 생성하는 의사위성으로서 저가의 초음파 센서를 이용한 전역 초음파 시스템(Global ultrasonic system)이 개발되기도 하였다<sup>7)</sup>.

본 논문은 이동 로봇의 실시간 로봇 위치 및 방향추정에 쉽게 적용이 가능한 새로운 초음파 시스템 기술을 제안한다<sup>8)</sup>. 제안된 초음파 시스템은 한 개의 송신기를 두 개의 수신기 사이에 설치하여 음파 반사체에 관한 두 가지 기하학적 데이터를 산출하도록 구성되었다. 그 중 하나는 반사체와 송신기와의 최단 거리이며 나머지 하나는 반사체와 초음파 센서와의 상대적 방향이다. 로봇은 정합과정을 통하여 이 두 정보를 이미 위치 및 방향이 알려진 벽면 또는 구석과 같은 환경 특징들에 대응시킴으로써 주어진 환경 내에서 상대적으로 자신의 위치 및 방향을 측정할 수 있게 된다. 이렇게 측정된 로봇의 위치 및 방향정보는 확장 칼만 필터 실시간 적용에 필요한 시스템 모델과 계측모델 중 후자로 활용될 수 있으며, 전자로는 로봇 바퀴 등에 장착된 엔코더 정보를 이용하는 추측항법 모델을 사용할 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2절에서 벽면, 모퉁이, 모서리 등에 대한 스테레오 초음파센서 반사 모델을 도입하고, 3절에서 이들을 이용한 계측 모델을 유도하며, 4절에서는 제한된 초음파 시스템을 이용한 실험 결과를 제시하고 마지막으로 5절에서 결론을 도출한다.

## II. 스테레오 초음파센서 반사 모델

초음파 센서를 이용하여 물체와의 거리를 측정하는 방법은 초음파가 물체에 부딪혀 되돌아오는 시

간인, 음파 비행시간(Time of Flight, TOF)으로 거리를 계산하는 방법이다. 그러나 초음파 센서의 단점인 방향각 부정확성, 외란 민감성, 반사각 민감성 등은 초음파 센서를 개발하는데 우선적으로 고려해야 할 문제들이다. 본 논문에서는 이러한 초음파 센서의 단점 중 방향각 부정확성을 보완하고 음파의 정반사 특성을 적극적으로 이용할 수 있도록 스테레오 초음파 센서 구조를 제안하고자 한다.

### 2.1 벽면 반사 모델

본 논문에서 제안한 센서 시스템은 두 개의 수신기 사이에 하나의 송신기를 배치한 구조로 구성되어 있다.

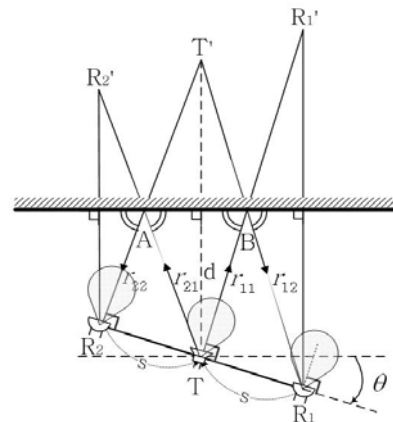


그림 1. 스테레오 초음파센서의 벽면에서의 정반사  
Fig. 1. Specular reflection of Stereo ultrasonic sensor on a wall

그림 1은 두 개의 수신기  $R_1$ 과  $R_2$  사이에 송신기  $T$ 가 위치한 구조로 각 센서간의 이격거리는  $s$ 이다. 송신기  $T$ 에서 음파를 송신하여 수신기  $R_1$ 과  $R_2$ 로 수신된 거리는 각각  $r_1$ 과  $r_2$ 이며, 송신기  $T$ 와 벽과의 최단거리는  $d$ , 센서 모듈의 벽면에 대한 상대적 방향은  $\theta$ 로 구성 된다. 그림 1에서

$$r_1 = r_{11} + r_{12} = \overline{TB} + \overline{BR_1} = \overline{T'B} + \overline{BR_1} \quad (1)$$

$$r_2 = r_{21} + r_{22} = \overline{TA} + \overline{AR_2} = \overline{T'A} + \overline{AR_2} \quad (2)$$

한편  $\triangle TR_1T'$ ,  $\triangle TR_2T'$ 에서  $r_1$ ,  $r_2$ 를 구하면

$$r_1^2 = (r_{11} + r_{12})^2 = s^2 + 4d^2 + 4sd \cdot \sin \theta \quad (3)$$

$$r_2^2 = (r_{21} + r_{22})^2 = s^2 + 4d^2 - 4sd \cdot \sin \theta \quad (4)$$

로 된다. 식(3)과 식(4)로부터 송신기와 벽과의 최단 거리  $d$ 와 센서 모듈의 벽면에 대한 상대적 방향  $\theta$ 는 다음과 같이 각각 얻어질 수 있다

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

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

위 식에서 센서의 오동작을 감지하기 위하여 식(5)에서는 괄호안의 값이 양인 조건을 식(6)에서는 괄호안의 값의 크기가 1보다 적은 조건을 확인해야 한다. 한편 센서 모듈의 벽면에 대한 상대적 방향  $\theta$ 의 부호는 다음과 같이 정의할 수 있다

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

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

### 2.2 모퉁이 반사 모델

한편 직각 모퉁이에서 음파의 반사구조는 그림 2에 서와 같이 벽면과 같은 정반사 특성을 나타낸다 따라서 점선 모양의 가상벽면이 생긴다고 가정하여 벽면과 같은 정반사 특성을 사용하여 같은 방법으로 최단거리  $d$ 와 각  $\theta$ 를 구하면 식(5)와(6)과 동일한 결과로 얻어진다 여기서 주목할 점은 모퉁이의 경우 초음파 송신기가 넓은 지향성 특성을 갖는 경우 센서와 모퉁이의 거리가 너무 가까울 때 모퉁이를 구성하는 두 개의 벽들 중 한 개가 감지될 가능성이 높아지는데 이러한 단점을 최소화하기 위해서는 좁은 지향성을 갖는 초음파 송신기를 사용할 수 있다.

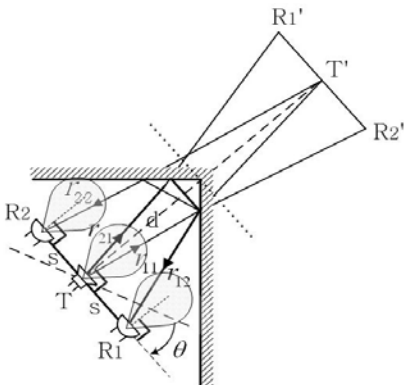


그림 2. 스테레오 초음파센서의 모퉁이에서의 정반사  
Fig. 2. Specular reflection of stereo ultrasonic sensor at a corner

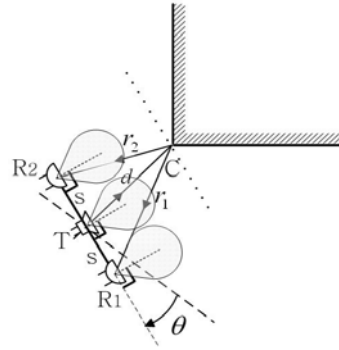


그림 3. 스테레오 초음파센서의 모서리에서의 난반사  
Fig. 3. Scattering of stereo ultrasonic sensor on an edge

### 2.3 모서리 반사 모델

그림 3은 모서리의 곡률 반경이 초음파 파장보다 작을 때 난반사가 일어나는 현상을 가정하여 모델한 결과를 보여주고 있다 그림 3에서 송신기 T로부터 수신기  $R_1$ 과  $R_2$ 로 수신된 거리를 각각  $r_1 = \overline{TC} + \overline{CR_1}$ ,  $r_2 = \overline{TC} + \overline{CR_2}$ 라 하면 두 삼각형  $\triangle TCR_1$ ,  $\triangle TCR_2$ 에 코사인 제 2 법칙을 적용하여 송신기와 모서리의 최단 거리  $d$  및 센서에 대한 모서리의 방향  $\theta$ 를 구하면 다음과 같다

$$d = \frac{1}{r_1 + r_2} \left( \frac{r_1^2 + r_2^2}{2} - s^2 \right)^{1/2} \quad (9)$$

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{(r_1 - d)^2 - (r_2 - d)^2}{4ds} \right) \quad (10)$$

위 식에서도 벽면이나 모퉁이 경우에서와 같이 센서의 오류를 감지하기 위하여 식(9)에서는 실수 조건을, 식(10)에서는 괄호 안의 값의 크기 조건을 확인할 필요가 있다

## III. 초음파 센서 계측 모델

### 3.1 계측 모델

계측 모델은 로봇의 현재 위치 및 방향에 대한 최적 추정 값들이 주어진 상황에서 로봇에 장착된 센서가 벽, 모퉁이, 또는 모서리를 관측할 때 얻어지는 거리 및 방향 정보에 대한 수학적 모델 식을 의미한다.

그림 4는 지면에 고정된 전역좌표계  $(X, Y)$  상에 정의된 벽면을 극좌표 형식으로 표현한 결과를 보여 주고 있다. 여기서  $P_R$ 은 좌표계 원점에서 벽면에 대응하는 직선까지의 최단거리를  $\phi$ 는 전역좌

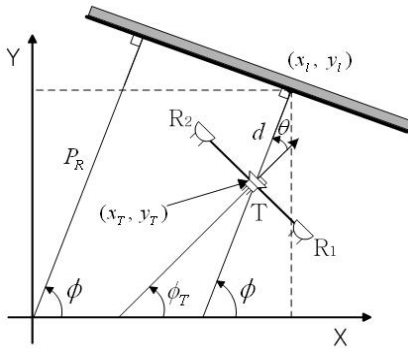


그림 4. 센서 관련 변수들의 정의  
Fig. 4. Definition of variables related with sensor

표  $X$ 축에 대한 반사체의 방향을 나타내는 변수로서 벽면의 경우는  $P_R$ 을 정의하는 선과  $X$ 축과의 각도를 나타내며 모퉁이나 모서리의 경우에는 센서의 송신부와 모퉁이 또는 모서리 점을 연결하는 직선의  $X$ 축과의 각도를 나타낸다. 한편,  $(x_T, y_T)$ 와  $\phi_T$ 는 각각 스테레오 초음파 센서의 전역 좌표계에 대한 위치 및 방향을 나타낸다

그림 4에서 알 수 있듯이 반사체의 방향은 센서의 방향과 측정된 방향 정보를 이용하여 다음과 같이 얻어질 수 있으며,

$$\phi = \phi_T + \theta \quad (11)$$

센서의 송신부와 반사체와의 최단 거리 점의 위치  $(x_l, y_l)$ 는 위 결과와 센서의 위치 및 측정된 거리 정보를 이용하여 다음과 같이 표현될 수 있다

$$x_l = x_T + d \cos \phi \quad (12)$$

$$y_l = y_T + d \sin \phi \quad (13)$$

위 결과를 벽면에 대응하는 직선방정식에 대입하고 이를 이용하여 벽면의 전역좌표계 원점으로부터의 최단거리  $P_R$ 을 얻어내면 다음과 같다

$$P_R = x_l \cos \phi + y_l \sin \phi \quad (14)$$

그림 5는 로봇에 장착되어 있는 초음파 센서의 위치 및 방향 정보가 로봇 좌표계로부터 전역좌표계로 변환되는 관계를 보여주고 있는데 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다

$$x_T(k) = \hat{x}(k) + x_T' \cos \Phi(k) - y_T' \sin \Phi(k) \quad (15)$$

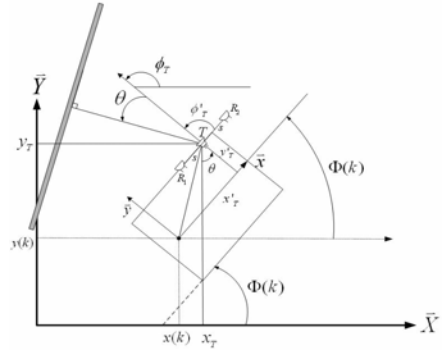


그림 5. 전역 좌표 및 로봇 좌표에 대한 센서 변수  
Fig. 5. Sensor variables w.r.t. robot and global coordinates

$$y_T(k) = \hat{y}(k) + x_T' \sin \Phi(k) - y_T' \cos \Phi(k) \quad (16)$$

$$\phi_T(k) = \hat{\Phi}(k) + \phi_T' \quad (17)$$

여기서  $(\hat{x}(k), \hat{y}(k))$ 와  $\hat{\Phi}(k)$ 는  $k$ 번째 샘플링 스텝에서 전역좌표계에 대한 로봇 좌표계 원점의 위치 및 방향의 최적 추정치를 나타내며  $(x_T', y_T')$ 과  $\phi_T'$ 는 로봇 좌표계에 상대적으로 고정된 센서의 위치 및 방향을 나타낸다

식 (11)과 (17)로부터 벽면의 방향에 대한 계측 모델을 구하면 다음과 같다

$$\hat{\theta} = \phi - \hat{\Phi}(k) - \phi_T'(k) \quad (18)$$

한편 센서의 송신기와 벽과의 최단거리에 대한 계측 모델은 그림 4를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{d} = P_v (P_R - x_T(k) \cos \phi - y_T(k) \sin \phi) \quad (19)$$

여기서  $x_T(k)$ 와  $y_T(k)$ 는 각각 식 (15)와 (16)에 주어져 있으며,  $P_v$ 는 벽면의 가시성을 나타내는 변수로서 전역좌표계 원점에서 벽면이 보일 경우 +1, 보이지 않을 경우 -1을 갖는다.

한편 모퉁이와 모서리의 계측 모델의 경우에는 센서로부터 얻어지는 방향 정보  $\theta$ 는 의미가 없기 때문에 송신기로부터 모퉁이 또는 모서리까지의 최단 거리 정보만을 이용하여 다음과 같이 계측 모델을 구할 수 있다

$$\hat{d}(k) = \{(x_c - x_T(k))^2 + (y_c - y_T(k))^2\}^{1/2} \quad (20)$$

$$\hat{d}(k) = \{(x_e - x_T(k))^2 + (y_e - y_T(k))^2\}^{1/2} \quad (21)$$

위 식에서  $(x_c, y_c)$ 와  $(x_e, y_e)$ 는 각각 모퉁이와 모서리의 전역좌표계에 대한 좌표를 나타낸다

### 3.2 모델 정합(model matching)

초음파 센서를 이용하여 로봇 자율주행에 필요한 로봇의 위치 및 방향 정보를 얻기 위해서는 센서로부터 얻어진 정보를 미리 주어진 주변 환경 정보에 대응시켜 현재 센서가 관측하고 있는 대상이 무엇인지를 확인하는 정합(matching)과정이 필요하며 위에서와 같이 현재 스텝  $k$ 에서 로봇의 위치 및 방향의 최적 추정치  $(\hat{x}(k), \hat{y}(k))$ 와  $\hat{\phi}(k)$ 를 이용하여 구해진 계측 모델을 사용하게 된다

먼저 식 (17)을 식 (11)에 대입하여 현재 스텝  $k$ 에서 반사체 방향의 예측치  $\hat{\phi}_{target}$ 을 얻어내면 다음과 같다.

$$\hat{\phi}_{target} = \hat{\phi}(k) + \phi_T' + \theta \quad (22)$$

식 (15), (16), (22)를 식 (12)와 (13)에 대입하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\hat{x}_{target} = x_T(k) + d \cos \hat{\phi}_{target} \quad (23)$$

$$\hat{y}_{target} = y_T(k) + d \sin \hat{\phi}_{target} \quad (24)$$

여기서  $(\hat{x}_{target}, \hat{y}_{target})$ 는 현재 로봇의 위치 및 방향의 추정치와 센서 출력  $(d, \theta)$ 를 이용하여 얻어진 반사체의 좌표인데 벽면의 경우 센서의 송신부로부터 벽면과의 최단 거리 점의 좌표 예측치를 모퉁이(모서리)의 경우에는 모퉁이(모서리) 점의 좌표의 예측치를 나타낸다.

위 결과를 이용하여 정합과정은 다음과 같이 구성될 수 있다.

#### 단계 1 : 모퉁이 및 모서리 정합

먼저 식 (23)과 (24)를 이용하여 센서에 관측된 반사체의 좌표를 구하고 이를 미리 주어진 환경 지도상의 모퉁이 또는 모서리 좌표  $(x, y)$ 들과 비교하여 최대 거리 오차 최소기준  $\varepsilon_1$ 을 만족하면서 최소 거리 오차  $m_1$ 을 갖는 모퉁이 또는 모서리를 찾는다.

$$m_1 = \{(\hat{x}_{target} - x)^2 + (\hat{y}_{target} - y)^2\}^{1/2} \leq \varepsilon_1 \quad (25)$$

위 과정을 통해 정합되는 모퉁이 또는 모서리가

발견되지 않은 경우 벽면 정합 알고리즘을 다음과 같이 수행한다.

#### 단계 2 : 벽면 정합

벽면 정합 알고리즘을 효과적으로 수행하기 위해서 다음의 두 과정을 수행한다 먼저 식 (22)를 이용하여 얻어진 반사체의 방향 예측치와 비교하여 방향 오차가 적절한 범위  $\varepsilon_2$ 보다 적은 벽면들을 골라낸다.

$$|\hat{\phi}_{target} - \phi| \leq \varepsilon_2 \quad (26)$$

다음은 위 조건을 만족하는 벽면들 중 식 (19)에 정의된 벽과의 최단거리 예측치  $\hat{d}$ 와 센서로 측정치  $d$ 와의 차이  $m_2$ 가 최소인 벽면을 선택한다

$$m_2 = |\hat{d} - d| \quad (27)$$

식 (25)와 (26)에서  $\varepsilon_1$ 과  $\varepsilon_2$ 는 초음파 센서의 특성과 로봇의 위치 및 방향 추정 알고리즘의 성능을 고려하여 설정하게 되며 본 실험에서는  $\varepsilon_1 = 0.01m$ ,  $\varepsilon_2 = 10^\circ$ 를 사용하였다.

## IV. 실험 및 고찰

그림 6은 제작된 스테레오 초음파센서를 보여주고 있다. 센서 중앙의 송신 모듈과 좌우측에 대칭으로 배치된 수신 모듈은 모두 Murata 제품을 사용하였으며 제어기는 ATMEGA 8535를 사용하였다. 초음파 센서에 사용된 센서 송신부의 공진주파수가 40kHz이며 물체 감지 거리는 0.2~5m이다. 실험에 사용된 스테레오 초음파 센서는 송신부와 수신부

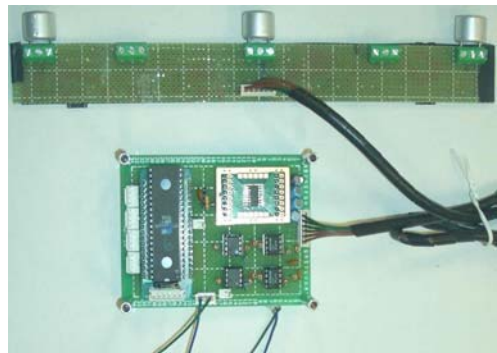


그림 6. 스테레오 초음파 센서부  
Fig. 6. Stereo Ultrasonic sensor

사이의 간격이 작을수록 크기가 작은 물체를 감지할 수 있다. 본 연구에서는 센서의 장착 공간을 고려하여 0.2m로 설계하였다. 제작된 초음파 센서는 물체와의 최단 거리 정보  $d$ 와 물체의 방향 정보  $\theta$ 에 있어서 비교적 안정적인 결과를 제공하였는데 특히 벽면과 최단 거리 정보는 2m 내에 있는 벽의 경우 1cm 이내의 작은 오차를 보였다. 한편 벽면의 센서에 대한 상대적 방향 정보  $\theta$ 는 센서와 벽면과의 거리에 따라 다소 특성의 변화를 보였지만 센서와 벽면과의 수직거리가 1m 보다 적고 센서와 벽면과의 상대적 방향이  $\pm 20^\circ$  내에 있을 경우에는 몇도 내의 매우 정확한 방향 정보를 제공하였다.

그림 7은 실험에 사용된 실내 환경의 평면도를 보여주고 있으며 표 1은 실내 환경을 구성하고 있는 벽면, 모퉁이, 모서리 등의 위치 및 방향 정보가 포함된 환경 지도를 보여주고 있다.

그림 7은 로봇이 주행하면서 로봇의 위치 및 방향에 따라 로봇 좌측에 장착된 센서가 인식한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 제작된 스테레오 초음파 센서는 벽 또는 모퉁이의 경우 센서가 적절한 위치 및 방향에 위치할 경우 높은 인식률을 제공하였으며 모서리의 경우는 전혀 인식하지 못하는 결과를 나타내었다. 이는 초음파 센서의 송신부의 출력이 너무 낮아 모서리에서 산란된 음파의 강도가 수신부에 인식되기에는 부족했던 이유 때문인 것으로 판단된다.

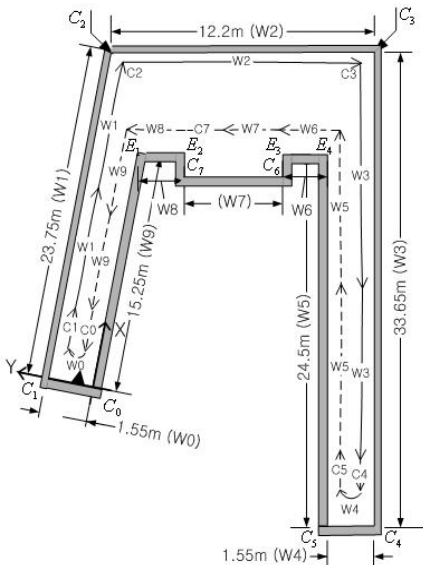


그림 7. 실내 환경의 평면도  
Fig. 7. Layout of Indoor Environment

표 1. 전역좌표계에서 벽면 모델링과 모퉁이 좌표  
Table 1. Wall modeling and coner coordinate w.r.t. global coordinates

벽면 번호	최단 거리	X축에서 $P_R$ 의 각	가시 성	모퉁이 번호	모퉁이 좌표
No.	$P_R$ [m]	$\phi$ [ $^\circ$ ]	$P_V$	No.	$(X_c, Y_c)$
W0	0	0	1	C0	(0,0)
W1	1.55	90	1	C1	(0,1.55)
W2	22.5	11	1	C2	(23.75,1.55)
W3	15.3	281	1	C3	(23.75,-10.6)
W4	9.5	191	1	C4	(-10,-15.3)
W5	13.8	281	-1	C5	(-10,-13.75)
W6	14.8	11	-1	C6	(14.88,-9.54)
W7	14.5	11	-1	C7	(14.84,-1.4)
W8	14.9	11	-1		
W9	0	0	1		

운행 실험 결과는 로봇이 주어진 실내 환경을 추측방법만으로 주행할 경우 운행 시간이 늘어날수록 로봇의 위치 및 방향 정보에 대한 불확실성이 비례적으로 계속 증가하는데 반해 초음파 센서를 사용한 확장 칼만 필터 알고리즘을 적용한 경우에는 로봇의 위치 및 방향 오차가 운행 시간에 관계없이 한정된 범위 내에 존재하는 것을 보여주어 스테레오 초음파 센서를 이용한 실시간 환경 인식 방법의 효과를 입증하였다.

그림 8은 초음파 센서 모듈의 성능을 실험하기 위해서 사용된 모바일 로봇을 보여주고 있다. 모바일 로봇은 3개의 서보형 캐스터 바퀴로 구동되며 각 캐스터 바퀴는 2개의 서보 전동기에 의해 구동된다. 로봇의 자율주행을 위해서는 확장 칼만필터를 적용하였는데, 필터에 필요한 시스템 모델은 각 서보 전동기에 장착된 엔코더 정보를 입력으로 하는 3자유도 추측방법 모델을 사용하였다.



그림 8. 스테레오 초음파 센서가 장착된 자율주행 로봇  
Fig. 8. Mobile robot with stereo ultrasonic sensor installed

로봇의 제어기로는 Pentium III 700MHz가 사용되었으며 추측방법 알고리즘 적용 주기로는 5ms, 초음파 센서를 이용한 확장 칼만필터 적용 주기로는 40ms를 사용하였다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 실내 로봇 주행 환경 내에서 위치 및 방향 정보가 미리 알려져 있는 벽과 모퉁이 같은 환경 특징들을 초음파 센서를 이용하여 실시간적으로 인식하는 방법을 제안하고 확장 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 실제 모바일 로봇에 활용함으로써 그 효과를 실험으로 확인하였다 제안된 초음파 센서는 한 개의 초음파 송신기와 이에 좌우 대칭적으로 위치한 두 개의 초음파 수신기로 구성된 구조를 가지고 있으며 기존 초음파 기술을 이용한 환경 인식 방법들의 단점을 개선하여 실시간적 환경 인식이 가능하도록 구성된 특징을 갖는다 따라서 제안된 초음파 센서 및 응용기술은 운행 환경을 변화 시키지 않고 로봇 스스로 환경을 인식하여 자신의 위치 및 방향을 추정할 수 있는 저가형 환경 인식 시스템으로서 높은 실용성을 보여준다

차후 연구 과제로는 다수의 스테레오 초음파 센서를 로봇의 전후좌우에 장착하여 순차적으로 주변 환경을 인식함으로써 보다 효율적인 로봇 운행 시스템으로 발전시키거나 한 개의 스테레오 초음파 센서를 서보 모터에 장착하여 레이더 시스템 같이 로봇의 방향에 관계없이 특정한 물체를 연속적으로 추적할 수 있는 시스템으로 개발하여 제안된 시스템의 실용성을 높이는 문제 등을 들 수 있다

## 참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] Ming Yang, S. L. Hill, and J. O. Gray "Localization of Plane Reflector Using a Wide-Beamwidth Ultrasound Transducer Arrangement", *IEEE Trans. instrumentation and Measurement*, vol. 46 No. 3 pp. 711-715, June 1997.
- [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, June 1990.
- [5] 범희락, 조형석, "Mobile Robot Map Making using Ultrasonic Sensor Array", *한국자동제어학술회의 논문집* pp. 121-122, 1993.
- [6] John J. Leonard and H. F. Durrant-Whyte, "Directed Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation", *Kluwer Academic Pub.*, 1992.
- [7] 진재호, 이수영, "실내용 이동로봇의 자기 위치 추정을 위한 전역 초음파 시스템, *대한전기학회 하계학술대회 논문집* pp.2521-2423, 2002.
- [8] 이만희, 조황, "스테레오 초음파 센서를 이용한 실내 환경 인식 기술에 관한 연구, *한국통신학회 추계학술대회 논문집*, 9-84, November 2004.

이 만 희 (Man hee Lee)

정회원



1992년 2월 광운대학교 제어계측공학과(공학사)  
1994년 2월 광운대학교 제어계측공학과(석사)  
2005년 2월 광운대학교 제어계측공학과(박사)  
<관심분야> 강인제어, 칼만필터, 메카트로닉스 및 자동화 시스템 서비스 로봇

조 황 (Whang Cho)

정회원



1981년 2월 인하대학교 기계공학과(공학사)  
1985년 12월 Univ. of Texas Austin 기계공학(석사)  
1989년 12월 Univ. of Texas Austin 기계공학(박사)  
1990년~현재 광운대학교 정보

제어공학과 정교수  
<관심분야> 의료용 및 서비스 로봇 메카트로닉스 및 자동화 시스템 메카니즘 설계 및 제어, 동역학 시스템 모델링