

Indoor Environment Recognition Method for Indoor Autonomous Mobile Robot

李萬熙[†] · 趙滉^{*}

(Man-Hee Lee · Whang Cho)

Abstract - For an autonomous mobile robot localization, it is very important for the robot to be able to recognize indoor environment and match a detected object to an object defined 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 practically applicable in recognizing the geometric beacons in real-time. The stereo ultrasonic sensor used in the experiment consists of an ultrasonic transmitter and two ultrasonic receivers placed symmetrically about the transmitter. Experimental results are provided to demonstrate that the proposed method is more efficient in recognizing wall and corner 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 추정 방법의 개발은 로봇의 자율 주행을 위하여 매우 중요하다[1,2]. 외부 환경을 인식하여 로봇의 위치 및 방향을 추정하기 위해 로봇은 근접센서, 적외선 센서, 초음파 센서, 레이저, 카메라 센서 등 다양한 센서들을 활용하고 있다. 이들 중 레이저 센서는 정확한 거리 측정이 가능 하나 고가이고, 카메라 센서의 경우 많은 양의 데이터 처리 속도와 관련한 문제가 있는 반면, 초음파 센서는 측정거리 오차에 비해 가격이 저렴하여 이동 로봇에 많이 사용되고 있다[3]. 그러나 초음파 센서의 경우 음파의 성질로 인해 방향의 부정확성, 외란 민감성, 반사각 민감성, 감쇠 현상 등 단점을 가지고 있으며 이로 인해 초음파 센서를 여러 개 배열하거나 초음파 센서를 회전시키는 방법과 다른 센서들과 혼합하여 사용하는 방법 등 많은 연구가 진행되었다[4,5].

구조화가 잘 된 실내 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. Leonard 와 Durrant-Whyte는 초음파 데이터로부터 얻어진 기하학적 표식들의 RCD와 확장칼만필터(Extended Kalman Filter)를 사용하여 위치 추정기법을 개발하였다[6].

거리 측정에 흔히 사용되는 초음파센서는 음파의 지향성이 떨어지기 때문에 이동 로봇의 실시간 로봇 위치 추정에 사용하기 매우 어렵다는 사실은 잘 알려져 있다. 본 논문은 이동 로봇의 실시간 위치 추정에 쉽게 적용하기 위한 새로운 스테레오 초음파 시스템을 제안한다. 스테레오 초음파 시스템은 한 개의 송신기를 두 개의 수신기 사이에 설치하여 반사체와 송신기와의 최단 거리와 반사체와 초음파 센서와의 상대적 방향을 제공한다. 정합 과정을 통해 이 두 데이터는 환경 지도에 주어진 벽과 모퉁이의 확인 가능성을 높이는데 매우 유용하다는 것을 보였다[7].

본 논문에서는 환경지도가 주어진 상황에서 이동 로봇의 위치 및 방향 추정을 위하여 스테레오 초음파센서를 장착한 로봇이 이동하면서 얻어지는 반사체에 관한 두 개의 기하학적 정보를 실시간적으로 처리하여 센서에 감지된 반사체가 환경지도 내의 어느 벽, 모퉁이, 모서리, 또는 환경지도에 주어지지 않은 장애물인지 구별하는 방법을 제안한다.

2. 스테레오 초음파센서 모델링

초음파 센서를 이용하여 물체와의 거리를 측정하는 방법은 초음파가 물체에 부딪혀 되돌아오는 시간인, 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[8]. 본 논문에서는 이러한 초음파 센서의 단점 중 방향각 부정확성을 보완하고 음파의 정반사 특성을 적극적으로 이용할 수 있도록 스테레오 초음파 센서 구조를 제안하고자 한다.

[†] 교신저자, 正會員 : 光云大學 大學院 制御計測學科 工博
E-mail : tely2k@korea.com

^{*} 正會員 : 光云大學 大學院 制御計測學科 正教授 · 工博
接受日字 : 2005年 3月 3日
最終完了 : 2005年 5月 13日

2.1 벽면 반사 모델

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

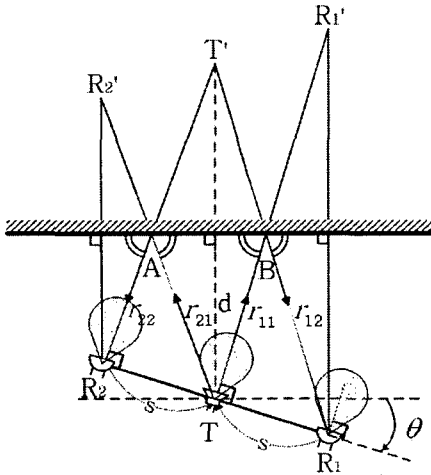


그림 1 스테레오 초음파센서의 벽면에 대한 정반사
Fig. 1 Specular reflection of stereo ultrasonic sensor on a wall

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 θ 로 구성 된다. 그림 1에서

$$r_1 = r_{11} + r_{12} = \overline{TB} + \overline{BR_1} = \overline{TB} + \overline{BR_1} \quad (1)$$

$$r_2 = r_{21} + r_{22} = \overline{TA} + \overline{AR_2} = \overline{TA} + \overline{AR_2} \quad (2)$$

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 최단거리 d 와 센서 모듈의 벽면에 대한 상대적 방향 θ 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 θ 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

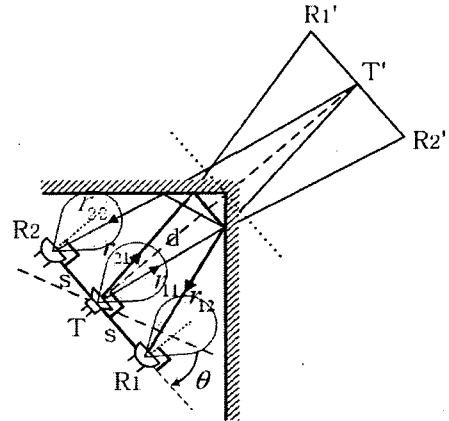


그림 2 스테레오 초음파센서의 모퉁이에서의 정반사
Fig. 2 Specular reflection of stereo ultrasonic sensor at a corner

한편 직각 모퉁이에서 음파의 반사구조는 그림 2에서와 같이 벽면과 같은 정반사 특성을 나타낸다. 따라서 점선 모양의 가상벽면이 생긴다고 가정하여 벽면과 같은 정반사 특성을 사용하여 같은 방법으로 최단거리 d 와 각 θ 를 구하면 식 (5)와 (6)과 동일한 결과로 얻어진다. 여기서 주목할 점은 모퉁이의 경우 초음파 송신기가 넓은 지향성 특성을 갖을 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.

2.3 모서리 반사 모델

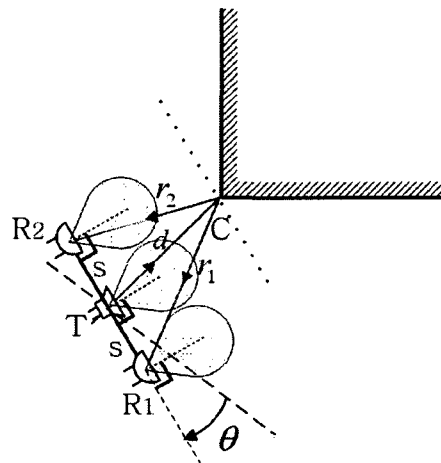


그림 3 스테레오 초음파센서의 모서리에서의 난반사
Fig. 3 Scattering of stereo ultrasonic sensor on a edge

그림 3은 모서리의 곡률 반경이 초음파 파장보다 작을 때 난반사가 일어나는 현상을 가정하여 모델한 결과를 보여주고 있다. 그림 3에서 송신기 T 로부터 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 θ

를 구하면 다음과 같다.

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

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

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.

3. 초음파 센서를 이용한 실내 환경 인식 방법

3.1 계속 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 모델식을 의미한다.

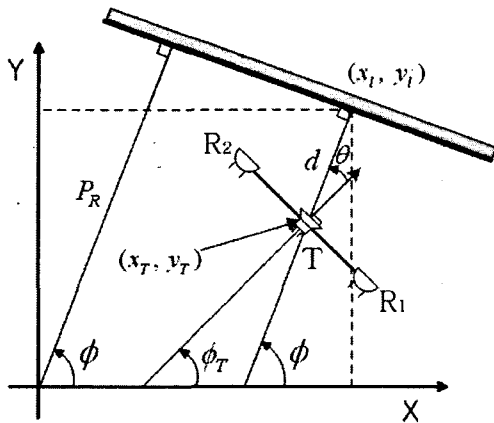


그림 4 센서 관련 변수들의 정의
Fig. 4 Definition of variables related with sensor

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, ϕ 는 전역좌표 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 ϕ_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_i, y_i) 는 위 결과와 센서의 위치 및 측정된 거리정보를 이용하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

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

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

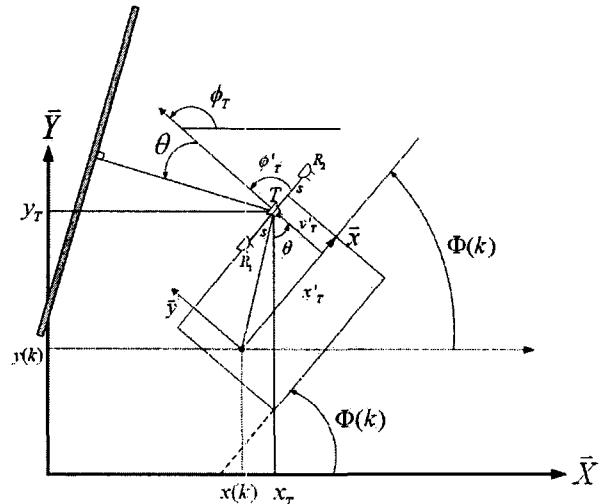


그림 5 전역 좌표 및 로봇 좌표에 대한 센서 변수
Fig. 5 Sensor variables w.r.t. robot and global coordinates

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

$$P_R = x_i \cos \phi + y_i \sin \phi \quad (14)$$

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

$$x_T(k) = \tilde{x}(k) + x_T' \cos \mathcal{Q}(k) - y_T' \sin \mathcal{Q}(k) \quad (15)$$

$$y_T(k) = \tilde{y}(k) + x_T' \sin \mathcal{Q}(k) + y_T' \cos \mathcal{Q}(k) \quad (16)$$

$$\phi_T(k) = \mathcal{Q}(k) + \phi_T' \quad (17)$$

여기서 $(\tilde{x}(k), \tilde{y}(k))$ 와 $\mathcal{Q}(k)$ 는 k 번째 샘플링 스텝에서 전역 좌표계에 대한 로봇 좌표계 원점의 위치 및 방향의 최적 추정치를 나타내며, (x_T', y_T') 와 ϕ_T' 는 로봇 좌표계에 상대적으로 고정된 센서의 위치 및 방향을 나타낸다.

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

$$\theta = \phi - \mathcal{Q}(k) - \phi_T'(k) \quad (18)$$

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

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

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 θ 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_o, y_o) 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 $\hat{\theta}(k)$ 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.

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

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, θ) 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 ϵ_1 을 만족하면서 최소 거리 오차 m_1 을 갖는 모퉁이 또는 모서리를 찾는다.

$$m_1 = \{(\hat{x}_{target} - x)^2 + (\hat{y}_{target} - y)^2\}^{1/2} \leq \epsilon_1 \quad (25)$$

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 ϵ_2 보다

적은 벽면들을 골라낸다.

$$|\hat{\phi}_{target} - \phi| \leq \epsilon_2 \quad (26)$$

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

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

식 (25)와 (26)에서 ϵ_1 과 ϵ_2 는 초음파 센서의 특성과 로봇의 위치 및 방향 추정 알고리즘의 성능을 고려하여 설정하게 되며 본 실험에서는 $\epsilon_1 = 0.01[m]$, $\epsilon_2 = 10^\circ$ 를 사용하였다.

4장 실험 및 고찰

그림 6은 제작된 스테레오 초음파센서를 보여주고 있다. 센서 중앙의 송신 모듈과 좌우측에 대칭으로 배치된 수신 모듈은 모두 Murata제품을 사용하였으며 제어기는 ATMEGA 8535를 사용하였다. 초음파 센서의 구동 주파수는 40KHz이며 물체 감지 거리는 0.2~5m이다. 실험에 사용된 스테레오 초음파 센서는 송신부와 수신부 사이의 간격이 0.2m가 되도록 구성하였다.

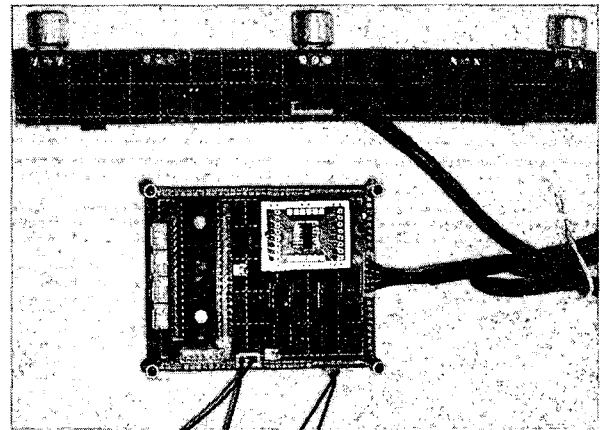


그림 6 스테레오 초음파 센서부
Fig. 6 Stereo ultrasonic sensor

제작된 초음파 센서는 물체와의 최단 거리 정보 d 와 물체의 방향 정보 θ 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 θ 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.

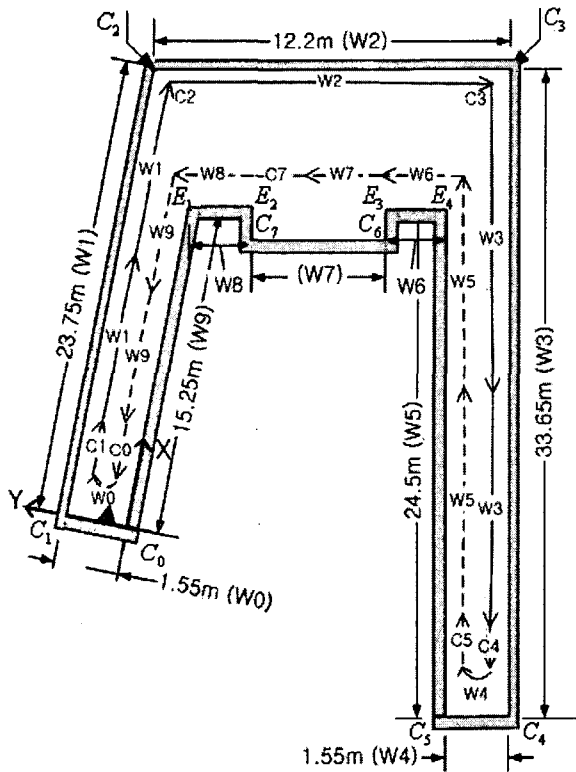


그림 7 실내 환경의 평면도
Fig. 7 Layout of Indoor Environment

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.

운행 실험 결과는 로봇이 주어진 실내 환경을 추측방법만으로 주행할 경우 운행 시간이 늘어날수록 로봇의 위치 및 방향 정

표 1 전역좌표계에서 벽면 모델링과 모퉁이 좌표
Table 1 Wall modeling and coner coordinate from global coordinates

벽면번호	최단 거리	X축에서 P_R 의 각	가시성	모퉁이 번호	모퉁이 좌표
Plane No.	$P_R[m]$	$\phi [^\circ]$	P_V	Coner 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		

보에 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.

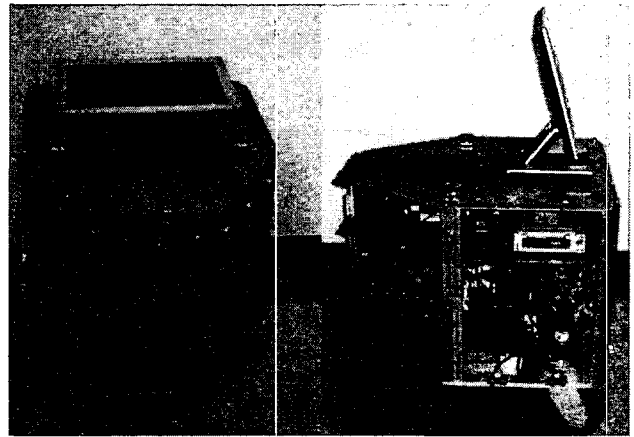


그림 8 스테레오 초음파 센서가 장착된 자율주행 로봇
Fig. 8 Mobile robot with stereo ultrasonic sensor installed

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 확장칼만 필터를 적용하였는데, 필터에 필요한 시스템 모델은 각 서보 전동기에 장착된 엔코더 정보를 입력으로 하는 3자유도 추측항법 모델을 사용하였다.

로봇의 제어기로는 Pentium III 700MHz 가 사용되었으며 추측항법 알고리즘 적용 주기로는 5ms, 초음파 센서를 이용한 확장 칼만 필터 적용 주기로는 40ms를 사용하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 건물 내부와 같이 벽면이나 모퉁이 등과 같은 기하학적으로 구조화 되어있는 로봇 주행 환경에서 로봇이 주행하는 경우 초음파 센서만을 사용하여 벽면과 모퉁이를 쉽게 인식할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 스테레오 초음파 방식은 초음파 센서를 이용하는 기존의 방식에 비해 실시간 적용이 용이한 방법이다.

개발된 스테레오 초음파 센서는 송신부로부터 1~2m 내에 존재하는 반사체와의 최단거리와 센서에 대한 최단거리 지점의 방향을 우수한 정밀도로 제공하도록 설계되었는데 로봇은 이 두 정보를 주행 환경 내에서 자기의 위치와 방향을 보정할 수 있는 수단으로 활용할 수 있다.

본 논문에서 개발된 기술들은 다수의 초음파 센서들을 부착하고 주행 환경 지도에 제공되지 않은 동적 및 정적 장애물들이 존재할 경우 이들을 적절하게 피해가면서 주어진 주행을 완수할 수 있도록 상위 지능 제어 알고리즘을 개발하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 스테레오 초음파 센서의 반사체 인식률과 정확도를 높이기 위하여 송수신부 사이의 이격 거리를 조정하거나 두 수신부의 방향

을 조정할 수 있는 보다 개선된 방식의 스테레오 초음파 센서를 사용할 경우 로봇에게 보다 신뢰도 높은 주변 환경 정보를 제공함으로써 제안된 환경 인식 알고리즘의 신뢰성을 한 층 높일 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Kai-Tai Song and Charles C. Chang, "Reactive navigation in dynamic environment using a multisensor predictor," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B: Cybernetics vol. 29, No. 6, pp. 870-880, December 1999.
- [5] Kai-Tai Song and Wen-Hui Tang, "Environment perception for a mobile robot using double ultrasonic sensors and a ccd camera," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 43, No. 3, pp. 372-379, June 1996.
- [6] John J. Leonard and H. F. Durrant-Whyte, "Directed Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation", Kluwer Academic Pub., 1992.
- [7] 이만희, 조황 "실내 자율주행 로봇을 위한 벽과 모퉁이 인식 방법", 대한 전기학회, Oct. 2004
- [8] Ming Yang and S. L. Hill "Localization of Plane reflect or Using a Wide-Beamwidth Ultrasound Transducer Arrangement", IEEE instrumentation and Measurement, vol. 46 No. 3 pp. 711-715, Jun. 1997.

저 자 소 개



이 만 희 (李 萬 熙)

1968년 5월 4일생. 1992년 광운대 제어계측공학 졸업. 1994년 광운대 대학원 제어계측공학 졸업(석사). 2005년 동대학원 제어계측공학 졸업(공학박).

Tel : (02)913-7783

Fax : (02)909-3255

E-mail : tely2k@korea.com



조 황 (趙 滉)

1959년 1월 7일생. 1981년 인하대 기계공학과 기계공학 졸업. 1985년 University of Texas Austin 기계공학 졸업 (석사) 1989년 University of Texas Austin 기계공학 졸업 (공학박). 1990년~현재 광운대학교 정보제어공학과 교수

Tel : (02) 940-5155

Fax : (02) 909-3255

E-mail : robot@daisy.kw.ac.kr