

## 2쌍의 초음파센서를 이용한 측정면의 위치 측정 및 종류 분류 기법

### Localization and Classification of Target Surfaces using Two Pairs of Ultrasonic Sensors

한 영 준, 한 현 수  
(Young Joon Han and Hern Soo Hahn)

**Abstract** : Ultrasonic sensors have been widely used to recognize the working environment for a mobile robot. However, their intrinsic problems, such as specular reflection, wide beam angle, and slow propagation velocity, require an excessive number of sensors to be integrated for achieving the sensing goal. This paper proposes a new measurement scheme which uses only two sets of ultrasonic sensors to determine the location and the type of a target surface. By measuring the time difference between the returned signals from the target surface, which are generated by two transmitters with 1 ms difference, it classifies the type and determines the size of the target surface. Since the proposed sensor system uses only two sets of ultrasonic sensors to recognize and localize the target surface, it significantly simplifies the sensing system and reduces the signal processing time so that the working environment can be recognized in real time.

**Keywords** : ultrasonic sensor, localization, classification, virtual image

#### I. 서론

이동 로봇의 응용분야가 확장됨에 따라 로봇이 이동하는 주변 환경을 효과적으로 모델링하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 주변 환경에 대한 정보의 수집을 위해 다양한 센서가 이용되고 있으나 초음파 센서는 측정방법이 간단하고 시스템의 구성이 단순하며 가격이 저렴하다는 등의 장점 때문에 특히 많이 사용되고 있다. 그러나 초음파 센서는 그의 장점을 상쇄하는 문제들을 가지고 있어서 실제로 사용하는데 많은 제약이 있다. 초음파 신호의 거울반사현상,  $5\sim 30^\circ$ 에 이르는 넓은 지향각, 대략 343m/s의 전파속도가 이러한 문제에 속한다.

이러한 문제점들을 해결하는 방법으로서 많은 논문들이 복수개의 센서를 사용하는 방법을 사용한다. 기존의 논문들은 초음파 센서의 주위 환경을 specular 환경이라 가정을 하면서 지향각 문제를 해결하기 위해 두 개의 센서를 이용하여 물체의 거리와 방향을 결정하는 수 있는 일반적인 방법에 바탕을 두고 있다. 연구의 방향은 물체의 분류를 해결하는 방법 면에서 차이를 보여주고 있다. 즉, 물체를 분류를 위해 수신각, 신호의 크기, 원통에 관해 근사화하여 판단하는 등의 다양한 방법을 이용하고 있다.

Kleeman 등[1]은 하나의 송신부와 두 개의 수신부로 구성된 벡터 센서 두 개를 이용해 두 번의 샘플링으로 얻어진 거리 정보를 얻었다. 물체의 분류는 첫 번째 수신한 수신각과 두 번째 수신한 수신각의 차를 이용해 물체를 분류해 냈다. 그리고 수신한 신호의 정확한 시간을 얻기 위해 수신한 신호의 파형 분석을 통한 자기상관함수(ACF)를 이용했다. 정형조 등[2]은 중앙에 송신부와

수신부를 두고 양쪽에 각각 수신부를 두어 세 수신부로 들어오는 신호의 거리 정보로부터 기하학적인 특징을 얻고 평면과 구석(corner)을 분류하기 위해 수신된 신호의 크기 정보를 이용했다.

Sabatini 등[5]은 세 개의 송신부와 수신부를 갖는 센서를 등간격으로 배열하여 각각의 센서를 순차적으로 동작시켜 거리정보를 얻어냈다. 평면, 원통 그리고 모서리(edge)를 원통에 근사화하였다. 즉, 평면은 원통의 반지름의 크기를  $\infty$ , 원통의 반지름을 유한한 값 R, 그리고 모서리는 0으로 근사화하여 얻어진 거리 정보로부터 물체를 분류하는 방법을 취했다.

이들 논문들은 초음파 센서의 문제점들을 극복하기 위해 가능하면 적은 수의 센서를 사용하여 샘플링의 횟수를 줄이는데 주안점을 두고 있으며 거리정보의 기하학적인 형태를 고려해 물체의 위치지정 및 분류했다. 그러나 위의 논문들은 언급된 바와 같이 초음파 센서의 공기중의 속도의 느린 특성으로 인해 한 번 이상의 샘플링으로 인해 전체 processing에서 긴 시간을 허비했다. 정형조 등[2]은 한 번의 샘플링으로 물체의 위치지정 및 분류를 해냈지만 3개의 수신부에서 수신된 신호로부터의 거리 정보를 이용했으며 물체를 분류하기 위해서 신호의 크기 정보를 분석하는 방법을 취했다.

따라서 본 논문의 초음파 센서 시스템은 한 번의 샘플링의 주기와 최적의 센서 수(송신부 2개, 수신부 2개)로 수신된 두 신호의 시간차를 이용해 물체의 위치지정 및 분류를 하는 방법을 제시한다. 두 송신부에서 초음파 신호를 동시에 보내기 때문에 물체의 형태에 따라 수신부에서 신호들의 파형의 시간차가 발생한다. 그리고 specular 환경이라 가정하여 허상의 개념을 도입해 기하학적인 분석을 통해 물체의 위치를 결정하고 분류한다.

II. 초음파 센서를 이용한 위치 측정 방법

1. 허상을 이용한 초음파의 반사 특성 해석

초음파 파형의 주기는 일상적인 물체의 표면의 texture 구성의 주기에 비해 길기 때문에 초음파가 물체에 반사되는 현상은 빛이 거울에 반사하는 현상으로 해석할 수 있다. 따라서 일반적으로 초음파를 이용한 거리의 측정 은 초음파의 비행시간(TOF, Time of Flight)을 계산하여 이루어진다. TOF 방법은 초음파 신호가 송신기에서 발생한 시간부터 물체의 표면에 반사되어 수신기에 들어 오는 시간을 측정하여 이를 반으로 나눈 시간에 비례하는 거리를 물체와의 거리로 측정하는 방법이다. 이 방법은 초음파의 송신부와 수신부 사이의 거리, 그리고 물체의 기울기에 따라 변화하므로 이 방법을 이용하기 위해서는 송신부와 수신부가 동일한 위치에 있다고 가정한다.

또한 초음파센서가 하나의 송신부와 수신부만을 가질 경우, 측정면의 센서에 대한 방향은 측정할 수 없다. 따라서 측정면의 센서에 대한 기울기, 즉 방향을 측정하기 위해서는 그림 1에서와 같이 하나의 송신부와 두 개의 수신부를 이용하고 있다. 두 수신부 사이의 거리가  $d$  이고 송신부로부터 수신부  $R_0$  와  $R_1$  까지 측정거리가 각각  $r_0$ ,  $r_1$  일 때  $R_0$  와  $R_1$  을 잇는 선분의 법선에 대한 송신부의 방향각  $\theta$  는 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\theta = \sin^{-1} \frac{r_1^2 - r_0^2 - d^2}{2r_0d} \quad (1)$$

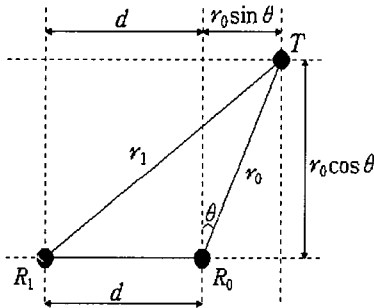


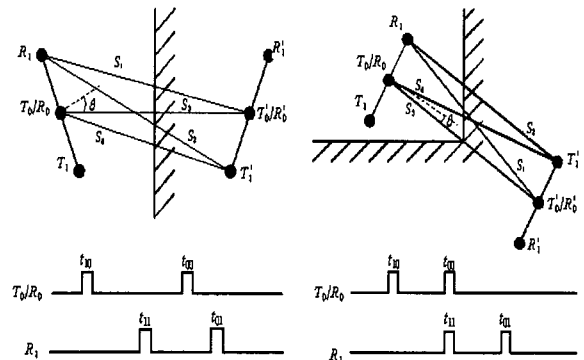
그림 1. 측정면의 각도측정.  
Fig. 1. Configuration of orientation measurement.

III. 물체의 분류

물체의 거리와 방향의 측정은 측정하려는 물체의 형태를 먼저 분류해야 가능하다. 그림 2에서와 같이 한쌍의 송신부( $T_0$ )와 수신부( $R_0$ )를 가운데에 두고 동일한 거리로 좌우에 송신부( $T_1$ )와 수신부( $R_1$ )를 하나씩 위치시킨다. 물체의 종류는 두 개의 송신부에서 동시에 발생한 신호를 두 개의 수신부에서 수신하는 시간의 차이를 이용하여 구분한다.  $T_0$  가 발생한 신호를  $R_0$  와  $R_1$  에서 수신하는 시간을 각각  $t_{00}$  와  $t_{01}$  이라 하고 송신에서 수신까지의 거리를  $S_3$  와  $S_1$  이라 한다.  $T_1$  이 발생한 신호를  $R_0$  와  $R_1$  에서 수신하는 시간을 각각  $t_{10}$  와  $t_{11}$  이라 하고 송신에서 수신까지의 거리를  $S_4$  와  $S_2$  라 하면 측정면의 종류에 따라 다음과 같은 몇가지 경우로 그 특성을 해석할 수 있다.

1.  $R_0$  가 신호를 먼저 수신하는 경우

그림 2는  $T_0$  와  $T_1$  에서 발생된 신호를  $R_0$  가  $R_1$  보다 먼저 수신하는 경우를 보여준다. 위의 그림에서 평면의 경우 허상이 한 평면에 대해서 대칭되어 표현되며 구석인 경우 두 평면에 대칭(구석의 중앙점에 대칭)되어 표현된다. 따라서 구석인 경우  $R_0$  와  $R_1$  에 도달하는 시간  $t_{00}$  와  $t_{11}$  는 일치하며 평면인 경우 시간차를 보인다. 이 경우 측정면이 평면인지 구석인지의 구별은  $R_0$  와  $R_1$  에 도착하는 신호의 시간차에 의해 가능하다.  $|t_{00} - t_{11}| > \tau_0$  이면 측정면은 평면이고  $|t_{00} - t_{11}| \leq \tau_0$  이면 측정면은 구석으로 판정할 수 있다. 여기서 판정값  $\tau_0$  는 실험적으로 결정한다.



(a) 평면 (b) 구석

그림 2.  $R_0$  가 신호를 먼저 수신하는 경우.  
Fig. 2.  $R_0$  received the signals prior to  $R_1$ .

그림 2(a)에서와 같이 평면인 측정면 사이의 거리는  $T_0/R_0$  에서 측정면까지의 수직거리,  $R$  로 표현하고 기울기는 센서배열의 연장선이 평면과 교차하는 각도,  $\theta$  로 표현하며 다음 식에 의해 결정된다. (3)에서 (-)부호는 실제각과 허상의 각은 같고 방향은 반대임을 나타내며  $d$ 는 센서간의 간격이다.

$$R = \frac{S_3}{2} \quad (2)$$

$$\theta = -\sin^{-1} \frac{S_3^2 - S_4^2 - d^2}{2S_4d} \quad (3)$$

그림 7(b)와 같이 구석을 측정하는 경우 센서에서 구석까지의 거리는  $T_0/R_0$  로부터 구석의 중앙점까지의 거리,  $R$  로 표현하고 기울기는 센서배열 직선의 직각방향으로부터 구석까지의 각도  $\theta$  로 표현하면 다음의 (4)와 (5)를 이용하여 결정할 수 있다. 이 경우는 실제의 기울기와 허상의 기울기는 동일하다.

$$R = \frac{S_3}{2} \quad (4)$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{S_4^2 - S_3^2 - d^2}{2S_3d} \quad (5)$$

2.  $R_1$  이 신호를 먼저 수신하는 경우

그림 3은 평면과 구석을 측정하는 경우  $R_1$  이 먼저

초음파 신호를 수신하는 경우를 보여주고 있다. 그림에서 평면의 경우 허상이 한 평면에 대해서 대칭되어 표현되며 구석인 경우 두 평면에 대칭(구석의 중앙점에 대칭)되어 표현된다. 따라서 구석인 경우  $R_0$  와  $R_1$  에 도달하는 시간  $t_{11}$  와  $t_{00}$  는 일치하며 평면인 경우 시간차를 보인다. 이 경우 평면과 구석의 구분은 역시  $R_0$  와  $R_1$  에 수신된 신호의 시간차에 의해 가능하다. 따라서  $|t_{11} - t_{00}| > \tau_0$  이면 측정면은 평면이고 아닌 경우는 구석으로 판정할 수 있다. 여기서 판정값  $\tau_0$  는 실험적으로 결정한다.

평면의 위치와 방향은  $R_0$  가 먼저 신호를 수신하는 경우와 같은 방법으로 다음과 같이 결정한다. (7)에서 (-)부호는 실제각과 허상의 각은 같고 방향은 반대임을 나타낸다.

$$R = \frac{S_3}{2} \tag{6}$$

$$\theta = -\sin^{-1} \frac{S_3^2 - S_4^2 - d^2}{2S_4d} \tag{7}$$

구석의 위치와 방향은  $R_0$  가 먼저 신호를 수신하는 경우와 같은 방법으로 다음과 같이 결정한다. 이 경우는 실제의 기울기와 허상의 기울기는 동일하다.

$$R = \frac{S_3}{2} \tag{8}$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{S_4^2 - S_3^2 - d^2}{2S_3d} \tag{9}$$

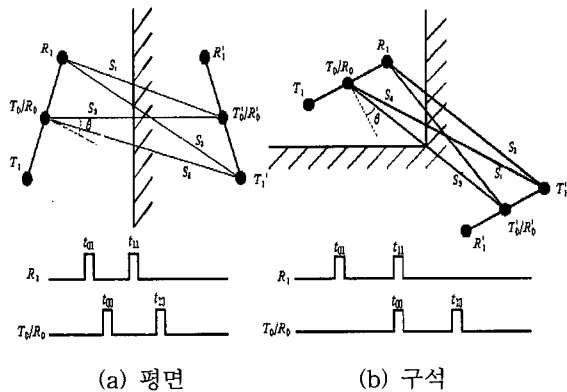


그림 3.  $R_1$  이 신호를 먼저 수신하는 경우.  
Fig. 3.  $R_1$  received the signals prior to  $R_0$ .

3. 모서리(edge)의 구별

블록형태를 갖는 모서리 부류의 물체는 원기둥(Cylinder), 벽의 블록하게 나온 모서리, 책상 다리 부분 등을 포함한다. 이들은 크게 원기둥형 모서리와 모서리형 모서리로 구분할 수 있다. 이들은 초음파 센서의 관점에서 볼 때 중심축으로부터 일정한 크기의 반지름( $R_c$ )을 갖는 경우는 원기둥형 모서리로 반지름의 크기가 0인 경우는 모서리형 모서리로 해석할 수 있다. 원기둥은 초음파 센서를 이용하여 측정하는 경우 2차원의 원으로 해석할 수 있고 3개의 특징, 즉 원의 중심점의  $x$  와  $y$  좌표값과

반지름  $R_c$ 로 표현할 수 있다. 따라서 초음파 센서를 이용하여 3개의 특징을 결정하려면 원기둥의 단면인 원에 놓이는 최소한 3점의 위치를 측정해야 한다.[11]

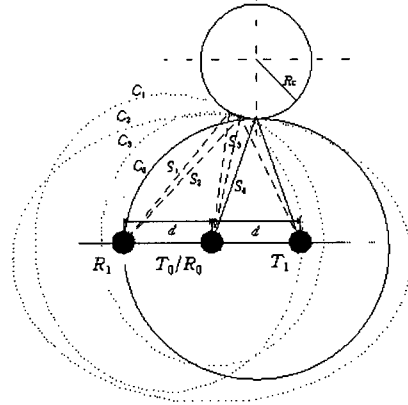


그림 4. 원통의 측정을 위한 기하학적 해석.  
Fig. 4. Geometric analysis for measuring a cylinder.

원기둥의 단면인 원 상에 놓이는 측정점은 그림 4에서와 같이 센서의 송, 수신부와 측정점이 이루는 타원과 원기둥의 단면원이 공유한다는 사실을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다. 먼저 센서의 송, 수신부와 측정점이 이루는 타원을 구하기 위해 그림 4와 같이  $T_0$ 에서  $R_0$ 까지 초음파의 비행 거리를  $S_3$ 로,  $R_1$ 까지의 거리를  $S_1$ 으로 정한다. 그리고  $T_1$ 에서  $R_0$ 까지 초음파의 비행 거리를  $S_4$ 로  $R_1$ 까지의 거리를  $S_2$ 로 한다.  $T_1$ 에서  $R_0$ 까지의 비행거리가  $S_4$ 인 경우는 그림 4에서 실선으로 표시된 바와 같이  $T_1$ 과  $R_0$ 의 중앙점을 중심으로 타원( $C_4$ )을 구성할 수 있다. 이 경우 원기둥의 단면원의 중심은 타원의 중심과 측정점이 이루는 직선 상에 놓이게 된다. 비행거리가  $S_1, S_2, S_3$ 인 경우도 역시 점선으로 표시된 타원  $C_1, C_2, C_3$ 을 구성할 수 있다. 각각의 타원에 대해 단축(a)과 장축(b)의 길이는 다음의 (10)으로 주어진다.

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{S_3}{2}, & b_1 &= a_1 \\ a_2 &= \frac{S_1}{2}, & b_2 &= \sqrt{a_2^2 - d^2/4} \\ a_3 &= \frac{S_4}{2}, & b_3 &= \sqrt{a_3^2 - d^2/4} \\ a_4 &= \frac{S_2}{2}, & b_4 &= \sqrt{a_2^2 - d^2} \end{aligned} \tag{10}$$

계산적인 편의를 위해 타원을 그림 5와 같이 반지름이  $r$ 인 원으로 근사화하면 각 타원에 대해 근사화하여 얻은 원의 반지름은 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_{a1} &= S_3/2 \\ r_{a2} &= \sqrt{(S_1^2 - d^2)/4} \\ r_{a3} &= \sqrt{(S_4^2 - d^2)/4} \\ r_{a4} &= \sqrt{S_2^2 / 4 - d^2} \end{aligned} \tag{11}$$

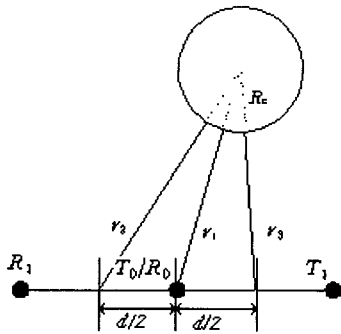


그림 5. 타원을 원으로 근사화한 결과  
Fig. 5. Approximation of an ellipse as a circles.

근사화된 원을 이용하여 원기둥의 단면원의 반지름  $R_c$ 를 구하기 위해 그림 5과 같이 근사화된 원들 사이의 기하학적 관계를 이용하여 다음의 (12)를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} (r_{a2} + R_c)^2 &= (r_{a1} + R_c)^2 + d(r_{a1} + R_c)\sin\theta + \frac{d^2}{4} \quad (12) \\ (r_{a3} + R_c)^2 &= (r_{a1} + R_c)^2 - d(r_{a1} + R_c)\sin\theta + \frac{d^2}{4} \end{aligned}$$

평면의 경우는  $R_c$ 가  $\infty$ 인 경우로 가정할 수 있으므로 윗식에서  $R_c$ 을  $\infty$ 로 놓고 두 식을 더하면 다음의 식을 얻을 수 있고

$$2R_c r_{a2} + 2R_c r_{a3} + R_c^2 = 4r_{a1} R_c + 2R_c^2$$

이를 다시 정리하면 (13)의 판별식을 얻는다.

$$\begin{aligned} r_{a2} + r_{a3} - 2r_{a1} &\leq \tau_1, \text{ 평면} \\ &> \tau_1, \text{ 예지} \end{aligned} \quad (13)$$

그리고 원통의 반지름  $R_c$ 는 (12)의 두 식을 더한 후  $R_c$ 에 대해서 정리하면 다음과 같이 구한다.

$$R_c = \frac{r_{a2}^2 + r_{a3}^2 - 2r_{a1}^2 - \frac{d^2}{2}}{2(2r_{a1} - r_{a2} - r_{a3})} \quad (14)$$

또한 근사화된 원의 중심에서 측정점의 방향은 그림 5에서 설명된 근사원과 원기둥의 단면원 사이의 관계에서 다음의 (15)과 (16) 같이 얻어진다.

$$R = r_{a1} + R_c \quad (15)$$

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{r_{a3}^2 - r_{a2}^2 + 2R_c(r_{a3} - r_{a2})}{2d(r_{a1} + R_c)}\right) \quad (16)$$

모서리가 모서리형인 경우는  $R_c$ 가 0인 경우이므로 모서리형 모서리의 판별은 (15)에 의해 이루어지며 모서리형 모서리의 위치는 다음의 (17)와 (18)에 의해 결정된다.

$$R = r_{a1} \quad (17)$$

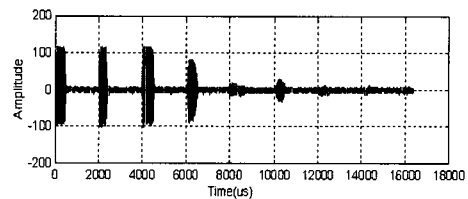
$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{r_{a3}^2 - r_{a2}^2}{2dr_{a1}}\right) \quad (18)$$

IV. 실험

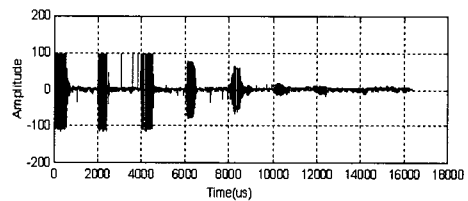
본 논문에서 제안된 센서시스템은 한 쌍의 Polaroid 초음파 센서( $T_0/R_0$ )를 중심으로 하여 다른 한 쌍의 초

음파센서의 송신부( $T_1$ )와 수신부( $R_1$ )를 각각 좌우에 10cm 간격으로 배치하였다. 초음파센서의 측정을 위한 송수신부의 제어부는 Intel CPU 8032를 이용하여 구성하였고 수신된 신호는 AD 변환기를 거쳐 RS232 통신으로 Pentium PC에 전송하여 처리하였다.

측정시스템의 송신부는 50kHz의 초음파 신호 16 cycle을 하나의 pulse (1 bit code) 형태로 전송한다. 측정시스템의 측정 주기(sampling period)가 16.384ms이고 첫 번째 송신부와 두 번째 송신부는 1ms의 간격을 두고 신호를 내보낸다. 송신된 신호를 AD 변환기에서 얻어진 신호는 그림 6에 보여준다.



(a)



(b)

그림 6. AD 변환 후의 (a)  $R_0$ 에서 수신된 신호 (b)  $R_1$ 에서 수신된 신호

Fig. 6. Received signal by  $R_0$  (a) and  $R_1$  (b) after passing AD converter

각각의 그림에서 0, 2000  $\mu s$  근방에 수신된 신호는 2개의 송신부에서 내보낸 신호가 직접 수신된 것으로 측정물체에 대한 정보는 포함하고 있지 않다. 4000, 6000  $\mu s$ 에 나타난 파형은 2개의 송신 신호가 물체에 의해 반사된 것으로 본 논문에서 제안한 물체에 대한 정보를 포함한다.

수신된 신호에 포함된 잡음의 제거를 위해 FIR digital bandpass filter를 이용했으며 상위와 하위 차단 주파수(cutoff frequency)는 각각 45kHz와 55kHz로 설정하였고 필터의 탭은 50개로 설정하였으며 harmonic 신호를 제거하기 위해 Hamming window를 이용하였다.

수신된 신호는  $r(t) = ax(t - t_f) + n(t)$ 의 형태로 표현할 수 있다. a는 반사계수, x(t)는 잡음이 없는 상황에서 물체에서 반사된 신호,  $t_f$ 는 송신 신호의 비행시간(time of flight), 그리고 n(t)는 수신한 신호에 추가된 잡음이다. bandpass 필터를 통과시킨 파형에서 최대의 신호대 잡음비를 갖도록 신호 x(t)를 복원하기 위해 송신 신호를 임펄스 응답으로 갖는 정합필터를 이용한다. 정합필터를 통과한 신호는 연속적으로 샘플링한 5개 데이터의 평균치를 현재의 값으로 할당하는 방법으로 그림 7과 같

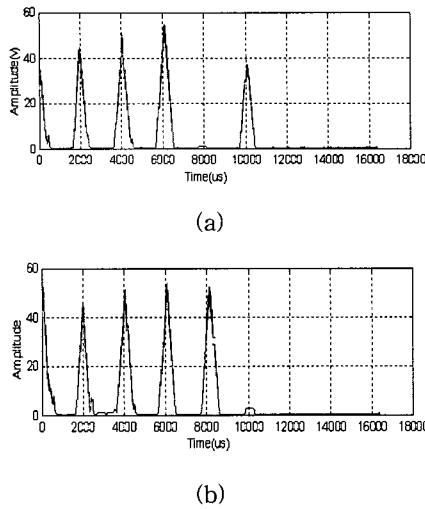


그림 7. 정합필터링한 신호의 포락신호파형 (a)  $R_0$ 에서 수신한 신호 (b)  $R_1$ 에서 수신한 신호.  
Fig. 7. Recovering the transmitted signal after matched filtering (a) signal at  $R_0$  (b) signal at  $R_1$ .

은 포락신호를 얻었다.

이와 같은 전처리 과정을 거쳐서 얻어진 신호에 대해 최대점들이 나타난 시간을 수신된 시간으로 상정하면 논문에서 제안한 물체의 분류 및 위치지정 알고리즘을 적용할 수 있다. 실험에서 얻어진 측정면의 분류 및 위치 측정 결과를 표 1, 2, 3에 정리하였다.

표 1은 평면, 구석, 모서리, 그리고 원통면을 50cm, 100cm, 150cm에 위치시킨 후, 측정면의 방향을 각각 5°, 10°, 20°가 되도록 바꾸면서 인식한 실험결과를 보여준다. 거리의 변화에 따른 인식율은 물체가 초음파 센서에 근접할수록 두 신호의 차가 커지는 이유로 인해 거리가 가까울수록 인식율이 높아짐을 볼 수가 있다. 또한 측정면의 방향의 변화에 따라 두 신호의 차의 변화가 크기 때문에 각이 커질수록 인식률이 높다는 것을 볼 수 있다. 그러나 초음파 센서의 지향각이 30°(-15°~15°)이기 15°도를 넘어서면 인식률이 현저히 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 인식 결과는 기존의 초음파 센서들이 가지는 오차값을 고려해 볼 때 상당히 우수한 결과를 보임을 알 수 있다[8].

측정면의 종류가 결정되면 이에 해당하는 알고리즘을 이용하여 측정면의 위치와 방향을 결정한다. 실험 결과는 표 2와 표 3에 정리하였다.

표 2는 물체의 방향은 초음파 센서의 측정범위인 10°로 고정시키고 거리를 변화하면서 반복적으로 측정한 결과를 평균( $m$ )과 분산( $\sigma^2$ )을 이용하여 설명하고 있다. 평면이나 구석의 경우 거리값이 증가하더라도 일정한 오차 내의 존재하지만 원통과 모서리의 경우는 원통의 반지름의 측정치가 거리가 멀어질수록 오차가 줄기 때문에 거의 일정한 값을 유지했다. 표 3은 거리를 70cm로 고정시키고 각도의 변화의 따른 평균값과 분산을 보여주고

표 1. 물체분류의 인식률.<unit: %> (거리 cm)  
Table 1. The recognition rate. <unit: %>

각도 거리	평면			구석			원통			모서리		
	5°	10°	20°	5°	10°	20°	5°	10°	20°	5°	10°	20°
50	85.5	88.6	64.8	83.2	83.5	62.7	83.6	86.8	63.8	83.2	84.6	61.0
100	83.8	85.4	64.5	82.5	82.8	60.2	82.8	85.7	63.2	83.4	84.1	59.4
150	83.3	85.4	64.1	82.8	82.7	59.8	82.6	85.4	62.9	82.8	83.7	59.1

표 2. 측정각(10°)에서 거리의 평균과 분산 (거리 cm)

Table 2.  $m$  and  $\sigma^2$  of the distance measurements when the viewing angle is 10°

물체 거리	평면		구석		원통		모서리	
	( $m$ )	( $\sigma^2$ )	( $m$ )	( $\sigma^2$ )	( $m$ )	( $\sigma^2$ )	( $m$ )	( $\sigma^2$ )
50cm	51.5224	0.0675	50.4428	0.4028	51.2204	1.4094	50.8722	1.4850
100cm	101.787	0.1736	102.077	0.8107	102.471	1.4165	101.279	1.4540
150cm	151.216	0.2583	152.875	0.9300	151.605	1.4723	152.438	1.4620
200cm	200.363	0.3287	201.735	1.0256	201.250	1.4850	200.205	1.4482

표 3. 거리(70cm)에서의 각의 평균과 분산

Table 3.  $m$  and  $\sigma^2$  of the angle measurements when the distance is 70cm

물체 각도	평면		구석		원통		모서리	
	( $m$ )	( $\sigma^2$ )	( $m$ )	( $\sigma^2$ )	( $m$ )	( $\sigma^2$ )	( $m$ )	( $\sigma^2$ )
5	4.8736	0.4995	6.1079	0.5024	5.4820	0.5162	5.5764	0.5404
10	10.552	0.5120	13.280	0.7182	10.104	0.7182	11.240	0.8350
15	15.643	0.6398	17.221	0.9418	16.297	1.2760	16.295	0.9437
20	25.103	2.4716	27.217	3.0825	28.450	15.671	23.730	34.286

있다. 각도가 커질수록 약간의 에러와 분산이 커지고 위에서 언급했듯이 15° 각도가 넘어 감에 따라 각도의 에러와 분산이 증가함을 보이고 있다.

또한 측정 시간을 한 주기가 16.384ms이므로 1초에 최대 61회 반복 측정하는 경우 측정면 종류의 인식을 및 거리, 방향 측정 오차를 무시할 수 있는 수준으로 줄일 수 있다. 따라서 반복적인 측정에 의해 얻어진 다수 측정값의 융합에 의한 오차 수정 방법의 연구를 진행 중에 있다.

### V. 결론

본 논문에서 제안한 2쌍의 초음파 센서를 이용하는 환경인식 센서 시스템은 한 측정 주기 안에 측정면을 평면, 구석, 원통 그리고 모서리로 구분하고 이들의 위치를 결정하도록 구현되었다. 물체와 센서 시스템 사이의 각이 15°를 넘어서지 않은 경우 평면, 구석, 원통, 그리고 모서리 각각의 인식률은 85.33%, 82.92%, 84.48%, 83.63%로 한 번의 측정에 의한 인식률이 상당히 우수함을 보이고 있다. 또한 위치측정의 평균과 분산은 만족할

만한 오차 내 효과적으로 구해낼 수 있었다. 본 논문에서 제안한 센서 시스템은 기존의 센서들이 반복적인 측정을 통해 불필요하게 많은 량의 데이터를 사용하는 문제점을 해결하였고 단순히 수신된 신호의 측정 시간차만을 이용해 알고리즘을 단순화시켜 시스템이 간결해졌으며 효과적으로 물체를 분류하고 위치를 결정할 수 있었다. 제안된 센서 시스템을 이동로봇에 설치되어 충돌 방지나 궤적 따라가기 등에 매우 유용하게 응용될 수 있다.

#### 참고문헌

- [1] L. Kleeman and R. Kuc, "An optimal sonar array for target localation and classification," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol. 4, pp. 3130-3135, 1994.
- [2] H. J. Jeon and B. K. Kim, "A study on world map building for robots with tri-aural ultrasonic sensor system," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol. 3, pp. 2907-2912, 1995.
- [3] L. Korba, "Variable aperture sonar for mobile robots," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol. 4, pp. 3137-3141, 1994.
- [4] J. O. Borenstein and Y. Koren, "Noise rejection for ultrasonic sensors in mobile robot application," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol. 2, pp. 1727-1732, 1992.
- [5] J. Neira et al., "Multisensor mobile robot localization," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol. 1, pp. 673-679, April, 1996.
- [6] H. Akbarally and L. Kleeman, "A sonar for accurate 3D target localization and classification," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol. 3, pp. 3003-3008, 1995.
- [7] H. Chung et al., "Path planning for a mobile robot with grid type world model," *IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, 1992.
- [8] J. M. Manyika and H. F. Durrant-Whyte, "A tracking sonar sensor for vehicle guidance," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol. 1, pp. 424-429, 1993.

#### 한 영 준

1996년 숭실대 공과대학 전자공학과 졸업(공학사), 1998년 숭실대 전자공학과 졸업(공학박사), 1998년 3월-현재 숭실대학교 전자공학과 박사과정, 주관심분야는 로봇센서, 로봇 비전, 3D 물체인식 등임.



#### 한 현 수

제어·자동화·시스템공학 논문지 제1권, 제2호, 참조.