

초음파 센서를 이용한 측정면의 분류와 위치 측정에 관한 연구

임 피 섭, 고 민 수, *이 응 혁, 홍 승 홍
인하대학교 전자공학과, *한국산업기술대학교 전자공학과
전화 : 032-868-4691 / 핸드폰 : 017-216-7683

A Study of the Localization and Classification of Target Using Ultrasonic Sensors

Hee Seop Lim, Min Su Go, Eung Hyuk Lee, Seung Hong Hong
Dept. of Electronics Engineering, Inha University
E-mail : dearlim75@hotmail.com

Abstract

This paper proposes a new measurement system determine the localization and the type of object which use only three ultrasonic sensors, one the transmitter, one the receiver and one transduce doing both transmitter and receiver. this system can classifies the type and determines the pose of the target object. it used the method of Pseudoamplitude Scan. So it significantly simple the sensing system and reduce the signal processing time so that the working environment can be recognized in real time.

I. 서론

센서 정보에 대한 종류와 획득 속도 등의 문제가 최근에 많은 연구자들에 의해 연구되었다. 개발된 대부분의 센서 시스템은 측정 대상의 면이 거울 반사 조건을 만족한다고 가정하고 적어도 두 쌍의 초음파 센서를 사용하여 표적 면의 자세를 측정하는 시스템이다.

표적 면을 분류하기 위해 여러 가지 방법들이 사용되고 있으며 그 형태는 주로 수신된 신호의 최대 크기, 기울기, 각 등을 이용한 방법과 측정 대상의 물체를 실린더 형태로 접근한 방법이다. 예를 들면, Kleeman and Kuc은 하나의 송신기와 두개의 수신기를 사용한 시스템에 의해 획득된 두 거리 벡터를 융합하여 표적 면과의 거리를 결정했다.[1] 그들이 사용한 방법은 거울 반사를 이용한 가상의 송/수신기 배치한 가상의 이미지 개념을 사용한 것이다. Jeon은 수신된 신호의 크기 정보를 이용하여 평면과 코너를 분류하였다.[2] 역시 거울 반사가 일어나는 환경이라고 가정하고 가상의 이미지 개념을 사용하였다. 시스템은 세 개의 수신기와 그 중

심에 송신기를 일렬로 배치된 것이며, 세 점의 거리에 대한 정보를 이용하여 물체의 기하학적 형상을 도출하였다. Sabatini는 원기둥의 성질을 가지고 평면, 원기둥, 그리고 예지로 구분하였다.[3] 평면은 무한대의 반경을 가진 원기둥 그리고 예지를 반경이 영인 원기둥으로 간주하였으며, 직선적으로 동일한 거리에 배치된 세 쌍의 거리 정보를 수집하는 방법을 사용하였다.

앞에서 언급한 센서 시스템은 신호의 샘플링 시간이 확장되는 것을 줄이기 위해 적은 수의 센서를 사용하였다. 그러나 충분한 신호를 모이기 위해서는 여전히 많은 시간이 소요된다.

이 논문에서는 앞에서 설명한 거울 반사 환경으로 가정한 가상의 이미지 개념과 물체를 원기둥으로 간주한 방법을 사용할 것이다. 그리고 Roman Kuc가 제시한 가상 크기 조사(Pseudoamplitude Scan)[4] 방법을 응용하여 표적면의 포즈를 결정하고, 그 형태를 평면, 코너, 예지 그리고 원기둥으로 분류하는 방법을 평가하였다.

II. Virtual Image Concept를 사용한 Localization

2.1 초음파 신호의 반사 특성

측정되는 물체가 초음파의 파장보다 넓고 평탄한 표면을 가진다면 표적에 입사하는 초음파는 빛이 거울 면에 대해 동일한 입사각과 반사각으로 반사하는 것과 마찬가지로 반사된다. 송신기에서 발생된 초음파 신호는 표적 면에서 입사각과 동일한 반사각으로 반사되어 최단의 경로를 거쳐 수신기로 전파된다. 이것은 수신기가 실제 송신기에 의해 표적 면의 정반대의 위치에 생성된 가상의 송신기에서 생성한 신호를 수신하는 것으로 해석될 수 있다. 동일한 개념으로 실제 송신기에 의해 발

사된 신호가 표적 면에 대칭으로 위치한 가상의 수신기에서 수신되는 것으로 해석할 수 있다.

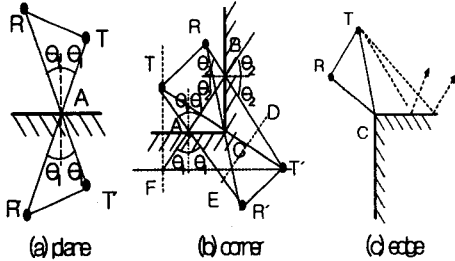


그림 1. 물체에 대한 반사 형태

측정되는 면이 평면일 경우 그림 1 (a)에 나타낸 것처럼 삼각형 TRA 와 TAR' 은 합동이다. 그러므로 선분 \overline{TA} 와 $\overline{TA'}$ 의 길이가 같게 되어 초음파 신호의 경로 길이는 식(1)과 같다.

$$\overline{TR} = \overline{TA} + \overline{AR} \quad (1)$$

코너는 두 평면의 교차하며 형성된 것이므로 초음파 신호는 평면에서와 마찬가지로 각각의 면에서 동일한 입사각과 반사각으로 반사되어 전파된다. 이 때 가상의 센서, T' 과 R' 는 두 평면의 교차점 C 에 대칭된 위치에 배치된 것으로 해석할 수 있다. 그림 1 (b)에서 설명한 기하학적 관계를 이용하면, 초음파 신호의 경로의 길이는 가상의 송신기 T' 을 사용하여 다음과 같이 표현된다.

$$\overline{TR} = \overline{TA} + \overline{AB} + \overline{BR} \quad (2)$$

어떤 물체가 파장보다 작다면 여기서는 음파가 반사된다는 것보다 회절된다고 보아야 한다. 이때 반사되어 수신되는 초음파의 진폭은 면에서 반사되는 진폭보다 매우 적다. 이 경우 반경이 0인 원기둥으로 간주하여 이동 경로를 결정할 수 있다.

2.2 물체와의 거리와 방위각의 측정

초음파 센서를 사용하여 거리를 측정할 때 일반적으로 사용되는 방법은 TOF(time of flight)의 원리를 이용한 것이다. 표적 면과의 거리를 r , 초음파 신호의 비행시간을 t_f , 상온에서 공기의 온도를 C 라고 하면 다음과 같이 물체와의 거리를 계측할 수 있다.

$$r = \frac{t_f}{2} \times C \quad (3)$$

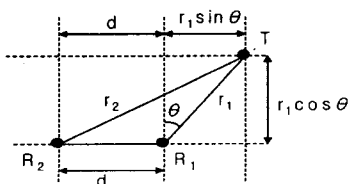


그림 2. 센서열을 이용한 방위각 인식

식(3)은 송신기와 수신기가 동일한 위치에 배치된 경우이다. 하나의 초음파 센서를 사용하여 물체의 방위각을 측정하는데 어려움이 크다. 물체에 대한 방위각과 거리를 계측하기 위해서는 하나 이상의 센서쌍이 필요하다. 그림 2에 하나의 송신기와 두개의 수신기를 사용하여 방위각 측정에 대한 기하학적 관계를 도시하였다. 두 수신기를 각각 R_0 와 R_1 , 두 수신기 사이의 거리를 d 그리고 R_0 와 R_1 에서 측정된 물체와의 거리를 각각 r_0 와 r_1 으로 정의하면 일직선에 배치된 수신기와 물체와의 방위각은 삼각형 R_1TR_0 에 코사인 법칙을 적용하여 정리하면 다음에 주어진 식(4)과 같이 표현된다.

$$\theta = \sin^{-1} \frac{r_1^2 - r_0^2 - d^2}{2r_0d} \quad (4)$$

만약 측정 대상의 물체가 θ_f 만큼 기울어져 있다면 가상 이미지 개념(virtual image concept)을 사용하여 표적 면에 대한 방위각을 결정할 수 있다. 그림 3은 평면과 코너에서 물체와의 방위각 θ 와 기울어진 각도 θ_f 와의 관계를 보여준다. 그림 3에서 표현된 기하학적 배치로부터 θ_f 를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\tan \theta_f = \frac{r_0 \sin \theta - d}{r_0 \cos \theta} \quad (5)$$

그림 3 (a)은 평면에서 측정 면에 대칭인 위치에 가상의 센서를 배치하여 물체에 대한 포즈를 결정한 모습을 나타내고, (b)는 코너에서 두 평면의 교차점에 대칭인 곳에 가상의 센서를 배치하여 포즈를 결정하는 모습을 나타내었다. 이런 관계를 이용하여 평면에서 물체와의 거리 $R_{f,plane}$, 방위각 $\theta_{f,plane}$ 을 각각 식(6)과 (7)에 표현하였고, 코너에서 $R_{f,corner}$, $\theta_{f,corner}$ 을 각각 식(8)과 (9)에 표현하였다.

$$R_{f,plane} = \frac{r_0 \cos \theta - d \cos \theta_f \sin \theta_{f,plane}}{\cos \theta_{f,plane}} \quad (6)$$

$$\theta_{f,plane} = \tan^{-1} \frac{r_0 \sin \theta - d}{r_0 \cos \theta} \quad (7)$$

$$R_{f,corner} = r_1 / 2 \quad (8)$$

$$\theta_{f,corner} = \sin^{-1} \frac{d + r_0 \sin \theta}{r_1} \quad (9)$$

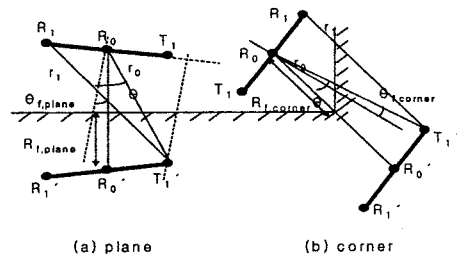


그림 3. 기울 반사 현상을 이용한 물체의 포즈를 측정하기 위한 변수들의 관계

III. 물체 분류 방법 및 고찰

본 논문에서 제안한 시스템을 센서 열의 중심부에 송/수신 가능한 센서를 배치하고 양쪽으로 거리 d 만큼 위치한 곳에 송신기와 수신기를 각각 배치하였다. 측정면의 형태는 R_0 와 R_1 의 수신된 신호 사이의 시간차를 분석함으로써 결정된다. 수신된 신호의 표기법을 다음과 같이 요약하였다.

t_{ij} : the flight time of ultrasonic signal from transmitter T_i to receiver R_j .

- S_1 : the distance corresponding to the flight time t_{01} .
- S_2 : the distance corresponding to the flight time t_{11} .
- S_3 : the distance corresponding to the flight time t_{00} .
- S_4 : the distance corresponding to the flight time t_{10} .

그림 4에 평면과 코너에서 초음파 신호의 경로를 도시하였다. 그림 4 (a)plane와 (b)corner에서와 같이 기하학적인 관계를 고려하면 코너에서 S_2 와 S_2' 의 길이가 같으므로 그들의 비행시간 t_{11} 와 t_{10} 이 같다. 반면 평면에서는 그들의 시간이 다르다는 것을 알 수 있다. 그러므로 식(10)에서처럼 코너와 평면을 분류할 수 있다.

$$\begin{cases} |t_{00} - t_{11}| \leq \tau_0, \text{ in case of a corner} \\ |t_{00} - t_{11}| > \tau_0, \text{ in case of a plane} \end{cases} \quad (10)$$

측정면의 유형이 평면으로 분류되면, 센서 어레이의 중심부를 기준으로 한 거리 r 과 방향각 θ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r = \frac{S_3}{2} \quad (11)$$

$$\theta = -\sin^{-1}\left(\frac{S_3^2 - S_4^2 - d^2}{2S_4d}\right) \quad (12)$$

코너로 분류될 경우에 r 과 θ 는 각각 식(13)과 식(14)를 표현된다.

$$r = \frac{S_3}{2} \quad (13)$$

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{S_4^2 - S_3^2 - d^2}{2S_3d}\right) \quad (14)$$

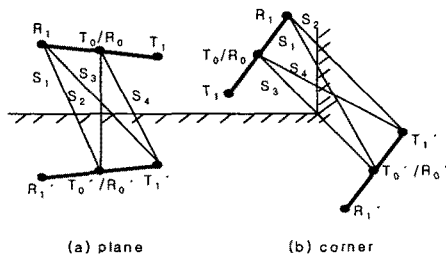


그림 4. 초음파 신호의 여러 경로와 기하학적 대칭관계

또 측정 대상의 물체를 원기둥으로 간주하고 위에서 언급한 모든 경로와 측정면이 만나는 점, 경로를 제공하는 두 센서 이용 타원을 성질을 사용한다. 타원을 다시 원으로 유추하고 그 원의 반경이 무한대이면 평면 그리고 영이면 에지로 분류된다. 이러한 계산을 복잡하고 많은 시간을 요한다. 여기서 Pseudoamplitude Scan 방식을 응용하고자 한다. 이 방식을 사용하고자 하는 이유는 청소 로봇은 물체와 근접해서 작업을 해야 하는 조금은 특수한 작업 환경을 요하기 때문이다.

초음파를 사용하여 근거리를 측정하는데 문제점은 수신되는 신호에 의한 링잉현상이 있다. 충분한 감쇠 시간을 가지고 측정을 해야만 정확한 측정을 할 수 있다는 것이다. 그리고 그들의 비행거리를 그리 길지 못하다. 다시 말하면 초음파 신호의 중첩이나 간섭이 생길 확률이 크다는 것이다. 초음파 센서를 사용한 방식에 TOF의 원리를 이용한 것이 많이 있지만 수신되는 진폭을 측정함으로써 정보를 획득하는 방법도 있다. 그러나 이것은 신호를 획득하는 데 오랜 시간이 소요된다. Pseudoamplitude Scan 방식으로 진폭의 폭을 측정하여 신호의 진폭을 대략적으로 측정한다. 이것은 앞에서 언급한 물체만을 분류하는 방법뿐만 아니라 작은 규모의 물체를 인식할 수 있게 할 수 있다.

IV. 실험 및 고찰

본 실험에 사용된 초음파 센서 Murata사의 MA40B7 송수신 겸용 센서이다. 빠른 물체 분류 방식으로 복잡한 수식을 피하고 Pseudoamplitude Scan 방식을 물체 분류에 적용가능성을 실험하였다.

측정 면이 평면인 물체를 사용하여 거리에 따른 수신된 신호의 포락선의 폭을 측정할 내용을 표 1에 나타내었고, 물체를 0.3m과 0.5m의 거리에 두고 방위각에 따른 포락선의 폭을 표 2에 정리하였다.

거리(m)	폭(us)	거리	폭	거리	폭
0.1	669.8	0.5	546.8	0.9	515.5
0.2	723.1	0.6	581.4	1.0	528.0
0.3	724.2	0.7	518.8	1.1	520.7
0.4	671.5	0.8	509.3	1.2	516.5

표 1. 측정 거리와 수신 신호의 포락선의 폭

방향각(°)	-5	-10	-15	-20	-25
폭(us)	515.2	518.5	505.4	406.2	189.5
방향각	5	10	15	20	25
폭	535.2	552.4	485.1	389.7	205.3

표 2. 측정 방위각에 따른 포락선의 폭(거리 : 0.3m)

10cm의 원기둥으로 거리에 따른 포락선의 폭을 측정할 결과 0.3~0.5m 사이의 거리에서 약 100us 정도의 차이를 나타냈고, 방향각에 대한 측정의 결과는 20° 전후로 큰 차이를 나타내었다. 또한 반경 0.1cm인 원기둥 물체로 실험한 결과 0.6m 까지 수신 신호를 확인할 수 있었고 0.2m당 평균 150us시간의 차이가 있었다.

앞에서 언급한 초음파 시스템을 사용하여 근거리에서 측정할 결과 원기둥과 평면에서 그림 5와 같이 반복되

는 에코 신호로 인하여 물체를 분류하는 데 어려움이 발생하였다. 그러나 평면과 코너의 분류 방식은 높은 인식률을 제공하였는데 파형은 그림 6과 같다.

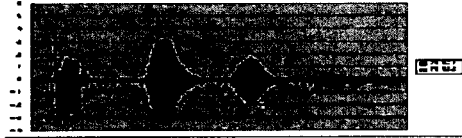


그림 5. 반복되는 에코 신호의 모습

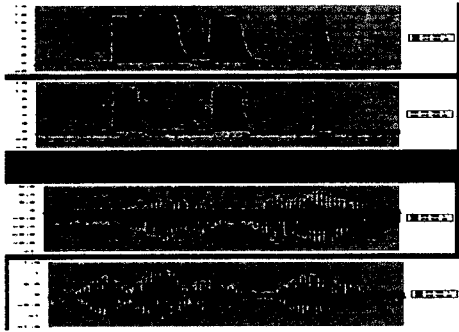


그림 6. 평면과 에코에서의 반사 패턴

모든 물체에 대해서 인식률이 저조하였다. 센서 자체의 비교적 큰 빔 폭과 짧은 간격으로 돌아오는 에코 신호가 중첩되어 앞에서 설명한 관계를 만족시키는 데 문제가 발생하였다. 하지만 이런 에코 신호의 중첩과 에코의 진폭 등을 분석한 결과 오랜 시간을 요하는 측정 방식의 전처리 행동으로 충분히 제어 가능성을 확인하였다. 근거리에서 발생하는 문제를 체계화하면 에코 신호의 진폭, 진폭을 이용한 Pseudoamplitude Scan 방식, 각 물체에 대한 신호에서 가장 큰 폭의 신호를 분석하고 TOF와 결합한다면 신속한 제어를 가능하게 할 것이다.

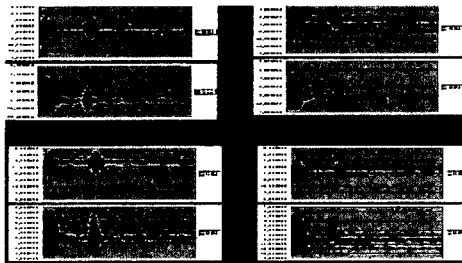


그림 7 코너의 각도에 따른 각 수신기의 추이

그림 7은 송신기 T_1 가 수신기 R 보다 코너에 근접한 경우의 다양한 각도에서의 코너에서의 에코 신호를 보여준다.

그림 7에서 보는 것처럼 코너의 각이 커지면 R_1 의 에코의 신호의 진폭이 상승하면서 에코 신호의 개수가 증가하고 이후에 오는 에코 신호의 진폭이 커짐을 알 수 있다.

참고문헌(또는 Reference)

- [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] H. J. Jeon and B. K. Kim, "A Study of 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] A. M. Sbatini and O. D. Benedetto, "Towards a Robust Methodology for Mobile Robot Localization Using Sonar," IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol.4 pp. 3142-3147. 1994.
- [4] Y. J. Han and H. S. Hahn, "Localization and Classification of Target Surface Using Two Pairs of Ultrasonic Sensors," IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol.5 pp. 637-643. 1999.
- [5] R. Kuc, "Pseudoamplitude Scan Sonar Maps," IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol.17 pp. 767-770. 2001.
- [6] A. Heale and L. Kleeman, "Fast Target Classification Using Sonar," IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, vol.3 pp. 767-770. 2001.