

초음파센서 배열 시스템에서 물체의 각도 추론에 관한 연구

나 승 유, *박 민 상

전남대학교 전자공학과

광주광역시 북구 용봉동 300

E-mail: syna@orion.chonnam.ac.kr

A Study on the Object Angle Inference in a Sonar Sensor Array System

Seung You Na, * Min Sang Park

Dept. of Electronics Eng., Chonnam National University, Puk-Ku, Kwangju, 500-757, KOREA

Tel: +82-62-530-0370; Fax: +82-62-530-1759; E-mail: syna@orion.chonnam.ac.kr

Abstract Ultrasonic sensors are becoming indispensable components in every sector of automation equipments due to many advantages. But the main purposes of the noncontact sensing device are rather narrowly confined within object detection and distance measurement. To widen the realm of the applications to object recognition, ultrasonic sensors need to improve the recognition resolution to a certain amount. To resolve the problem of spatial resolution restriction, an increased number of the sensors in the forms of a linear array or 2 dimensional array of the sensor has been used. Also better resolution has been obtained by shifting the array in several steps using mechanical actuators.

For an object recognition using ultrasonic sensors, measurements of distance, shift, oblique angle in certain ranges should be obtained. But a little attention has been paid to the measurement of angles. In this paper we propose a practical method for an object angular value detection in addition to distance measurement in ultrasonic sensor array system with little additional hardware burden. Using the established measurement look up table for the variations of distance, shift, angle and transmitter voltages for each sensor characteristics, a set of different return echo signals for adjacent receivers are processed to provide enhanced angular value reading for an object.

The experimental setup consists of a transducer array, an electronic controller and a DSP. Ultrasonic sensors of 3.58Cm width are positioned in a line with gaps of 4.25Cm each other.

1. 서론

일반적으로 초음파센서는 단순히 물체와의 거리를 측정하는데 이용되어왔으나, 센서자체의 배열에 대한 특성, 그리고 주변환경에 대한 강인한 특성과 컴퓨터 발전의 도움으로 응용범위도 물체의 거리측정 뿐 아니라 이동체의 속도계산, 물체의 패턴인식, Robot Navigation을 위한 지도작성 등 폭 넓은 범위에 걸쳐 응용되고 있다.

물체의 기울어짐을 결정하기 위한 이전의 시도들은 원형 개구를 갖는 피스톤타입의 트랜스듀서의 far-field 운동을 이용하여 기하학적인 접근을 하였다. 이런 경우 물체의 크기가 센서시스템보다 클 경우에는 기울기의 값을 계산할 수 있으나, 물체가 작은 경우 각도 추론에 있어서 큰 오차를 가져오고, 물체와의 기울기도 $\pm 10^\circ$ 이내라는 제한이 있으며 이 각도를 벗어나면 반사되는 신호 때문에 마찬가지로 큰 오차를 갖는다[1].

본 논문에서는 물리적 원리를 바탕으로 기하학적으로 해석이 불가능한 범위에 대한 기울기를 추론하기 위해서 수신부 증폭조건, 트랜스듀서의 평면배열, 송출전압의 변화를 이용하여 배열센서보다 작은 물체에 대해서 기울기 추론이 가능하도록 하였고, 최대 $\pm 15^\circ$ 까지 측정범위가 개선되었다.

2장에서는 트랜스듀서의 물리적인 모델과 기하학적인 방법에 의한 기울기 추론방법이 제시되고, 3장에서는 시스

택 구성, 4장에서는 본 논문에서 제안한 Rule Base와 보 간법에 의한 기울기 추론 방법이 제시되고, 5장에서는 기울기 추론 결과를 제시한다.

2. 물리적 모델 및 기울기 계산

2.1 물리적 모델

물체로부터 트랜스듀서의 반사 과정을 표현하기 위한 물리적인 모델에서 송신기의 개구(a)의 반경이 음파의 파장보다 훨씬 클 때, 방사는 Direct Beam을 형성한다. 이런 송신기는 일반적으로 반경a의 평평한 피스톤으로 모델 되고, 무한한 크기의 방지판으로 싸여있으며 주파수(f)에 의해 진동한다. 형성된 빔 패턴은 Fig. 2와 같이 Near Zone 과 Far Zone으로 나뉘어진다.

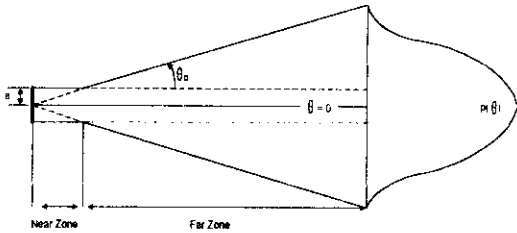


Fig. 1 Beam Pattern of the polaroid transducer

Near Zone에서 빔은 원형 반경(2a)내에 포함되고, 이러한 빔은 트랜스듀서 면에서 약 a^2/λ 까지 확장된다. Far Zone에서 트랜스듀서는 θ_0 까지 넓게 발산한다.

$$\theta_0 = \sin^{-1} \frac{0.61\lambda}{a} \quad (1)$$

본 논문에서 Beam의 Near Zone ($\frac{a^2}{\lambda}$)은 약 53mm 발산각은 약 12.7°이다. 송신 트랜스듀서의 압력증폭(P(θ)) 빔 패턴은 $\theta_0/2$ 와 동일한 표준 편이를 갖는 가우시안 형태이다

$$P(\theta) = P_{max} \exp \frac{-2\theta^2}{\theta_0^2} \quad (2)$$

2.2 기울기 계산

Fig. 2와 같이 두 트랜스듀서의 배열을 이용한 평면물체의 θ 값을 결정하기 위한 기하학적인 해석으로 얻어진 물체와의 거리($R_{aa'}$ $R_{bb'}$)와 기울기(θ)는 다음과 같다.

$$\theta_p = \sin^{-1} \frac{R_{bb'} - R_{aa'}}{d} \quad (3)$$

$$R_{aa' plane} = R - \frac{d}{2} \sin \theta \quad (4)$$

$$R_{bb' plane} = R + \frac{d}{2} \sin \theta \quad (5)$$

$$R_{ab' plane} = R_{ba' plane} = \sqrt{R^2 - \frac{d^2}{4} - Rd \sin \theta} \quad (6)$$

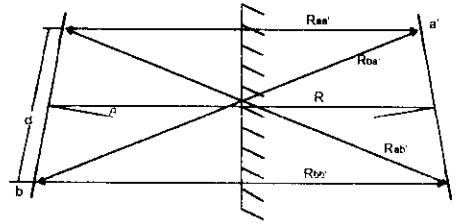


Fig. 2 Two transducer array for oblique cal.

위의 식(3)~(6)을 만족하기 위해서는 반드시 물체가 센서 시스템보다 충분히 커야 한다.

3. 시스템 구성

시스템 구성은 Polaroid 조음파센서를 평면 배열하여 물체의 기울기를 추론하기 위해서 8255, 8253 (Counter/Timer)과 기타 회로 소자를 이용하여 구성하였다. 8255를 이용하여 조음파 센서의 구동 회로가 자동으로 최대 430V의 송신전압을 송출하고, 반사되어 되돌아오는 에코(Echo) 신호를 검출할 수 있도록 하였고, 8253을 이용하여 음파의 주행시간을 측정하였다.

3.1. 초음파 센서의 배열

본 논문에서는 직경이 3.58cm인 Polaroid 사의 초음파 센서를 사용하였으며, 초음파센서의 중심을 기준으로 4.25cm의 간격으로 5개의 센서를 평면배열[Fig. 3]하였다.

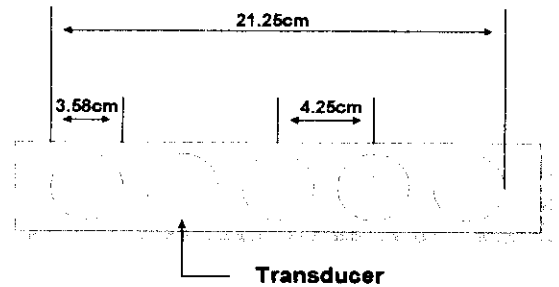


Fig. 3 Sensor array

3.2. 초음파 센서의 송수신

초음파 센서의 송수신 회로는 Polaroid사의 송수신 드라이버를 사용하였다[2]. 송신의 경우 다단계 전압을 위해서 저항을 이용하여 송출전압을 변경하였다. 수신부의 출력은 물체의 유무를 나타내는 디지털 신호이다. 본 논문에서는 수신부의 디지털 출력을 사용하지 않고 아날로그 출력을 랜덴서를 통해 식별부를 지지시킨 후 증폭하였다. 그렇지 않으면 수신신호가 문턱치를 넘지 못하므로 10° 이상의

물체를 감지할 수 없다. 증폭된 신호는 다시 비교기를 거쳐 물체의 유무를 체크할 수 있도록 Fig. 4와 같이 디지털 신호로 변경한다.

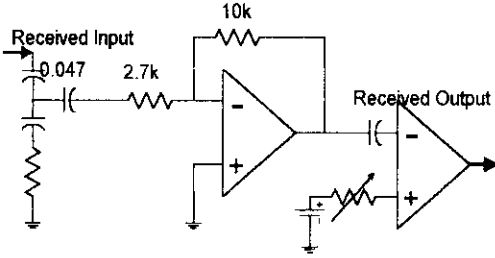


Fig. 4 Changed receiver part

그리고, 본 논문에서는 2개의 센서 데이터의 조합을 이용하므로, 왼쪽의 센서는 송신과 수신에 동시에 이루어지고 오른쪽의 센서는 오른쪽센서에서 송출된 송신신호의 수신만 하도록 되어있다.

4. 기울기 추론

4.1 물 베이스 구성을 위한 기본정보 획득 방법

본 논문에서는 물체의 각도를 결정하기 위해서 물체의 위치, 크기, 각도에 따라서 각기 다른 거리데이터를 바탕으로 물 베이스를 구성하고, 이를 기본정보로 하여 물체의 각도를 추론한다. Fig. 5와 같이 물체들 1, 2, 3, 4, 5의 위치에 위치시키고, 각도는 5도 간격으로 그리고 송출전압을 변경하면서 거리를 측정한다.

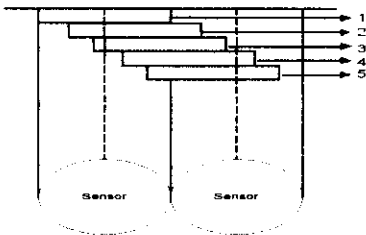


Fig. 5 Acquisition of the distance information

이러한 각각의 조건에 의해서 각각의 거리데이터가 얻어진다. 본 논문에서는 반복적인 실험을 통해서 물체의 위치와 각도에 따라서 특징 있는 거리데이터를 낼 수 있는 송출전압은 최대송출전압 430V에 0kΩ, 3.3kΩ, 4.5kΩ, 6.7kΩ, 10kΩ을 사용하여 출력전압을 변경하였다.

4.2. 각도 결정 과정

물체의 각도를 결정하기 위한 전체적인 과정은(Fig. 6)은 먼저 물체의 각도를 5도씩 구분하는 물 베이스를 구성

하여 물체의 각도를 5도 간격으로 구분하고 다시 물체의 위치정보를 찾는 물 베이스를 구성하여 물체의 크기를 결정하고, 이를 바탕으로 보간법을 적용하여 물체의 크기에 따른 각도를 결정한다.

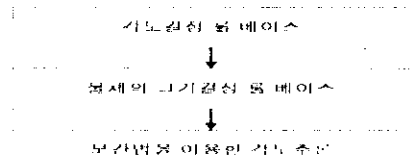


Fig. 6 Process of the oblique angle inference

4.2.1. 물 베이스 구성

기준 물 베이스는 400mm를 기준으로 하여 구성하였다. 각도가 0도 일때 전압변화와 물체의 크기변화에 따른 거리의 특징은 최소전압에서도 모든 물체의 위치에서 자신의 신호를 송출하여 수신하는 왼쪽의 센서 뿐 아니라, 왼쪽센서의 송신은 수신하는 오른쪽 센서에서도 거리의 측정이 가능하다. 거리의 변화는 송출전압이 감소할수록, 각도가 증가할수록 변화가 크다. 특히 10° 이상이 되면 거리의 변화는 더욱 크다. 그리고 물체가 이동하면 음파가 보다 넓게 발산되므로 수신기에서의 수신음파의 진폭 또한 변하게 된다. 이를 고려하여 물 베이스의 규칙은 5cm간격으로 수정이 요구된다. 표 1, 2, 3은 5, 10, 15도일 때 각도 결정과 크기결정에 중요한 특징을 나타내는 부분이다.

표 1 Oblique = 5°

위치 전압	왼쪽 센서					오른쪽 센서				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1										
2										
3										
4										
5										

표 2 Oblique = 10°

위치 전압	왼쪽 센서					오른쪽 센서				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1										
2										
3										
4										
5										

표 3 Oblique = 15°

위치 전압	왼쪽 센서					오른쪽 센서				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1										
2										
3										
4										
5										

은 거리측정 불가능구간

□ 은 물 베이스 구성시 사용되는 거리변화

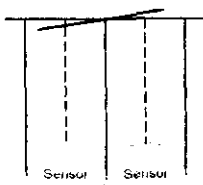
4.2.2. 보간법을 이용 각도 추론

본 논문에서는 물체의 크기는 1cm, 기울기는 5°의 각각으로 울 베이스를 구성하였으므로 그 사이의 각도를 추론하기 위해서 Lagrange 보간법을 사용하였다. 그리고, 수신기의 특별한 고리로 인하여 물체의 크기에 따른 거리변화는 각도의 변화에 비해 상대적으로 훨씬 작으므로 1cm만큼에서의 거리변화는 무시한다. 다음은 각도 추론 예이다.

```
void Angle_Infer_0to5(void)
{
    float Dist_L1_L1[2] { 1, 10}; //거리변화
    Angle {0, 5}; //각도구간설정
    float Dist_L1_L0[2] { 4, 14}
    float Dist_L0_R1[2] { 3, 10}
    float Dist_R1_R2[2] { 3, 14}
    float seed, return_angle;
    // 물체위치추론
    if((sensor2[0]-sensor2[4])< 13)&&(sensor3[0]-sensor3[4]< 13))
        { seed=(sensor2[0]-sensor2[4]); // 추론할거리 결정
          // Lagrang 보간법 알고리즘호출
          return_angle=Lag(Dist_L2_L1,Angle_L2_L1,seed);
        }
}
```

5. 실험결과 및 결론

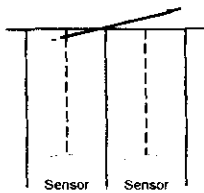
Fig. 7~Fig. 12에서와 같이 센서 시스템보다 작은 물체가 다음과 같은 위치에서 기울어져 있을 때를 대상으로 하여 울 베이스에 의해 대략적인 각도를 추론하고 다시 신호의 변화에 따른 거리에 의해서 위치를 결정한 후 보간법을 이용하여 각도를 추론하였다.



추론결과 : 4.2

기준각도 : 5, 위치 : 2

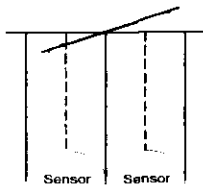
Fig. 7 Test Object I



추론결과 : 5.1

기준각도 : 6, 위치 : 3

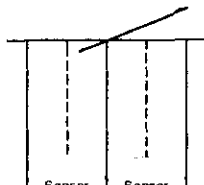
Fig. 8 Test Object II



추론결과 : 9

기준각도 : 10, 위치 : 2

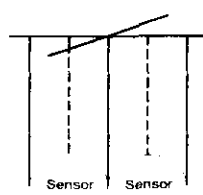
Fig. 9 Test Object III



추론결과 : 12

기준각도 : 13.5, 위치 : 4

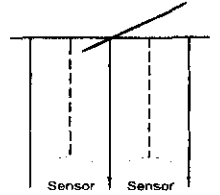
Fig. 10 Test Object IV



추론결과 : 14.5

기준각도 : 16, 위치 : 2

Fig. 11 Test Object V



추론결과 : 13

기준각도 : 15, 위치 : 4

Fig. 12 Test Object VI

본 논문에서는 초음파를 이용한 물체의 패턴 인식시 기본이 되는 물체의 기울어짐 측정을 개선하기 위해서 먼저 수신부의 증폭을 증가시키는 회로를 설계하고, 센서의 평면배열과, 송출전압 변경의 기본원리를 이용하여 구성된 Rule Base와 보간법을 이용하여 기울기론 추론하였다. 결과적으로 센서배열 보다 적은 물체나 트랜스듀서 방향의 ±15° 이내의 물체에 대해서도 각도의 구별이 가능하였다.

[참고문헌]

- [1] Roman Kuc, Billur Barshan, "Differentiating Sonar Reflections from Corners and Planes by Employing an Intelligent Sensor," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 12, no. 6, June 1990.
- [2] Ultrasonic Ranging System Handbook, Polaroid Cooperation.
- [3] Simio Watanabe, and M.Yoneyama, "An Ultrasonic Visual Sensor for Three-Dimensional Object Recognition Using Neural Networks," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol.8, no. 2, 1992.
- [4] Lee Keeseong, "3-D Object Recognition and Restoration Using an Ultrasound Sensor Array," *Trans. KIEE*, vol. 44, no 5, 1995.
- [5] C. Canali, G. D. Cicco, B. Morten, "A temperature compensated ultrasonic sensor operating in air for distance and proximity measurements," *IEEE Trans. Ind. Elec.*, vol. 24, pp336-341, Nov. 1982.