

論文95-32B-6-3

세 개의 초음파 센서를 사용한 이동 로봇용 월드 맵 구성에 관한 연구

(A Study of World Map Building for Mobile Robot with Tri-Aural Ultrasonic Sensor System)

全亨祚*, 金炳國*

(Hyoung Jo Jeon, and Byung Kook Kim)

요약

본 논문에서는 세개의 리시버를 가진 초음파 센서 시스템을 이용하여 적은 횟수의 스캐닝으로도 보다 정확하게 주변 환경을 인식하는 방법을 제안한다. 센서를 하나만 사용하는 기존의 방법에서는 초음파 빔의 폭으로 인하여 실제 물체가 위치하고 있는 방향을 정확하게 구별해 내지를 못하고, 두 개의 센서를 이용하는 경우에도 평면과 코너를 구별하기 위해서는 여러번의 스캐닝이 필요하게 된다. 그러나, 본 논문에서 제안하는 방법은 세 개의 센서를 이용하여 보다 적은 횟수로 향상된 측정을 이루어 내도록 한다. 제안된 방법의 성능을 시뮬레이션과 실제 실험 결과로부터 확인하여 본다.

Abstract

A new tri-aural ultrasonic sensor system is suggested to build more accurate world maps for mobile robots with less scanning. In ordinary single sensor systems, the inherent beam-width of sonar transmitter causes ambiguity in sensing direction. Dual sensors may be used to discriminate plane and corner with several scans. However, the proposed method uses triple sensors, and achieves more accuracy with less scanning.

I. 서론

기존의 초음파 센서연구를 살펴보면 하나의 센서만을 이용할 경우 초음파 센서 자체가 지니고 있는 한계 의하여 물체에 반사된 초음파 신호가 검출되는 경우에 센서가 향하고 있는 line-of-sight와 실제 물체가 위치해 있는 방향이 맞지 않는 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제는 주로 초음파 빔의 폭이 넓기 때문에 생기는 것으로 거리와 각도 정보중 주로 각도의 오차로 나타

내어지며 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 센서 주위의 환경을 격자화하여 systematic한 관점에서 이 오차를 보정하는 방법^{1,11}이나 확률적인 처리를 통하여 물체의 유무를 판별하는 방법^{2,13}이 있지만 이는 격자단위만큼의 오차를 지니게 되고 물체가 있고 없음을 판별할 수 있는 확률값까지 도달하는데 시간이 걸린다는 단점이 있다. 그리고, 실제 맵을 작성할 때 주위 환경을 평면(plane), 구석(corner), 모서리(edge)의 크게 세가지의 조합으로 나타내는 것은 매우 편리한 방법이며 효과적인데 기존의 방법에서는 평면과 코너가 구별이 되지 않거나, 구별을 하기 위해서는 서로 다른 두 장소를 이동하면서 충분한 각도에 걸쳐서 스캐닝(scanning)을 해야하거나¹⁴ 두개 이상의 센서를 사용하면서도 두번 이상의 스캐닝을^{15,16} 하

* 正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng. KAIST)

接受日字: 1994年3月7日, 수정완료일: 1995年5月6日

는 문제점이 있었다.

음파는 다른 비전 센서나 레이저 센서와는 달리 하드웨어가 아무리 좋아도 음파 자체의 속도가 느리기 때문에 많은 수의 스캐닝 횟수는 당연히 느린 인식을 가져올 수 밖에 없게 된다.^[7] 초음파가 공기중을 전파하는데 필요한 시간 이외에도, 센서가 모터에 연결되어 회전을 하는 방식이라면 모터의 회전에 소비되는 시간 또한 많을 것이며, 모터에 의해 소비되는 시간을 줄이기 위하여 sensor-ring-array를 이용한 경우에도 옆의 센서에서 나온 음파의 잔향으로 인한 영향이 없도록 기다려야 할 것이다. 즉, 초음파 센서는 저렴한 가격에 실시간의 처리가 가능하지만 이같은 한계를 지니게 되는 단점이 있으므로 가능한 적은 횟수의 스캐닝으로 보다 정확한 주위 환경을 인식하는 방법이 필요하게 된다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 세개의 센서를 사용하여 가운데에 위치한 센서는 하나의 센서를 사용할 때와 같은 방식으로 동작하고 양 옆의 센서는 receiver로만 동작하도록 하여 추가로 요구되는 스캐닝 시간이 없으면서도 각도의 보정을 이루어 내고^[8] 코너와 평면의 구별을 행하여 맵과 실제 환경과의 일치율을 더욱 향상시키도록 하였다.

II. 초음파 센서의 원리

초음파 센서는 음파가 물체에 반사되어 돌아오는 시간(Time of Flight, TOF)이 음원과 물체와의 거리에 식 (1)과 같이 비례하는 성질을 이용한 센서로 간단한 계산으로 물체와의 거리에 대한 정보를 쉽게 얻을 수 있다.

$$R = \frac{ct}{2} \quad (1)$$

여기서, R은 음원과 물체와의 거리, c는 음파의 공기중 전송속도, t는 음파가 되돌아오기까지 걸린 시간(TOF)이다. 일반적으로 대부분의 초음파 센서를 사용한 거리측정 장치들은 하나의 센서가 transmitter와 receiver의 역할을 동시에 수행하며 센서로부터 발사된 초음파 펄스는 물체를 만나면 반사가 되어 receiver로써 동작하는 같은 센서에 의해 검출된다. receiver로 동작하는 센서에서 받아 들여지는 신호가 미리 정해놓은 Threshold Level보다 처음으로 크게 되면 이때 초음파 신호가 반사되어 돌아온 것으로 보고 그때까지의 시간을 TOF로 처리하게 된다.

언어진 초음파 신호로부터 맵(map)을 만들기 위해서는 센서가 향하고 있는 방향(line-of-sight)에 TOF

로부터 계산되어진 거리에 해당되는 곳에 점을 찍어서 표시하고 다시 센서를 적당한 각도만큼 회전시킨 후 다시 새로운 펄스를 발사하고 받아들여서 처리하는 과정을 반복한다. 이와 같은 과정을 360°에 대하여 모두 행하면 2차원적인 맵을 작성할 수 있게 된다.

이와 같은 방식으로 맵을 작성할 때 나타나는 특징을 살펴보면 line-of-sight를 따라서 점을 찍어 주는 방식일 경우에 그 점들은 원호(arc)를 형성하게 되고 일반적으로 원호의 가운데 부분을 제외하면 실제 물체의 위치와 일치하지 않게된다. 이때 모서리(edge)의 경우에는 돌아오는 신호의 크기가 평면이나 코너의 경우보다 작음으로 인해서 센서의 line-of-sight와 모서리와의 각도가 작은 경우, 즉 물체의 위치를 나타내는 각도가 실제와 비슷한 경우에만 TOF가 검출되므로 쉽게 구분이 되지만, 평면(plane)과 구석(corner)의 경우에는 그림 1과 같이 원호가 넓게 퍼지는 모양이 같음으로 인해서 그 모양이 구별이 되지 않는다.^{[4], [9]}

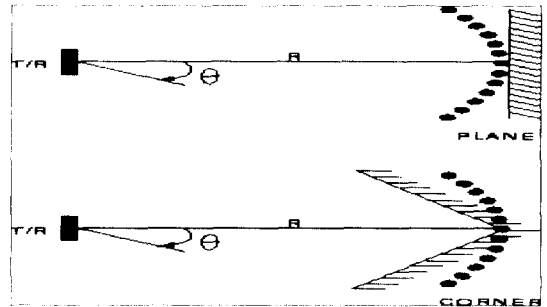


그림 1. 평면과 코너의 반사물에 의해 생성된 single transducer경우의 TOF dot patterns

Fig. 1. TOF dot patterns of a single transducer produced by the plane and corner reflectors.

III. Tri-Aural Sensor System

1. Physical Model

초음파 신호를 발생하는 트랜스미터의 반지름(a)이 음파의 파장(λ)보다 매우 클 경우에는 음파는 거의 일직선상의 빔의 형태로 나아간다. 그림 2와 같이 초음파빔은 near zone(Fresnel zone)과 far zone(Fraunhofer zone)등의 두개의 지역으로 나누어지며 near zone에서는 빔의 형태가 지름이 2a인 원형으로 근사화되며 이 지역은 약 a^2/λ 까지 이어지고 far zone 일 경우에는 식(2)와 같이 Half Angle θ_0 를 지니며 확

산되어 나가게 된다.^{[5], [9]}

$$\theta_0 = \sin^{-1} \frac{0.61\lambda}{a} \quad (2)$$

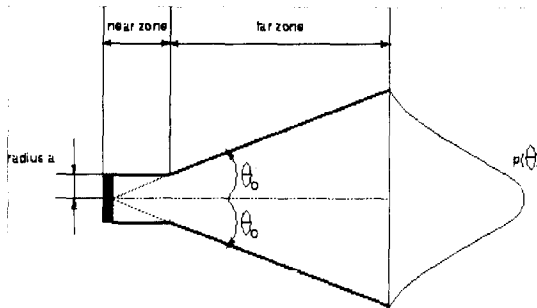


그림 2. 빔의 모양
Fig. 2. Beam Pattern.

실제로 우리가 관심이 있게 되는 영역은 far zone 이 되며, 이 지역에서는 펄스가 연속적인 평면파의 형태로 진행이 되고 이 때 음파의 크기는 1V장의 시물레이션에 사용된 복잡한 형태의 식을 간략화하여 식 (3) 과 같이 나타낼 수 있게된다.^[5]

$$p(\theta) = p_{max} \exp \frac{-2\theta^2}{\theta_0^2} \quad (3)$$

즉, 표준편차가 $\theta_0/2$ 인 가우시안 형태의 크기를 지니게 된다.

그림 3과 같이 동일한 센서 두개가 하나는 transmitter로 하나는 receiver로 동작할 경우 receiver 쪽에서 받는 신호의 크기는 두 빔을 곱해준 형태로 나타내게 되고 이것은 식(4)와 같이 표현될 수 있다.^[5]

$$A(\theta_1, \theta_2) = A_{max} \exp \frac{-2\theta_1^2}{\theta_0^2} \exp \frac{-2\theta_2^2}{\theta_0^2} \quad (4)$$

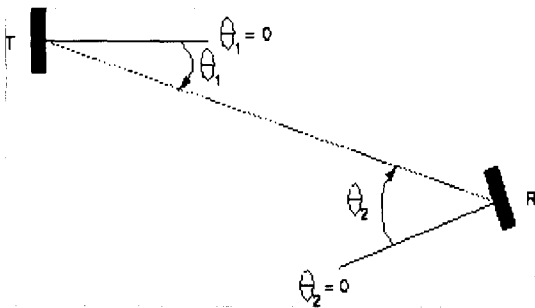


그림 3. 한 쌍의 동일한 transducers
Fig. 3. A pair of identical transducers.

이 때 θ_1 과 θ_2 는 transmitter와 receiver 각각의

기울어진 각도이고 A_{max} 는 두 센서가 서로 수직으로 마주 볼 경우, 즉 $\theta_1 = \theta_2 = 0$ 일 경우의 신호의 크기이다.

음파를 반사하는 표면이 거울처럼 매끈하다고 가정하였을 경우에 하나의 센서에서 쏜 신호가 반사되어 다시 그 센서로 받는 경우에 실제의 transmitter(T)와 가상의 receiver(R')가 서로 마주보고 있는 것으로 생각할 수 있다.^[9] 평면과 코너의 경우에는 그림 4와 같이 생각할 수 있으며 시계방향을 양의 방향으로 생각할 경우, 평면은 $\theta_1 = \theta, \theta_2 = -\theta$ 이고 코너는 $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ 가 되어 식(5)와 같이 이 둘은 같은 특징을 나타내게 된다.^{[5], [9]}

$$A(\theta) = A_{max} \exp \frac{-4\theta^2}{\theta_0^2} \quad (5)$$

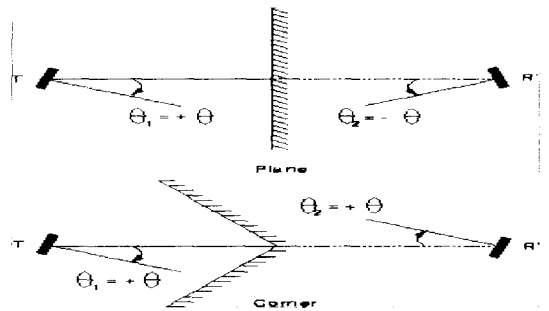


그림 4. 평면과 코너의 반사 모델
Fig. 4. Reflection model of plane and corner.

2. Plane/Corner Differentiation Algorithm

앞서 식(5)에서 알 수 있듯이 $A(\theta)$ 는 θ 에 대한 우함수이기 때문에 하나의 센서로는 평면과 코너의 구별이 되지 않는다. 따라서 평면과 코너를 구별하기 위해서는 여러개의 센서를 사용하여 θ 의 부호에 따른 변화를 감지할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 그림 5, 6과 같이 3개의 센서를 사용하며 가운데의 센서만 transmitter/receiver로써 동작하고 나머지 양쪽의 센서는 receiver로만 동작하도록 하였다.

이와 같은 구조가 되면 A_{cc}, A_{cl}, A_{ck} 등의 세가지 신호크기 정보를 얻게 되며, 이 밖에 각각의 TOF로부터 R_{cc}, R_{cl}, R_{ck} 등의 거리에 관한 정보를 얻게 되므로 추후 이 거리정보로부터 센서와 반사체와의 기울어진 정도를 알 수 있게 된다.

각각의 센서가 받은 반사되어 되돌아온 신호의 크기는 평면의 경우에는 식(6)과 같이 왼쪽 센서와 오른쪽

센서가 받은 신호의 크기가 각도에 관계없이 일정하고 코너일 경우에는 식(7)과 같이 이 두 센서에서 받은 신호의 크기가 각도에 따라 차이가 나게 된다.

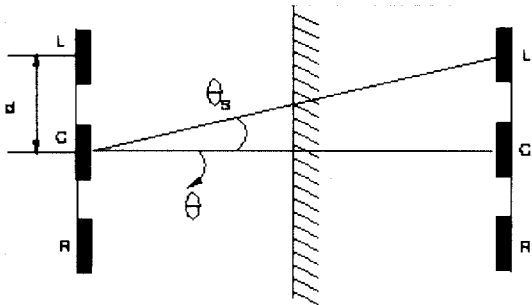


그림 5. Tri-aural 센서 시스템
Fig. 5. Tri-aural sensor system.

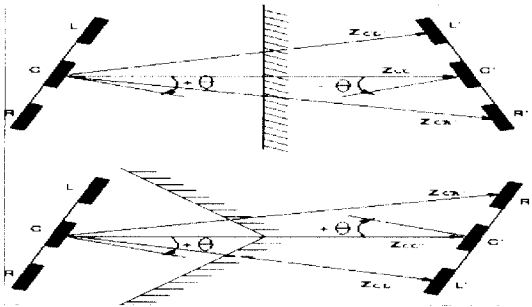


그림 6. Tri-aural sensor system의 구조도
Fig. 6. Tri-aural sensor configuration.

평면일 경우에는,

$$A_{CC'} = A_{max} \exp \frac{-4\theta^2}{\theta_0^2} \quad (6)$$

$$A_{CL'} = A_{CR'} = A_{max} \exp \frac{-4\theta_s^2}{\theta_0^2} \exp \frac{-4\theta^2}{\theta_0^2}$$

이며, 이 때 $\theta_s = \tan^{-1}(d/2R)$ 이고, 각 센서의 최대값은 $\theta = 0$, 즉 평면에 대해 수직으로 센서가 마주보고 있을 때이며, 센서가 회전함에 따라서 그 크기는 감소하게 된다.

코너일 경우에는,

$$\begin{aligned} A_{CC'} &= A_{max} \exp \frac{-4\theta^2}{\theta_0^2} \\ A_{CL'} &= A_{max} \exp \frac{-4(\theta_s - \theta)^2}{\theta_0^2} \\ A_{CR'} &= A_{max} \exp \frac{-4(\theta_s + \theta)^2}{\theta_0^2} \end{aligned} \quad (7)$$

이며, 가운데에 위치한 센서는 $\theta = 0$, 즉 코너를 정면으

로 쳐다보고 있을 경우에 최대값이며, 좌측의 센서는 $\theta = \theta_s$, 우측의 센서는 $\theta = -\theta_s$ 일 경우에 최대값이 된다. 위의 식(6)과 (7)을 그래프로 표현한 것이 그림 7에 나와 있다.

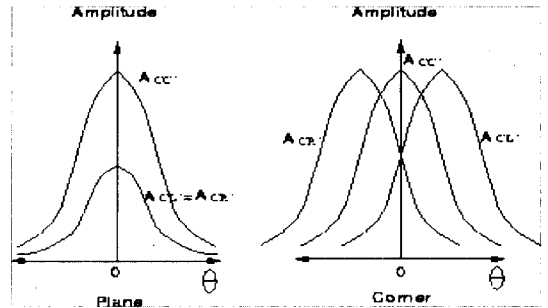


그림 7. 신호 크기 그래프
Fig. 7. Amplitude graphs.

노이즈의 영향으로 인하여 실제 측정되는 신호의 크기는 랜덤노이즈에 의한 표준편차를 지니게 된다. 노이즈를 n 이라고 하면 실제 측정되는 신호의 크기는 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$A_{meas}(\theta) = A(\theta) + n \quad (8)$$

그리고 이와 같은 노이즈는 평균 0이고 분산이 σ^2 인 확률함수로 표현될 수 있다.¹⁵⁾

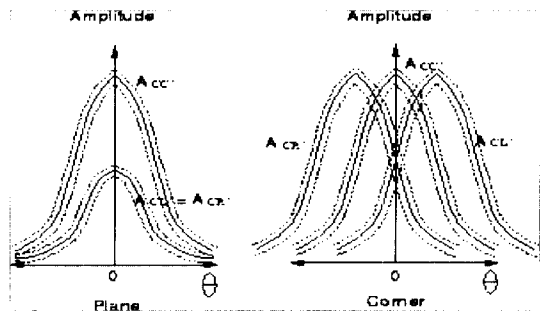


그림 8. 잡음의 영향을 고려한 신호 크기 그래프
Fig. 8. Amplitude graphs with noise effects.

노이즈로 인한 영향을 실제 실험으로부터 얻은 결과는 표준편차가 $A_{meas, max}(\theta)$ 의 약 2%이며 거리에 무관하다. 앞서의 그림 7에 이런 노이즈의 영향을 고려한 그래프가 그림 8에 그려져 있으며, 실선은 이론적인 신호의 크기를 의미하며 점선은 $\pm 3\sigma$ 크기의 노이즈가 포함된 값을 의미한다. 그리고, Gaussian 노이즈를 가정할 경우 측정된 값은 99.7%의 확률로 이 \pm

3σ 의 범위안에 있게 된다.¹⁵⁾

가장 넓은 범위에 걸친 θ 값에서 평면과 코너를 구별하기 위한 기준으로 식(9)를 적용시키며 이 때 코너인지 아닌지가 구별이 되지 않는 곳은 θ 의 값이 커서 신호가 반사되어 돌아오지 못하는 곳이나, $\theta=0$ 의 부근이 되고, v 의 값이 클 경우에는 어차피 센서가 측정할 수 있는 한계를 넘어가는 상태이며, 0 근처에서는 차후 맵을 작성할 때 평면과 코너의 구별이 필요하지 않은 지역이다. 따라서 이와 같은 방식을 사용할 경우에는 평면과 코너를 구분하는데 있어서 기존의 최소 두번이상의 스캐닝을 했던 방법과는 달리 실제적으로 단 한번의 스캐닝만으로도 충분하게 된다. 그리고, 모서리와 같은 경우는 앞서 언급되었던 것처럼 반사되어 돌아오는 신호의 크기가 다른 반사물에 비해 상당히 작은 편이므로 센서가 거의 모서리를 마주보고 있는 경우이외에는 측정이 되지 않으므로 구별이 필요치 않다. 코너를 판별하는 식은 다음과 같다.

$$\text{IF } |A_{CL} - A_{CR}| > 6\sigma \text{ then the object is a CORNER} \quad (9)$$

3. Range and Degree

θ 를 추정하기 위하여 세개의 센서로부터 얻어진 거리 정보를 이용한다. Z가 TOF에다 음파의 속도를 곱하여 나온 transmitter와 virtual receiver 사이의 거리라고 할 경우, 세 센서의 중심과 반사물과의 거리는 아래의 식 (10)과 같으며,

$$\begin{aligned} Z_{CC} &= 2R \\ Z_{CL} &= \sqrt{4R^2 + d^2 - 4Rd\sin\theta} \\ Z_{CR} &= \sqrt{4R^2 + d^2 + 4Rd\sin\theta} \end{aligned} \quad (10)$$

θ 는 아래의 식(11)과 같이 위의 세 Z로부터 구할 수 있다.

$$\theta = \sin^{-1} \frac{Z_{CR}^2 - Z_{CL}^2}{4dZ_{CC}} \quad (11)$$

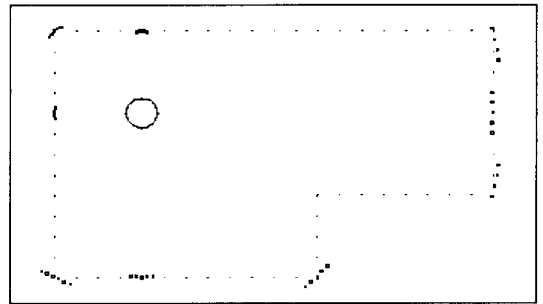
센서가 스텝 모터로 인하여 지속적으로 증가하면서 측정하는 각도 이외에 위와 같은 평면 또는 코너와 센서의 기울어진 각도를 말해주는 θ 에 관한 정보는 실제 맵을 작성할 때 코너의 경우에는 코너의 꼭지점의 위치에 점(dot)을 그리고, 평면의 경우에는 평면의 표면에 해당되는 곳에 식(12)와 같은 길이를 가진 선분을 센서의 line-of-sight와 평면과 교차하는 점과, 평면에 수직인 방향에 위치한 점 사이에 그어 줌으로써 보다 실제환경과 일치하는 맵을 작성할 수 있도록

하여주지만 코너의 경우에 코너의 꼭지점의 위치에 관한 정보는 알 수 있지만 코너를 구성하고 있는 두 평면의 각도에 대한 정보는 앞서 반사과정(Physics of g reflection)에서 알 수 있듯이 얻을 수가 없고 맵에서 평면의 연장선상을 생각하는 등의 방법으로 알 수 있을 것이다.

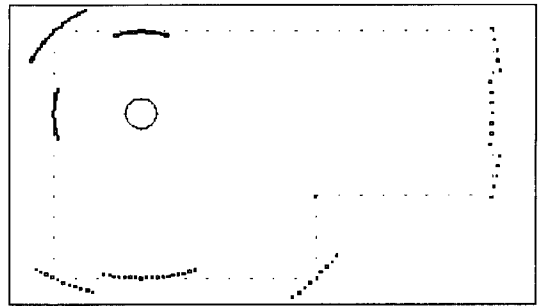
$$l = R \tan \theta \quad (12)$$

IV. Simulation 및 실험 결과

1. Simulation Results



(a)



(b)

그림 9. 하나의 센서를 사용하는 경우에 다른 threshold level로 계산한 전역도

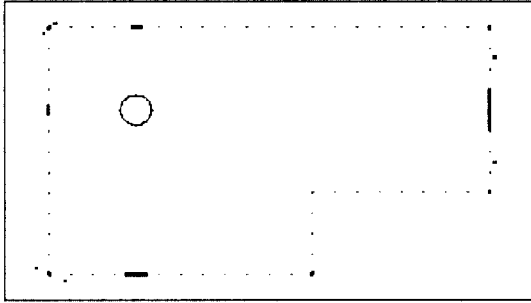
- (a) 높은 threshold level을 사용한 경우
- (b) 낮은 threshold level을 사용한 경우

Fig. 9. Global map using one sensor with different threshold

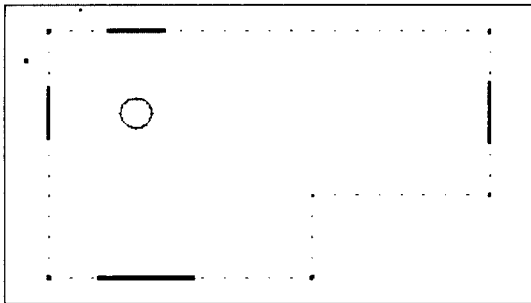
- (a) high threshold level
- (b) low threshold level

본 시뮬레이션에서 사용된 가상 지형은 그림 9와 10에 나와 있듯이 가로의 길이가 세로보다 긴 직사각형에 오른쪽 아래 부분이 직각으로 튀어 나와서 모서리

를 형성하고 있는 형태이다. 일정한 간격으로 연한 색으로 표시된 부분이 가상지형을 의미하며 평면, 코너, 모서리 부분의 진한 점들이 초음파 센서로 인식하여 얻게 된 결과를 나타낸다.



(a)



(b)

그림 10. tri-aural sensor system을 사용하는 경우에 다른 threshold level로 계산한 전역도

Fig. 10. Global map using tri-aural sensor system with different threshold.

- (a) high threshold level
- (b) low threshold level

그림 9는 기존의 하나의 센서를 사용하여 맵을 작성한 경우를 impulse response simulation model로 시뮬레이션^{19), 110)} 한 그림이며 이 때 윗쪽의 그래프(a)는 threshold level이 높은 경우이고 아래쪽의 그림(b)는 threshold level이 낮은 경우이다. 이 두 그래프에서 알 수 있는 특징은 기존의 방법을 사용하면 threshold level을 낮게 설정하였을 때는 초음파 센서로 인지하게 되는 영역이 넓어지지만 그에 비례해서 오차도 늘어난다는 점이다. 대체로 센서와 수직한 평면, 코너, 모서리 등을 초음파 센서로 탐지할 수 있다는 것을 시뮬레이션 결과로부터 확인할 수 있다.

그림 10은 앞서 제안된 알고리즘을 이용하여 작성된

그래프로써 역시 윗쪽(a)의 그래프는 높은 threshold level을 사용한 경우이며 아래쪽(b)의 그래프는 낮은 threshold level을 사용한 경우이다. 제안된 방법을 사용한 이 경우에는 낮은 threshold level을 사용하여 검색이 되는 지역이 넓어지더라도 에러의 크기가 커지지 않게 됨으로 보다 정확한 주변 인식이 가능해진다.

그림 10의 (a)의 왼쪽 위, 왼쪽 아래, 오른쪽 위, 오른쪽 중간 등의 코너나 그림 10의 (b)의 왼쪽 위의 코너부분에서 꼭지점으로 보정이 되지 않은 점들이 생기는 것을 볼 수가 있는데, 이는 거리를 측정할 수 있는 정도의 신호가 들어오지만 좌우측에서 받게 되는 각도보정을 하는 신호는 충분하게 되돌아 오지 않은 것으로서 본 논문에서 제안한 방법으로 인한 개선이 물체와 센서와의 각도가 큰 경우에 있어서는 이루어지지 않게 됨을 의미한다.

2. Experimental Results

사용된 초음파 센서는 폴라로이드사의 제품¹¹¹⁾으로 50kHz의 초음파 신호를 사용하며, 이 센서에서 받아들인 신호는 시간에 따라 증폭률이 커지는 Auto-Gain Amplifier를 통하여 증폭된 후 최종적으로 312.5kHz로 동작하는 A/D converter를 통하여 디지털 신호로 바뀌어 처리가 된다. 사용된 컴퓨터는 모토롤라사의 MVME 133 32-bit Monoboard Microcomputer를 사용하였으며 이 CPU Board에 다운로드할 프로그램을 작성 및 컴파일하고 사용자와의 인터페이스를 하기 위해서 RS-232C를 이용하여 IBM PC와 연결하였다. 이와 같은 실험장치 구성에 대한 블록 다이어그램이 그림 11에 나와 있다.

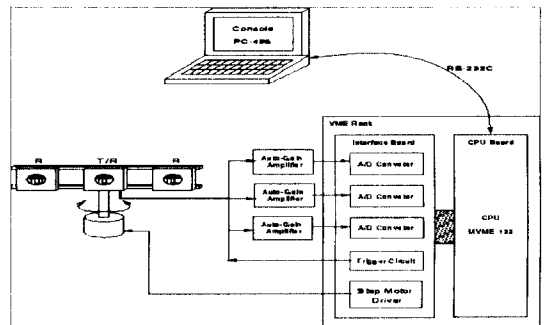


그림 11. 실험 장비의 블록 다이어그램

Fig. 11. Block diagram of experimental equipments.

그림 12에 실제 평면으로부터 얻은 데이터를 plot하

였으며, 윗쪽의 그림은 가운데 센서 하나만을 사용하여 기존의 방법으로 데이터를 그린 경우이며 아래의 그림은 이 논문에서 제안된 알고리즘을 사용하여 가운데 센서 이외에 좌우측센서의 각도보정을 통하여 그려진 그림이다. 앞서 시뮬레이션에서와 같이 $\theta=0$ 에서는 기존의 방법이나 제안된 방법이나 오차가 없지만 각도가 점점 커짐에 따라 기존의 방법은 실제의 벽과 측정된 벽의 위치사이의 오차가 일정하게 증가함을 볼 수 있다. 그러나 제안된 방법을 사용한 아래의 그래프에서는 약 $12^\circ \sim 15^\circ$ 정도까지는 실제 벽면의 선과 측정된 값과의 오차가 증가하지 않고, 거의 일직선의 형태를 보여 주고 있다. 각도가 어느 한계 이상이 되면 앞서 시뮬레이션의 결과와 마찬가지로 제안된 방법의 경우에 있어서도 더이상의 각도 보정은 가능하여지지 않게 되고, 기존의 방법이나 제안된 방법 두가지 모두에 있어서 반사물의 표면이 거울처럼 매끈하지 않은 이유에 의한 난반사로부터 측정된 결과를 보여주고 있다.

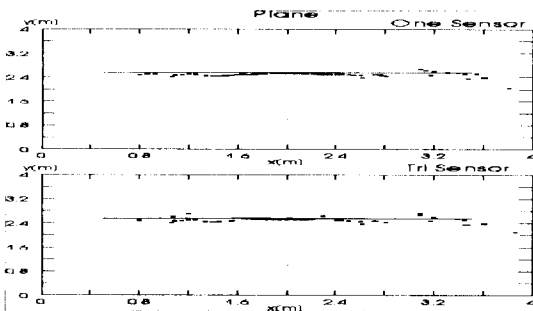


그림 12. 평면 반사물로부터의 맵
Fig. 12. Map from plane reflector.

그림 13은 실제 코너의 경우에 대한 그래프로써 약 $6^\circ \sim 7^\circ$ 정도의 각도가 보정됨을 볼 수 있다. 실제 그래프를 그릴 때 코너로 판명이 된 것은 기울어진 각도만큼 점을 이동시켜서 코너의 꼭지점에 해당하는 곳에 점을 찍어주고 코너로 판명이 되지 않는 곳은 기울어진 각도로부터 수직한 평면을 계산하여 선을 그어주었다. 코너의 꼭지점에 해당하는 곳을 살펴보면 기존의 방법에 의한 윗쪽의 그림에서는 코너에 해당되는 점들이 넓게 퍼지게 되지만, 제안된 방법을 사용한 아래쪽의 그림에서는 시뮬레이션의 결과와 마찬가지로 코너의 꼭지점에 해당하는 곳으로 점들이 모이거나 짧은 선들이 그어짐으로 인하여 코너에 해당하는 곳을 표현하는 부분이 코너의 꼭지점으로 모여들게 됨으로서 오차가 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

그림 14는 앞의 두 그래프와 같이 특정한 모양의 반사물에 대한 것만이 아니라 여러가지 형태의 반사물이

있는 실제 환경에 대한 결과를 그래프 한 것으로 앞의 두 그래프와 비교하여 먼거리로 인한 영향으로 코너와 평면의 구별이 잘 이루어지지 않았지만 각도의 보정이 이루어짐으로 인하여 맵의 정확성이 어느정도 향상되는 것을 볼 수 있다. 비교적 낮은 threshold level에서 데이터를 얻었기 때문에 모서리의 경우에 한점으로 표시되지 않고 여러 점에 걸쳐 모서리가 나타나는 것을 볼 수 있지만 세개의 센서를 사용한 경우에는 각도 보정의 효과가 일어나는 것을 볼 수 있으며 그래프상에서 중앙의 좌측이나 아래쪽의 길에 해당되는 곳에 윗쪽의 그래프는 반사물이 있는 것으로 측정이 되지만 세개의 센서를 사용한 결과를 그린 아래쪽의 그래프는 각도가 보정이 되어 반사물이 없는 것으로 나타났고 이 밖에 좌측중앙과 오른쪽 중앙의 벽면에서 평면의 모양이 다소 더 정확하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

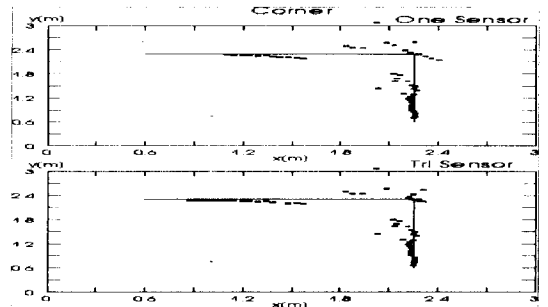


그림 13. 코너 반사물로부터의 맵
Fig. 13. Map from corner reflector.

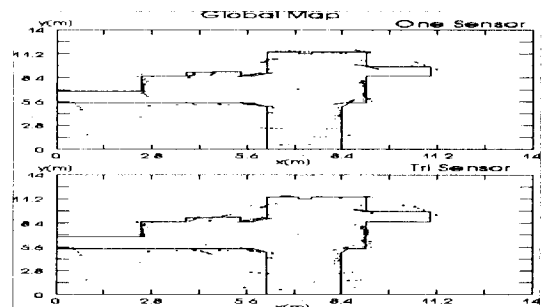


그림 14. 전역도
Fig. 14. Global map.

V. 결론 및 추후 연구 과제

세개의 초음파 센서를 사용하여 추가의 스캐닝 횟수를 요구하지 않으면서도 각도에 있어서의 오차 보정을 통하여 보다 나은 성능의 측정과 맵의 작성이 가능한

방법을 제시하였다. 코너와 평면을 구분함으로써 맵을 작성시 평면의 경우에 평면의 위치에 해당되는 곳에 선분을 그어주었으며 코너의 경우에는 코너의 꼭지점에 해당하는 곳에 점이 위치되게 하였다. 이와 같은 방법은 양옆의 센서가 receiver로서만 작동함으로써 추가의 스캐닝 횟수를 만들지 않았지만, 가운데 센서에서 발사된 신호를 받아들임으로써 단 한번의 스캐닝만으로도 평면과 코너를 구분하고 벽이나 코너의 기울어진 정도를 알 수 있게 하였다.

비교적 먼거리의 물체를 측정할 전체 맵의 경우에는 코너의 구별이 정확하지 않았고 기존의 방법과 큰 차이를 보여주는 않았지만, 평면의 경우에는 거리에 의한 영향을 거의 받지 않았고 기존의 방법보다 수직 한 면의 경우에 더 정확한 측정 결과를 보여주었으며 이 외에 반사물의 표면상태에 따른 난반사의 영향으로^[12] 인해 오차들이 발생하였으나 Tri-aural sensor system을 이용할 결과에서는 각도의 보정으로 인한 부분적인 에러의 수정이 가능하였다.

이와 같이 이 논문에서는 시간영역에서 신호의 크기를 이용한 방법으로 평면과 코너를 구별하였으며 좌우측의 receiver로 각도를 측정할 수 있도록 하였다. 전체적으로 맵의 정확도에 있어서는 기존에 나왔던 여러 방법들에 비해서 크게 개선된 점은 없지만, 맵을 작성할 때 센서의 스캐닝 횟수를 줄임으로서 보다 빠른 인식이 가능한 방법을 제시하였다는데 그 의미가 있을 것이다. 이 밖에 거리가 멀어짐에 따라 평면과 코너를 구분하는 정도가 줄어드는 점과, multiple reflection으로 인한 에러가 발생하기도 하는 점등의 문제점이 남아 있다. 따라서 추후 연구과제로는 시간영역이외에 주파수 영역에서의 해석^[13]과 시간영역에서의 해석을 결합시킨 방법에 대한 연구 및 다반사에 의한 정보를 해석하는 방법등을^[14] 통한 성능향상에 관한 것을 생각해 볼 수 있을 것이다. 그리고, 현재의 시스템은 지표면에 평행한 2차원적인 평면의 모양을 얻어내는 방식이지만 receiver를 좌우로 부착한 것 이외에도 가운데 센서를 기준으로 상하로 나열한 것을 추가한다면 3차원적인 정보를 얻는 것도 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] M. Beckerman and E. M. Oblov, "Treatment of Systematic Errors in the Processing of Wide-Angle Sonar Sensor Data for Robotic Navigation", IEEE Transactions on Robotics and Automation, pp 137-145, April, 1990.
- [2] H. P. Moravec and A. Elfes, "High resolution maps from wide angle sonar", Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp 116-121, 1985.
- [3] J. H. Lim and D. W. Cho, "Physically Based Sensor Modeling for a Sonar Map in a Specular Environment", Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp 1714-1719, May, 1992.
- [4] O. Bozma and R. Kuc, "Building a Sonar Map in a Specular Environment Using a Single Mobile Sensor", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp 1260-1269, December, 1991.
- [5] B. Barshan and R. Kuc, "Differentiating Sonar Reflections from Corners and Planes by Employing an Intelligent Sensor", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp 560-569, June, 1990.
- [6] H. Peremans and J. V. Campenhout, "Tri-aural perception on a mobile robot", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp 265-270, 1993.
- [7] J. Borenstein and Y. Koren, "Histogramic In-Motion Mapping for Mobile Robot Obstacle Avoidance", IEEE Transactions on Robotics and Automation, pp 535-539, August, 1991.
- [8] Y. Nagashima and S. Yuta, "Ultrasonic sensing for a mobile robot to recognize an environment", Proc. of the IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp 805-812, July, 1992.
- [9] R. Kuc, "Physically Based Simulation Model for Acoustic Sensor Robot Navigation", IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp766-778, November, 1987.
- [10] F. Tsuzuki and K. Sasaki, "Ultrasonic Echo Simulator for Mobile Robots", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp 979-985, 1993.
- [11] Polaroid Corporation, "Ultrasonic Ranging System.

- [12] O. Bozma and R. Kuc, "Characterizing the Environment Using Echo Energy, Duration, and Range", Proc. of the IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp 813-819, July 1992.
- [13] K. Sasaki and M. Takano, "Classification of Object's Surface by Acoustic Transfer Function", Proc. of the IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp 821-828, July, 1992.
- [14] D. Wilkes and G. Dudek and M. Jenkin and E. Milios, "Multi-transducer sonar interpretation", IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, pp 392-397, 1993.

저 자 소 개



全亨祚 (正會員)

1970년 2월 18일생. 1992년 2월 한국과학기술대학 전자공학과 졸업. 1994년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 취득. 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

金炳國 (正會員) 第 27 卷 第 1 號 參照

현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수