

실내용 이동 로봇의 자기 위치 추정을 위한 전역 초음파 센서 시스템

진 재 호, 이 수 영

전북대학교 전자정보공학부, 메카트로닉스 연구센터, 공학연구원 공업기술연구센터

Global Ultrasonic Sensor System for Self-localization of an Indoor Mobile Robot

Jae-Ho Jin, Soo-Yeong Yi

Division of Electronics and Information Engineering Chonbuk National University, Mechatronics Research Center, The Research Center of Industrial Technology, Engineering Research Institute

Abstract - A global ultrasonic sensor system for self-localization of an indoor mobile robot is proposed in this paper. By the global ultrasonic sensor system, it is meant several ultrasonic transmitters fixed at some positions in the world coordinate and the receiver in the moving coordinate of a mobile robot. In order to achieve the synchronization between an ultrasonic transmitter and receiver and to avoid the crosstalk among the ultrasonic transmitters, simple radio frequency transmitters and receivers are adopted. Experiments are carried out to verify the effectiveness of the proposed ultrasonic sensor system.

keywords : self-localization, global ultrasonic sensor system, synchronization, crosstalk

1. 서 론

이동 로봇의 자율 주행을 위해서는 기준 좌표계상에서 로봇 자신의 위치를 알아야하는데, 이를 이동 로봇의 자기 위치 추정 문제라고 부른다. 자기 위치 추정 문제는 이동 로봇 자신이 현재 경로상의 어느 위치에 놓여 있는지, 그리고 앞으로 어떤 경로를 추종해야 할지를 결정하는 중요한 부분이다. 이동 로봇의 자기 위치 추정을 위해서 이동 로봇에 시각 센서[1]나 초음파 센서, 레이저 센서[2], 혹은 근접 센서[3]를 사용하는 방법이 제안된 바 있다. 그러나 시각 센서는 가격이 비싸고 신호를 처리하는데 많은 계산 시간이 소요되며, 주변의 조명 잡음에 큰 영향을 받는다는 단점이 있으며, 레이저 센서의 경우는 정밀한 측정이 가능하지만 장비의 가격이 매우 비싸다는 단점이 있다. 또한 근접 센서는 방사각 해석이 용이하다는 장점을 지니고 있으나 미리 설정된 거리 내에 존재하는 물체의 유무만을 알 수 있다는 문제점이 있다. 따라서 근래에는 값이 매우 저렴하면서도, 비교적 전파 속도가 느린 음파를 사용하므로 간단한 장치로도 거리 정보를 쉽게 얻을 수 있는 초음파 거리 센서가 많이 사용되고 있다.

초음파 센서를 이용한 로봇의 자기 위치 추정을 위해 일반적으로 시도되고 있는 방법은 이미 알고 있는 주변 환경 정보들을 근거로 주변 물체들의 특징 정보 데이터베이스를 구축하고, 이동 로봇을 수행시 초음파 센서로부터 획득한 정보와 미리 구축된 데이터베이스 정보를 비교하여 자신의 위치를 추정하는 것이다. 하지만 이러한 방법은 로봇의 주변 환경 정보 획득을 위한 초음파 스캔 신호 처리 과정과 데이터베이스와의 비교 과정에서 많은 계산 시간이 필요하고, 또한 초음파 반사율을 위주로 주변 환경 모델링을 위한 특징 요소를 제한해야 한다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 몇 개의 독립적인 초음파 송신 센서를 이동 로봇 운동 공간상의 정해진 위치에 설치하고, 각 초음파 송신 센서로부터의 신호를 이동 로봇에 설치

된 초음파 센서에서 수신하는 방식의 새로운 전역 초음파 센서 시스템을 제안하고 구현하였다. 이동 로봇의 자기 위치를 추정하기 위해서 로봇에서 수신된 각 초음파 송신 신호로부터 이동 로봇과 미리 설치된 송신 센서의 거리를 측정하고, 이들 데이터로부터 삼각법을 이용하여 로봇의 절대 위치를 계산한다. 이러한 전역 초음파 센서 시스템에서는 각 초음파 송신 신호를 구분하기 위한 초음파 송신 순차화 및 식별, 그리고 초음파 송신 센서 사이의 동기화 방법이 필요하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 본 논문에서 제안한 전역 초음파 센서 시스템과 삼각법에 의한 절대 위치 계산 알고리즘을 설명하고, 3장에서 전체 시스템의 구성에 대해 서술한다. 그리고 본 시스템에 의한 전역 위치 추정 실험 결과를 4장에서 제시하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 전역 초음파 센서 시스템

다음 그림 1은 이동 로봇 자기 위치 추정을 위한 전역 초음파 센서 시스템을 도식화한 것이다.

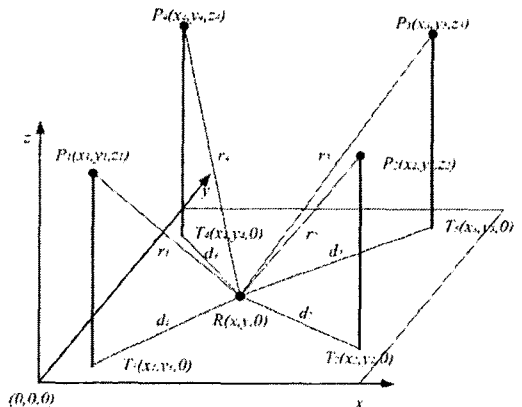


그림 1. 전역 초음파 센서 시스템

4개의 초음파 송신 센서를 기준 좌표계, W 에서 $P_i = [x_i, y_i, z_i]^T, i = 1, \dots, 4$ 의 위치에 설치하였으며, 점 R 은 이동 로봇에 설치된 초음파 수신 센서의 위치를 나타낸다. 여기서 이동 로봇의 운동 공간은 평면이라고 가정한다. 따라서 점 R 의 z 축 성분은 0이다. 초음파 송신 센서로부터 발생된 초음파 신호가 수신 센서까지 이르는 데 걸리는 시간, 즉 초음파 체공 시간(TOF: Time-Of-Flight)[4][5]를 통해 얻을 수 있는

각 초음파 송, 수신 센서간의 거리, r_i , $i = 1, \dots, 4$ 데이터로부터 기준 좌표계에서의 로봇 위치, R 은 다음과 같이 구할 수 있다.

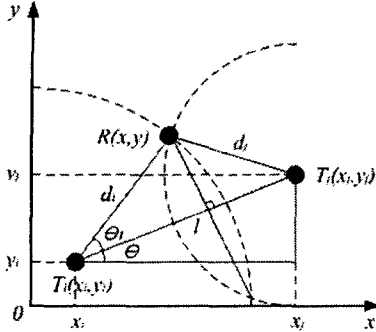


그림 2. 로봇의 위치 $R(x, y)$

위 그림 2에서 점 P_i 의 $x-y$ 평면에 대한 투영점을 $T_i = [x_i, y_i, 0]^T$ 로 표시하고, 한 점, T_i 로부터 R 까지의 거리를 d_i 로 나타내면, d_i 는 다음 식으로 주어진다.

$$d_i^2 = r_i^2 - z_i^2, i = 1, \dots, 4 \quad (1)$$

우선 두 점 T_i, T_j , $i \neq j$ 사이의 거리는 다음과 같다.

$$l = |T_i T_j| = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (2)$$

직선 $T_i R$ 과 직선 $T_i T_j$ 이 이루는 각을 θ_i 이라 하면 삼각형의 변적 s 는

$$s = \sqrt{a(a-d_i)(a-d_j)(a-l)} = \frac{1}{2} d_i l \sin \theta_i \quad (3)$$

으로 주어진다.

여기서, $\theta_i = \sin^{-1} \frac{2s}{d_i l}$, $a = \frac{1}{2}(d_i + d_j + l)$ 이다.

직선 $T_i T_j$ 와 x 축과 평행한 직선 $y = y_i$ 이 이루는 각 θ 를 구하면 다음과 같다.

$$\tan \theta = \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i} \equiv \theta = \tan^{-1} \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i} \quad (4)$$

따라서 $R(x, y)$ 좌표는 식 (1), (3), (4)로부터 다음 식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} x &= x_i + d_i \cos(\theta + \theta_i), \\ y &= y_i + d_i \sin(\theta + \theta_i) \end{aligned} \quad (5)$$

모든 가능한 T_i, T_j , $i \neq j$ 조합으로부터 구한 좌표 값 R 들은 신호 잡음이나 수치 오차 때문에 일치하지 않을 수 있다. 이러한 경우, 로봇의 위치는 이들의 산술 평균값에 의해서 추정할 수 있다.

3. 시스템 구성

여러 개의 초음파 송신 센서를 이용할 때에는 각 초음파 송신 센서에서의 신호의 혼신을 어떻게 피할 것인지, 초음파 수신 센서에서 수신된 신호가 어느 송신 센서에서 온 것인지 알 수 있는 방법이 필요하다. 또한 송신 초음파 신호의 제공 시간을 알기 위해서는 송신과 발생 시점을 수신부에서 알아야하고, 이를 위해서는 송신 시스템과 수신 시스템이 동기화 되어야 한다. 초음파 송신기 신호들의 혼신[6]을 막고, 수신기에서 각 송신 선

호들을 식별하기 위해서는 각 초음파 송신기들의 구동 주파수를 다르게 사용하는 방법도 있지만, 일반적으로 구동 주파수가 다른 초음파 송수신기는 가격이 매우 비싸고 신호 처리도 복잡하므로 효율적이지 못하다. 그러므로 본 논문에서는 그림 3에서 설명하는 바와 같이 초음파 송, 수신기에 부가적으로 간단한 무선 송, 수신 장치를 사용함으로써, 각 초음파 송신기의 송신 시점을 순차화하는 방법으로 혼신을 막고, 또한 초음파 송, 수신기를 동기화할 수 있도록 하였다.

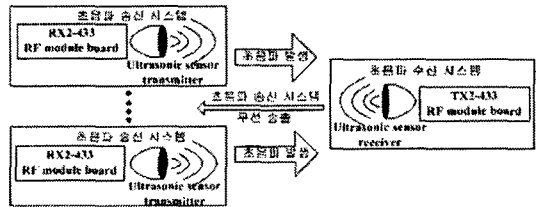


그림 3. 전체적인 시스템 구성

먼저 초음파 수신 시스템은 그림 4에서 보인 바와 같이 무선 송신부와 초음파 센서 수신부로 구성되어 있고 초음파 송신 시스템은 그림 5에서 처럼 무선 수신부와 초음파 송신부로 구성되어 있다.

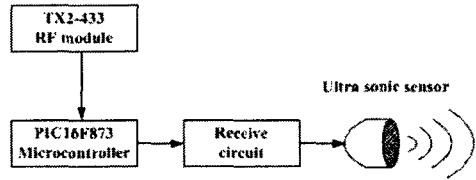


그림 4. 초음파 수신 시스템

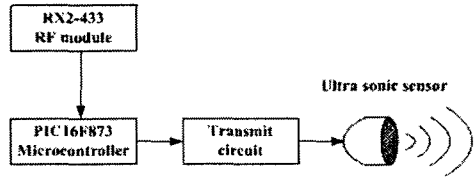


그림 5. 초음파 송신 시스템

무선 송신부에선 초음파 센서 수신부를 100msec마다 순차적으로 호출하게 되는데, 이는 그림 6과 같은 데이터 패킷 형식으로 프로토콜을 정의하여 데이터를 송신하게 된다. 또한 초음파 송신 시스템의 무선 수신부에서는 무선으로 보내진 데이터를 해석하여 자신의 고유 번호와 일치하면 자신의 초음파 센서에서 송신파를 발생하게 된다. 송신과 발생 시점은 초음파 송신 시스템으로 무선으로 수신된 데이터를 해석하는데 지연되는 시간을 고려해야 하지만 해석하는데 지연되는 시간은 무시할 정도로 매우 미비한 시간이므로 한 데이터 패킷 송신이 완료된 시점부터 초음파 제공 시간을 계산한다.

Preamble bytes(6byte)	Preamble End byte	패킷의 시작	data byte
0x55	0xFF	0xAA	ID byte ~ ID byte

그림 6. 데이터 패킷형식

4. 실험

본 논문에서는 간단한 실험 모델을 위하여 영국 Robot Electronics사의 SRF04 초음파 센서를 사용하였다. SRF04 초음파 센서는 최대 감지 거리 3m, 동작 주파수 40kHz이며 0°C ~ 40°C에서 동작한다. 일반적으로 초음파의 전송 속도는 주변 매질의 온도에 영향을 받는다. 그러므로 정확한 데이터 추출을 위해서는 주변 공기 온도의 영향을 반영해야 한다. 다음 그림 7은 초음파 송, 수신 센서의 데이터 조정을 위하여 현 실험 조건에서 거리에 따른 초음파 체공 시간 데이터를 측정 한 결과이다. 측정 결과에 대한 최소 제곱 오차법에 따른 직선식은 다음과 같다.

$$r = 2.95358 \cdot T + 17.30317 \quad (6)$$

여기서 $r(mm)$ 은 초음파 송, 수신 센서 사이의 거리를 나타내며, $T(\mu sec)$ 은 초음파 체공 시간을 나타낸다. 이로부터 현 실험 조건에서 초음파의 전파 속도는 338.57m/sec임을 알 수 있다.

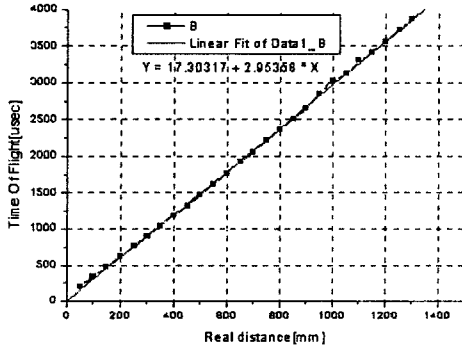


그림 7. 실거리에 대한 TOF 그래프

본 전역 초음파 센서 시스템을 통한 자기 위치 추정 실험을 위해 한 변이 1500mm인 정육면체의 프레임 앵글로 구조를 제작 하였고, 바닥면을 x, y축으로 그리고 x-y평면과 수직인 방향을 z축으로 설정하였다.

초음파 송신 센서를 $P_1(mm) = [50, 50, 1200]$, $P_2(mm) = [1450, 50, 1200]$, $P_3(mm) = [1450, 1450, 1200]$, $P_4(mm) = [50, 1450, 1200]$ 의 위치에 설치하였다.

다음 그림 8은 $R(mm) = [1050, 575]$ 의 위치에서 구한 자기 위치 추정 실험 결과이다.

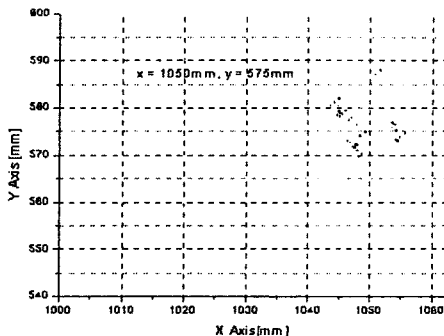


그림 8. $R(mm) = [1050, 575]$ 에서의 실험결과

두 점 $R_1(mm) = [1050, 575]$, $R_2(mm) = [670, 540]$ 에서의 측정 데이터 평균과 표준편차는 다음과 같다.

표 1. 측정 데이터 평균 및 표준편차

	실좌표 $R_1[1050, 575]$	실좌표 $R_2[670, 540]$
m_x	1048.8338	675.0714
σ_x	3.5909	2.16563
m_y	579.6824	538.6002
σ_y	4.5286	2.70045

(측정 횟수: 50회, 단위 : mm)

실험 결과 로봇의 위치와 5mm이내의 오차를 보임을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 간단한 무선 통신을 통해 초음파 센서 송, 수신부를 시간영역에서 동기화시키는 문제를 해결함으로써 초음파 센서 송, 수신부를 분리 시켜 독립적으로 동작할 수 있도록 하였다. 이로써 실내 공간내에서 움직이는 이동 로봇의 절대 위치를 추정할 수 있었다. 또한 여러 개의 초음파 센서를 사용할 때 발생할 수 있는 혼신을 방지하기 위하여 각각의 센서들을 미리 계획된 순서에 따라 동작시켜 해결하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] R.A. Jarvis, "A perspective on range finding techniques for computer vision", *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol.PAMI-5, no.2, pp.122-139, 1983
- [2] S.Singh and P. Keller, "Obstacle detection for high speed autonomous navigation", *Proc.IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pp.2798-2805, 1991
- [3] A.M. Flynn, "Combining sonar and infrared sensors for mobile robot navigation", *Int. J. Robotics Research*, vol.7, no.6, 1988
- [4] Roman Kuc and M.W.Siegel, "Physically based simulation model for acoustic sensor robot navigation", *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol.PAMI-9, no.6, pp.766-777, 1987
- [5] J.Leonard and Durrant-Whyte, *Directed SONAR sensing for mobile robot navigation*, Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [6] 범희락, 조형석, "Mobile Robot Map Making using Ultrasonic Sensor Array", *한국자동제어학술회의논문집*, pp.121-122, 1993