

초음파 센서와 격자 지도 생성을 통한 자율 이동 로봇의 자기 위치 추정

김지민, 정태원  
충남대학교 전기공학과

Self Localization of Mobile Robot Using Sonar Sensor and Grid Map Making

Ji-Min Kim, Tae-Won Jeong  
Department of Electrical Engineering, Chungnam National University

**Abstract** - 자율이동로봇에 있어서 기본적인면서도 가장 중요한 문제 중의 하나는 자신의 위치를 추정하는 것이다. 만약 로봇 자신이 어디에 있는지 알지 못한다면 효과적으로 로봇의 동작을 계획할 수도 없을 뿐 아니라, 목표물을 찾을 수도 없으며 목표에 도달하는 데 있어서도 상당한 문제가 생기게 된다. 이미 로봇의 자기 위치 추정 문제에 대해서는 GPS, 시각, 레이저, 초음파 센서 등을 이용한 많은 기술들이 개발된 상태이다. 하지만 각각의 방법들에 있어서 정확성의 향상은 하드웨어 비용의 증가와 추가 전력을 고려해야 하는 등의 문제를 가져오게 되었다. 문제의 핵심은 저렴하면서도 손쉽고 정확한 값을 갖는 알고리즘을 개발하는 데 있다고 할 수 있는 것이다. 본 논문에서는 초음파 센서를 이용하여 이러한 문제에 대한 만족할 만한 답을 얻고자 한다.

우며 단지 센서는 거리 정보만 제공함을 알 수 있다. 초음파 센서의 부정확성을 보정하고 장애물 등의 위치 정보를 얻기 위하여 격자지도를 이용할 수 있다. 뿐만 아니라 초음파 센서의 반사각에 따른 특성, 대기의 영향, 외란에 대한 민감성 등을 고려해야 하는 제약을 고려하여 위치 추정 문제에 응용하는 것이 필요하다.

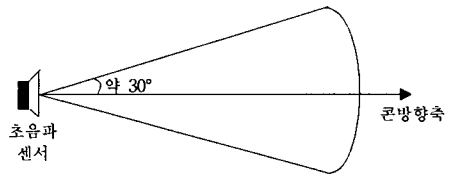


그림 1. 초음파 센서의 콘 형태 특성

1. 서 론

최근 전세계적으로 로봇 분야에서 과거 사람의 반복작업이나 힘든 작업을 대신해 주던 산업용 로봇 대신 대중의 일상생활에서 쉽게 활용할 수 있는 가정용 로봇, 청소 로봇, 재활 로봇, 수술 로봇 등 서비스 로봇에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는 추세이다. 이러한 서비스 로봇의 추적을 이루고 있는 바퀴를 이용하는 자율 이동 로봇에 대한 관심 역시 고조되고 있다. 하지만 이러한 이동 로봇의 활용도를 극대화하기 위해서는 무엇보다도 먼저 로봇의 정확한 위치를 추정하는 문제가 해결되어야 한다. 정확한 위치 제어를 위해서 산업용 로봇처럼 일정 궤도를 따라 움직이게 하는 방법도 고려할 수 있지만 일상생활에서의 배달, 청소 등 가사활동을 돕는 서비스 로봇에게 있어서는 궤도를 설치하는 것이 불가능하므로 자율적으로 위치를 판단하고 경로를 계획하는 기능이 내장되어야 한다.

로봇의 정확한 위치 정보들을 얻기 위해서 GPS나 시각 센서, 초음파 센서를 이용한 많은 기술들이 이미 활용되고 있다. 하지만 각각의 센서들은 조명의 변화나 비용, 인터페이스 문제, 반응 속도 등과 관련해 단점을 가지고 있기 때문에 성공적이고 효과적인 위치 추정을 위해서는 가급적 대중적이고 저렴한 센서를 사용하여 환경에 대한 정확하고도 많은 정보를 얻어내는 것이 필요하다. 부가적으로 로봇의 위치 파악을 위해서 로봇 주변의 환경에 대한 지도를 작성하고 장애물이나 주변 환경 정보를 얻는 것도 요구된다.

본 논문에서는 저렴하면서도 비교적 간단한 인터페이스를 가진 대중적인 초음파 센서를 이용하여 위치 추정 알고리즘을 제시하고자 한다.

2. 초음파 센서를 이용한 환경 인식

2.1 초음파 센서의 특성을 고려한 지도 작성

초음파 센서는 특성상 그림 1과 같이 콘 형태(conic form)의 빔을 송수신한다. 이와 같은 특성으로 인해 초음파 센서로부터 직접 정확한 위치 정보를 얻기는 어려

2.1.1 격자지도

초음파 센서에 의한 지도작성 방법으로는 격자 지도(Grid Map)와 토폴로지컬 지도(Topological Map)를 이용한 방법이 있다. 그림 2에 나타난 격자지도는 로봇의 주변 환경을 일정한 크기의 격자로 나타내어 표현하는 방법인데 일반적으로 각 격자 내에 장애물이 존재하는지 여부로 주변 환경 정보를 나타낸다. 격자지도 방법은 비교적 환경의 기하학적 정보를 정확하게 표현할 수 있는 장점이 있지만 주변 환경의 모든 장애물 정보를 담기 위해서는 많은 메모리가 필요하고, 환경이 가변적이라면 지도의 정확성이 떨어지는 단점도 있다. 좀더 정확한 장애물 위치 정보를 알기 위해서 격자 내에 장애물이 존재할 확률 여부를 환경정보를 나타낸다. 이러한 격자 지도는 확률성 격자를 이용한 비교적 정확한 모델링을 통해 센서의 불확실성을 보정하는 역할을 한다. 그림 3과 같이 카네기 멜론 대학에서는 확률값을 수치화하여 격자 내의 정보들을 표현하는 방법을 제시하였다.[3]

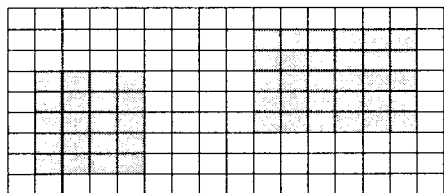


그림 2. 격자지도(Grid Map)

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	4	2	2	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	10	11	10	1	0	0	0	0	0
0	1	3	3	2	0	0	0	0	2	8	24	20	7	2	0	0	0	0	0
0	3	10	13	1	0	0	0	0	3	7	8	10	9	3	0	0	0	0	0
0	2	17	24	5	0	0	0	0	2	2	4	3	1	1	0	0	0	0	0
0	1	8	16	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

그림 3. Certainty Grid 방법

### 2.1.2 토폴로지컬 지도

이에 비해 그림 4에 소개된 토폴로지컬 지도는 몇 개의 노드와 그것의 연결에 따라 간단하게 표현될 수 있다. 절대적인 기준좌표를 도입하지 않고서도 주변 환경의 특징적인 관계를 표현할 수 있는 이점을 가지고 있다. 하지만 초음파 센서에서는 측정 거리 및 공간의 크기가 늘어날수록 센서의 오차가 커져서 대규모 공간의 지도 작성은 힘들게 된다. 또 복잡한 형상의 장애물이나 위치를 표시하는 데에도 적용이 어려울 수가 있다.

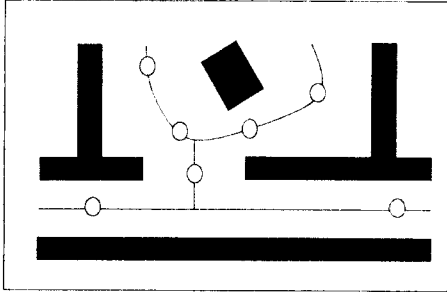


그림 4. 토폴로지컬 지도작성법

### 2.2 초음파 센서를 이용한 자기 위치 추정 시스템

다음의 그림 5는 본 논문에서 제안하고자 하는 위치 추정 시스템이다. 로봇 위에서 본 그림과 앞에서 본 그림을 나타내었다. 초음파와 트랜스듀서는 로봇 상단에 위치되어있으며 직선 주행시에도 회전할 수 있다고 가정한다. 회전 각도는 전방 환경 정보를 얻을 수 있도록 초음파 센서의 지향성을 고려하여 90°의 회전 각도를 가지도록 한다. 물론 회전 속도 및 로봇의 진행 속도는 송신한 신호를 수신하고 처리하는 것을 전제로 결정한다.

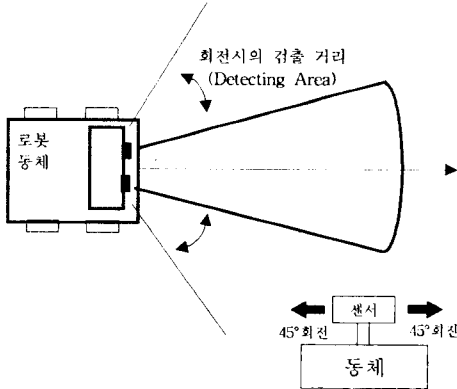


그림 5. 초음파 센서를 이용한 자기 위치 추정 시스템

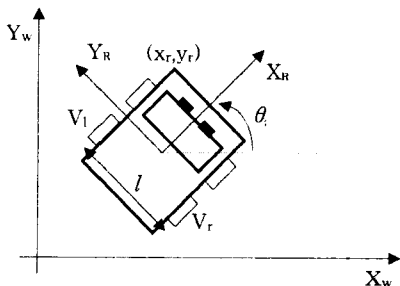


그림 6. 이동 로봇 모델

#### 2.2.1 위치 추정의 불확실성

이동 로봇이 정확한 초기 위치를 알고 있어도 주행시 발생하는 미끄러짐과 센서 측정 오차 등이 시간이 경과

할수록 증가하게 된다. 이러한 현상을 모델링하기 위해서 2차원 평면상에 그림 6과 같이 이동로봇의 상태를 위치와 방향을 가지는 벡터  $[x_r, y_r, \theta]^T$ 로 표현한다. 이동로봇이 2구동륜 타입이라면 샘플링 시간당 작은 위치변화와 방향변화는 [4]에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$X_r(k+1) = X_r(k) + T \frac{u_r(k) + u_l(k)}{2} \cos \theta_r(k)$$

$$Y_r(k+1) = Y_r(k) + T \frac{u_r(k) + u_l(k)}{2} \sin \theta_r(k)$$

$$\theta_r(k+1) = \theta_r(k) + T \frac{u_r(k) - u_l(k)}{l}$$

여기서,  $u_r$ 과  $u_l$ 은 오른쪽, 왼쪽 바퀴의 선형 속도이고,  $l$ 은 두 바퀴 사이의 거리이며,  $T$ 는 샘플링 시간이다.

$u_r$ 과  $u_l$ 은 이동로봇에 부착된 엔코더 변위로 측정되는 좌우 모터의 선형속도 값을 읽어 들여 계산되는 값인데, 이것은 이동로봇 상태 벡터의 추정 오차를 유발하는 주된 원인이 된다. 로봇의 위치  $x$ 를 상태 변수로,  $u_r$ 과  $u_l$ 을 시스템 입력으로 상태 방정식 형태로 표현하면 아래와 같이 된다.

$$\dot{x}(k+1) = f(x(k), u(k) + v(k)) + u(k)$$

여기서,

$$x(k) = [x_r(k), y_r(k), \theta_r(k)]^T, u(k) = [u_r(k), u_l(k)]^T$$

$v(k)$ 는 바퀴 속도오차,  $u(k)$ 는 그 외의 오차이다.

따라서, 로봇의 위치 추정치와 오차의 공분산 행렬은 다음과 같이 주어지게 된다.[4]

$$\hat{x}(k+1) = \hat{x}(k), u(k)$$

$$P(k+1) = A(k)P(k)A(k)^T + F(k)V(k)F(k)^T + W(k)$$

여기서,

$$A(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -T \frac{u_r(k) + u_l(k)}{2} \sin \hat{\theta}_r(k) \\ 0 & 1 & T \frac{u_r(k) + u_l(k)}{2} \cos \hat{\theta}_r(k) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$F(k) = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} T \cos \hat{\theta}_r(k) & \frac{1}{2} T \cos \hat{\theta}_r(k) \\ \frac{1}{2} T \sin \hat{\theta}_r(k) & \frac{1}{2} T \sin \hat{\theta}_r(k) \\ T & -T \end{bmatrix}$$

이러한 오차 공분산 식은 로봇 위치 추정의 불확실성은 말해준다. 공분산 행렬 원소들을 직접 분석하기보다는 불확실성 타원(Uncertainty ellipsoid)을 이용하면 불확실 정도를 기하학적으로 관찰할 수 있다.[5] 그림 7에서 로봇이 이동할수록 오차가 누적되며 불확실성이 커지는 것을 볼 수 있다.

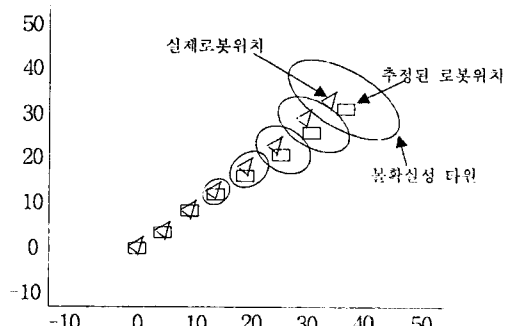


그림 7. 위치 추정의 불확실성 선과

