

가상의 초음파 영상기법을 이용한 이동물체 추적 알고리즘 (Tracking of a Moving Target Using a Virtual Ultrasonic Image Technique)

한문용, 송필재, 한헌수

승실대학교 공과대학 정보통신전자공학부
156-743 서울시 동작구 상도5동 1-1
(Tel & Fax: 02-820-0709
E-mail: hahn@logos.soongsil.ac.kr)

요 약

이동로봇이 움직이는 물체를 추적하는 기능을 갖도록 하기 위해서는 움직이는 물체의 존재를 판단하고 위치 및 속도벡터를 측정해야 한다. 본 논문은 단시간에 이동 물체의 위치와 속도벡터 추정하여 실시간 추적이 가능하도록 하기 위해 초음파센서를 이용한 가상의 초음파 영상 해석방법을 제안한다. 초음파 영상은 초음파센서의 매회 측정값을 누적하여 구성하며 거리측과 시간축을 갖는 2차원 영상으로 표현된다. 영상에서 측정된 물체가 만드는 선분의 기울기에 따라 이동하는 물체와 정지한 물체를 분리하고 속도를 측정한다. 제안된 방법은 시플레이션을 통해 타당성을 입증하였다.

1. 서 론

자율이동로봇은 인간의 간섭 없이 미지의 환경을 다양한 센서를 이용하여 인식하며 스스로의 경로를 판단하고 주어진 작업을 수행하는 기능을 갖는다. 이러한 기능을 갖는 이동로봇은 산업분야뿐 아니라 폭발물 탐지와 같은 군사분야 다양한 분야에 사용되고 있다. 이동로봇에 관한 기존의 연구는 미지의 환경을 인식하여 작업환경지도를 생성[1, 2]하거나 주어진 환경에서 충돌 없이 이동하는 계적 알고리즘[3, 4]개발에 중점적이었다. 하지만 보다 다양한 환경에 이동로봇이 적용하기 위해서는 고정된 환경의 인식뿐 아니라 이동하는 물체의 인식과 추적기법이 필요하다.

일반적으로 이동물체를 감지하기 위해서는 물체의 흐름을 통해서 얻어야 한다. 카메라를 이용한 이동물체 점지 방법으로는 optical flow방법[5]이 있다. 이 방법은 현재의 카메라 영상과 전 영상의 변화를 벡터로 표현하여 연속도와 이동방향을 결정하는 방법이다. 이 방법은 현재 영상의 점과 전 영상의 점 사이에 matching이 필요한데

이 과정에서 계산량이 많아지고 오차가 발생하게 된다. 또 다른 방법으로 2차원 영상의 차원 확대를 통한 이동물체를 감지하는 방법[6]이 있다. 이 방법은 영상을 FIFO에 저장하여 영상 데이터 처리를 시간축으로 확장시키는 방법이다. 이 방법은 이동물체를 주변 환경보다 밝은 하나의 점으로 한정하였기 때문에 이동로봇에 적용하기가 어렵다. 이렇게 카메라를 사용한 방법들은 초음파센서를 사용할 때보다 측정 범위가 넓다는 장점이 있지만 조명에 대한 민감성과 실제로 방법을 적용하기 위한 전처리 과정이 많아 처리속도를 떨어뜨리는 요인이 된다. 하지만 초음파센서를 사용하면 초음파센서에서 얻는 데이터는 거리정보 뿐이므로 카메라를 사용할 때보다 데이터 처리과정이 단순하다는 장점이 있지만 물체의 위치를 알기 위해서는 최소한 두개의 센서가 필요하고 주위 환경에 대한 인식을 위해서는 보다 많은 센서가 필요하다[1, 2]. 본 논문에서는 시간차원으로의 확대 해석 방법을 초음파센서에 적용하여 두개의 센서만으로 이동물체를 인식하고 추적할수 있는 방법을 제시한다.

본 논문에서 이동물체 추적을 위하여 구현한 센서 시스템은 펜 기능을 가진 헤드에 두개의 초음파센서를 장착한 초음파센서 시스템이다. 이 시스템은 전체적인 환경정보를 얻기가 어렵다는 단점이 있지만 센서수를 최소한으로 줄임으로서 작업 수행 속도를 높일 수가 있고 헤드를 움직임으로서 이동하는 물체를 보다 자세히 관찰할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서 제안하는 이동물체 감지 기법은 초음파센서에서 얻은 정보를 시간축과 거리축을 갖는 가상의 2차원 영상으로 형성하여 감지된 글체들의 속도를 구함으로써 이동물체와 장애물을 구분하는 방법이다. 이 방법은 영상에서 라인의 기울기가 곧 속도가 되므로 물체의 속도계산이 쉽고 라인의 흐름으로 다음 위치를 예측할 수가 있어 초음파센서의 특성에서 오는 취약한 부분을 보완할 수가 있다. 또 센서에서 얻은 데이터를 FIFO에 저장하여 계산하기

때문에 매 샘플링 시간마다 물체를 검지할 수 있어 실시간으로 작업을 수행할 수가 있다.

2. 이동 물체 검지 및 추적

본 논문에서 구현한 초음파센서 시스템은 이동물체를 찾아내고 추적하는 작업에 중점을 두어 설계되었다. 이동 로봇의 앞부분에 펜 기능을 갖는 헤드를 설치하고 초음파 센서를 좌우로 하나씩 장착하였다. 각각의 초음파 센서에서 들어온 신호를 FIFO에 저장하여 검지된 물체 중 이동물체를 뽑아내어 그 물체의 위치를 계산한다. 그리고 초음파 헤드를 이동물체를 향하게 하여 추적한다.

2.1 이동물체 검지

초음파센서에 들어온 신호를 샘플링 시간을 τ 로 하여 n 번 샘플링 한다. 이때 저장되는 데이터는 물체의 유무를 표현하는 2진값이다. 이 데이터에서 물체까지의 거리는 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$d = \frac{c}{2} \tau k \quad (k=1,2,3,\dots,n) \quad (1)$$

물체가 여러 개 존재할 경우에는 k 값도 여러 개 생기게 된다. 이 경우 어느 물체가 장애물이고 어느 물체가 이동하는 물체인지는 이 데이터만으로는 알 수가 없다. 이것을 해결하기 위해 데이터를 크기가 $n \times m$ 인 FIFO에 σ 의 샘플링으로 저장한다. 저장된 내용을 보면 그림1과 같은 형태를 갖고 있다. 즉 이 FIFO가 시간축과 거리축을 갖는 가상의 2차원 영상이 되는 것이다. 이 영상에서 각각의 라인이 물체의 속도와 거리 정보를 나타내고 있다. 이 정보를 이용하면 이동하는 물체를 검지할 수 있다.



그림 1. 가상의 초음파 영상

그림1에서 물체의 위치를 표현하는 점들로 구성된 라인의 기울기를 계산하면 식(2)와 같이 표현된다.

$$a = \frac{\Delta d}{\Delta t} \quad (2)$$

여기서 Δd 는 거리축 변화율, Δt 는 시간축 변화율을 각각 픽셀 단위로 계산한 것이다. 이것을 실제 거리값과 시간값으로 변환하여 속도를 구하면 식(3)과 같다.

$$v = \frac{c}{2} \frac{r \Delta d}{\sigma \Delta t} \quad (3)$$

이동로봇이 일정한 속도 v_m 를 가지고 이동을 할 경우 이 속도는 이동로봇에 대한 상대 속도가 된다. 그러므로 물체의 실제 속도 v_0 는 식(4)을 이용하여 계산된다.

$$v_0 = v + v_m \quad (4)$$

이렇게 하여 실제 속도 v_0 가 0인 것은 장애물이고 0이 아닌 것은 이동물체가 되는 것이다.

2.2 이동물체의 위치 및 방향 측정

초음파 영상으로부터 이동물체를 검지한 후 이 물체를 추적하기 위해서는 물체의 위치를 측정하여야 한다. 이동물체는 일정한 크기를 갖는다. 본 논문에서는 이동물체를 실린더로 가정하여 계산하였다.

실린더의 경우 거리가 멀어지게 되면 물체를 점으로 근사화 할 수가 있다. 그러므로 물체의 위치는 그림2와 같이 삼각측량법에 의해 구한다[7]. 좌, 우 각각의 센서에서 얻은 거리 값 l_1 과 l_2 는 중심으로부터 센서까지의 거리 D 와 실린더의 위치 (x, y) 의 함수로 표현된다.

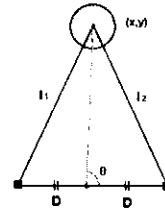


그림 2. 실린더 위치 측정

$$l_1^2 = (D+x)^2 + y^2 \quad (5)$$

$$l_2^2 = (D-x)^2 + y^2 \quad (6)$$

위 식을 정리하면 물체의 좌표 x, y 와 각도 θ 는 다음의 식들에 의해 결정된다.

$$x = \frac{l_1^2 - l_2^2}{4D} \quad (7)$$

$$y = \sqrt{l_1^2 - (D+x)^2} \quad (8)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \quad (9)$$

이때 사용하는 센서 데이터는 이동물체로 구분된 각 센서의 라인중 맨 마지막 열의 거리값이 된다.

2.3 이동물체 추적 기법

이동물체를 추적하기 위해서 가장 중요한 것이 물체를 측정 범위 안에 있도록 유지를 시켜야 하는 것이다. 초음파센서는 데이터의 신뢰도를 위해 30° ~ 40° 정도의 지향각과 약 3m 정도의 측정거리를 가지게 된다. 그러므로 측정 범위는 반지름이 3m인 부채꼴을 형성한다. 물체가 이 범위 안에 있게 하기 위해서는 물체의 방향을 0°로 만들어야 한다. 그래서 식(9)에서 얻은 각도와 헤드의 수직방향과의 차이만큼 초음파 헤드를 움직여야 한다. 초음파 헤드의 현재 각도를 $\Omega(k)$ 라 할 때 다음 헤드의 위치는

$$\Omega(k+1) = \Omega(k) + (90 - \theta(k)) \quad (10)$$

가 된다.

식(7), (8)에서 구한 이동물체의 위치는 초음파 헤드를 기준으로 한 위치이기 때문에 실제 이동로봇을 기준으로 한 위치를 계산하기 위해서는 초음파 헤드의 각도 $\Omega(k)$ 만큼 회전하여 구한다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\Omega & -\sin\Omega \\ \sin\Omega & \cos\Omega \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (11)$$

식(11)에서 X, Y는 이동로봇을 기준으로 한 이동물체의 좌표값이다. 이 좌표값 X, Y로 로봇을 이동하여 추적하는 것이다.

2.4 거리 데이터 예측

초음파는 거울반사 특성을 갖고 있기 때문에 측정 범위 안에 물체가 존재하여도 측정하지 못하는 경우가 발생한다. 이런 경우 센서값을 전에 얻었던 데이터를 이용하여 현재 얻을 수 있는 센서값을 예측한다.

초음파센서에서 얻은 거리 데이터를 일정한 크기의 FIFO에 넣는다. 이 거리값들의 흐름을 통해 다음 거리값을 예측하는데 방법은 각 거리값들의 편차의 평균값을 마지막 거리값과 합하여 얻는 방법을 사용한다. 식(12)에 거리값 예측을 표현하였다.

$$d^* = d_n + \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n-1} \Delta d_k \quad (12)$$

식(12)에서 n은 FIFO의 크기를 나타내고, d^* 는 예측한 거리값이다.

식(12)에서 얻은 예측값을 가지고 현재 거리값을 보정하는데 현재 거리값과 예측한 값의 차이가 작으면 현재 값을 사용하고 차이가 커지면 센서신호를 받지 못한 것으로 판단하여 예측한 값을 사용한다.

$$d = \begin{cases} d_m & |d_m - d^*| < \epsilon \\ d^* & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

식(13)에서 d_m 은 측정된 값이고 ϵ 은 허용 오차값이다.

3. 전체적인 시스템 구성

이동물체 추적 방법의 전체적 흐름은 그림3과 같다. 우선 본 논문에서 제안한 가상의 초음파 영상을 이용하여 이동하는 물체와 장애물을 구분한 후 FIFO에 저장된 거리값으로 현재 거리값을 예측한다. 이 예측한 값과 실제 거리값을 비교하여 값 차이가 클 경우 예측한 값을 작을 경우 실제 값을 FIFO에 저장한다. 그리고 이 값으로부터 물체의 위치를 계산, 로봇을 이동하게 된다. 또 예측한 값으로 위치추정을 할 경우 에러 값을 증가시켜 한계값 이상인 경우에는 다시 처음으로 돌아가 이동물체를 구분한다. 이것은 오차가 누적되면 데이터를 신뢰할 수 없기 때문이다.

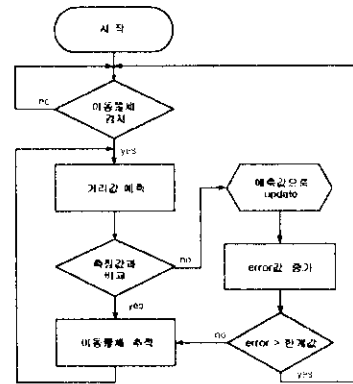


그림 3. 시스템의 전체적 흐름도

4. 실험

본 논문에서 제안한 이동물체 감지 및 추적 기법을 시뮬레이션을 통해 구현하였다. 이동로봇이 작업하는 환경은 다면체와 실린더로 한정하였고, 작업공간은 12m × 8m의 크기로 설정하였다. 이동물체는 60~90cm/s의 속도를 갖는 지름이 40cm인 실린더로, 이동로봇은 크기가 25cm × 30cm이고 바퀴의 지름은 8cm인 직육면체로 설정하였고 시뮬레이션 내에서는 이동물체는 40cm의 지름을 갖는 원으로 이동로봇은 30cm의 지름을 갖는 원으로 표현한다. 시뮬레이션에서 초음파센서에서 얻는 데이터는 초음파센서의 물리적 특성을 모델링하여 얻었고[8], 주위 환경은 solid modelling 기법을 이용하여 표현하였다[9]. 모델링한 초음파센서는 40°의 지향각과 3m의 측정 범위를 갖는다. 그리고 이동로봇은 100ms마다 샘플링하여 이동할 경로를 결정하게 한다.

이동로봇이 주행하다보면 장애물이 이동물체와 가까울 경우에는 충돌할 경우가 발생하게 된다. 이러한 경우 장애물을 회피하기 위해 이동로봇의 회전 방향에 있는

센서에서 이동물체까지의 거리와 장애물까지의 거리가 가까울 경우 조향각도를 반으로 줄이는 방법을 사용하였다.

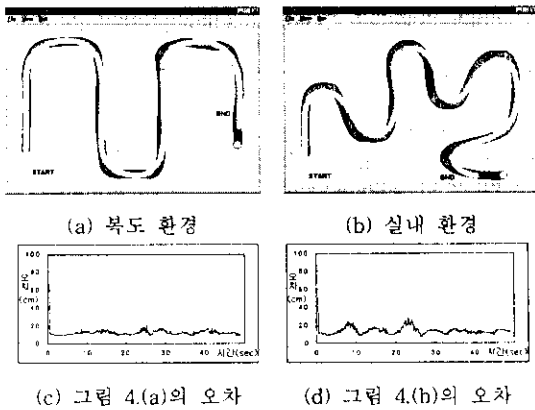


그림 4. 시뮬레이션 결과

이동로봇이 주행환경은 그림 4와 같고 이동물체는 임의로 주어진 궤적을 따라 이동하게 하였다. 그리고 각 작업마다 측정된 거리오차를 그림(c)와 그림(d)에서 그래프로 나타내었다. 그림(a)는 작업환경을 비교적 단순화하여 실험한 결과이다. 장애물들은 형태가 직육면체로 한정하였고, 장애물 사이의 폭은 1m이다. 이러한 환경에서 이동물체의 궤적이 회전은 적고 직진 주행이 많아 위치 측정을 하는데 있어서 오차가 적었다. 그림(b)는 그림(a)보다 좀더 복잡한 실내 환경 내에서 실험한 결과이다. 이 환경은 직육면체 뿐 아니라 실린더까지 포함되어 있고 이동물체의 움직임이 보다 활발하다. 이 결과 추적은 가능하였지만 측정 오차가 그림(a)의 결과보다는 큰 것을 알 수 있다. 여기서 계산된 오차값은 실제 이동물체의 좌표와 초음파센서로부터 계산된 좌표의 거리차를 말하고 오차의 원인은 이동물체를 점으로 단순화하는 데서 발생하였다. 실린더의 위치를 보다 정확히 측정하기 위해서는 실린더의 반지름을 고려해야 하는데 실제로는 그렇지 못하기 때문이다.

5. 결 론

초음파센서로부터 얻어진 정보를 이용하여 가상의 초음파 영상을 생성하고 이 영상으로부터 이동하는 물체와 정지한 물체를 분리해 냈다. 또 이동하는 물체의 방향 및 속도를 구할 수가 있었다. 그리고 실험을 통해 이동물체를 장애물과의 혼동 없이 추적할 수 있는 것을 보였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 계산식이 간단하

여 실제 이동로봇에 구현하기가 용이하다. 하지만 이동로봇이 장애물을 회피하기 위해서는 이동물체를 검출하기 위해 사용하는 센서의외에 추가적인 센서가 필요하다. 따라서 추후의 연구방향은 여러 개의 이동하는 물체 중 원하는 물체만을 분리해내는 작업과 장애물 회피를 위한 센서 시스템의 보완이 필요하다. 이 작업을 통해서 보다 적은 제한조건으로 실제 복잡한 환경에서의 이동로봇을 주행할 수 있도록 한다.

참고 문헌

- [1] L. Korba, "Variable Aperture Sonar for Mobile Robots", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3136-3141, 1994
- [2] J. Leonard, H. Durrant-Whyte, "Dynamic Map Building for an Autonomous Mobile Robot", IEEE International Journal of Robotics Research, vol. 11, No. 4, pp. 286-298, 1992
- [3] Y. Koren, J. Borenstein, "The Vector Field Histogram - Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots", IEEE Trans. Robotics and Automation, vol. 7, No. 3, pp. 278-288, 1991.
- [4] C. Gourley, M. Trivedi, "Sensor Based Obstacle Avoidance and Mapping for Fast Mobile Robots", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1306-1311, 1997
- [5] H. Ahang, Y. Gong, D. Patterson, A. Kankanhalli, "Moving Object Detection, Tracking and Recognition", International Conference on Automation, Robotics and Computer Vision, pp. 1990-1994, 1994
- [6] G. Wang, R. Inigo, "Detection and Tracking of Single-pixel Targets Based on Trajectory Continuity", Image and Vision Computing, pp. 641-655, 1993
- [7] A. Sabatini, O. Benedetto, "Towards a Robust Methodology for Mobile Robots Localisation Using Sonar", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3142-3147, 1994
- [8] R. Kuc, "A Physically Based Navigation Strategy for Sonar-Guided Vehicles", Journal of Robotics Research, vol.10 No 2, pp. 75-87 1991.
- [9] F. Tsuzuki, K. Sasaki, "Ultrasonic Echo Simulator for Mobile Robots", Proc. of the IEEE/RSJ International Conf. on Intelligent Robot and Systems, pp. 979-985, 1993.