

격자형 환경 모델을 이용한 장애물의 의도 추론

김성훈, 이희영, 변중남
한국과학기술원 전기및전자공학과
대전광역시 유성구 구성동 373-1

Obstacle's Intention Inference using the Grid-type Map

Sung-Hun Kim, Heyoung Lee, and Zeungnam Bien
Dept. of Electrical Engineering, KAIST
373-1 Kusung-Dong, Yusung-Gu, Taejon, 305-701, Korea
E-mail : sunghun@ee.kaist.ac.kr, leehy@ctrsys.kaist.ac.kr

Abstract

In this paper, we propose an inference method for understanding intention of obstacle for collision avoidance using the grid-type map. In order to represent the environment using ultrasonic sensors, the grid-type map is first constructed. Then we detect the obstacle and infer the intention for collision avoidance using the CLA(Centroid of Largest Area) point of the grid-type map. To verify the proposed method, some experiments are performed.

I. 서론

이동 로봇은 자동화 공장에서의 물류운반, 미개척 지역 탐색, 위험한 환경에서의 구조 임무 등의 많은 응용분야에서 폭 넓게 사용되고 있다. 그런데, 이제까지의 이동 로봇에 대한 연구는 자동화에 초점을 두어 빠르고 정확하게 움직일 수 있는 로봇을 만드는 연구가 대부분이었다. 하지만 앞으로 다가올 로봇과 인간이 공생하게 될 시대에는 기존의 정밀한 로봇보다는 지능적인 로봇이 더 필요하게 될 것이다. 그런데, 지능적인 로봇이 되기 위해 필요한 기능 중의 하나이면서도 아직까지 연구가 미약한 부분이 인간의 말과 행동을 통해 인간의 의도를 추론하는 부분이다[1][2][3]. 일반적으로 현재의 로봇은 외부 센서를 통해 인간보다

더 정량적인 데이터를 획득할 수 있지만 인간보다 더 지능적이라고 말하지 않는다. 그 이유는, 인간은 정성적인 데이터를 이용하여 상대방의 의도를 추론한 후 미래의 상황을 예측할 수 있지만 로봇은 정량적인 데이터를 이용한다 하더라도 현재의 데이터만을 이용하므로 미래에 일어날 상황을 예측하지 못하기 때문이다.

본 논문에서는 여러 가지 의도 중에서 이동 로봇이 주행할 때 필요한 장애물의 피할 의도를 추론하고자 한다. 이는 일정 거리 내에 위치한 모든 장애물을 회피하는 기존의 방법[7]을 개선하여, 장애물이 피할 의도를 가지고 있다면 먼저 회피하지 않고 피할 의도가 없는 경우에만 회피하여 이동 로봇이 지능적으로 주행하기 위함이다. 우선 초음파 센서에서 나온 거리 정보를 이용하여 주위 환경을 나타내기 위한 격자형 환경 모델을 구성하고, 이를 이용하여 장애물의 의도 추론 방법을 제안한다.

II. 격자형 환경 모델 구성

초음파 센서의 거리 정보를 사용하여 주위 환경을 정확하게 나타내기 위해서는 초음파 센서의 거리 정보에 대한 불확실성과 초음파 센서의 특성을 고려해서 환경 모델을 구성해야 한다[4][6]. 본 논문에서는 애매한 정보를 다루기 위해 퍼지 논리를 이용해서 격자형 환경 모델을 구성한다[5].

초음파 센서의 거리 정보에 대한 불확실성을 기술하

기 위해서 '장애물이 있다'의 퍼지 집합과 '장애물이 없다'의 퍼지 집합을 식(1)과 식(2)로 나타낸다.

$$g_a(\rho) = \begin{cases} 1 - \left| \frac{\rho - r}{\Delta \rho} \right|, & |\rho - r| < \Delta \rho \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$g_b(\rho) = \begin{cases} 1, & \rho \leq r - \Delta \rho \\ \frac{r - \rho}{\Delta \rho}, & |\rho - r| < \Delta \rho \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

r : 초음파 센서에서 각 격자까지의 거리
 ρ : 초음파 센서로부터 측정된 거리
 $\Delta \rho$: 초음파 센서로부터 측정된 거리의 최대 오차

그리고, 초음파 센서의 거리값이 크게 나올수록 신뢰도가 떨어지는 특성을 퍼지 집합으로 표현하면 식(3)과 같고 초음파의 강도가 빔 축에서 멀어 질수록 약해지는 특성을 퍼지 집합으로 표현하면 식(4)와 같다.

$$g_c(\rho) = \min(1, h_1 e^{-h_2 \rho} + h_3) \quad (3)$$

$$g_d(\varphi) = \begin{cases} 1 - \left| \frac{12\varphi}{\pi} \right|, & |\varphi| < \frac{\pi}{12} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

φ : 초음파 센서의 빔 축에서 기울어진 각도
 h_1, h_2, h_3 : 초음파 센서에 의해 정해지는 상수

앞의 4개의 식은 그림 1로 나타내어질 수 있다.

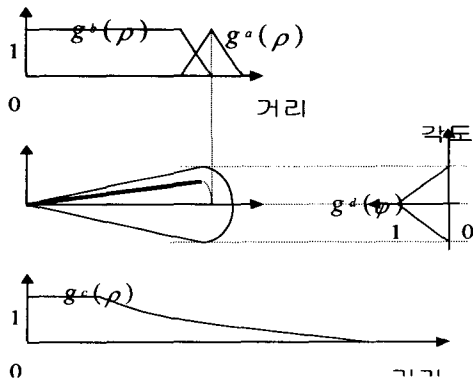


그림 1. 퍼지 논리를 이용한 격자형 환경 모델 구성

초음파 센서의 특성을 나타내는 식(3)과 식(4)를 이용하여 식(1)과 식(2)을 개선하면 식(5)와 식(6)으로 표현된다.

$$\omega(\varphi, \rho) = g_a g_c g_d \quad (5)$$

$$\epsilon(\varphi, \rho) = g_b g_c g_d \quad (6)$$

위의 두 식을 사각의 격자형 환경 모델로 표현하면 i, j 가 격자의 x 축, y 축 좌표가 되는 $\omega(i, j), \epsilon(i, j)$ 로 되고 앞의 식들은 초음파 센서 1개를 사용한 경우를 나타내므로 초음파 센서를 여러 개 사용한다면 퍼지 논리의 s-노출을 사용하여 식(7)과 식(8)로 표현된다.

$$O(i, j) = \bigcup \omega(i, j) \quad (7)$$

$$E(i, j) = \bigcup \epsilon(i, j) \quad (8)$$

식(7)과 식(8)을 이용하여 장애물의 유무에 대해 모호한 집합과 정보가 부족하여 장애물의 유무에 대해 알지 못하는 집합을 구하면 식(9)와 식(10)이 된다.

$$A(i, j) = E(i, j) \cap O(i, j) \quad (9)$$

$$I(i, j) = \overline{E(i, j)} \cap \overline{O(i, j)} \quad (10)$$

구성하려는 격자형 환경 모델에서는 '장애물이 없다'의 퍼지 집합을 이용하므로 탐색되어진 지역 중에서 확실히 장애물이 존재하지 않는 정도를 나타내도록 식(8)을 좀 더 개선시켜 식(11)과 같이 표현한다.

$$F(i, j) = E(i, j) \cap \overline{O(i, j)} \cap \overline{A(i, j)} \cap \overline{I(i, j)} \quad (11)$$

식(11)과 $\Delta \rho = 20\text{mm}$, $h_1 = 1.2$, $h_2 = 0.01$, $h_3 = 0.1$ 을 사용하여 그림 2의 센서 배치를 갖는 5개의 초음파 센서에 대해 30×60 의 격자를 가지는 격자형 환경 모델을 구성하면 그림 3과 같다. 그림 3은 식(11)의 0과 1사이의 소속함수(membership function)를 0과 255사이의 그레이 스케일(gray scale)로 표현한 그림이며 흰색에 가까울수록 장애물이 없을 가능성이 높다.

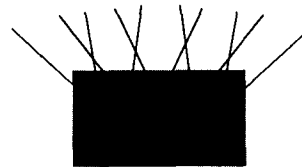


그림 2. 이동 로봇에 부착된 초음파 센서의 배치

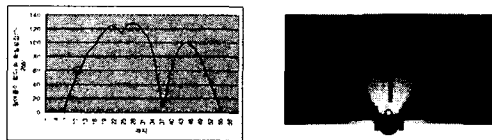


(a) 장애물이 없을 때 (b) 장애물이 있을 때

그림 3. 격자형 환경 모델

III. 장애물 감지

장애물의 의도를 추론하기 위한 사전 단계로서 장애물 감지 방법을 제안한다. 장애물을 감지하기 위해서는 모든 격자의 변화를 보고 감지하는 것이 가장 정확한 방법이지만 격자가 많은 경우 실시간으로 처리하기가 어렵고 비효율적이다. 그래서 격자형 환경 모델에서 동일 행에 위치한 격자들의 확실성값(certainty value)을 추출해서(그림 4(a)) 문턱 값 이상의 확실성 값을 가진 격자들을 선택한 후 그 중에서 가장 넓은 지역에 있는 격자들의 무게 중심에 해당하는 격자를 찾아 그 지점을 CLA(Centroid of Largest Area)점이라 하고 그 점들의 변화를 보고 장애물을 감지하고자 한다. 즉, 장애물이 없으면 그림 5(b)와 같이 CLA점들이 일직선 모양으로 나타나고 장애물이 있으면 그림 4(b)와 같이 일직선에서 이탈한 모양으로 나타나게 되므로 CLA점들이 일직선 모양에서 변화하지만 관찰하면 장애물을 감지할 수 있다.



(a) 동일 행에서의 확실성값 변화 (b) CLA점의 변화

그림 4. 장애물이 있을 때의 CLA점의 변화



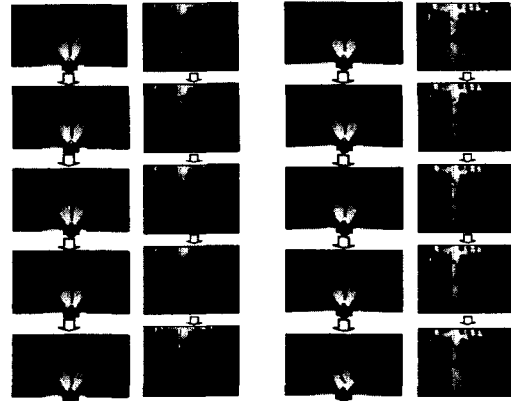
(a) 동일 행에서의 확실성값 변화 (b) CLA점의 변화

그림 5. 장애물이 없을 때의 CLA점의 변화

IV. 장애물의 의도 추론

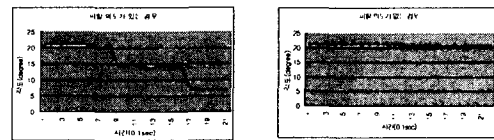
추론할 수 있는 장애물의 의도는 사용하는 센서와 환경 모델에 따라 달라지게 된다. 본 논문에서는 초음

파 센서와 격자형 환경 모델을 이용하여 단일 장애물의 피할 의도에 대한 추론 방법을 제안한다.



(a) 피할 의도가 없는 경우 (b) 피할 의도가 있는 경우

그림 6. 격자형 환경 모델의 변화



(a) 피할 의도가 있는 경우 (b) 피할 의도가 없는 경우

그림 7. 각도 평균의 시간적 변화

정상적으로 주행하는 장애물인 경우 피할 의도가 있다면 이동 로봇의 주행 방향에서 점점 멀어지게 된다. 그 때의 격자형 환경 모델의 변화를 보면 그림 6(b)처럼 CLA점들이 로봇의 진행 방향쪽으로 이동하는 경향이 있음을 관찰할 수 있다. 이러한 CLA점들의 이동 경향을 파악하기 위해서 각 CLA점들이 이동 로봇의 진행 방향과 떨어진 각도를 계산한 후, 그 각도들의 평균을 구한다. 그리고, 각도 평균을 시간에 따라 계속 저장해 가면 그림 7(a)처럼 피할 의도가 있는 경우 각도 평균이 점점 줄어들고 있음을 알 수 있다. 그러므로 장애물의 피할 의도는 각도 평균의 변화 경향을 보면 알 수 있다. 각도 평균의 변화 경향을 파악하기 위해서는 각도 평균의 크기와는 무관하게 경향만을 알 수 있는 방법이 필요하므로 직선 회귀식(line regression)의 기울기를 이용하여 의도를 추론한다. 즉, 직선 회귀식의 기울기가 문턱 값 이하가 되면 각도 평균이 줄어들고 있다고 판단하여 피할 의도가 있음을 추론하는 것이다. 이 때 문턱 값은 음수이어야 하며 직선 회귀식은 최소 자승법(least squares method)을 사용하여 식(12)의 오차식을 최소로 하는 식(13)의 직

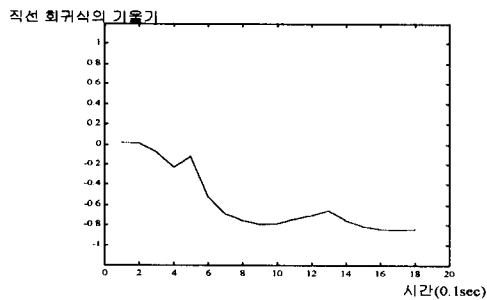
선을 구하여 그 기울기를 이용한다.

$$\chi^2(a, b) = \sum_{i=1}^N (y_i - a - bx_i)^2 \quad (12)$$

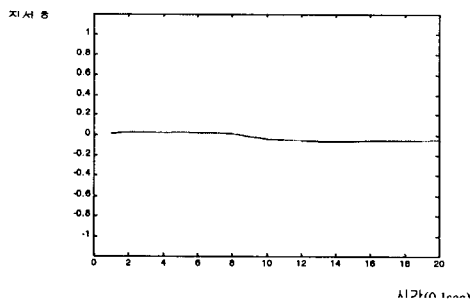
$$y(x) = a + bx \quad (13)$$

V. 실험

실내 환경에서 이동 로봇은 움직이지 않고 장애물만 움직이도록 하여 실험을 수행하였다. 그림 8(a)는 그림 7(a)의 피할 의도가 있는 경우의 직선 회귀식의 기울기를 나타내며 그림 8(b)는 그림 7(b)의 피할 의도가 없는 경우의 직선 회귀식의 기울기를 나타내고 있다. 피할 의도가 있는 경우 직선 회귀식의 기울기가 점점 줄어들고 있음을 관찰할 수 있다. 그런데, 피할 의도의 의지에 따라서 직선 회귀식의 기울기가 달라지므로 피할 의도의 유무의 기준이 되는 문턱 값은 각 상황에 맞게 설정해야 한다.



(a) 피할 의도가 있는 경우



(b) 피할 의도가 없는 경우

그림 8. 직선 회귀식의 기울기 변화

VI. 결론 및 추후 과제

본 논문에서는 초음파 센서의 거리 정보에 대한 불확실성과 초음파 센서의 특성을 고려하기 위해 퍼지 논리를 이용하여 격자형 환경 모델을 구성했으며 격자형 환경 모델의 CLA점을 이용한 장애물 감지 방법 및 장애물의 피할 의도에 대한 추론 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 전체 격자를 사용하지 않고 CLA점만을 사용하므로 많은 계산이 필요치 않아 실시간 처리가 가능한 장점이 있다. 그러나, 초음파 센서는 난반사 등으로 인하여 장애물을 인식하지 못하는 경우가 있는데 이런 경우에는 제안된 방법으로 장애물을 감지하거나 의도를 추론하지 못하므로 시각 센서 등과의 센서 융합을 통한 강인한 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Yasuhiro Inagaki, "A Study of a method of behavior based intention inference", LIFE TR-4M001, 1993
- [2] Makoto et al., "A Proposal of Extraction of Intentions in Linguistic Instructions Using Fuzzy Classifier", 일본 퍼지 학회지, vol. 11, no. 1, 1999
- [3] Masakazu Ejiri, "Towards meaningful robotics for the future: Are we headed in the right direction", Robotics and Autonomous Systems, vol. 18, pp. 1-5, 1996
- [4] Roman Kuc, "A Physically Based Navigation Strategy for Sonar-Guided Vehicles", International Journal of Robotics Research, vol. 10, no. 2, 1991
- [5] Giuseppe Oriolo, "Real-Time Map Building and Navigation for Autonomous Robots in Unknown Environments, IEEE Trans. On SMC(B), vol. 28, no. 3, 1998
- [6] H.P. Moravec, "High resolution map from wide angle sonar", Proc. IEEE International Conference of Robotics and Automation, pp. 116-121, 1985
- [7] Iwan Ulrich and Johann Borenstein, "VFH+: Reliable Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots", Proc. IEEE International Conference of Robotics and Autonomous, pp. 90-98, 1998