

論文2002-39CI-2-3

장애물의 의도 추론에 기초한 이동 로봇의 지능적 주행

(Intelligent Navigation of a Mobile Robot based on Intention Inference of Obstacles)

金 成 勳 * , 卞 增 男 **

(Sung Hun Kim and Zeungnam Bien)

요 약

구조화된 환경에서 사용되어 지는 일반적인 이동 로봇과 달리 시각장애인을 위한 이동 로봇은 다양한 종류의 이동 장애물들을 고려하도록 설계되어야 한다. 그런데, 이동 장애물, 즉 보행자의 대부분은 어떤 의도를 가지고 이동하게 되므로 로봇이 그 의도를 미리 파악하면서 주행한다면 로봇은 지능적인 주행을 할 수가 있다. 본 논문에서는 격자형 맵을 이용하여 장애물의 의도를 추론하는 방법을 제안한다. 먼저 퍼지 논리와 초음파 센서를 이용하여 주위 환경을 격자형 맵으로 표현하고, 격자형 맵의 CLA(Centroid of Largest Area) 점을 이용한 장애물 감지 방법 및 장애물 의도 추론 방법을 제안한다. 제안된 방법의 유용성을 확인하기 위해 실험이 수행되었다.

Abstract

Different from ordinary mobile robots used in a well-structured industrial workspace, a guide mobile robot for the visually impaired should be designed in consideration of a moving obstacle, which mostly refers to pedestrians in intentional motions. Thus, the navigation of the guide robot can be facilitated if the intention of each detected obstacle can be known in advance. In this paper, we propose an inference method to understand an intention of a detected obstacle. In order to represent the environment with ultrasonic sensors, the fuzzy grid-type map is first constructed. Then, we detect the obstacle and infer the intention for collision avoidance with the CLA(Centroid of Largest Area) point of the fuzzy grid-type map. To verify the proposed method, some experiments are performed.

I. 서 론

이동 로봇은 자동화 공장에서의 물류 운반, 미개척 지역 탐색, 위험한 환경에서의 구조 임무 등의 많은 응

용분야에서 폭 넓게 사용되고 있다^[1,2]. 이러한 다양한 응용 분야들은 나름대로의 차이점에도 불구하고 각자의 센서를 이용하여 알맞은 경로를 찾아 움직일 수 있는 자율주행 이동 로봇을 필요로 한다는 공통점을 가지고 있다.

그런데, 이제까지의 로봇 연구는 자동화에 초점을 두어 빠르고 정확하게 움직일 수 있는 로봇을 만드는 연구가 대부분이었다. 하지만 앞으로 다가올 로봇과 인간이 공생하게 될 시대에는 지능적인 로봇에 대한 연구가 필요할 것이다. 지능적인 로봇이 되기 위해서는 첫째, 인간의 거시적인 명령이나 행동 등을 통해 인간의 의도(intention)를 파악할 수 있어야 하며 둘째, 로봇이

* 正會員, ETRI 김소연 情報家電研究部
(Appliance Department, CSTL, ETRI)

** 正會員, 韓國科學技術院 電子電算學科
(Department of Electrical Engineering and Computer Science, KAIST)

接受日字:2000年12月28日, 수정완료일:2002年1月4日

맵 구성 방법은 초음파 센서의 거리 정보에 대한 불확실성과 초음파 센서의 특성, 즉 센서에서 획득된 거리 값이 클수록 신뢰도가 떨어지고 초음파의 강도는 빔 축에서 멀어질수록 약해지는 특성을 제대로 고려하지 못하는 단점이 있었다^[7]. 그래서, 본 장에서는 애매한 정보를 다룰 수 있는 퍼지 논리(fuzzy logic)를 이용해서 격자형 맵을 구성한다^[13].

실제 구현을 위해 그림 1과 같이 가로 2.5m, 세로 2.5m 의 지역에 대해 30 X 60 의 격자를 갖는 격자형 맵을 사용한다.

초음파 센서의 거리 정보에 대한 불확실성을 기술하기 위해서 '장애물이 있다'의 퍼지 집합과 '장애물이 없다'의 퍼지 집합을 식 (1)과 식 (2)로 나타낸다.

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

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

r : 초음파 센서에서 각 격자까지의 거리

ρ : 초음파 센서로부터 측정된 거리

$\Delta \rho$: 초음파 센서로부터 측정된 거리의 최대 오차

'장애물이 있다'라는 개념은 초음파 센서로부터 들어온 값을 정확한 값이 아닌 불확실한 값으로 간주하여 퍼지 수(fuzzy number)로 처리하겠다는 것이다. '장애물이 없다'라는 개념은 퍼지 논리의 특성을 살리는 것으로, 확률에서의 배중률(excluded middle law)을 위반함으로써 함수에 대한 제약을 줄여 좀 더 효과적인 계산과 처리를 하기 위해 도입했으며 초음파 센서로부터 측정된 거리가 ρ 일 경우 그 거리에서 $\Delta \rho$ 보다 작은 거리에는 어떠한 물체도 없다는 것을 의미한다.

그리고 초음파 센서의 거리값이 크게 나올수록 신뢰도가 떨어지는 특성을 퍼지 집합으로 표현하면 식 (3)과 같고 초음파의 강도가 빔 축에서 멀어질수록 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

식 (3)은 난반사나 다중 반사로 인하여 원하는 초음파 센서 값보다 더 큰 값을 얻을 수 있으므로 거리가 크게 나올수록 확실성값을 줄이기 위한 식이며, 식 (4)는 초음파의 강도(intensity)는 초음파 빔 축에서 멀어질수록 감소하는 특성이 있으므로 초음파 빔 축에서 멀어질수록 확실성값을 줄이기 위한 식이다.

식 (3)의 h_1, h_2, h_3 의 의미는 다음과 같다. 초음파 센서에서 난반사가 발생할 경우에는 초음파 센서의 거리 값은 초음파 센서가 측정할 수 있는 거리 값의 최고값을 나타내게 되므로 일정 거리 이상부터 확실성 값이 지속적으로 줄어들어 초음파 센서가 측정할 수 있는 최대 거리 근처에서는 확실성 값이 매우 작은 값이 된다. 그런데, 초음파 센서마다 측정할 수 있는 최대 거리가 다르므로 초음파 센서에 따라 h_1, h_2, h_3 값을 조절하여 초음파 센서가 측정할 수 있는 최대 거리 근처에서는 확실성 값이 매우 작은 값이 나오도록 만들기 위해서 h_1, h_2, h_3 값을 사용하게 된다. 식 (4)의 $\frac{\pi}{12}$ 는 초음파 센서의 빔 각을 의미한다. 앞의 4개의 식은 그림 2로 나타내어 질 수 있다.

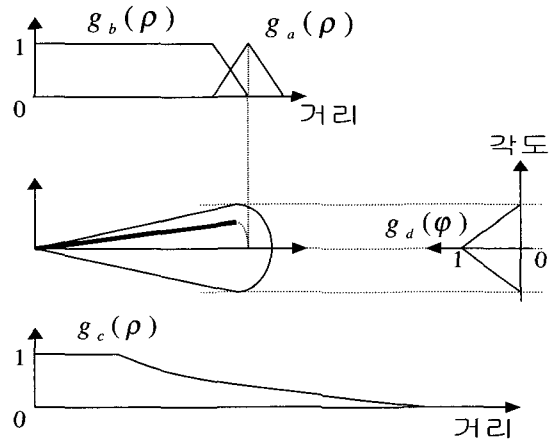


그림 2. 각 퍼지 집합의 소속 함수
Fig. 2. Membership functions of each fuzzy set.

초음파 센서의 특성을 나타내는 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 식 (1)과 식 (2)의 '장애물이 있다'와 '장애물이 없다'를 개선하면 식 (5)과 식 (6)으로 표현된다. 식 (5)과 식 (6)은 퍼지 집합을 곱한 식이므로 이 식들은 또한 0과 1 사이의 소속함수(membership function)를

갖는 퍼지 집합이 됨을 알 수 있다.

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

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

위의 두 식을 사각의 격자형 맵으로 표현하면 i, j 가 격자의 x 축, y 축 좌표가 되는 $\omega_{i,j}, \varepsilon_{i,j}$ 로 표시 되고, 앞의 식들은 초음파 센서 1개를 사용한 경우를 나타내므로 초음파 센서를 여러 개 사용한다면 퍼지 논리의 s-노름(norm)을 사용하여 식 (7)과 식 (8)로 표현된다.

$$O_{i,j} = \cup \omega_{i,j} \quad (7)$$

$$E_{i,j} = \cup \varepsilon_{i,j} \quad (8)$$

서로 반대되는 개념의 식 (7)과 식 (8)을 이용하여 식 (9)과 식 (10)의 장애물의 유무에 대해 모호한 집합(ambiguous set)과 정보가 부족하여 장애물의 유무에 대해 알지 못하는 집합(indeterminate set)을 각각 구할 수 있다.

$$A_{i,j} = E_{i,j} \cap O_{i,j} \quad (9)$$

$$I_{i,j} = \overline{E_{i,j}} \cap \overline{O_{i,j}} \quad (10)$$

본 논문에서 구성하려고 하는 격자형 맵은 '장애물이 없다'에 대한 퍼지 집합을 이용하므로 식 (8)을 좀 더 개선하여, 모호한 지역(식 (9))과 알지 못하는 지역(식 (10))을 없애고 확실히 장애물이 없는 정도를 나타내도록 식 (11)과 같이 표현한다.

$$F_{i,j} = E_{i,j} - A_{i,j} - I_{i,j} \quad (11)$$

식 (11)의 의미를 해석해 보면 탐색한 지역 중에서 확실히 장애물이 존재하지 않는 정도를 나타내고 있다.

이제 식 (11)을 이용해 실제 이동 로봇에 부착되어 있는 초음파 센서를 사용하여 격자형 맵을 구성한다. 실제 이동 로봇은 RWI(Real World Interface)사에서 제작한 PIONEER 이동 로봇(그림 3)을 사용했으며 그림 4처럼 난반사로 인한 장애물 인식 실패를 최소화하기 위해 초음파 센서의 위치를 적절히 조절해서 배치해 놓았다. 그림 4처럼 초음파 위치를 배치해 놓으면 벽 등의 장애물이 어느 정도 기울어져 있어도 초음파 센서에 의해서 감지가 가능하다.

식 (11)과 $\Delta \rho = 20\text{mm}, h_1=1.2, h_2=0.01, h_3=0.1$ 을

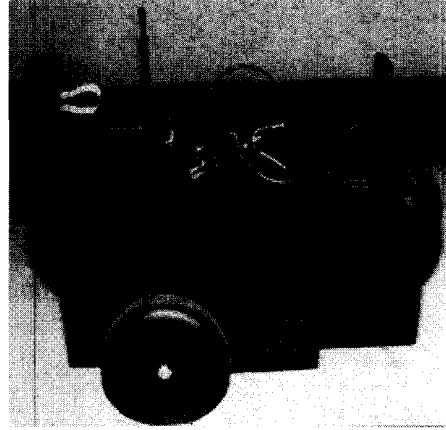


그림 3. PIONEER 이동 로봇
Fig. 3. PIONEER Mobile Robot.

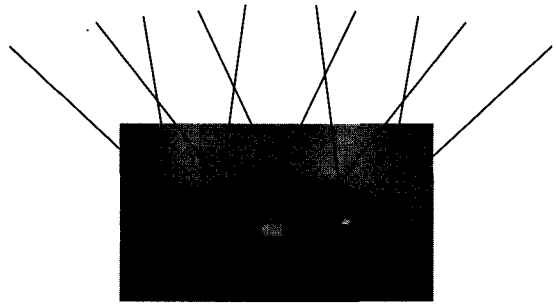
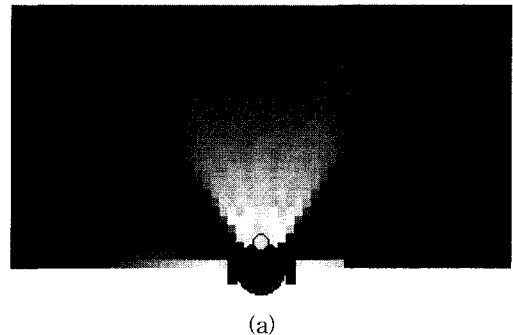


그림 4. 이동 로봇에 부착된 초음파 센서의 배치
Fig. 4. Ultrasonic sensors of PIONEER mobile robot.

사용하여 그림 4의 센서 배치를 갖는 5개의 초음파 센서에 대해 30×60 의 격자를 가지는 격자형 맵을 구성하면 그림 5(a), 그림 6(a)와 같다. 그림 5(a), 그림 6(a)는 사람에게 잘 보이도록 하기 위해 식 (11)의 0과 1사이의 소속함수를 0(검정색)과 255(흰색)사이의 그레이 스케일(gray scale)로 표현한 것이다. 그러므로, 그림 5(a)에서 색깔이 흰색에 가까울수록 장애물이 없을 확실성이 높아지고 그와 반대로 색깔이 검정색에 가까

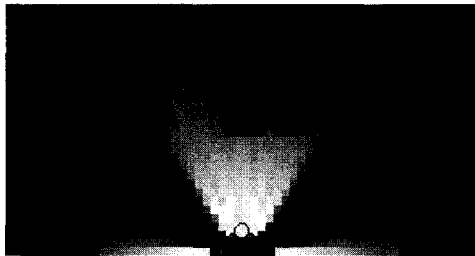


(a)

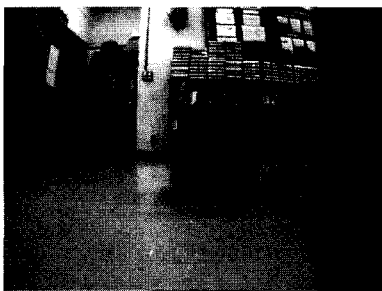


(b)

그림 5. 장애물이 없는 경우의 격자형 맵
Fig. 5. Fuzzy grid-type local map in case of no obstacle.



(a)



(b)

그림 6. 장애물이 있는 경우의 격자형 맵
Fig. 6. Fuzzy grid-type local map in case of obstacle.

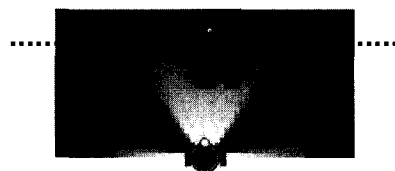
울수록 장애물이 없을 확실성이 낮아지게 된다. 초음파 센서 앞쪽에 장애물이 있는 경우와 없는 경우의 격자형 맵은 그림 6, 그림 5와 같으며 사람이 눈으로 직접 보는 것과 비슷함을 알 수 있다.

III. 장애물 감지

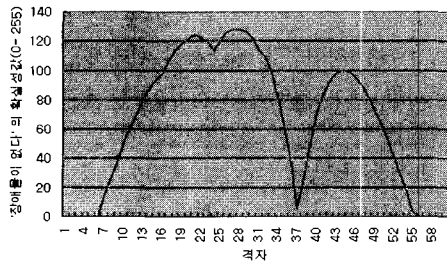
본 장에서는 앞 장에서 구성한 격자형 맵을 사용하

여 장애물의 의도 추론의 사전 단계인 장애물 감지 방법을 제안한다. 장애물을 감지하기 위해서는 모든 격자들의 변화를 보고 파악하는 것이 가장 정확한 방법이지만 격자가 많은 경우 실시간으로 처리하기가 어렵고 비효율적이다. 그래서, 격자형 맵에서 각 행의 CLA (Centroid of Largest Area)점을 찾아 그 CLA점을 이용한 장애물 감지 방법을 제안한다. 즉, 격자형 맵에서 동일 행(그림 7 (a))에 있는 격자들의 확실성값을 추출(그림 7 (b))하여 문턱 값(threshold value) 이상의 확실성값을 갖는 격자들을 선택한 후 그 중에서 가장 넓은 지역에 있는 격자들의 무게 중심에 있는 격자(그림 7 (c))를 찾아 그 점을 CLA점이라 하고 그 점들의 변화(그림 7 (d))를 이용해서 장애물을 감지하고자 한다. 여기서 CLA점에 해당하는 격자는 격자형 맵에서 빨간색으로 표시된다. 장애물이 있는 경우의 CLA점들의 변화는 그림 7 (d)와 같고 장애물이 없는 경우에는 그림 8 (d)와 같다.

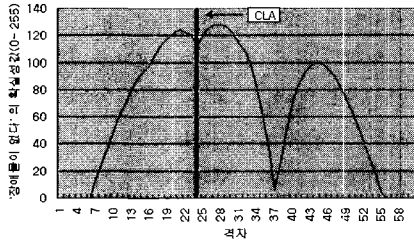
CLA점을 사용해서 장애물을 감지할 수 방법은 다음과 같다. CLA점은 동일 행의 격자들 중에서 가장 안전하다고 판단되는 격자를 나타내므로 만약 장애물이 없다면 CLA점은 그림 8 (d)처럼 일직선 모양이 된다. 반면에, 장애물이 존재하는 경우에는 장애물이 위치한 지점 이후 격자들의 확실성값이 변하게 되어 CLA점들은 더 이상 일직선을 이루지 못하게 된다. 즉, 그림 7 (d)처럼 장애물 앞에 있는 CLA점은 일직선이지만 장애물이 있는 지점 이후의 CLA점들은 일직선에서 이탈하게 된다. 그러므로, 격자형 맵을 계속 갱신하면서 CLA점이 원래의 일직선 위치에서 벗어나는지를 검사하면 주위에 장애물이 있는지 없는지에 대해 알 수 있다. 이 방법은 30 X 60 격자를 가진 격자형 맵에서는 30개의 CLA점만 조사하면 되므로 매우 적은 계산으로 장애물의 유무를 알 수 있는 장점이 있다.



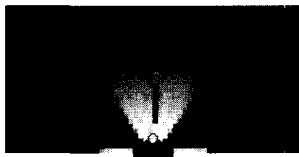
(a)



(b)

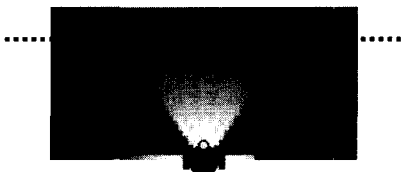


(c)

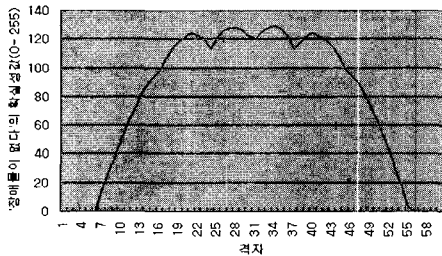


(d)

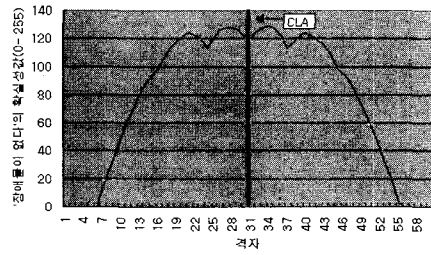
그림 7. 장애물이 있는 경우의 CLA 점
Fig. 7. CLA in case of obstacle.



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 8. 장애물이 없는 경우의 CLA 점
Fig. 8. CLA in case of no obstacle.

IV. 장애물의 의도 추론

1. 의도 추론(Intention inference)

대부분의 말과 행동에는 의도가 있다. 예를 들면, 인간이 길을 걸어갈 경우 목적지를 향하는 의도를 가지고 그 의도에 맞추어서 길을 걸어가게 되며 상대방과 대화를 할 때에도 은연중에 상대방의 말 속에서 의도를 파악하여 그 의도에 대응하면서 대화를 계속하게 된다.

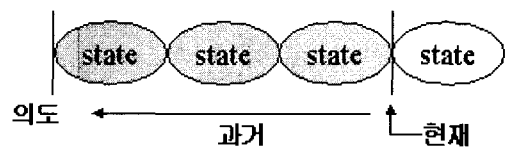


그림 9. 의도 추론
Fig. 9. Intention inference.

의도 추론(그림 9)이란 현재 시점에서 기존의 지식이나 경험을 바탕으로 말과 행동들의 이전 상태들의 변화를 보고 과거에 하려고 한 일들을 추론하는 것을 의미한다. 일반적으로 상대방의 의도를 추론하는 방법에는 다음의 3가지 방법이 있다.

◇ 대화에 기초한 의도 추론

- ◇ 표정에 기초한 의도 추론
- ◇ 행동에 기초한 의도 추론

이 중에서 대화에 기초한 의도 추론은 많은 사전 지식이 필요할 뿐만 아니라 대화가 이루어지는 상황에 따라 의도가 완전히 다르게 나타나므로 가장 어려운 추론 방법이다. 예를 들면, "TV는 어디에 있습니까?"라는 질문에 대하여 질문을 한 장소가 친구의 집이면 'TV가 보고 싶다'라는 의도가 추론되어 질 것이며 할인 매장이면 'TV를 사고 싶다'는 의도를 추론할 수 있을 것이다. 또한, 대화가 진행되는 상황이 동일하더라도 여러 가지 의도가 추론되어 지는 경우가 있다. 예를 들면, "당신은 담배를 피우니까?"라고 질문한다면 '담배를 피우는 것을 알고 싶다', '담배를 피워도 되는지 확인하고 싶다', '담배를 얻어 피우고 싶다' 등의 의도가 추론될 수 있다. 이와 같은 상황에서는 대화만 사용해서는 의도 추론을 할 수 없으며 상대방의 동작이나 표정 등을 함께 이용해서 추론해야 한다^[8].

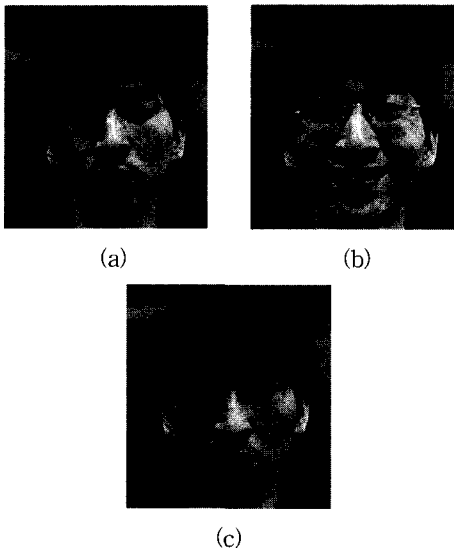


그림 10. 표정에 기초한 의도 추론
Fig. 10. Intention inference based on facial expression.

표정에 기초한 의도 추론은 인간의 얼굴 전체 표정을 보고 상대방이 '슬퍼하고 있다', '기뻐하고 있다'(그림 10)등의 감정, 즉 의도를 추론하는 것이다^[9].

행동에 기초한 의도 추론은 공통의 목표가 결정되었을 경우에 유용한 추론 방법이다^[10]. 예를 들면, 축구에

서는 최종적인 목표가 볼을 골대 안에 넣는 것이므로 그런 목표를 알고 있는 사람이라면 축구 선수의 동작으로부터 축구 선수의 의도를 추론하는 것이 가능하다. 앞으로 인간과 공생하게 될 로봇은 주로 인간의 육체 작업을 보조하거나 인간의 육체적 기능을 보좌하는 것으로 생각되어질 수 있으며 인간과 관계된 많은 작업은 최종 목표가 명확하거나 단순한 작업이므로 행동에 기초한 의도 추론 방법이 인간과 공생하게 될 로봇에 적합하다고 할 수 있다

2. 장애물의 의도 추론 방법

의도를 추론하기 위해서는 먼저 의도를 정의할 필요가 있으며, 의도를 정의할 때 사람의 주관적인 요소가 많이 개입되므로 객관성 있는 정의가 필요하다. 그래서, 전시회 등의 실제 환경에서 이동 로봇이 주행할 때 장애물들의 행동 패턴을 조사하였으며 설문지를 이용하여 각 의도에 대한 장애물의 행동 패턴의 통계치를 얻었다. 이를 분석해 보면, 각 의도를 정의할 때에 가장 중요한 기준이 되는 것은 이동 로봇의 주행 경로이며 장애물이 주행 경로를 기준으로 어떻게 이동하는지에 따라서 장애물의 의도가 달라지게 됨을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 장애물의 회피할 의도는 그림 11 (a)처럼 장애물이 로봇의 주행 경로에서 점점 멀어져서 이동할 때 나타난다고 할 수 있다.

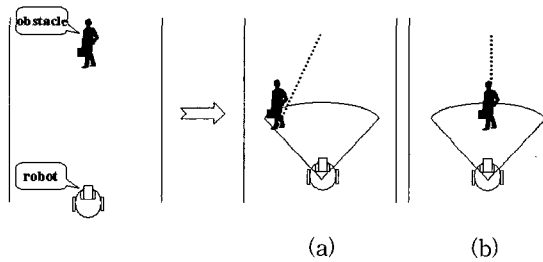


그림 11. 장애물의 의도
Fig. 11. Intention of the obstacle.

회피할 의도를 가진 장애물인 경우 격자형 맵의 CLA점들은 그림 13과 같이 나타나며 회피할 의도가 없는 장애물은 그림 12와 같이 나타난다. 그림 12와 그림 13을 비교해보면 회피할 의도의 유무는 CLA점들이 이동하는 경향을 보면 알 수 있다. 즉, 회피할 의도를 가진 장애물인 경우 CLA점들이 이동 로봇의 주행 방향 쪽으로 이동하는 경향이 있는 반면에 회피할 의도가 없는 장애물인 경우 CLA점들이 초기 상태를 유지

하거나 주행 방향 쪽에서 멀어지는 경향이 있다. 이런 경향은, CLA점이 동일 행에서 가장 안전하다고 판단되는 지점을 의미하므로 장애물이 주행 경로 쪽에서 멀어질수록 CLA점들은 주행 경로 쪽으로 이동하게 되지만 장애물이 주행 경로 쪽으로 이동하게 되면 CLA점들은 주행 경로 쪽에서 멀어지게 되어 나타나는 현상이다.

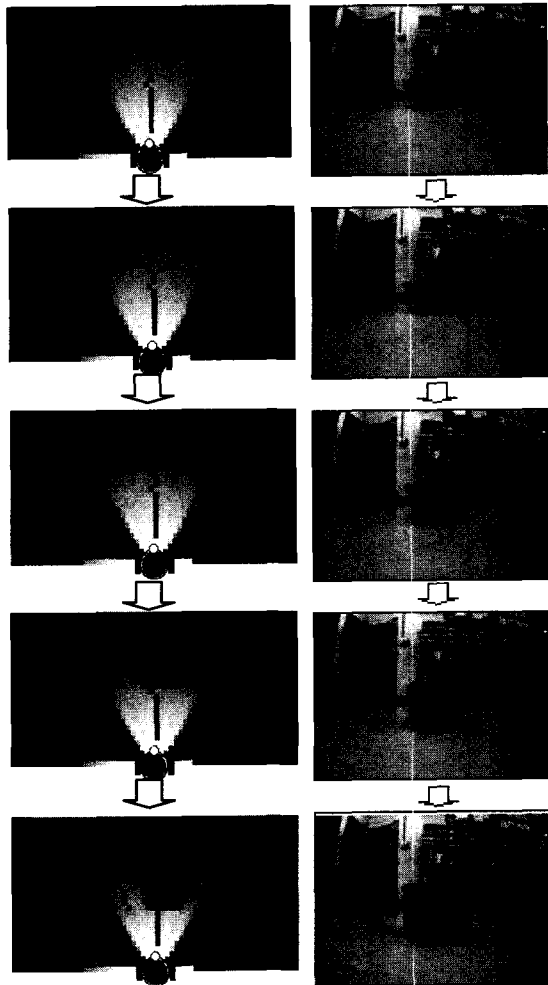


그림 12. 회피할 의도가 없는 경우의 격자형 맵의 변화

Fig. 12. Change of the grid-type map in case of intention of non-avoidance.

우선, 그림 14처럼 이동 로봇을 원점으로 하는 격자형 맵의 좌표를 정한다. 만약 장애물이 없다면 CLA점들은 $X=0$ 축에 위치하게 된다. CLA점이 여러 개이므로 CLA점들의 평균적인 위치를 파악하기 위해 미리 정한 문턱 값 이상 변화한 CLA점들을 그림 15의 타원

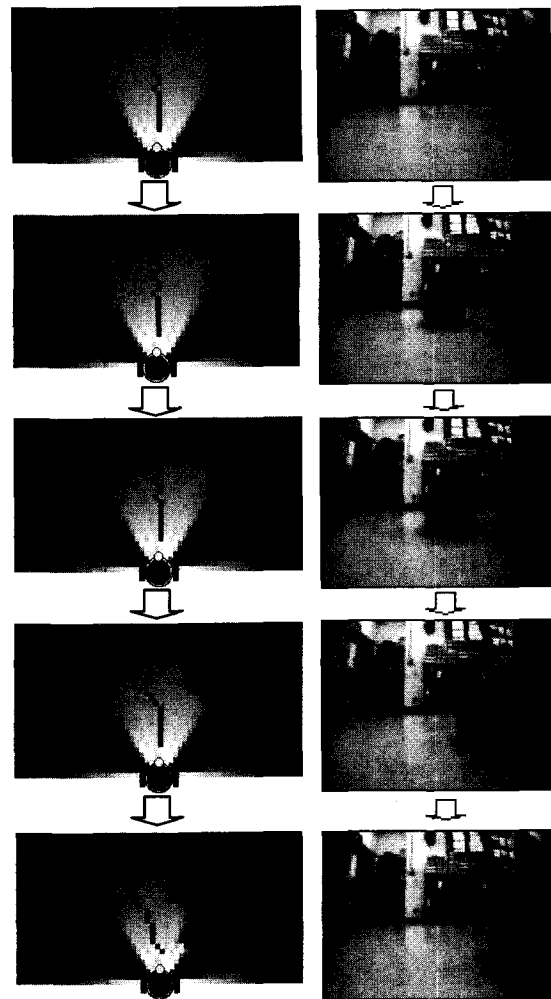


그림 13. 회피할 의도가 있는 경우의 격자형 맵의 변화

Fig. 13. Change of the grid-type map in case of intention of avoidance.

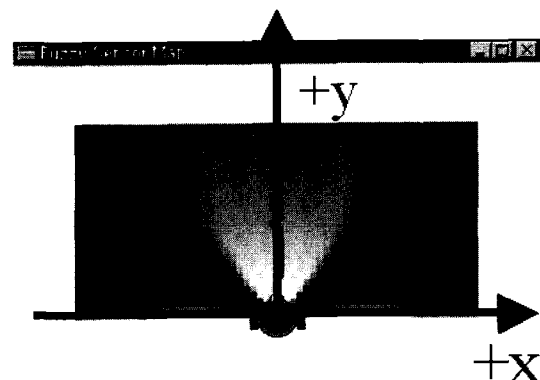


그림 14. 격자형 맵의 좌표

Fig. 14. Coordinate of grid-type map.

형의 표시와 같이 선택하여 그림 16처럼 그 점들이 이동 로봇의 진행 방향과 떨어진 각도를 각각 계산한 후, 그 각도들의 평균을 구한다.

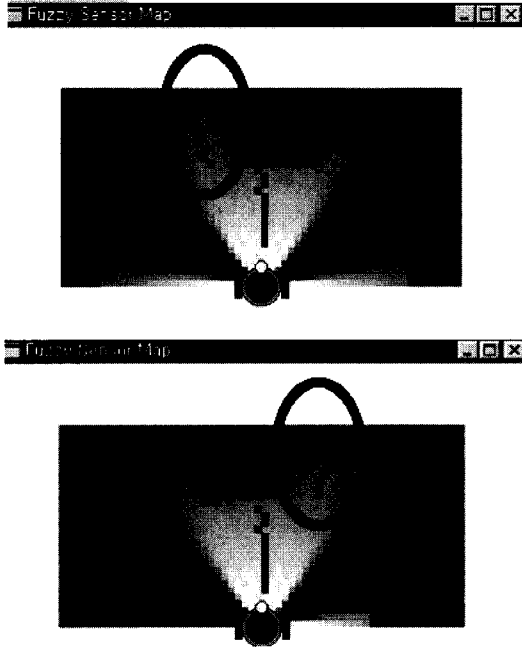


그림 15. 문턱 값 이상 이동한 CLA
Fig. 15. CLAs above the threshold value.

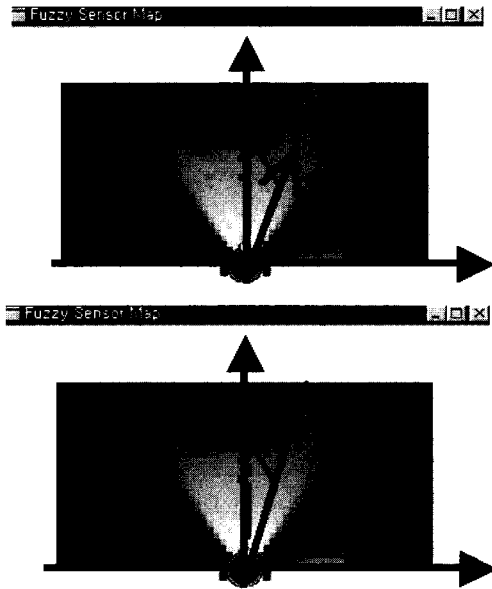
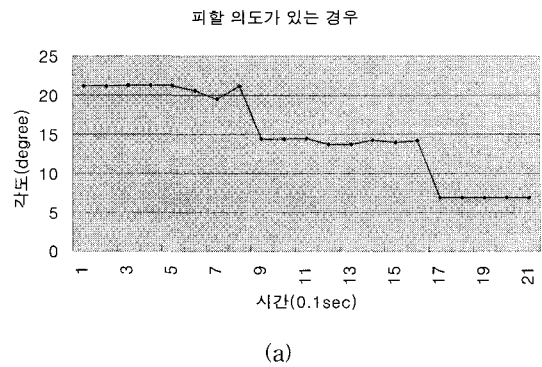


그림 16. CLA점이 이동 로봇의 주행 경로와 떨어진 각도
Fig. 16. Angle between the direction of the robot's movement and the *i*th CLA.

그림 12의 회피할 의도가 없는 경우와 그림 13의 회피할 의도가 있는 경우, CLA점들의 각도 평균에 대한 시간적 변화를 살펴보면 그림 17 (a)와 그림 17 (b)와 같다. 그림 17 (a)와 그림 17 (b)를 비교해 보면 회피할 의도가 있는 경우 CLA점들의 각도 평균은 시간에 따라 점점 줄어드는 경향이 있으며 회피할 의도가 없는 경우 CLA점들의 각도 평균은 처음 상태를 유지하거나 증가하는 경향이 있음을 관찰할 수 있다. 그러므로 CLA점들의 각도 평균의 시간에 따른 변화 경향만 파악하면 회피할 의도를 추론할 수 있다. 그런데, 잡음 등의 영향으로 각도 평균의 변화가 자연스럽게 변화하지 않고 불규칙하게 변화하므로 각도 평균의 변화 경향을 파악하기 위한 방법은 이를 극복할 수 있는 강인한 방법이어야 하며 각도 평균의 초기 크기와는 무관한 방법이어야 한다. 그래서 직선 회귀(line regression)식의 기울기를 이용하여 CLA점들의 각도 평균의 변화 경향을 파악한다. 즉, 직선 회귀란 (x, y) 의 좌표를 가진 여러 개의 데이터를 사용하여 이 데이터에 가장 적합한 직선의 방정식을 구하는 것을 의미하므로 그림 18 (b)처럼 직선의 기울기가 미리 정해진 문턱 값 이하이면 각도 평균이 감소하는 경향을 나타내므로 회피할 의도가 있음을 추론하게 되고 그림 18 (a)처럼 직선의 기울기가 문턱 값 이상이면 회피할 의도가 없음을 추론하게 된다. 여기서 문턱 값은 음수이어야 하며 직선 회귀식은 최소 자승법(least squares method)을 사용하여 식(12)의 오차식을 최소로 하는 식(13)의 직선을 구하여 그 기울기를 이용한다.

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

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



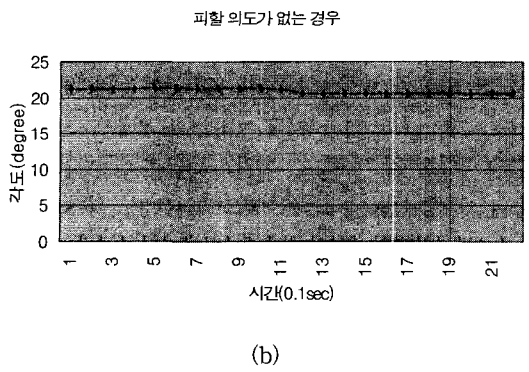


그림 17. 각도 평균의 시간적 변화
Fig. 17. Time trajectory of the average of angle.

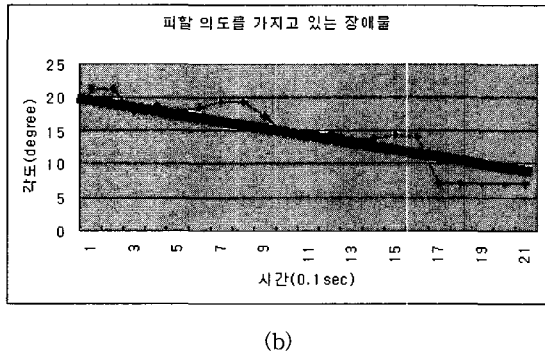
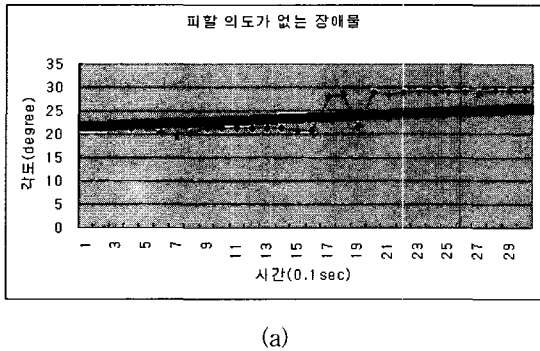


그림 18. 직선회귀의 개념
Fig. 18. Concept of the line regression.

V. 실험

본 장에서는 앞 장에서 제한한 장애물 의도 추론 방법을 실험을 통해 확인한다. 우선 장애물의 위치에 따른 격자형 맵의 변화를 살펴보면 그림 19와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 격자형 맵이 인간이 보는 방식과 비슷한 방식으로 주위 환경을 나타내고 있으며 CLA점이 초음파 센서가 탐색할 수 있는 범위 내에서 가장

안전한 지점을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

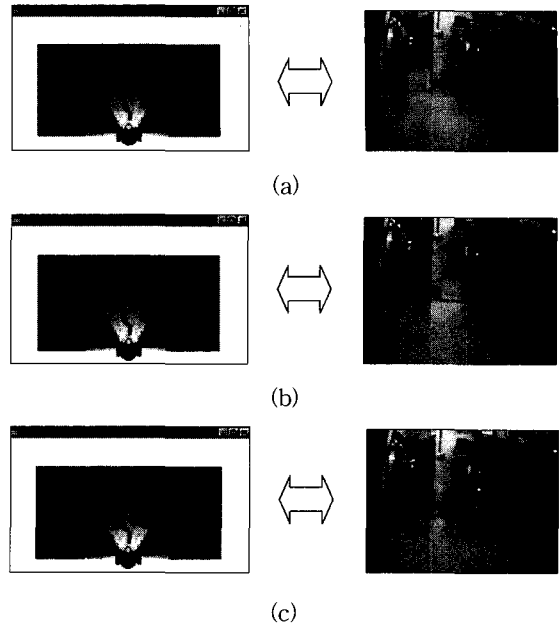


그림 19. 장애물이 있는 경우의 격자형 맵
Fig. 19. Grid-type map in case of obstacle.

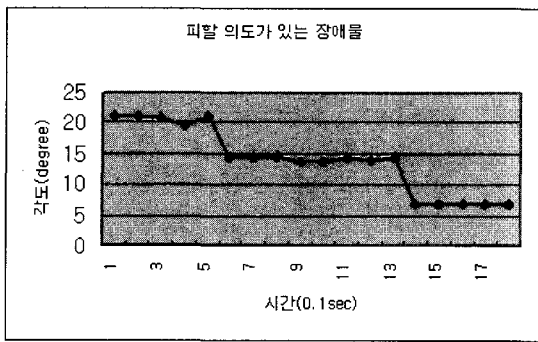


그림 20. 실험 환경
Fig. 20. Experimental environment.

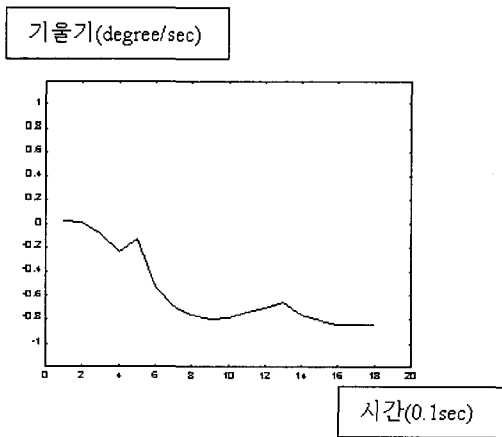
장애물의 의도 추론을 위한 실험 환경은 그림 20처럼 실내에서 이동 로봇은 움직이지 않고 장애물(사람)만 움직이도록 하여 실험을 수행하였다. 또한, 장애물은 단일 장애물로 가정하여 한 사람으로 제한하고 다른

장애물은 감지되지 않도록 하였다. 회피할 의도가 없는 장애물인 경우 그림 11 (b)처럼 장애물이 이동 로봇을 의식하지 않고 자기 방향으로 계속 진행하도록 했으며 회피할 의도를 가진 장애물인 경우 그림 11 (a)처럼 이동 로봇을 보고 회피하도록 실험을 수행하였다. 그림 21 (a)와 그림 22 (a)는 회피할 의도를 가진 장애물에 대한 CLA점들의 각도 평균의 시간적 변화를 나타내고 있으며 그림 21 (b)와 그림 22 (b)는 직선 회귀식의 기울기를 나타내고 있다. 그림 23 (a)와 그림 24 (a)는 회피할 의도가 없는 장애물에 대한 CLA점들의 각도 평균의 시간적 변화를 나타내고 있으며 그림 23 (b)와 그림 24 (b)는 직선 회귀식의 기울기를 나타내고 있다. 예상한대로 회피할 의도를 가진 장애물의 경우 직선 회귀식의 기울기가 0에서 점점 작아지고 있는 반면에 회피할 의도가 없는 장애물은 0에서 그 상태를 유지하

거나 커지고 있음을 확인할 수 있다. 그리고 회피할 의도의 의지에 따라서 기울기가 달라지며 그 의지가 클수록 기울기가 0에서 더 작아짐을 알 수 있다. 그러므로 회피할 의도의 기준이 되는 문턱 값은 각 상황에 맞게 정해야 하며 문턱 값은 반드시 음수이어야 한다.

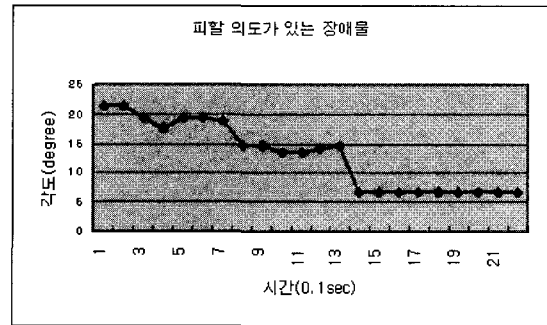


(a)

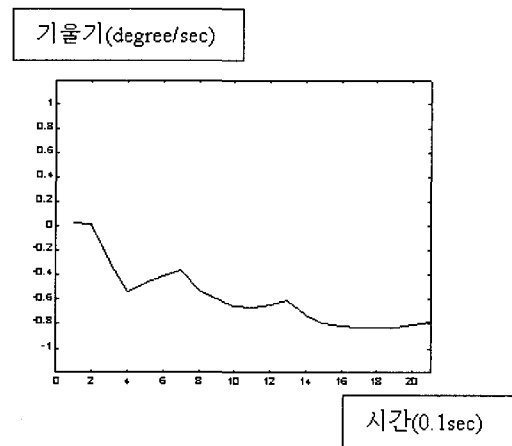


(b)

그림 21. 회피할 의도를 가진 장애물의 직선 회귀식의 기울기 (I)
Fig. 21. slope of the line regression in case of intention of avoidance (I).

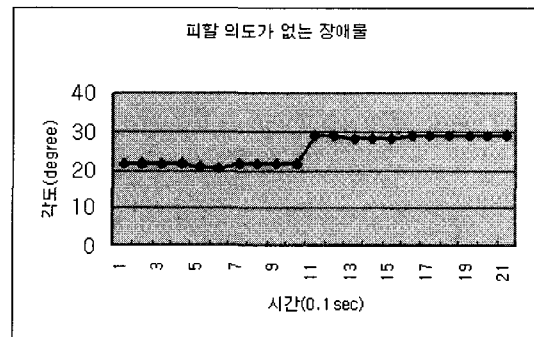


(a)



(b)

그림 22. 회피할 의도를 가진 장애물의 직선 회귀식의 기울기 (II)
Fig. 22. slope of the line regression in case of intention of avoidance (II).



(a)

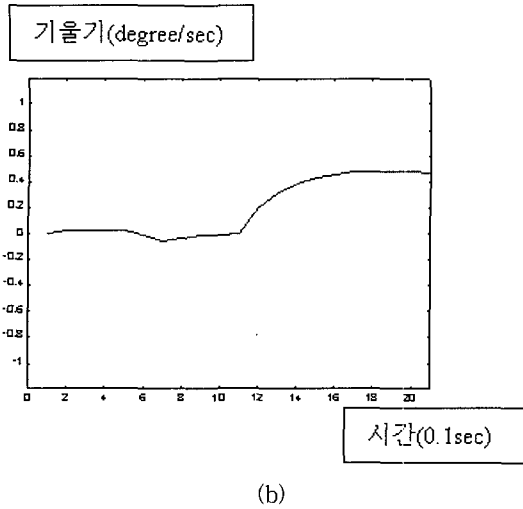


그림 23. 회피할 의도가 없는 장애물의 직선 회귀식의 기울기 (I)
 Fig. 23. slope of the line regression in case of intention of non-avoidance (I).

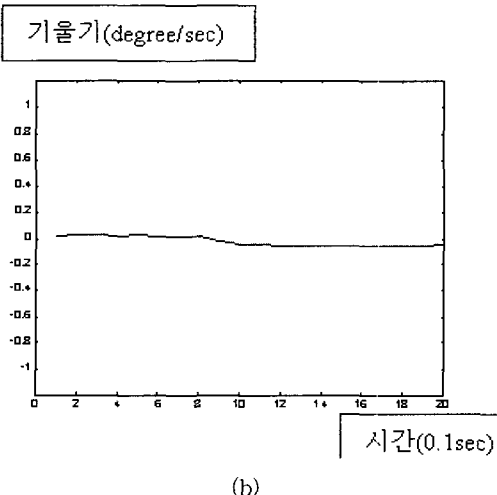
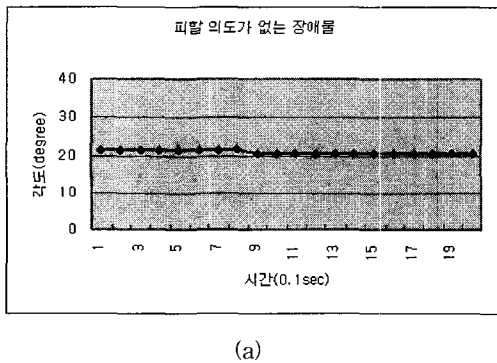


그림 24. 회피할 의도가 없는 장애물의 직선 회귀식의 기울기 (II)
 Fig. 24. slope of the line regression in case of intention of non-avoidance (II).

VI. 결론 및 추후 과제

1. 결론

본 논문에서는 이동 로봇의 지능적인 주행을 위해 장애물의 의도를 추론하였다. 또한, 이를 위해 장애물을 감지하고 장애물의 상태 변화를 파악하기 위한 격자형 맵을 구성하였다.

초음파 센서를 이용해서 격자형 맵을 구성할 때 주위 환경을 정확히 표현하기 위해서는 초음파 센서의 거리 정보에 대한 불확실성과 초음파 센서의 특성을 고려해야 한다. 이를 위해서 애매한 정보를 기술할 수 있는 퍼지 논리를 이용해서 격자형 맵을 구성하였다. 그리고, 구성된 격자형 맵을 이용하여 의도 추론의 사전 단계인 장애물 감지 방법을 제안하였다. 장애물을 감지하기 위해서는 모든 격자의 변화를 보고 파악하는 것이 가장 정확하지만 격자가 많은 경우 실시간으로 처리하기가 어렵고 비효율적이므로 격자형 맵에서 각 행의 CLA점을 찾아 그 점의 변화를 보고 장애물을 감지하였다.

이동 로봇이 행동에 기초한 의도를 추론하기 위해서는 사전 지식과 상태 변화에 대한 많은 정보가 필요하며, 특히 상태 변화를 파악하기 위해서는 사용되어진 센서의 종류에 영향을 많이 받게 된다. 초음파 센서의 경우, 거리에 대한 데이터를 쉽게 얻을 수 있지만 물체의 패턴을 인식할 수 없고 넓은 빔 폭 때문에 장애물의 개수에 대해서도 알지 못하므로 본 논문에서는 단일 장애물의 의도만을 추론하였다. 장애물의 회피할 의도는 장애물이 이동 로봇의 주행 경로에서 점점 멀어지면서 이동할 때 추론되는 의도로 정의했으며 이를 바탕으로 CLA점들이 이동 로봇의 주행 경로와 떨어진 각도의 평균을 이용하여 단일 장애물의 회피할 의도를 추론하였다.

그러나, 두 개 이상의 장애물이라도 같은 의도를 가지고 같은 방향으로 움직일 때에는 제안된 의도 추론 방법으로 의도를 추론할 수 있으며, 같은 의도를 가지고 서로 다른 방향으로 움직이는 두 개 이상의 장애물도 CLA 점의 변화를 관찰하면 의도를 추론할 수도 있다. 즉, 본 논문에서 제안한 CLA 점을 이용한 의도 추론 방법은 2 개 이상의 장애물일지라도 단순한 경우에는 적용할 수 있으며, 복잡한 경우에는 시각 센서와의

센서 융합을 통해서 의도를 추론할 때에 사용될 수도 있다. 또한, CLA점은 동일 행의 격자들 중에서 가장 안전하다고 판단되는 격자를 나타내므로 의도 추론 뿐만 아니라 시각 장애인용 이동 로봇을 위한 안전한 주행을 위해서도 사용될 수 있다.

본 논문에서 제안한 방법은 추후 과제인 2개 이상의 장애물에 대한 의도 추론과, 시각 센서 등과의 센서 융합을 통한 의도 추론의 기반이 되는 방법이다.

2. 추후 과제

본 논문에서는 초음파 센서의 특성을 고려하여 단일 장애물에 대해서만 의도를 추론하였다. 그러나, 이동 로봇이 실제 세계에서 주행할 경우 2개 이상의 장애물도 많이 존재하므로 장애물군(群)에 대한 의도 추론 연구가 앞으로 필요하다. 또한, 초음파 센서의 난반사로 인해서 장애물을 인식하지 못할 경우 제안된 방법으로는 의도를 추론할 수 없으므로 다른 종류의 센서와 센서 융합을 통한 강인한 의도 추론 방법이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] O. Causse and L. H. Pampagnin, "Management of a multi-robot system in a public environment", *Proc. IEEE Int. Conf. Intelligent Robots and systems*, pp. 246~252, 1995.
- [2] S. J. Vestli and N. Tschichold-Gurman, "MOPS, a system for Mail Distribution in Office Type Buliding", *Proc. IEEE Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, pp. 486~496, 1996.
- [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] Iwan Ulrich and Johann Borenstein, "VFH+:Reliable Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots", *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Autonomous*, pp. 1572~1577, 1998.
- [5] Oussama Khatib, "Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots", *International Journal of Robotics Research*, pp 90~98, 1986.
- [6] H. Chung, Y. S. Choi, and J. G. Lee, "Path planning for a mobile robot with grid type world model", *Proc. IEEE Conf. on Intelligent Robot and Systems*, pp. 439~444, 1992.
- [7] Giuseppe Oriolo, "Real-time Map Building and Navigation for autonomous Robots in Unknown Environments", *IEEE Trans. On SMC(B)*, Vol. 28, No. 3, 1998.
- [8] Makoto et al., "A Proposal of Extraction of Intentions in Linguistic Instructions Using Fuzzy Classifier System", *일본 퍼지 학회지*, Vol. 11, No.1, 1999
- [9] 박규태, "소프트 컴퓨팅 기법을 이용한 얼굴 영상에서 감정 추출에 관한 연구", 박사학위논문, 한국과학기술원, 1999
- [10] Yasuhiro Inagaki, "A study of a method of behavior based intention inference", *LIFE TR-4M001*, 1993.
- [11] Sami Atiya and Gregory D. Hagar, "Real-Time Vision-Based Robot Localization", *IEEE Trans. On Robotics and Automation*, Vol. 9, No. 6, pp. 785~800, 1993.
- [12] A. M. Flynn, "Combing sonar and infared sensors for mobile robot navigation", *International Journal of Robotics Research*, Vol. 7, No. 6, pp. 5~14, 1988.
- [13] Angelo Martinez, Eddie Tunstel and Mo Jamshidi, "Fuzzy logic based collision avoidance for a mobile robot", *Robotica*, Vol. 12, pp. 521~527, 1994.
- [14] 김용재, "가상 구심력장과 중력장을 이용한 이동 로봇의 통합 항법 방식", 석사학위논문, 한국과학기술원, 1998
- [15] M. Poloni, G. Ulivi, and M. Vendittelli, "Fuzzy logic and autonomous vehicles: Experiments in ultrasonic vision", *Fuzzy sets and Systems*, Vol. 69, pp. 15~27, 1995.

저 자 소 개



金 成 勳(正會員)

1975년 4월 24일생. 1997년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학 (BS). 1999년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(MS). 2000년 3월~현재 : ETRI 컴퓨터소프트웨어 기술연구소 연구원. <주관심분야 :

멀티미디어, 정보가전>

卞 增 男(正會員) 第36卷 C編 第6號 參照