

진화 알고리즘과 퍼지 논리를 이용한 이동로봇의 개선된 맵 작성

손정수, 정석윤, 진광식, 윤태성
 창원대학교 전기공학과

Improved Map construction for Mobile Robot using Genetic Algorithm and Fuzzy

Jung-su Son, Suk-Yoon Jung, Kwang-Sik Jin, Tae-Sung Yoon
 Department of Electrical Engineering, Changwon National University

Abstract - In this paper, we present an infrared sensors aided map building method for mobile robot using genetic algorithm and fuzzy logic. Existing Bayesian update model using ultrasonic sensors only has a problem of the quality of map being degraded in the wall with irregularity, which is caused by the wide beam width of sonar waves and Gaussian probability distribution. In order to solve this problem, we propose an improved method of map building using supplementary infrared sensors. In the method, wide beam width of sonar waves is divided by infrared sensors and probability is distributed according to infrared sensors' information using fuzzy logic and genetic algorithm.

알려진 정보 A와 새로운 거리 정보 M이 발생했다는 가정하의 점령 확률 값이다. $P(O_i \cap A)$ 는 이미 알고 있는 정보이므로 $P(M \cap A)$ 를 구함으로써 원하는 $P(O_i \cap A)$ 를 구할 수 있다. 초음파 특성에 의한 $P(M \cap A)$ 값을 각 셀에서 빔이 멈출 확률 $P(H_i | A)$ 로 변환하여 구하면 식(2)와 같이 구할 수 있으며, 간략화하여 점령 셀에서는 확률 식(3)으로, 비점령 셀에서는 확률 식(4)로 구할 수 있다[2].

1. 서 론

이동로봇의 주행을 위한 환경지도 작성에 있어서 일반적으로 초음파 센서를 이용하여 주위 환경에 대한 정보를 얻는다. 그러나 초음파 센서는 장애물까지의 거리와 빔의 각도, 장애물 표면, 장애물 위치 등에 영향을 받게 되므로, 초음파 센서에 의해 획득한 정보는 자체적으로 불확실한 정보를 가지게 된다[1],[5]. 불확실한 데이터를 보상하기 위한 방법은 확률이론을 근거로 하고 있으며, 확률이론에 의한 지도 작성 방법은 불확실한 정보를 보상하여 정확한 지도 작성하는데 도움을 준다[2],[5]. 초음파 센서에 의해 얻어지는 데이터만으로도 환경지도 작성이 가능하지만 초음파 센서가 탐색하는 주위 환경이 굴곡이 많은 벽면일 때는 초음파 센서의 불확실성에 의해 지도의 질이 떨어지게 된다. 본 논문에서는 적외선 센서들을 초음파 빔 영역에 추가로 사용하여, 초음파 센싱 영역을 분할하고 장애물 유무를 탐색함으로써 초음파 센서 정보의 신뢰성을 판단하였다. 신뢰성의 판단과 보정을 위해 부정확하고 애매모호한 데이터 처리에 적합한 퍼지 논리를 적용하였고, 또한 퍼지 입력 멤버십 함수는 진화알고리즘을 이용하여 최적화하였다.

2. 확률 지도

2.1 베이저안 업데이트 모델

확률지도란 2차원 또는 3차원 공간을 일정한 크기로 분할하여 한 셀에 물체가 존재할 확률(P_{occ})과 존재하지 않을 확률(P_{emp})로 나누어 표시하는 것을 말하며, 초음파 센서 데이터에 의한 베이저안 업데이트 확률은 식(1)과 같이 나타내어진다.

$$\frac{P(O_i \cap A)}{P(O_i \cap A)} = \frac{P(M \cap A)}{P(M \cap A)} \times \frac{P(O_i | A)}{P(O_i | A)} \quad (1)$$

식(1)에서 $P(O_i \cap A)$ 는 이미 초음파 센서에 의해 이미

$$\frac{P(M \cap A)}{P(M \cap A)} = \frac{P(H_i | O_i \cap A) P(H_i | M)}{P(H_i | O_i \cap A) P(H_i | M)} + \frac{\sum_{j=0}^{i-1} \prod_{k=1}^i P(H_j | O_i \cap A) P(H_{j+1} | O_i \cap A) P(H_{j+1} | M)}{\sum_{j=0}^{i-1} \prod_{k=1}^i P(H_j | O_i \cap A) P(H_{j+1} | O_i \cap A) P(H_{j+1} | M)} \quad (2)$$

$$\frac{P(M \cap A)}{P(M \cap A)} = \frac{\sum_{j=0}^{i-1} \prod_{k=1}^i P(H_j | O_i \cap A) P(H_{j+1} | O_i \cap A) P(H_{j+1} | M)}{\sum_{j=0}^{i-1} \prod_{k=1}^i P(H_j | O_i \cap A) P(H_{j+1} | O_i \cap A) P(H_{j+1} | M)} \quad (3)$$

$$\frac{P(M | O_i \cap A)}{P(M | O_i \cap A)} = \frac{P(H_i | O_i \cap A)}{P(H_i | O_i \cap A)} = \frac{1 - P_{det,i}}{1 - P_{fal,i}} \quad (4)$$

3. 진화 퍼지 제어를 이용한 개선된 지도 작성

초음파 센서로 베이저안 업데이트 모델 환경지도를 구성하는 경우, 모서리나 좁은 틈 등 주위환경이 굴곡이 많은 벽면일 경우에는 빔의 퍼지는 특성에 의해 측정범위의 비 점령지역에서 잘못된 데이터를 반환하므로, 비 점령지역인데도 높은 점유 확률 값을 가지게 된다. 또한 비 점유 영역으로 나타난 부분은 점유 영역으로 다시 복귀되지 않는 특성을 가지므로 지도의 질이 떨어지게 된다. 이를 보상하기 위해서 적외선 센서 3개를 이용하여 초음파 빔 영역을 탐색하고 진화 알고리즘으로 최적화한 퍼지제어를 구성하여 점령확률 값에 반영함으로써, 개선된 베이저안 지도를 작성하는 방법을 제안하였다.

3.1 적외선 상태를 고려한 베이저안 업데이트 모델

본 논문에서는 그림 1과 같이 초음파 빔 영역에서의 장애물 정보를 고려하기 위하여, 적외선 센서 3개를 추가로 사용하였다. 빔의 중심과 양 외각에 배치된 적외선 센서는 초음파 빔 영역을 3부분으로 분할하며, 각 영역의 장애물 유무를 탐색하게 된다. 적외선 센서들은 초음파 센서의 이동 거리에 따라 정확한 측정을 위해 3단계의 거리 값으로 구분하여 측정하며, 장애물 유무 정보를 나타내기 위해서 장애물 감지 시는 On상태, 비감지 시는 Off 상태로 나타내었다. 탐색된 적외선 상태들은 초음파 센서에 의한 베이저안 맵 작성에 반영하여, 식(5)와 같은 새로운 점유 확률 식으로 나타낼 수 있다.

$$P(O_i | M \cap A) = \mu_0(M_i) \cdot P_i(O_i | M \cap A) \quad (5)$$

식(5)에서 $\mu_0(M_i)$ 는 적외선 상태 정보를 기반으로 하여 초음파 센서로 구한 점령 확률 값에 대한 신뢰도를 나타내며, 이를 구하기 위하여 퍼지 논리를 이용하였다.

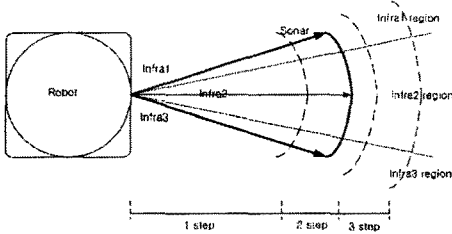


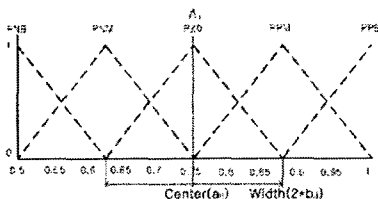
그림 1 적외선 센서 배치와 초음파 및 영역 분할

3.2 퍼지 제어기 설계

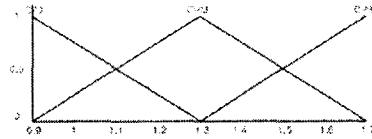
본 논문에서는 초음파 센서에 의한 점령 확률 값의 신뢰도인 $\mu_0(M_i)$ 를 구하기 위해, 대상 플랜트의 정확한 수학적 모델을 알지 못한다 하더라도 좋은 결과를 얻을 수 있는 퍼지제어기를 이용하였다. 적외선 센서에 의해 분할된 영역들은 센싱시 On과 Off의 두 가지 상태를 가지므로, 각 상태에 따른 신뢰도를 구하기 위해, On시의 퍼지제어기와 Off시의 퍼지제어기를 각각 구성하였다. 퍼지화는 입력 값들에 대해 계산량을 적게 하고, 요구하는 시스템의 비선형적인 특성에 응답할 수 있도록 삼각형 형태의 소속함수를 사용하였고, 입력 변수인 초음파 센서에 의한 점령 확률 값을 적절히 스케일 맵핑하였다. 입력 소속 함수의 형태는 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화하기 위해 그림 2 (a)와 같이 표현하였다.

$$A_{ij}(x_i) = \begin{cases} \frac{x_i - b_{ij}}{a_{ij} - b_{ij}} & : a_{ij} - b_{ij} < x_i \leq a_{ij} \\ \frac{x_i - a_{ij}}{a_{ij} + b_{ij} - x_i} & : a_{ij} < x_i < a_{ij} + b_{ij} \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

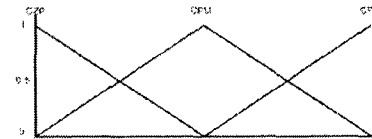
여기서 x_i 는 퍼지 입력 변수, a_{ij} , b_{ij} 는 각각 삼각형의 중심점 위치와 중심점과 모서리사이의 폭을 나타낸다. 퍼지출력은 그림 2 (b)와 같이 On시에는 출력 범위가 (0.9~1.7)의 값으로 Off시에는(0.5~1.0)의 출력 범위로 구성하였다. 그림 2 (d)와 같이 퍼지 제어규칙을 사용하여, On상태 퍼지제어기는 점령지역에서의 적은 점령확률 값을 적절히 보상하게 하고, Off상태 퍼지제어기는 비 점령지역에서의 높은 점령 확률 값을 적절히 보상하게 하였다. 퍼지 추론 방법은 가장 널리 사용되는 max-min연산 방법을 사용하였고, 무게중심법에 의해 비퍼지화 하였다.



(a) 최적화할 입력 멤버함수



(b) On시 입력 멤버함수



(c) Off시 입력 멤버함수

On시 Fuzzy Rule	Off시 Fuzzy Rule
1. If PNB then CZO	1. If PNB then CPB
2. If PPB then CZO	2. If PPB then CPB
3. If PNB then CPM	3. If PNB then CPM
4. If PPM then CPM	4. If PPM then CPM
5. If PZO then CZO	5. If PZO then CZO

(d) 퍼지 제어규칙

그림 2 퍼지제어기의 입·출력변수에 대한 소속함수

3.3 진화 알고리즘을 이용한 퍼지 제어기의 최적화

진화 알고리즘(Genetic Algorithm :GA)을 이용하여 지제어기를 최적화하기 위하여 그림 3과 같은 시스템을 구성하였다.

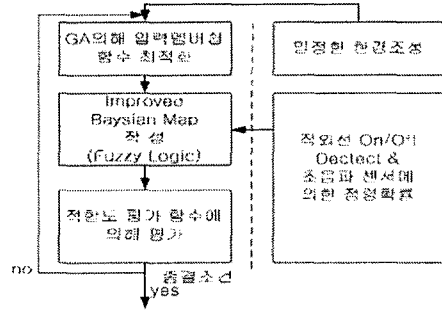


그림 3 GA를 이용한 퍼지 소속 함수 최적화 방안

이동 로봇이 맵 작성 시 탐색될 다양한 형태의 주위환경을 조성한 후, GA 최적화 과정을 통해 기존의 베이저안 지도 작성법과 개선된 베이저안 지도 작성 방법을 평가함수를 통해 비교하여 입력 소속 함수를 최적화 하였다. 그림 4 (a)와 같이 입력 퍼지 멤버함수의 중심점과 폭을 GA의 입력 탐색제로 구성하였고, 유전자의 표현은 시뮬레이션 속도를 향상시키기 위하여 부동소수 형 대신 정수형 스트링을 이용하는 이진 스트링으로 인코딩 하여 수행하였다. 입력 인자(factor)의 비트(bit)수는 입력 멤버 함수의 중심점과 폭의 실제 범위 값을 분해능 0.001과 0.005로 2진화하여 0 ~ 1000의 값을 가지는 10비트로 결정하였고, 적외선 센서의 On 상태와 Off 상태 때 퍼지규칙이 다르므로, Center00~Center04 까지는

Center00					Width00				
0	1	...	8	9	0	1	...	8	9

(a) 기본 규칙을 받은 구성

1행적체	Center00	Width00	Center01	Width01	...	Center09	Width09
2행적체	Center10	Width10	Center11	Width11	...	Center19	Width19
...
10행적체	Center90	Width90	Center91	Width91	...	Center99	Width99

(b) 실제 탐색체 구성

그림 4 GA 입력 인자 및 탐색체 구성

On일 때의 규칙을, Center05 ~ Center09까지는 Off일 때의 규칙을 적용하였다. 유전체의 적합도를 평가하는 방법으로는 실제 지도와 적외선 정보를 이용한 퍼지 제어기로 작성된 지도의 차이율식 (7)과 같이 평균제곱오차의 방법으로 평가하였다.

$$F(v) = \frac{1}{i \times j} \sum_{k=0}^{i-1} \sum_{l=0}^{j-1} e_v^2(k, l) \quad (7)$$

$e_v(k, l) =$ 실제 지도의 값 - 작성한 지도의 값

v : 평가에 사용된 탐색체

i, j : 전체 지도의 픽셀 수

적합도 평가에서 $F(v)$ 의 값이 작을수록 실제 지도와의 오차가 작으므로 적합도가 높다. GA과정 중 개체선택은 룰렛휠 선택방법을 사용하였다. 교배는 개체군의 수만큼 임의의 수를 만들고, 결정 비율(15%~20%)에 속하는 개체들만 임의의 절단 점에서 교배연산을 수행하였고, 유전체의 총 비트 수에서 돌연변이율은 0.001로 하였다.

4. 시뮬레이션 및 결과

본 연구에서 제안된 지도 작성 알고리즘의 개선된 점을 검증하기 위해서 실험에 앞서 Vehicle의 모의 지도 작성 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 프로그램은 VC++를 사용하였고, 그림 5와 같이 탐색 환경은 1셀이 9cm인 임의의 환경을 조성하여 시뮬레이션 하였다. 그림 6에서 초음파 센서에 의한 베이직안 확률 지도를 작성했을 때는 모서리나 틈 주위에서 비 점령지역이 높은 점령확률 값을 가지게 되고, 점령지역에서 낮은 점령확률 값을 것을 볼 수 있으나, 그림 7에서는 이에 대한 보정이 이루어진 것을 볼 수 있다.

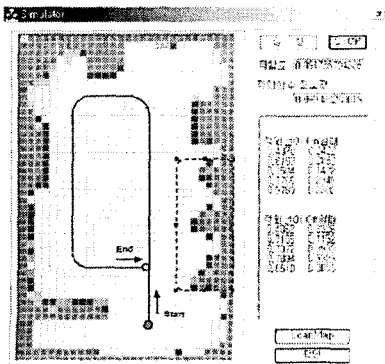


그림 5 시뮬레이션 지도 영상

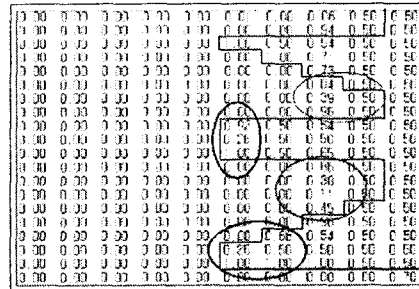


그림 6 베이직안 지도작성 시 점령 확률 값

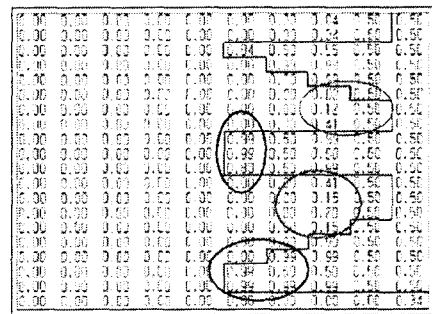


그림 7 개선된 베이직안 지도작성 시 점령 확률 값

5. 결론

본 논문에서는 기존의 초음파 센서를 이용한 베이직안 지도 작성 방법에, 적외선 센서를 이용하여 초음파 빔영역을 분할 탐색한 후 진화 퍼지제어기에 의해 정밀한 지도를 작성하는 방법을 제안하였다. 또한 개선된 알고리즘의 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 방법이 기존의 베이직안 확률 모델에서 보여준 결과보다 우수함을 보여주었다.

이 논문은 2001년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

(참고 문헌)

- (1) A.M. Flynn., "Combining Sonar and Infrared Sensors for Mobile Robot Navigation", The International Journal of Robotics Research, Vol.7, No.6, pp.5-14, December 1988.
- (2) 임종환, "베이직안 방법에 의한 자율 이동 로봇의 지도 형성 및 경로 계획", 석사학위논문, 포항공대 기계공학과, 1990.
- (3) C.D. McGillem and T.S. Lapparport, "Infrared Location System for Navigation of Autonomous Vehicle," IEEE, pp.1236-1238, 1988.
- (4) H. Moravec and A. Elfes, "High Resolution maps from Wide Angle Sonar," IEEE International Conference on Robotics and Automation, St. Louis, pp.116-121, 1985.
- (5) D.W.Cho, "Centainty Grid Representation for Robot Navi by a Bayesian Method," ROBOTICA, Vol.,pp.159-165, 1990.