

퍼지 논리와 진화알고리즘을 이용한 자율이동로봇의 향상된 지도 작성

An Improved Map Construction for Mobile Robot Using Fuzzy Logic and Genetic Algorithm

진광식 · 안호균 · 윤태성

Kwang-Sik Jin, Ho-Gyun Ahn, Tae-Sung Yoon

창원대학교 전기공학과

요약

이동로봇의 주행을 위한 초음파 센서 만에 의한 기존의 베이지안 지도 작성법은 초음파 센서 범위의 퍼짐 특성 등에 의해 굴곡이 많은 환경의 경우 양질의 지도가 형성되지 못한다. 이러한 문제의 개선을 위해 본 논문에서는 적외선 센서를 설치하여 초음파 센서 범위의 각 영역에서의 장애물에 대한 정보를 획득하고, 이 정보를 이용 퍼지 추론시스템에 의하여 초음파 센서에 의한 정보의 신뢰도를 구하여 베이지안 지도 작성법에 의한 결과에 융합시킴으로써 보다 정확한 환경 지도를 작성하는 방법을 제시하였다. 또한, 퍼지 추론 시스템을 최적화하기 위하여 유전 알고리즘을 사용하였다. 그리고 시뮬레이션 및 실제 실험에 의해 제안된 방법이 굴곡이 많은 환경의 경우 기존의 방법 보다 정확한 지도 작성이 가능함을 검증하였다.

Abstract

Existing Bayesian update method using ultrasonic sensors only for mobile robot map building has a problem of the quality of map being degraded in the wall with irregularity, which is caused by the wide beam distribution. For improving this problem, an infrared sensors aided map building method is presented in this paper. Information of obstacle at each region in ultrasonic sensor beam is acquired using the infrared sensors and the information is used to get the confidence of ultrasonic sensor information via fuzzy inference system and genetic algorithm. Combining the resulting confidence with the result of Bayesian update method, an improved map is constructed. The proposed method showed good results in the simulations and experiments.

Key Words : Bayesian Map Building, Fuzzy Logic, Genetic Algorithm, Mobile Robot, Infrared Sensor

1. 서 론

이동로봇은 주위 환경을 탐색하여 필요한 정보를 얻고 지도를 작성하게 된다. 지도 작성에 위하여 올바른 환경인식 능력을 갖춘 이동로봇은 결과적으로 맑은 임무를 충분히 수행하게 된다. 주위의 환경을 인식하기 위하여 이동로봇은 여러 가지 센서를 사용하는데[1-3], 이들 센서는 센서마다 감지할 수 있는 특징이 다르다. 지도 작성 시 주위의 환경 인식을 위해 보통 초음파 센서가 많이 사용되지만, 초음파 범위의 퍼짐특성으로 인하여 지도형성에서 불확실성이 존재하게 된다. 일반적으로 베이지안 이론을 통하여 이러한 불확실성을 보정하지만[4-5], 주위환경이 흄이나 모서리 등 굴곡이 많은 환경일 경우에는 정밀하지 못한 지도를 형성하게 된다.

Moravec[1]과 Elfes[1]는 최초로 이동로봇의 지도형성 연구에 거리센서의 일종인 초음파 센서를 이용하였다. 주위 공간을

여러 개의 작은 cell로 나누고, 센서의 정보로부터 계산된 점령확률을 각각의 cell에 할당해서 전체 공간을 표현하는 썬터 그리드(certainty grid)개념을 처음으로 시도했다. 그러나 초기의 모델은 다분히 경험적인 확률생성 방법으로 정밀한 지도 형성이 어려웠다. 그 이후, Borenstein[7]은 VFF(Virtual Force Field)방법을 사용하여 각각의 센서정보마다 획득한 거리 데이터를 이용하여 센서의 영역이 포함되는 격자지도의 부분을 생신하는 지도를 작성하였다. 이 방법은 초음파 센서의 불확실성을 고려하지 않았기 때문에 장애물 회피에는 유리하나 지도 제작에는 적합하지 않았다. 이러한 초음파의 불확실성을 극복하기 위해, Borenstein과 Koren[8]은 HIMM (Histogram In-Motion Mapping)이라는 방법으로 초음파 지도를 제작하였다. 이 방법은 센서의 조향각과 일치하는 격자들만을 생신하는 방법이다. 그러나, 이 방법 역시 초음파 정보의 불확실성 문제를 극복하지 못하고 정보 취득 회수를 늘려야하는 문제점이 나타났다. Durran- Whyte and Leonard[9]는 초음파 센서를 이용하여 모델기반지도를 작성하였다. 이 방법은 물체의 기하학적인 상태에 따른 음파의 반사특성을 이용하였다. 반사특성을 벽면, 모서리, 구석으로 구분하고, 이 환경구성인자들은 수학적 모델로 규정하여 지도를 작성하였다. 이 방법은 물체의 크기

접수일자 : 2005년 4월 1일

완료일자 : 2005년 5월 16일

본 연구는 지역혁신 인력양성 사업지원에 의해 연구되었습니다.

를 제한해야 했으며, 물체간의 간섭 등의 문제를 해결하기에는 적합하지 않았다. 이러한 대표적인 연구들을 기반으로하여 현재까지 다양한 방법으로 많은 연구가 진행되었다.

본 논문에서는 위의 문제점을 극복하기 위해, 초음파센서를 기본으로 하고 적외선 센서를 추가하여 이로부터 얻어지는 정보를 퍼지 논리에 의해 초음파 센서의 정보와 융합하고 진화 알고리즘으로 퍼지 입, 출력 소속 함수를 최적화함으로써, 초음파 센서의 특성에 기인한 불확실한 정보를 보상하여 보다 정밀한 지도를 작성하는 방법을 제시하기로 한다.

2. 확률지도 작성

2.1 베이지안 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 베이지안 업데이트 확률은 식(1)과 같이 나타내어진다[4-5].

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

식(1)에서 $P(O|M \cap A)$ 는 이미 초음파 센서에 의해 이미 알려진 정보 A와 새로운 거리 정보 M이 발생했다는 가정하의 점령 확률 값을이다. $P(\bar{O}|M \cap A)$ 는 $P(O|M \cap A)$ 의 여사건일 확률이고, $P(O|A)$ 는 이미 알고 있는 정보이므로 $P(M|O \cap A)$ 를 구함으로써 원하는 $P(O|M \cap A)$ 를 구할 수 있다. 초음파 특성에 의한 $P(M|O \cap A)$ 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[5].

$$\begin{aligned} \frac{P(M|O_i \cap A)}{P(M|\bar{O}_i \cap A)} &= \frac{P(H_i|O_i \cap A)P(H_i|M)}{P(H_i|\bar{O}_i \cap A)P(H_i|M)} \\ &+ \sum_{n=0}^m \prod_{k=j}^{j+n-1} P(H_k|\bar{O}_i \cap A)P(H_{j+n}|O_i \cap A)P(H_{j+n}|M) \\ &+ \sum_{n=0}^m \prod_{k=j}^{j+n-1} P(H_k|\bar{O}_i \cap A)P(H_{j+n}|\bar{O}_i \cap A)P(H_{j+n}|M) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{P(M|\bar{O}_i \cap A)}{P(M|\bar{O}_i \cap A)} &= \\ &\sum_{n=0}^m \prod_{k=1}^{j+n-1} P(H_k|\bar{O}_i \cap A)P(H_{j+n}|O_i \cap A)P(H_{j+n}|M) \\ &\sum_{n=0}^m \prod_{k=1}^{j+n-1} P(H_k|\bar{O}_i \cap A)P(H_{j+n}|\bar{O}_i \cap A)P(H_{j+n}|M) \end{aligned} \quad (3)$$

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

3. 퍼지 논리와 진화 연산을 이용한 개선된 지도 작성

초음파 센서로 베이지안 업데이트 모델 환경지도를 구성하는 경우, 모서리나 좁은 틈 등 주위환경이 굴곡이 많은 벽면일 경우에는 빔의 퍼지는 특성에 의해 측정범위의 비 점령 지역에서 잘못된 데이터를 반영하므로, 비 점령지역인데도

높은 점령 확률 값을 가지게 된다. 또한 비 점유 영역으로 나타난 부분은 점유 영역으로 다시 복귀되지 않는 특성을 가지므로 지도의 질이 떨어지게 된다. 이를 보상하기 위해서 본 논문에서는 적외선 센서 3개를 이용하여 초음파 빔 영역을 탐색하고 진화 알고리즘으로 최적화한 퍼지 추론시스템을 구성하여 점령 확률 값에 반영함으로써, 개선된 베이지안 지도를 작성하는 방법을 제안하였다.

3.1 장애물 확률분포를 고려한 베이지안 업데이트 모델

본 논문에서는 초음파 빔 영역에서의 장애물 정보를 고려하기 위하여, 적외선 센서 3개를 추가로 사용하였다. 그림 3.1은 초음파 센서와 적외선 센서의 배치를 나타낸 것이다. 여기서, 초음파의 전향 측정시스템은 직진방향의 좌우 15도 쪽의 측정 영역으로 거리 정보를 탐색 한다. 반면, 적외선 센서는 초음파의 전향 각도에 배치하여 측정하고자 하는 물체의 존재 유무를 판단하는 형태로 탐색을 한다. 초음파 센서의 직진 방향의 지향각의 좌우 15도 방향으로 적외선 센서를 각각 한 개씩 설치하고 초음파 직진 방향으로 한 개를 설치하였다. 즉, 적외선 센서 3개를 초음파 센서 센싱 범위의 중심축과 양 외각영역에 배치하여 콘 형태의 빔 범위의 국부영역의 장애물 유무정보를 얻도록 배치한 것이다.

빔의 중심과 양 외각에 배치된 적외선 센서는 그림 3.2와 같이 초음파 빔 영역을 3부분으로 분할하며, 각 영역의 장애물 유무를 탐색하게 된다. 적외선 센서들은 초음파 센서의 유동 거리에 따라 정확한 측정을 위해 3단계의 거리 값으로 구분하여 측정하며, 장애물 유무 정보를 나타내기 위해서 장애물 감지 시는 On상태, 비감지시는 Off 상태로 나타내었다. 적외선 센서 상태들은 초음파 센서에 의한 베이지안 지도 작성에 반영하게 되는데, 식(5)와 같은 새로운 점유 확률 식으로 나타낼 수 있다.

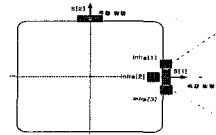


그림 3.1 초음파 센서와 적외선 센서의 배치도
Fig. 3.1 Configuration of the ultrasonic sensors and infrared sensors

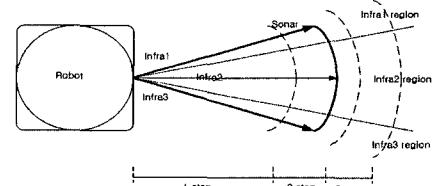


그림 3.2 적외선 센서 배치와 초음파 빔 영역 분할
Fig. 3.2 Configuration of infrared sensors and divisions in ultrasonic sensor beam area

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

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

업데이트 모델에서 적외선 센서를 이용한 장애물 확률분포를 고려하여 개선된 격자지도를 형성하는 방법은 그림 3.3과 같이 구현이 된다.

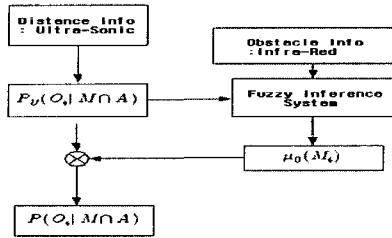


그림 3.3 개선된 격자 지도 작성법

Fig. 3.3 Method of the improved certainty grid map building

3.2 퍼지 추론시스템 설계

본 논문에서는 초음파 센서에 의한 점령 확률 값의 신뢰도인 $\mu_0(M_t)$ 을 구하기 위해 퍼지 추론시스템을 이용하였다. 적외선 센서에 의해 분할된 영역들은 센싱 시 On과 Off의 두 가지 상태를 가지므로, 각 상태에 따른 신뢰도를 구하기 위해, On시의 퍼지 추론시스템과 Off시의 퍼지 추론시스템을 각각 구성하였다. 퍼지화는 입력 값들에 대해 계산량을 적게 하고, 요구하는 시스템의 비선형적인 특성에 응답할 수 있도록 삼각형 형태의 소속 함수를 사용하였고, 입력 변수인 초음파 센서에 의한 점령 확률 값을 적절히 스케일 맵핑하였다. 퍼지 추론시스템의 특징은 입력 소속 함수의 적합도에 따라 출력이 현저히 차이가 난다. 입력 소속 함수를 최적화하는 것이 퍼지 추론시스템을 최상의 시스템으로 만들 수 있다. 그러므로 입력 소속 함수의 형태는 전영역 탐색 알고리즘인 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화하였다. 전체적인 퍼지 추론시스템의 블록선도는 그림 3.4와 같이 구성하였다. 그림 3.5는 입력 소속 함수를 나타낸 것이다.

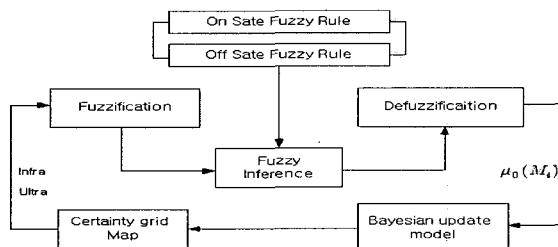


그림 3.4 퍼지 추론시스템의 블록선도

Fig. 3.4 Block diagram of fuzzy inference system

그림 3.5에서 CZO는 초음파센서에 의한 점령확률 값을 유지하고, CNS~CNH는 낮은 가중치를 적용함으로써 점령확률을 낮춘다. CPS~CPH는 높은 가중치를 적용함으로써 점령확률을 높인다.

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

식(6)은 입력 소속 함수의 형태를 수학적으로 표현한 것이다. 여기서 x_i 는 퍼지 입력 변수, a_{ij}, b_{ij} 는 각각 삼각형의 중심점 위치와 중심점과 모서리 사이의 폭을 나타낸다.

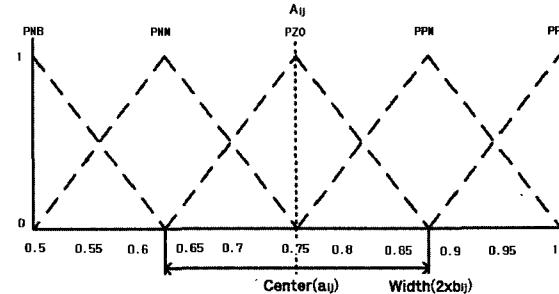


그림 3.5 퍼지 추론시스템의 입력 소속 함수

Fig. 3.5 Input membership function

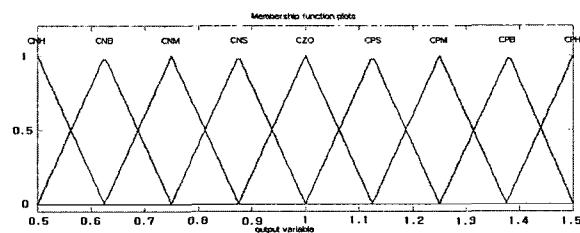


그림 3.6 퍼지 추론시스템의 출력 소속 함수

Fig. 3.6 Output membership function

퍼지 출력 소속 함수는 그림 3.6과 같이 0.5~1.5의 값으로 출력 범위를 구성하였다. 그림 3.7과 같이 퍼지 추론 규칙을 사용하여, On상태 퍼지 추론시스템은 점령지역에서의 적은 점령확률 값을 적절히 보상하게하고, Off상태 퍼지 추론시스템은 비 점령지역에서의 높은 점령 확률 값을 적절히 보상하게 하였다. 퍼지 추론 방법은 가장 널리 사용되는 max-min연산 방법을 사용하였고, 무게중심법에 의해 비퍼지화 하였다.

On시 Fuzzy Rule	Off시 Fuzzy Rule
1. If PPB then CZO	1. If PBM then CZO
2. If PPM then CPS	2. If PNH then CNS
3. If PZO then CPM	3. If PZO then CNM
4. If PNM then CPB	4. If PPM then CNB
5. If PNB then CPH	5. If PPB then NBH

그림 3.7·퍼지 추론 규칙

Fig. 3.7 Fuzzy Rule

3.3 진화 알고리즘을 이용한 퍼지 추론시스템의 최적화

진화 알고리즘(Genetic Algorithm :GA)을 이용하여 퍼지 추론시스템의 입력 소속 함수를 최적화하기 위하여 그림3.8과 같은 시스템을 구성하였다. 이동 로봇이 지도 작성 시 탐색할 다양한 형태의 주위환경을 조성한 후, GA 최적화 과정을 통해 기준의 베이지안 지도 작성법과 개선된 베이지안 지도 작성 방법을 평가함수를 통해 비교하여 입력 소속 함수를 최적화 하였다.

그림 3.9와 같이 입력 퍼지 멤버함수의 중심점과 폭을 GA의 입력 염색체로 구성하였고, 유전자의 표현은 시뮬레이션

속도를 향상시키기 위하여 부동 소수 형 대신 정수형 스트링을 이용하는 이진 스트링으로 인코딩 하여 수행하였다. 입력 인자(factor)의 비트(bit)수는 입력 멤버쉽 함수의 중심점과 폭의 실제 범위 값을 분해능 0.001과 0.005로 2진화하여 0~1000의 값을 가지는 10비트로 결정하였고, 적외선 센서의 On 상태와 Off 상태일 때 퍼지 규칙이 다르므로, Center00~Center04 까지는 On일 때의 규칙을, Center05~Center09 까지는 Off일 때의 규칙을 적용하였다. 유전체의 적합도를 평가하는 방법으로는 실제 지도와 적외선 정보를 이용한 퍼지 추론시스템으로 작성된 지도의 차이를 식(7)과 같이 평균 제곱오차의 방법으로 평가하였다.

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

$e_v(k, l) = |\text{실제 지도의 값} - \text{작성한 지도의 값}|$

v : 평가에 사용된 염색체

i, j : 전체 지도의 피셀 수

적합도 평가에서 $F(v)$ 의 값이 작을수록 실제 지도와의 오차가 작으므로 적합도가 높다. GA과정 중 개체선택은 룰렛 휠 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.

그림 3.8은 GA에 의한 퍼지 입력 소속 함수의 최적화 방안을 나타내었고, 그림3.9는 GA의 입력인자 및 염색체 구성을 나타낸 것이다.

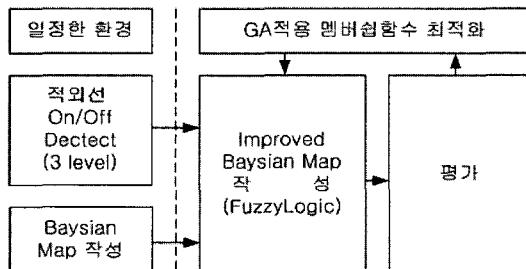


그림 3.8 GA에 의한 입력 소속 함수 최적화 방안
Fig. 3.8 Optimization of input membership function by GA

Center00				Width00					10
0	1	...	9	0	1	...	9	10	

(a) 한 개의 멤버쉽 함수 구성

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

(b) 실제 염색체 구성

그림 3.9 GA 입력 인자 및 염색체 구성
Fig. 3.9 Construction of gene

이동로봇이 주행할 환경은 탐색 시 고려되어져야 할 다양한 환경을 선정하였다. 시뮬레이션 환경은 위쪽과 우측의 모

서리나 좁은 틈 등, 굴곡이 많은 벽면들을 모델링 하였고, 아래쪽과 좌측은 평평한 벽면을 모델링 하였다. 그리고 이동로봇의 탐색경로는 그림 3.10과 같이 출발지점과 종료지점을 가지는 일정한 경로를 설정하였다. 그 후 이동로봇의 시뮬레이션 탐색 주행 경로를 따라 확률 지도를 형성하게 되고, 매회 주행을 마치면 GA의 평가 함수를 통하여 다음 세대를 형성하여 적용한 후, GA의 종료정책을 만족시킬 때까지 탐색을 계속 수행하게 된다.

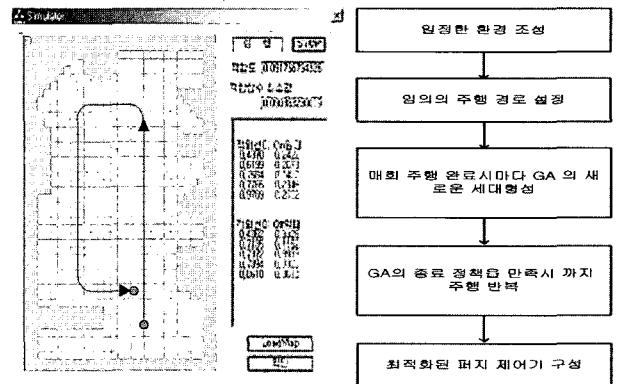


그림 3.10 시뮬레이션 환경 및 흐름도

Fig. 3.10 Simulation environment and flow chart

표3.1은 유전알고리즘의 초기 파라미터를 설정한 값이다. 그림 3.11은 시뮬레이션에서의 적합도 변동추이를 나타낸 것으로 GA 적용시 본 논문에서는 150세대 형성 후 종료하도록 하였고, 한 세대에서 최고의 적합도를 가지는 염색체만을 추출하여 나타나도록 하였다. 시뮬레이션 결과 40세대 이 후 적합도의 변동은 안정화 되었다.

표 3.1 유전 알고리즘 초기 파라미터 값

Table 3.1 Initial parameter values for GA

parameter	initial value
Population size N	10
Crossover probability P_c	0.20%
Mutation probability P_m	0.05%

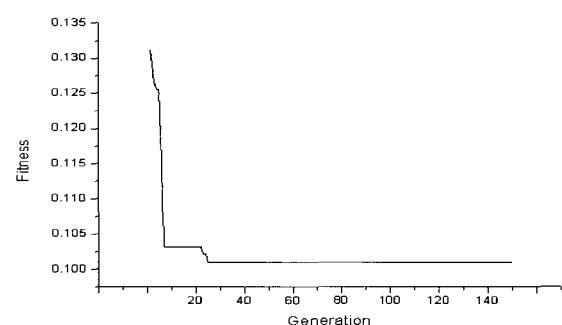
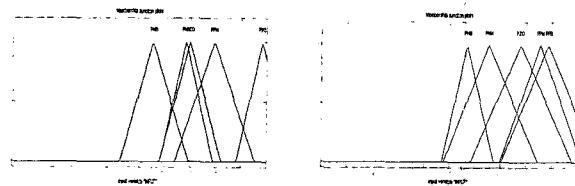


그림 3.11 적합도 값의 변동 추이

Fig. 3.11 Change of fitness

그림 3.12는 GA로 최적화한 후의 결과를 나타낸 것으로 그림 3.12의 (a)는 적외선 센서에 의해 물체를 감지했을 때의

퍼지 입력 소속 함수이다. 그림3.12의 (b)는 적외선 센서가 물체를 감지 못했을 때의 입력 소속 함수를 나타낸 것이다. 그림3.12는 그림 3.5의 최적화 하기전의 초기 퍼지 입력 소속 함수와는 전혀 다른 모습을 나타내는 것을 볼 수 있다.

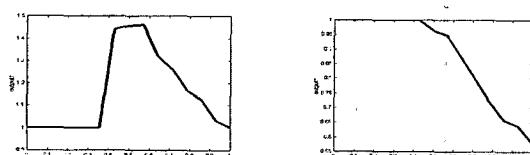


(a) 적외선 센서 ON (b) 적외선 센서 OFF

그림 3.12 GA 적용 후의 퍼지 입력 소속 함수

Fig. 3.12 Fuzzy Input member function after GA

그림 3.13은 적외선 센서의 물체 감지 여부에 따른 퍼지 입출력 형태를 나타낸 것이다. 왼쪽 그림과 같이, 적외선 센서가 장애물을 감지했을 때를 살펴보면 초음파 센서 데이터에 의해 구한 점령확률이 높으면 신뢰성이 높다고 판단하여 점령확률을 적절히 유지하고, 반대로 점령확률이 낮으면 신뢰성이 떨어진다고 판단하여 적절히 점령확률을 높여준다.



적외선 센서 ON

적외선 센서 OFF

그림 3.13 GA한 후의 퍼지 입출력 상태

Fig. 3.13 Fuzzy Input/Output State after GA
(Infrared ON)

4. 실험 및 결과

4.1 지도 작성 시뮬레이션

본 연구에서 제안된 지도 작성 알고리즘의 개선된 점을 검증하기 위해서 실험에 앞서 이동로봇의 지도 작성을 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 프로그램은 VC++을 사용하였고, 탐색 환경은 1셀이 9cm인 임의의 환경을 조성하여 시뮬레이션 하였다. 부분적인 환경과 전체적인 환경에서의 시뮬레이션을 통하여 초음파센서에 의한 일반적인 베이지안 확률 격자 지도 작성과 본 논문에서 제안된 개선된 지도 작성법과의 결과를 비교하였다.

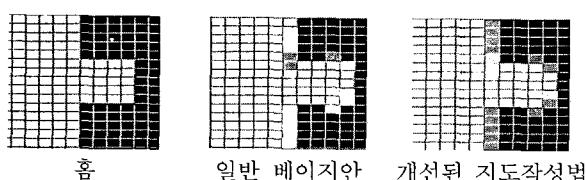


그림 4.1 빈틈에서의 시뮬레이션 결과 비교

Fig.4.1 Comparision of simulation results at a gab

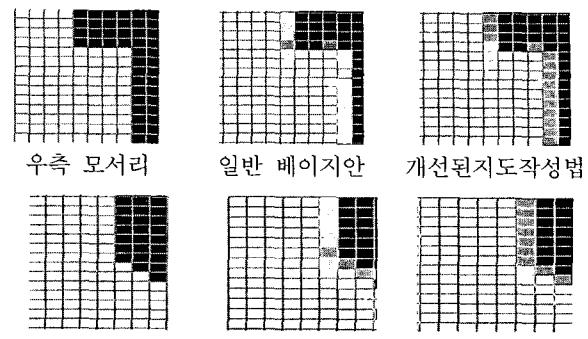


그림 4.2 우측 모서리에서의 시뮬레이션 결과 비교

Fig.4.2 Comparision of simulation results at right edges

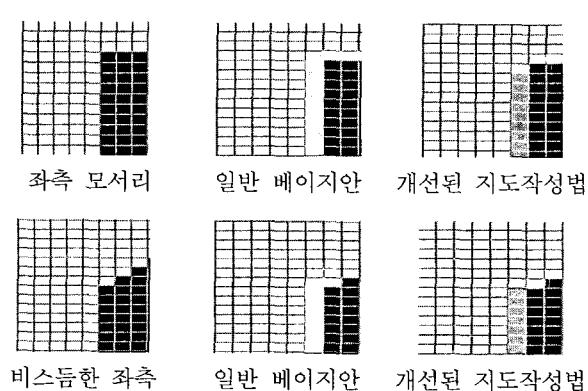
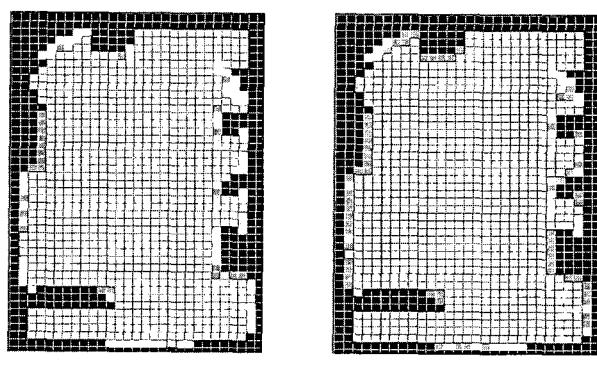


그림 4.3 좌측 모서리에서의 시뮬레이션 결과 비교

Fig. 4.3 Comparision of simulation results at left edges



일반 베이지안 지도

개선된 베이지안 지도

그림 4.4 전체적인 시뮬레이션 환경에서의 결과

Fig. 4.4 Comparision of simulation results in a whole map

그림 4.1은 빈틈에서의 지도 작성, 그림 4.2와 4.3은 각각 좌, 우측 모서리에 대한 지도 작성 결과를 나타낸다. 또한 그림 4.4는 전체적인 지도 환경에서의 결과를 나타내었다. 기존의 베이지안 지도 작성법은 초음파센서의 빔 퍼짐 특성에 의하여 구성된 환경의 빈틈이나 모서리 부분에서 불명확한 지도를 작성하지만, 본 논문의 개선된 확률지도 작성법은 환경에 대하여 보다 더 정확한 정보를 획득함으로써 기존의 베이지안 지도 작성법보다 좀더 양질의 지도가 작성됨을 볼 수 있다.

본 시뮬레이션에서 일반 베이지안 지도와 개선된 베이지

안 지도와의 결과를 정량적으로 비교해 보기 위해 전체 시뮬레이션에서의 점령화률 값에 대한 RMS (Root Mean Square) 오차를 구하였다.

표 4.1 시뮬레이션에 대한 평균오차평가 값
Table 4.1 RMS error of simulation results

RMS 오차	일반 베이지안	개선된 지도작성법
72cm, 90cm 흄	0.1532, 0.1496	0.1322, 0.1358
우측모서리	0.1484	0.1156
비스듬한 우측모서리	0.1548	0.1254
좌측모서리	0.1347	0.1158
비스듬한 좌측모서리	0.1354	0.1285
전체 지도	0.1443	0.1356

표 4.1은 그 결과를 보여준다. 전체 지도의 경우 일반 베이지안 지도 작성법에서는 값이 0.1443이고, 개선된 지도 작성법에서는 값이 0.1356로서 제안된 방법에 의해 보다 양질의 지도 작성이 이루어짐을 볼 수 있다.

4.2 실제 실험 및 결과

4.2.1 실험 환경

본 논문에서는 실제 실험을 실내 환경에서 수행하여 결과를 얻었다. 실내 환경은 직사각형의 물체들을 이용하여 빈틈과 모서리를 구성하였다. 그림 4.5와 같이 이동로봇이 구성된 환경 내에서 직선 주행을 통하여 초음파 정보 및 적외선 정보를 취득하고 이를 정보를 바탕으로 지도를 작성한다.

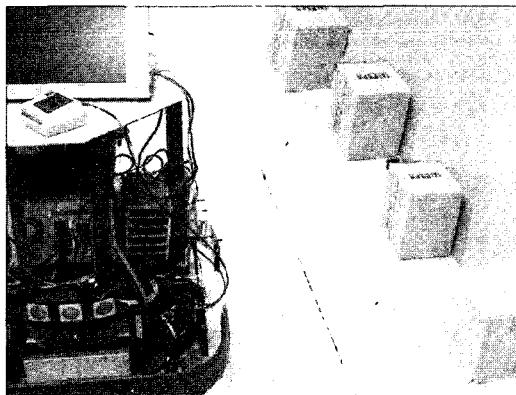


그림 4.5 실험실 환경 및 이동 로봇

Fig. 4.5 Mobile robot and experimental environment

4.2 실험 결과

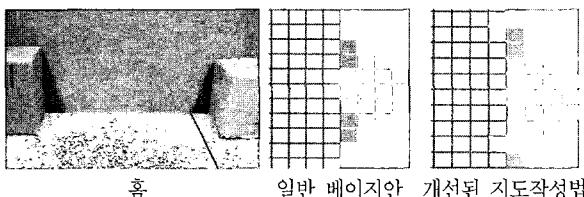


그림 4.6 빈틈에서의 지도 작성 비교

Fig. 4.6 Comparision of experimental results at a gab

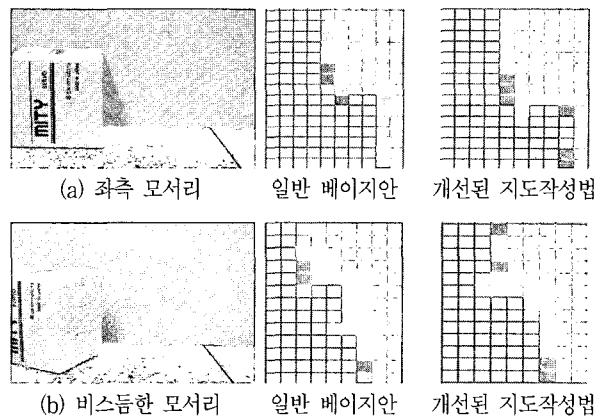


그림 4.7 좌측 모서리에서의 지도 작성 비교

Fig. 4.7 Comparision of experimental results at left edges

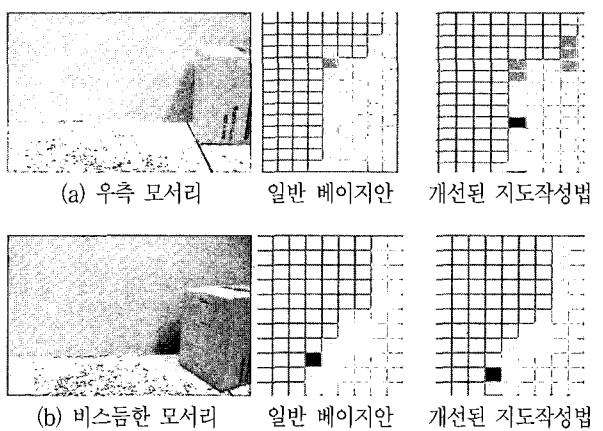


그림 4.8 우측 모서리에서의 지도작성 비교

Fig. 4.8 Comparision of experimental results at right edges

표 4.2 실제 실험에 대한 평균오차평가 값

Table 4.2 RMS error of experimental results

RMS 오차	일반 베이지안	개선된 지도작성법
72cm, 90cm 흄	0.1956, 0.1896	0.1782, 0.1752
우측모서리	0.1784	0.1556
비스듬한 우측모서리	0.1548	0.1254
좌측모서리	0.1447	0.1358
비스듬한 좌측모서리	0.1485	0.1356
굴곡 벽면	0.1653	0.1495

앞의 시뮬레이션 환경과 유사하게 그림 4.6, 4.7, 4.8과 같이 빈틈을 가지는 환경, 좌, 우측의 모서리를 가진 환경을 구성하여 실험을 하였다. 지도 작성을 위한 시뮬레이션에서는 초음파센서에 의한 거리 정보가 이상적으로 측정되어지지만, 실제 실험을 통한 지도 작성 시에는 초음파 센서의 다양한 특성 및 환경에 의한 오차로 인해 시뮬레이션 결과보다는 질이 떨어지는 지도가 작성되어짐을 볼 수 있다. 그러나 실제 실험을 통하여 얻은 결과를 비교해 보면, 적외선 센서에 의해 초음파 센서 범위 내의 장애물 유무를 검출하여 얻은 장애물에 대한 직접적인 정보를 가지고 보상해 줌으로써 보다 선명한 양질의 지도가 작성되어짐을 알 수 있다.

실제 실험에서도 일반 베이지안 지도와 개선된 베이지안 지도와의 결과를 정량적으로 비교해 보기 위해 전체 실험에서의 점령률를 값에 대한 RMS 오차를 구하여 표 4.2에 나타내었다. 표 4.2에서 굴곡 벽면에서의 값은 부분적인 환경을 조합하여 직선주행이 가능한 벽면에 구성하고 지도 작성 실험을 수행한 결과이다. 이 경우 일반 베이지안 지도 작성법에서는 값이 0.1653이고, 개선된 지도 작성법에서는 값이 0.1495로서 실제 실험에서도 제안된 지도 작성법에 의해 보다 양질의 지도 작성이 이루어짐을 볼 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 이동로봇의 주행을 위한 환경 지도 작성법에 관한 연구로서 기존의 초음파 센서 만에 의한 베이지안 지도 작성법의 문제점을 적외선 센서를 추가하여 퍼지 논리를 통하여 수리적인 형태로 융합함으로써 확률을 결정하고, 유전자 알고리즘을 통하여 퍼지 입력 소속함수의 중심축과 폭을 최적화함으로써 향상된 지도를 작성하였다. 시뮬레이션과 실제 실험에서 RMS 오차의 비교 분석을 통해 개선된 지도 작성법을 검증하였다.

결과적으로 이러한 제안된 알고리즘은 세밀한 지도작성을 요하는 환경의 지도 작성법에 대하여 매우 유용하게 사용될 수 있다. 또한, 복잡한 환경에 대한 정밀한 지도 작성 시스템으로써 진보된 형태라 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] H.P. Moravec and A. Elfes, "High Resolution maps from Wide Angle Sonar," IEEE International Conference on Robotics and Automation, St. Louis, pp.116-121, 1985.
- [2] 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.
- [3] C.D. McGillem and T.S. Lappaport, "Infrared Location System for Navigation of Autonomous Vehicle," IEEE, pp. 1236-1238, 1988.
- [4] D.W.Cho, "Certainty Grid Representation for Robot Navigation by a Bayesian Method," ROBOTICA, Vol.,pp.159-165, 1990.
- [5] D.W Cho and H.P Moravec, "A Bayesian Method for Certainty Grids", AAAI Spring Symposium on Robot Navigation, CA, March pp.57-60, 1989.
- [6] L. Jong Hwan, "Mapping and Path Planning for Autonomous Mobile Robots based on Bayesian Formula", Dept. of Mechanical Engineering, pp . 6-12, 1991.
- [7] J. Borenstein, "Histogramic In-Motion Mapping for Mobile Robot Obstacle Avoidance", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 7, No. 4, pp. 535-539, 1991,
- [8] J. Borenstein, and Y. Koen, " The Vector Field Histogram-Fast Obstacle Avoidence for Mobile Robots", IEEE Journal of Robotics and

- Automation, Vol. 7, No. 3., pp. 278-28, June 1991.
- [9] J.J Leonard and F. Hugh ,Durrant-whyte, "Direct Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation", Kluwer Academic Publishers, 1992.
 - [10] L.A. Zadeh, "Fuzzy Sets," Information Control., Vol. 8, pp. 338-353, 1965.
 - [11] D.E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine learning, Addison-Wesley, 1989.
 - [12] J.H. Holland, Adaptation in Natural and Artificial Systems, The University of Michigan Press, Michigan, 1975.
 - [13] L. Jong Hwan, "초음파·센서를 이용한 자율 이동 로봇의 지도 형성, 탐사, 및 위치평가" 포항공과 대학교 기계공학과, 박사학위 논문, 1994.
 - [14] L. Jong Hwan, "Mapping and Path Planning for Autonomous Mobile Robots based on Bayesian Formula", Dept. of Mechanical Engineering, pp. 6-12, 1991.

저 자 소 개



진광식(Kwang-Sik Jin)

1968년 : 1월 26일생.
1993년 : 창원대 전기공학과 졸업.
1993년 : 창원대 전기공학과 졸업(석사).
1997년 : 동 대학원 전기공학과 박사수료.
1995년 ~ 현재 : 창원대학교 전기공학과
시간강사.

관심분야 : 퍼지 이론, 신경회로망, 유전알고리즘, 지능로봇공학
E-mail : jingold@sarim.changwon.ac.kr



안호균(Ho-Gyun Ahn)

1958년 : 1월 14일생.
1981년 : 고려대 전기공학과 졸업.
1989년 : 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).
1992년 : 동 대학원 전기공학과 졸업(공백).
1992년 ~ 현재 : 창원대학교 전기공학과
정교수.

관심분야 : 전력전자, AGV, 연료전지 응용, 전동기제어
E-mail : ahog@sarim.changwon.ac.kr



윤태성(Tae-Sung Yoon)

1956년 : 6월 22일생.
1978년 : 연세대 전기공학과 졸업.
1980년 : 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).
1988년 : 동 대학원 전기공학과 졸업(공백).
1989년 ~ 현재 : 창원대학교 전기공학과
정교수.

관심분야 : 디지털신호처리, 필터이론 및 응용, 퍼지 이론, 신경회로망, 이동로봇
E-mail : tsyoon@sarim.changwon.ac.kr