

초음파 센서를 이용한 자율이동로봇의 확률지도 작성

이상수*, 오준섭*, 최윤호**, 박진배*

*연세대학교 전기 및 컴퓨터공학과, **경기대학교 전자공학과

Probabilistic Map Building Using Ultrasonic Sensor for Autonomous Mobile Robot

Sang Soo Lee*, Joon Seop Oh*, Yoon Ho Choi**, Jin Bae Park*

*Dept. of Electrical & Computer Engineering, Yonsei Univ.

**Dept. of Electronic Engineering, Kyonggi Univ.

Abstract - This paper describes sensor-based occupancy grid map construction method through complete coverage navigation algorithm in unknown environment. In this paper, we use the updated Bayesian model for probabilistic grid map. For map construction, complete coverage navigation method in which mobile robot can navigate complete field through as short path as possible in unknown environment, is used. The computer simulations result show that map construction method using complete coverage algorithm is efficient.

1. 서 론

자율 이동 로봇의 연구 분야에서 핵심이 되는 부분중의 하나가 이동 로봇의 주위 환경을 정확하게 인식하는 것이다. 이동 로봇은 주어진 임무를 완수하기 위하여 출발 위치에서 목표 위치까지 충돌없이 이동하여야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 이동 로봇은 주어진 환경에서 스스로 자신과 물체들의 위치를 파악하여 주위 환경에 대한 지도를 구성하고 구성된 지도를 바탕으로 목표 위치까지 주행할 수 있는 경로 계획과 장애물 회피 기능을 갖추어야 한다. 지도 구성은 자율 이동 로봇에 있어서 가장 기본이 되는 단계로서, 센서로부터 들어오는 로봇 자신과 주위 물체간의 상대적인 위치에 대한 정보를 이용하여 물체들의 전체적인 위치와 윤곽을 파악하는 일이다. 따라서 지도의 질은 센서 정보의 신뢰성에 의존하게 된다. 그러나 대부분의 센서는 불확실한 정보를 제공하기 때문에 이러한 불완전성을 극복하기 위해서 Moravec(1)은 이동 로봇 주위 공간을 여러개의 작은 셀로 나누고 센서의 정보로부터 계산된 점령 확률을 각각의 셀에 할당해서 전체 공간을 표현하는 확률지도 개념을 처음으로 시도하였다. 그러나 점령셀과 비 점령셀 사이의 임계값 결정상의 문제와 축적된 정보와 새로 들어온 정보의 확률값을 같게 해주는 문제로 지도의 질이 떨어졌다. 이러한 센서의 불완전성을 보완하기 위하여 서로 다른 두 종류의 센서를 이용하는 연구도 진행되었다(2). 그러나 보다 개선된 지도 구성을 위해서는 좀 더 정확한 이론의 정립이 요구되었으며 그 일환으로 베이저안 이론을 더욱 발전시킨 연구가 이루어져 최근에 와서는 센서로부터의 정보처리를 베이저안 이론을 사용하는 것 뿐만 아니라 다중 반사 경로 효과를 고려하여 초음파 센서의 가장 취약점인 전반사 문제를 효과적으로 다룬 새로운 모델이 정립되었다(3)(4). 또한 이동 로봇의 경로 계획을 위한 지도를 작성하기 위해서는 이동 로봇이 작업 영역 전체를 주행해야한다. 기존의 전체 영역 주행 방법(5)-(7)은 주행 전에 이미 알고 있는 작업 영역의 정보를 이용하여 출발 위치에서 목표 위치로 전체 영역을 주행할 수 있는 경로를 계획하는 방법이다. 그러나 이 방법은 미지의 작업 환경에는 적용할 수 없다. 본 논

문에서는 미지의 환경에서 가능한 짧은 경로의 주행을 통하여 작업 영역 전체를 주행할 수 있는 개선된 전체 영역 주행 방법(8)을 초음파 센서에 기반을 둔 확률지도 작성방법에 적용시켜 이동 로봇이 장애물이 존재하는 미지의 환경 영역 전체를 주행하여 최적 경로 계획을 할 수 있는 지도를 작성하는 것을 보인다.

2. 본 론

2.1 확률 지도 작성 방법

확률 지도란 이동 로봇의 작업 공간을 일정한 크기의 셀로 구획한 후 셀의 점령 확률, 즉 각 셀에 물체가 있을 확률을 0에서 1까지의 확률값을 이용하여 표시한 것이다. 점령 확률이 0이면 물체가 없는 상태이고 1이면 물체가 있는 상태이다.

2.1.1 기본적인 베이저안 이론

베이저안 이론의 기본이자 핵심은 사건 B가 발생했다는 조건하에서 사건 A가 일어날 확률값을 구하는 것이고 이는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (1)$$

$$P(A|B) + P(\bar{A}|B) = 1 \quad (2)$$

2.1.2 베이저안 업데이트 모델

베이저안 업데이트 모델에는 정보 A, B가 지도작성에 있어서 각각 독립적으로 사용되었을 때, P(o)를 격자안의 특별한 셀이 점유되어지는 확률이라고 가정을 하면, 즉 P(o|A)와 P(o|B)로부터 P(o|A∩B)를 얻는 전, 후 관계를 고려하지 않는 모델과 기존의 정보 A로 구성되어져 있는 지도에 새로운 정보 B를 집어넣어 A와 B를 결합시켜 새로운 하나의 측정량 P(o|A∩B)을 얻는 전, 후 관계를 고려하는 모델이 있다. 전, 후 관계를 고려하지 않은 모델은 계산과정이 간단하다는 장점이 있으나 '정보 B가 A로부터 독립적이다.'라는 강한 가정을 해야하므로 본 논문에서는 양질의 지도를 얻기 위해 전, 후 관계를 고려하는 모델을 채택하였다.

2.1.3 전·후 관계를 고려하는 모델

전, 후 관계를 고려하는 모델에서 각 셀의 점령 확률의 최종 결과식은 다음과 같다.

$$\frac{P(o_i | M \cap A)}{P(o_i | M \cap A)} = \frac{P(M | o_i \cap A)}{P(M | o_i \cap A)} \times \frac{P(o_i | A)}{P(o_i | A)} \quad (3)$$

여기서 정보 B를 새로운 측정값 M으로 대체하고 M과 기존의 정보 A를 비교하여 셀의 점령 확률을 구한다. P(o_i | A)는 지금까지의 정보로부터 저장된 값이므로 단

지 $P(M | o_i \cap A)$ 값만이 미지값으로 남는다. 이 확률을 구하기 위해 beam의 제적 내에 들어오는 2차원 셀들을

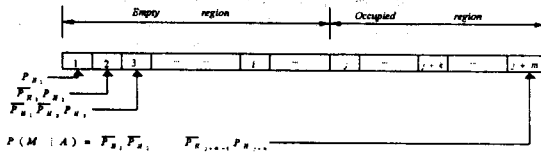


그림 1. 재배열된 $P(M | A)$ 표현

그림 1과 같이 센서의 위치로부터 거리에 따라 1차원으로 재배열시킨 다음 점령 영역과 비 점령 영역의 셀들로 다시 나눈다. 점령 영역은 거리값과 같은 거리에 있는 셀들이고 비 점령 영역은 그보다 짧은 거리에 있는 셀들이다. 위에서 재배열된 셀들은 자신이 갖고 있는 점령 확률에 따라 빔(beam)을 멈추게 할 확률 $P(H_i | A)$ 를 갖는다.

$$P(H_i | A) = P(H_i | o_i) \times P(o_i | A) + P(H_i | \bar{o}_i) \times P(\bar{o}_i | A) \\ = P_{DET,i} \times P(o_i | A) + P_{FAL,i} \times P(\bar{o}_i | A) \quad (4)$$

점령 영역과 비 점령 영역에 대한 $P(M | o_i \cap A)$ 와 $P(M | \bar{o}_i \cap A)$ 는 다음 식으로부터 구할 수 있다. 먼저 점령 영역의 셀들에 대한 확률식은 식(5)와 식(6)과 같이 구한다.

$$P(M | o_i \cap A) = \sum_{n=0}^m \prod_{k=1}^{j+n-1} P(H_k | o_i \cap A) P(H_{j+n} | o_i \cap A) P(H_{j+n} | M) \quad (5)$$

$$P(M | \bar{o}_i \cap A) = \sum_{n=0}^m \prod_{k=1}^{j+n-1} P(H_k | \bar{o}_i \cap A) P(H_{j+n} | \bar{o}_i \cap A) P(H_{j+n} | M) \quad (6)$$

한편 식(5)를 식(6)으로 나누어주면 다음과 같은 최종 결과식을 얻을 수 있다.

$$\frac{P(M | o_i \cap A)}{P(M | \bar{o}_i \cap A)} = \frac{\sum_{n=0}^m \prod_{k=1}^{j+n-1} P(H_k | o_i \cap A) P(H_{j+n} | o_i \cap A) P(H_{j+n} | M)}{\sum_{n=0}^m \prod_{k=1}^{j+n-1} P(H_k | \bar{o}_i \cap A) P(H_{j+n} | \bar{o}_i \cap A) P(H_{j+n} | M)} \quad (7)$$

비 점령 영역의 셀들에 대한 확률식은 식(7)에 식(4)를 적용하면 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\frac{P(M | o_i \cap A)}{P(M | \bar{o}_i \cap A)} = \frac{P(H_i | o_i \cap A)}{P(H_i | \bar{o}_i \cap A)} = \frac{1 - P_{DET,i}}{1 - P_{FAL,i}} \quad (8)$$

여기서 $P_{DET,i}$ 와 $P_{FAL,i}$ 는 이미 이전의 실험을 통하여 얻어진 센서의 특성이다.

2.2 전체 영역 주행 방법에 관한 알고리즘

기존의 전체 영역 주행 방법중 하나인 거리값을 이용한 방법은 이동 로봇이 주위 환경에 대한 모든 정보를 갖고 출발점에서 목표 지점까지 주행할 수 있는 경로 계획법으로서 이는 그림 2로서 표현될 수 있다. 이 방법은 현재의 셀에 주어진 목표 위치까지의 거리값과 로봇 주

변의 셀에 주어진 거리값을 비교하여 가능한 큰 값을 갖는 방향으로 로봇이 이동하는 방법으로 한번 통과한 셀은 다시 지나가는 비효율적인 경우가 발생하고 미지의 환경에서는 사용할 수 없다는 단점이 있다.

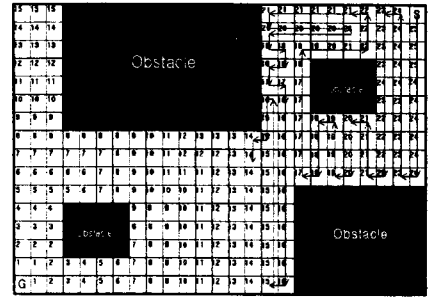


그림 2. 거리값을 이용한 전체 영역 주행 방법

본 논문에서 제안한 방법은 로봇이 미지의 환경에서 확률 지도를 작성하기 위해서 미지의 환경에서 정의된 7가지의 규칙을 따라 다음 셀로 이동하며 전체 영역을 주행하는 방법으로 이동 로봇이 모든 작업 영역을 주행한다는 의미는 셀 표현의 지도에서 모든 셀을 통과하며 주행한다는 의미가 때문에 먼저 전체 작업 영역은 최소 단위의 셀로 표현한다. 주행 목적은 가능한 짧은 경로를 통하여 출발 위치에서 모든 작업 영역을 주행한 후에 다시 처음 위치로 되돌아오는 것이다. 이 경우 한번 통과한 위치는 다시 통과하지 않도록 주행 후에는 특정한 경우라 하는 것은 막힌 좁은 통로와 같이 이동 로봇이 지나간 후에 다시 되돌아 올 수 있는 영역이 존재하지 않는 경우를 말한다. 이는 그림 3으로 표현될 수 있고 7가지의 규칙은 다음과 같다.

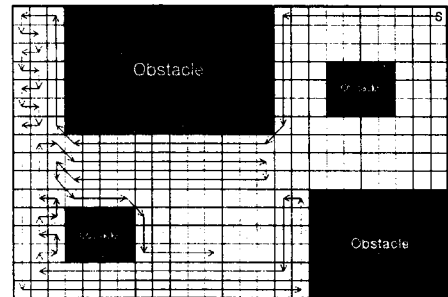


그림 3. 불확실한 환경에서의 전체 영역 주행

[규칙 1] 출발 셀에서 가장 가까운 벽(경계선)을 탐색 후 탐색된 벽 방향으로 주행 시작한다. 탐색된 벽이 없는 경우 전체 영역에서 가장 가까운 벽 방향으로 주행한다.

[규칙 2] 주행 중 장애물을 탐지하면 장애물의 위치에 따라 장애물 주위를 따라 주행한다. 주행 방향에 장애물을 탐지한 경우 지나지 않은 장애물 주위의 셀로 주행하고, 주행 방향 측면에 장애물을 탐지한 경우 그대로 주행한다.

[규칙 3] 주행 도중 좌·우측에 장애물이 있는 막힌 통로를 탐지한 경우 통로의 영역 넓이를 계산하여 넓이가 최소 셀 크기의 4배 이상이면 그대로 장애물 둘레 주행하고, 넓이가 최소 셀 크기의 4배 미만이면 막힌 통로 전체 영역 주행 후 장애물 둘레를 주행한다.

[규칙 4] 출발 위치 방향으로 주행 중 장애물이 발견되지 않으면 출발 위치에서 최소 셀 단위 4배 전에서 다시 현재 주행하는 반대 방향으로 주행한다.

[규칙 5] 주행중 장애물과 장애물의 가장 가까운(인식된 장애물 사이의) 셀들의 크기가 최소 크기의 4배 미만이면 영역을 넘지 않고 주행 방향의 반대 방향으로 주행한다.

[규칙 6] 주행 중 최소 단위의 통로를 지나가는 경우 막힌 통로인 경우는 지나간 셀을 다시 통과하여 통로로 되돌아 나오며, 막힌 통로가 아닌 경우 나오는 통로의 넓이가 최소 셀 단위의 3배 미만이면 통로 전체 영역 주행 후 장애물 둘레를 주행한다.

[규칙 7] 이동 로봇은 위의 과정을 만족하면서 목표 위치까지 주행한다.

2.3 모의 실험 및 결과

실제 이동 로봇에 적용하기에 앞서 모의 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 방법의 타당성을 검증하였다. 모의 실험에서 사용된 센서는 이동 로봇의 전방과 좌, 우측센서로서 모두 13개를 사용하였다. 이동 로봇이 전체 영역을 주행하면서 지도를 작성하기 때문에 후방의 센서는 제외시켰다. 이동 로봇은 전체 영역을 주행하면서 자신이 통과한 셀은 1로 인식하고 통과하지 않은 셀은 0으로 인식하여 모든 영역을 다 주행한 후 출발 위치로 돌아오도록 하였다. 그림 4는 모의 실험을 위한 이상적인 지도이다. 이 지도는 확률값이 0이나 1인 셀들로 구성되어 있다.

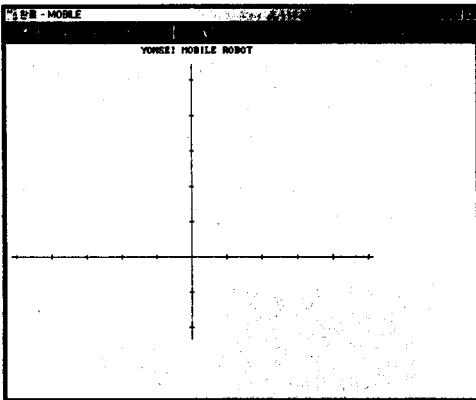


그림 4. 모의 실험을 위한 이상적인 지도

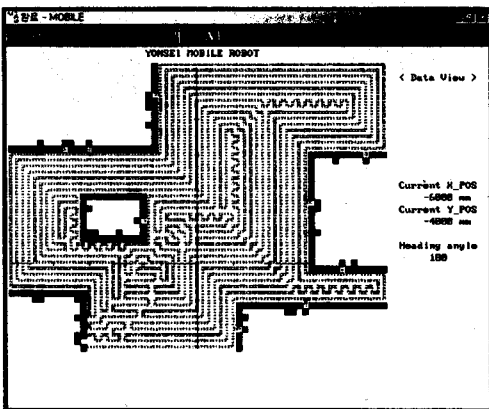


그림 5. 베이지안 방법과 전체 영역 주행 방법을 통해 구성된 확률 지도

그림 5는 2.1절과 2.2절에서 소개한 알고리즘을 이용하여 로봇이 미지의 환경에서 장애물을 스스로 인식하고

회피하면서 전체 영역을 주행함으로써 경로 계획을 위한 환경 지도가 작성되는 것을 보여준다.

그림 5에서 보여주듯이 이동 로봇은 환경 지도 작성을 위해 전체 영역을 빠짐없이 주행하고 센서로부터 얻은 거리값을 확률적으로 처리하여 장애물의 유, 무를 효과적으로 표현한다. 또한 13개의 센서를 가지고도 정확하게 지도를 작성한다. 구성된 지도의 질을 정량적으로 검토하기 위해 이상적인 지도의 상태를 1이라고 보자. 모의 실험을 통해서 얻어진 결과를 이상적인 지도와 비교하여 보면 전체 3024개의 셀 중에서 2991개의 셀을 정확하게 인식하고 33개의 셀을 잘못 인식하였다. 이는 이상적인 지도와 비교하였을 때 에러가 약 0.011이므로 이동 로봇의 경로 계획을 위한 환경 지도로서 충분히 사용되어질 수 있다는 것을 보여준다.

3. 결 론

본 논문에서는 베이지안 모델과 전체 영역 주행 알고리즘을 사용하여 확률 지도를 작성하는 방법을 제안하였다. 제안한 알고리즘으로 모의 실험을 통하여 경로 계획을 위한 환경 지도가 확률적으로 표현되는 것을 확인하였다. 13개의 센서만을 사용하여도 실제 환경에 가까운 지도를 작성하는 것을 보여주었다. 또한 제안한 알고리즘이 유용하다는 것을 입증하였다. 추후 과제로는 본 논문에서 제안한 알고리즘과 이를 이용한 확률 지도 작성 방법을 실제 로봇의 주행에 적용시켜 실제 환경에서의 유용성을 검증하여야 한다.

본 논문은 2000년 두뇌한국사업21 핵심분야에 의해서 지원되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] Moravec, H.P. and Elfes, A. "High Resolution Maps from Wide Angle Sonar", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 116-121, 1985
- [2] Elfes, A. and Matthies, L. "Sensor Integration for Robot Navigation: Combining Sensor and Stereo Range Data in a Grid-Based Representation", 26th IEEE Decision and Control Conference LA, CA, pp. 9-11, 1987
- [3] Jong Hwan Lim, Dong Woo Jo. "Physically based sensor modeling for a sonar map in a specular environment", IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol.2, pp. 1714-1719, 1992
- [4] Jong Hwan Lim "Map Construction, Exploration, and Position Estimation for an Autonomous Mobile Robot using Sonar Sensors", 포항공과대학 대학원 박사학위논문, 1993
- [5] Christian Hofner, Gunther Schmidt. "Path Planning and Guidance Techniques for an Autonomous Mobile Robot.", Robotics and Autonomous System, Vol.14, no. 2-3, pp. 199-212, May 1995
- [6] Fumio Yasutomi Daizo Takaoka, Makoto Yamada and Kazuyoshi Tsukamoto. "Cleaning Robot Control." IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 3, pp. 1839-1841, 1988
- [7] A. Zelinsky, R. A. Jarvis, J. C. Byrne and S. Yuta. "Planning Paths of Complete Coverage of an Unstructured Environment by a Mobile Robot." ICAR'93, pp.533-538, 1993
- [8] 오준섭. "전체 영역 주행 방법 및 삼각형 지도를 이용한 경로 계획 방법에 관한 연구", 대한전기학회 회로 및 시스템연구회 발표회 논문집, pp. 78-82, 2000