

초음파센서를 이용한 이동 로봇의 지역 최소 회복을 위한 주행 알고리즘

명기호, 양동훈, 유영동, 홍석교  
아주대학교 전자 공학부

Mobile Robot Navigation For Recovering Local Minimum Using Ultrasonic Sensor

Ki-Ho Myung, Dong-Hoon Yang, Young-Dong Yoo, Suk-Kyo Hong  
School of Electronics Eng. Ajou University

**Abstract** - An ultrasonic sensor is one of most popular sensor used to navigate mobile robots within environments containing obstacles. But many navigation algorithm have studied because of the drawback of ultrasonic sensor such that poor directionality, frequent misreadings, specular reflections. Also, the most crucial drawback of this algorithm, that is VFF, VFM, EDM, PFM, WFM, GFM etc, has been that the mobile robot may become trapped in a local minimum. In this paper, we present a theoretical study of a navigation algorithm which integrals a heuristic-search local minimum (or trap) recovery method with a vector-field based method to maneuver cylindric mobile robots in unknown of unstructured environments. Also, an autonomous mobile robot uses dead-reckoning to estimate the current position and orientation of a mobile robot.

모의 실험을 통하여, 제시된 알고리즘의 결과가 유용함을 증명한다.

2. 시스템 구성

본 연구에 사용한 이동로봇은 로봇 주위에 바닥으로부터 50cm 위치에 16개의 초음파 센서 모듈이 방사형으로 배치되어 있다. 모의 실험은 펜티엄 II 개인용 컴퓨터의 리눅스 시스템에서 로봇의 위치를 200msec의 샘플링 주기로 계산하였고 250msec의 주기로 알고리즘을 수행했다. 본 연구에서 사용되어진 로봇은 RWI(Real World Interface Co.)에서 개발된 로봇(B14)으로 보통의 일반적인 로봇이 2륜구동인데 반해 이것은 싱크로 드라이브를 사용하여 조향과 구동이 한 축에서 이루어 지도록 되어 있다. 따라서, 상대적으로 2륜구동에서 제기된 여러 가지 오차를 줄일 수 있는 장점을 갖고 있다[4]. 다음의 식은 이동로봇의  $t_n$  후의 위치를 나타낸다.

1. 서 론

자유 이동 로봇의 주행이란 외부의 조작없이 불규칙한 환경에서 장애물을 인식하고 회피하면서 목표점까지 도달하는 것을 말한다[1]. 이를 구현하는데는 위치추정(Localization), 경로계획(Path-Planning), 장애물회피(Obstacle-Avoidance), 지도형성(Map-Building) 등의 일련의 연구가 필요하며 이에 해당하는 연구가 진척되어 왔다. 주변의 환경을 인식하는 센서는 자유 이동 로봇의 주행에 절대적으로 영향을 주는 요소중에 하나이다. 주로 자율 이동 로봇에 사용되는 센서로서 자이로, 광, 비전, 초음파, GPS, 레이저 등이 사용되어지며 어떤 것을 쓰는가에 따라서 로봇의 주행성능이 결정된다. 이 중에서 초음파센서는 가장 보편적이고, 일반적으로 사용되어지는 센서지만 그 장점 못지 않게 단점, 즉 방향 부정확성(Poor directionality), 판단오류 (Frequency misreadings, i.e Cross-talk), 거울반사(Specular reflections)로 인해 이를 보완하는 여러 주행 알고리즘이 연구되어 왔다[2]. 이중 벡터적인 개념을 도입한 것으로 가장 유명한 것은 PFM(Potential Field Method), VFF(Virtual Force Field), VFM(Vector Field Method), WSVFM(Weighted Safety Vector Field Method) 등이 있지만, 지역최소에 빠지는 현상이 나타났다. 따라서 이를 극복하기 위한 알고리즘으로써 PFM과 Heuristic-Search Method를 병합하여 사용했지만[3] 이는 근본적인 PFM의 단점인 좁은 통로에서의 오실레이션, 출입문에 들어가지 못하는 현상을 극복하지 못하였다. 이에 본 논문에는 PFM의 단점을 극복한 VFM에다가 HSM(Heuristic-Search Method)을 서로 병합 사용하여 개선된 성능의 초음파 센서링을 장착한 로봇의 주행을 제시한다. 본 연구에서는

$$x(t_n) = x(t_0) + \int_{t_0}^{t_n} v(t) \cdot \cos \theta(t) dt \tag{1}$$

$$y(t_n) = y(t_0) + \int_{t_0}^{t_n} v(t) \cdot \sin \theta(t) dt \tag{2}$$

$v(t)$ : 진행속도 (Translational velocity)  
 $\omega(t)$ : 각속도 (Rotational velocity)  
 $\theta$ : 진행방향 (Orientation)  
 $x(t_n)$  = 시간  $t_n$ 에서의 초기위치,  $x(t_n)$  = 시간  $t_n$ 에서의 나중위치

이번 논문에 사용되어진 로봇의 최고진행속도는 90cm/sec 이고 최대 각속도는 70deg/sec로 주행할 수 있다.

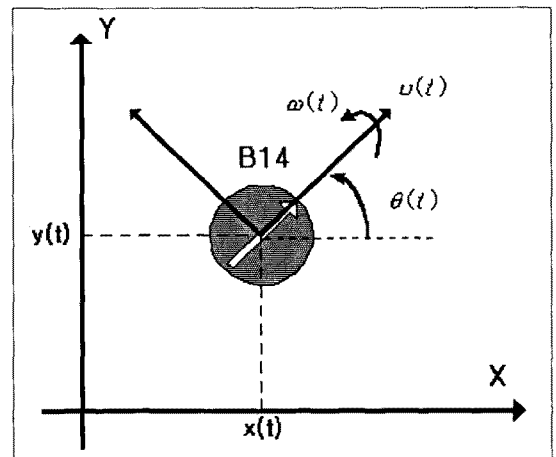


그림 2.1 이동로봇의 기구학적 모델

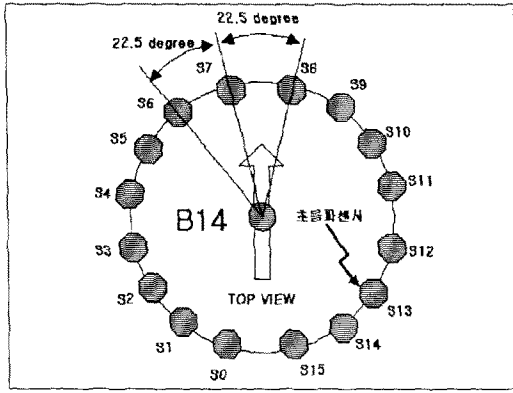


그림 2.2 초음파센서링 모델

그림2.2는 본 논문에서 사용되어진 초음파 센서의 배치를 나타낸다. 센싱가능범위는 41cm에서 10m까지이고 여기서는 1초에 3번씩 읽게된다.

### 3.주행 알고리즘

본 연구에서 사용되어진 알고리즘은 HSM와 VFM의 조합이었으며 HSM은 전역경로계획으로써 노드기반지도에 그 기반을 두고 있으며 VFM은 지역경로계획으로써 격자기반지도에 그 기반을 두고 있다.

#### 3.1.Vector Field Method

Vector Field Method(이하 VFM)는 지역경로계획(Local Path Planning)과 경로주행(Path Maneuver)에 사용되어지는 알고리즘이다. 이것은 또한 기존의 VFF(Virtual Force Field)를 개선한 것으로써, 2-D Cartesian Histogram Grid C를 1-D Polar Histogram H로 변환한 것이다. 따라서 Grid C상의 확실성값 CV(Certainty Value : 장애물이 그 cell영역에 존재할 확실성의 수치를 보여주는 값)은 Polar Histogram의 Polar Obstacle Density  $h_k$ 로 변환된다. 이는 VFF가 갖고 있는 단점(좁은 통로에서의 오실레이션 현상, 좁은 출입문에 들어가지 못하는 현상)을 어느정도 해결해 준다. 그 변환식은 다음과 같다.

$$k = \text{INT}(\beta_w / \alpha) \quad (3)$$

$$h_k = \sum_{i,j} m_{ij} \quad (4)$$

$$(\beta_{ij} = \tan^{-1}((y_j - y_o) / (x_i - x_o)))$$

$$(m_{ij} = (c_{ij})^2(a - b d_{ij}))$$

$\beta_{ij}$  = Active Cell(i,j)로부터 로봇의 중앙에 이르는 방향

$x_i, y_j$  : Active Cell(i,j)의 좌표

$x_o, y_o$  : 이동로봇의 현재좌표

$m_{ij}$  = Active Cell(i,j)이 가지는 장애물 벡터의 크기

$a, b$  : 임의의 상수

$d_{ij}$  = Active Cell(i,j)와 로봇간의 거리

또한 VFF는 PFM과 Certainty Grid Method를 서로 결합한 것이라고 볼 수 있다. 그림3.1에 PFM에 대한 개념을 나타냈다. 이 PFM은 가상힘(imaginary force : Khatib가 주장함)을 의미하는 것으로 목표점과는 인력이 작용하고 장애물과는 척력이 작용하는 개념임

로 로봇 매니플레이터의 충돌회피에 도입된 이론인데 이를 자율이동로봇에 적용한 것이다.

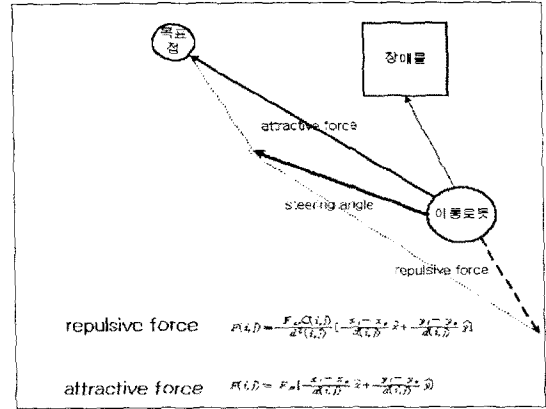


그림 3.1 PFM(Potential Field Method)

그리고 Certainty Grid Method를 그림3.2에 나타내었다. 이 방법은 부정확한 데이터인 초음파 센서의 데이터를 처리하는데 효과적인 것으로 확인됐다[5].

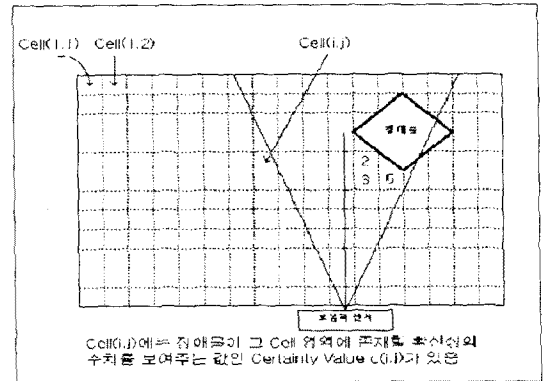


그림 3.2. Certainty Grid Method

#### 3.2 Heuristic-Search Method

이 알고리즘은 전역적 경로계획(Global Path Planning)으로써 중간경로(Via Path)를 발생할 수 있고 지역최소회복(Local Minimum Recovery)에 사용되어진다. 이것은 격자기반지도(grid-based map)로부터 나온 노드기반지도(node-based map)에 기반을 둔 Map Scaling의 한 방법이다. 격자기반지도는 노드기반지도에 있는 각각의 셀들을  $k \times k$  개의 그룹으로 묶은 다음, 그 셀에 있는 Certainty Grid 값인 확실적인 값을 OR연산시켜서 0과 1로 다시 변환하는 것이다. 0과 1의 판별기준은 문턱값(threshold)을 정하여 놓고(여기서는 5로 하였음), 그 이상이면 0, 그 이하이면 1로 한다. 0은 금지 노드가 되고 1은 허가 노드가 되어서 이동로봇은 1로 되어 있는 허가 노드만을 연결하여 지역최소를 빠져 나올수 있다. 이것은 초기에 금지 노드(forbidden node)를 초기 자유 노드(free node)에서 세팅해 준다(초기 장애물의 탐지). 로봇이 주행중에 이전의 자유 노드로부터 금지 노드를 생성한다. 여러 노드 리스트 중에서 회복 알고리즘(Recovery Algorithm)이 경유점(via point)을 추출한다.

다음식은 evaluation(or cost) 함수  $f(P_i)$ 이다.  

$$f(P_i) = g(P_i) + h'(P_i) \quad (5)$$

$g(P_i)$ : 시작 노드에서부터 얻어지는 COST값.

$h'(P_i)$ : 현재노드에서 타겟노드까지의( $P_i$ ) 최소 COST값(유틸리티던 값이 사용됨)

### 3.3.VFM 과 HSM의 조합

로봇은 보통 VFM에 의한 방법으로 목표점까지 주행하다가 지역최소에 빠지면 HSM(Heuristic-Search Method)루틴에의해 지역최소를 빠져나가 다시 중간경로(Via Path)를 발생시켜 다시 최종 목표점까지 주행한다. 이러한 과정을 그림.3.3에 나타내었다.여기서 v는 진행속도,w는 회전각속도를 나타낸다.

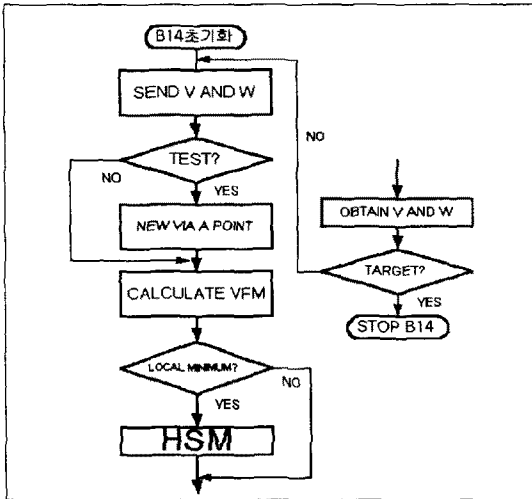


그림 3.3. 전체적인 흐름도

### 4.모의 실험결과

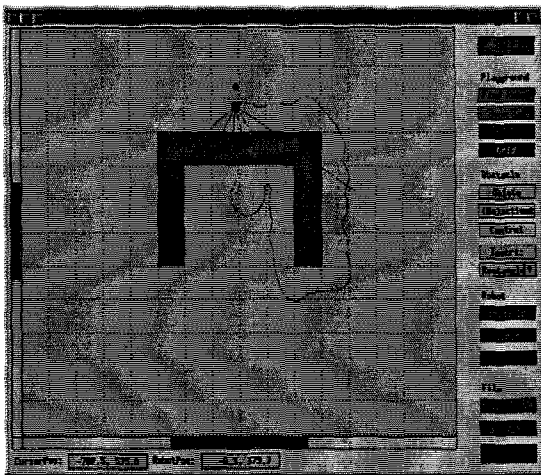


그림 4.1. U자 형태의 지역최소회복

그림4.1은 보통의 VFM의 방식으로 하면 지역최소(Local minimum i.e Trap)에 빠지나 위의 HSM방식과 병행 사용함으로써 U 형태를 벗어나 목표점까지 주행을 볼 수 있다. 그림4.2는 좁은 복도에서의 주행을 보여주고 있다. 기존의 알고리즘은 오실레이션을 하는 경향을 보이니 그림4.2에서보면 어느정도 그러한 현상이

해소되었으며 또한 출입문에 들어가지 못하는 현상이 있었는데[5] 이것 또한 해소되어진 것을 알 수있다. 그림 4.1과 그림4.2에서 점선의 격자는 1평방미터의 넓이를 나타낸다.

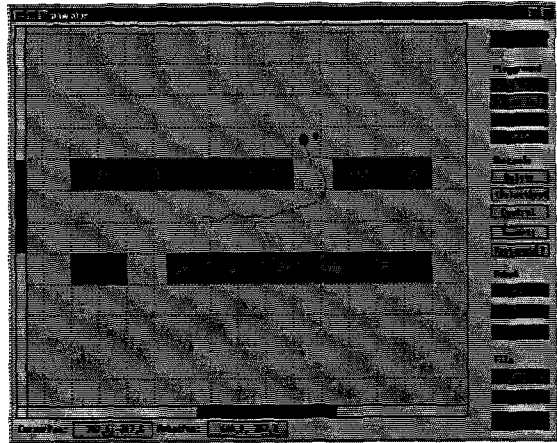


그림 4.2 좁은 복도에서의 주행

### 5. 결 론

위의 시뮬레이션은 단지 수치적 모델링을 기반으로 초음파센서와 추측항법을 이용하여 이동로봇의 궤적을 나타내었으나 초음파센서가, 반사되는 물체의 표면이 어떤 것인가에 따라서도 영향을 받는 점을 착안하면 위의 모의 실험은 개선의 여지가 있다. 이에 이러한 문제점을 어느정도 수용하는 모의실험이 필요하며 Neural Network알고리즘을 사용하여 어느정도 해결할 수 있을 것으로 보인다.서로 재질과 형태가 다른 둥근장애물, 세모장애물, 네모장애물의 경우에 대해 행함으로써 결정론적 해석보다는 이러한 방법이 좀더 나은 효과를 보일 것으로 보인다[6].또한 초음파센서의 고질적인 단점인 거울반사효과(Specular Reflection)에 대한 모델링이 고려된 주행 모의 실험결과 및 실험이 필요하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김훈진, 이장명, "초음파 센서를 사용한 이동로봇의 주행시뮬레이션", '98 한국자동제어 학술회의 논문집, pp1755-1758, 1998
- [2] J.Borenstein and Y.Koren. "The Vector Field Histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots," IEEE Journal of Robotics and Automation, vol.7, No 3, pp. 287-288, June 1991
- [3] Yilin Zhao. "Theoretical And Experimental Evaluation Of A Local Minimum-Recovery Navigation Algorithm."
- [4] 홍기범, 홍석교, "초음파 센서를 이용한 이동로봇의 간단한 벽면따르기 알고리즘", '98 한국자동제어 학술회의 논문집, pp 760-763, 1998.
- [5] J.Borenstein and Y.Koren. "Real-Time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots," IEEE Trans.on Systems, Man, and Cybernetics, vol.19, no.5, pp.1179-1187, Sept. 1989
- [6] Ten-min Lee. "Mobile robot simulation by means of acquired neural network models"
- [7] Martin B.Holder, Mohan M.Trivedi, and suresh B.Marapane "Mobile Robot Navigation by Wall Following Using a Rotating Ultrasonic Scanner." 1996 IEEE pp.298-302.
- [8] Simon LACROIX, Gregory DUDEK, "On The Identification of Sonar Features", IEEE/RSJ International Conference, Sept. 8-12 1997