

# 분포 밀도를 이용한 이동 로봇의 최적 경로

## A Path Planning of Mobile Robot using Distribution Density

\*곽재혁, \*\*임준홍  
Jaehyuk Kwak, Joonhong Lim

**Abstract** - In this paper, we propose the algorithm of path planning and obstacle avoidance for mobile robot. We call the proposed method Random Access Sequence(RAS) method. In the proposed method, a small region is set first and numbers are assigned to its neighbors, then the path is selected using these numbers. It has an advantage of fast planning and simple operation. This means that new path selection may be possible within short time and that helps a robot to avoid obstacle in any direction. When a robot meets moving obstacles, it avoids obstacles in a random direction. Sonar ranger is useful to get obstacle information and RAS may be a good solution for path planning.

**Key Words** : 이동로봇, 경로설정, 밀도, 장애물 회피

### 1. 서론

최근에 로봇에 대한 연구가 다시 활발해지면서 이족 보행과 새로운 형태의 로봇에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나, 이동 로봇의 경로 설정과 장애물 회피는 기본적인 문제이며 또한 반드시 해결해야 하는 중요한 요소이다. 이동 로봇이 작업자의 도움이 없이 스스로 주변 상황에 대한 인식과 위치의 파악을 통해 주어진 작업을 수행하기 위해서 다양한 종류의 센서와 경로 설정에 대한 방법을 수행한다[1-4]. 초음파, 적외선, 레이저, 카메라와 같은 센서들을 통해서 장애물을 파악하고, 엔코더를 통해서 위치를 알 수 있으며, 더욱 정확한 위치를 찾기 위해 표식과 같은 방법을 사용한다. 이동 로봇은 제한적인 조건에서의 작업뿐 아니라 주변 상황이 정해지지 않은 동적 환경에서도 작업을 수행하여야 한다. 이를 위해서 이동 로봇의 제어는 여러 가지 작업을 독립적으로 수행할 수 있는 계층적인 구조로 되어 있다[2]. 경로 설정의 과정에서 다양한 방법들이 연구되고 있으며, 최적화된경로를 찾기 위해 복잡한 계산을 필요로 하고 있다[4]. 본 논문에서 제안한 임의접근순서확장법은 경로 설정의 과정에서 드는 시간을 줄이고, 최단 경로를 찾을 수 있다. 초음파 센서와 엔코더를 사용한 모델을 통해서 주어진 환경에서의 경로 설정과 장애물 회피에 대한 성능 평가를 한다.

### 2. 경로 설정

#### 2.1 임의순서확장법

그림1은 장애물과 서로 간섭하지 않는 영역을 작은 영역으로 분할해 놓은 것이다. 여기서 각각의 영역들은 크기가  $\gamma$ 인 육각형 형태이다.

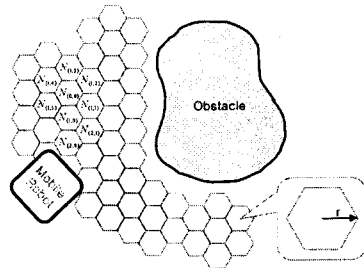


그림. 1 기본 개념도  
Fig. 1 Basic scheme

그림1과 같이 분포되어 있는 영역들과 이웃한 영역들이 가지고 있는 번호들의 관계를 통해서 경로를 찾을 수 있다. 임의접근순서확장법에 의해서 구해지는 결과는 다음과 같다.

$$F = (k, p, N, d, n) \quad (1)$$

식(1)에서  $k$ 는 각 영역들에 붙여진 번호를 나타내며  $p = (x, y)$ 로서 중심점의 좌표값이다.  $N$ 은 하나의 영역에 연결되어 있는 주변영역들의 개수이다. 이 값은 형태의 특성에 의해 최대 6의 값을 갖는다.  $n = (n_0, \dots, n_N)$ 로서 연결되어 있는 영역들의 번호를 나타내고 있다.  $d$ 는 밀도값으로

저자 소개

- \* 곽 재 혁 : 한양대학교 전자컴퓨터공학부 박사과정
- \*\* 임 준 홍 : 한양대학교 전자컴퓨터공학부 교수

서 이동로봇이 진행할 수 있는 만큼의 넓이를 가진 영역을 찾기 위해 사용된다. 밀도값  $d$ 는 다음과 같이 정의한다.

$$d = \sum_0^i \sum_0^j N_{(i,j)} \quad (2)$$

$N_{(i,j)}$ 는 그림1에서 나타나고 있듯이 계층적으로 되어 있는 접근영역의 개수를 나타낸다. 밀도값은 계층수에 의해서 이동로봇이 진행할수 있는 공간을 확보할 수 있는 역할을 수행한다.

$F$ 를 구하는 방법은 시작점으로부터 임의의 방향으로 회전시켜 각 영역에 번호를 부여할 수 있으며, 이때 시작점 또한 임의로 설정할 수 있다.

- 1st step  $\{(k_0, d_0, N_0, d_0, (n_0, n_1, \dots, n_{N_k}))\}$   
 $n_0 = k_1$
- 2nd step  $\left\{ \begin{array}{l} (k_1, d_1, N_1, d_1, (n_0, n_1, \dots, n_{N_k})) \\ \vdots \\ (k_h, d_h, N_h, d_h, (n_0, n_1, \dots, n_{N_k})) \end{array} \right\}$
- 3rd step  $\left\{ \begin{array}{l} (k_{h+1}, d_{h+1}, N_{h+1}, d_{h+1}, (n_0, n_1, \dots, n_{N_{k_{h+1}}})) \\ \vdots \\ (k_{h_2}, d_{h_2}, N_{h_2}, d_{h_2}, (n_0, n_1, \dots, n_{N_{k_{h_2}}})) \end{array} \right\}$
- ⋮
- mth step  $\left\{ \begin{array}{l} (k_{h_{m-2}}, d_{h_{m-2}}, N_{h_{m-2}}, d_{h_{m-2}}, (n_0, n_1, \dots, n_{N_{k_{h_{m-2}}}})) \\ \vdots \\ (k_{h_{m-1}}, d_{h_{m-1}}, N_{h_{m-1}}, d_{h_{m-1}}, (n_0, n_1, \dots, n_{N_{k_{h_{m-1}}}})) \end{array} \right\}$

여기서  $k_j = \sum N_{(j-1)th \ step}$  이다.  
 중심점을 나타내고 있는  $p$ 는 영역의 크기인  $r$ 과 회전방향에 의해서 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} p'(x) &= p(x) + \sqrt{3}r \cos(a\pi/3 + \pi/6) \\ p'(y) &= p(y) + \sqrt{3}r \sin(a\pi/3 + \pi/6) \\ a &= (0, 1, 2, 3, 4, 5) \end{aligned}$$

이동 로봇의 경로는 위에서 구한  $F$ 에서  $k$ 와  $N$ 만을 사용한  $F'(k, N)$ 를 통해 결정한다.  $F'(k, N)$ 를 이용하여 경로를 결정하는 방법은 다음과 같다.

표 1. 경로 설정 알고리즘  
 Table 1. Algorithm for Path Selection

1: WHILE( $R_{n+1} \neq \text{origin}$ )
2: IF ( $R_n \leq \sum_{i=0}^K N_i$ )
3: $R_{n+1} = K$
4: IF ( $K = \text{des}$ or $K = \text{src}$ )
5: END
6: END

위의 식에서  $K$ 가 나타내는 것은 단순한 순서를 나타내며,

$N_i$ 는 앞에서 구한 각 영역이 갖는 근접한 영역들의 개수인  $N$ 을 나타낸다.

이를 통해 얻어진  $(R_0, R_1, \dots, R_n)$ 은 영역이 가지고 있는 번호의 조합으로 이루어지며 각각의 위치를 이용하여 원하는 목적지로 이동할 수 있다. 제안한 방법을 통해 얻어진 경로는 시작점과 목적지까지의 최단거리로서 가장 짧은 경로를 찾게 된다. 또한 매우 간단한 계산에 의해서 빠른 시간 안에 경로를 결정하고 장애물을 피해 이동할 수 있다.

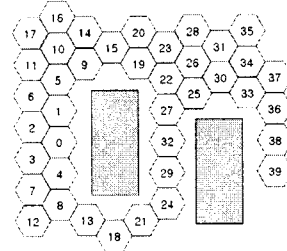


그림2 순서부여 예제  
 Fig. 2 Example of numbering

그림 2는 임의순서확장법에 의해서 0으로 표시된 시작점으로부터 각영역들에 번호를 부여한 결과이다. 여기서 얻어진 결과는 표와 같다.

표 2. 경로설정 테이블  
 Table 2. Routing table

(0,4)	(8,1)	(16,0)	(24,1)	(32,0)
(1,2)	(9,2)	(17,0)	(25,1)	(33,2)
(2,0)	(10,2)	(18,1)	(26,1)	(34,0)
(3,1)	(11,0)	(19,2)	(27,1)	(35,0)
(4,1)	(12,0)	(20,0)	(28,0)	(36,1)
(5,3)	(13,1)	(21,1)	(29,0)	(37,0)
(6,0)	(14,0)	(22,3)	(30,2)	(38,1)
(7,1)	(15,2)	(23,1)	(31,1)	(39,0)

이 결과를 사용하여 0에서 32번으로 가는 경로를 구하면 (32,27,22,19,15,9,5,1,0)이 된다. 그러나, 이동로봇의 크기가 하나의 영역이 가지는 크기보다 크면, 이동로봇은 이 경로를 통해서 이동할 수 없다. 따라서, 밀도값을 이용해 이 문제를 해결한다.

## 2.2 이동 가능 경로와 장애물 회피

밀도값은 식(2)에서와 같이 이웃한 영역의 개수로서 표현된다. 그림 3에서 표시된 목적지로 가기 위해서 이동로봇은 최단 경로인 장애물 1과 2의 사이를 결정하게 된다. 그러나, 이동로봇은 이 경로를 따라서 이동할 수 없다. 이러한 문제는 임의순서확장법의 초기단계인 순서부여과정에서 밀도값을 참고함으로써 해결할 수 있다. 그림 3에서 검은색으로 표시된 영역들은 모두 밀도값이 6인 위치를 나타내고 있다. 즉, 밀도값의 제한치를 두어 조건을 만족하는 경우에만 번호를 부여한다. 이과정을 통해서 이동 경로는 로봇이 진행 가

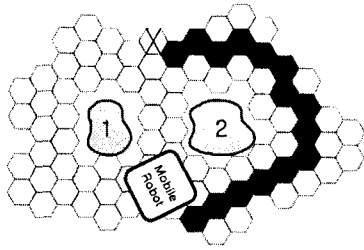


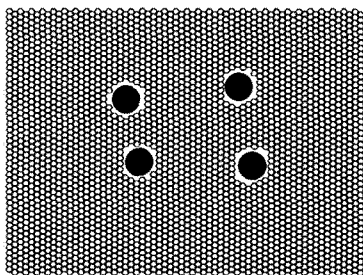
그림3 밀도를 이용한 경로 수정  
Fig. 3 Path planning using density

능한 위치를 찾을 수 있다. 또한 그림에서 알 수 있듯이 장애물 주변으로 위치한 영역들도 모두 밀도값을 만족하지 못하므로 제외된다. 영역의 중심위치를 따라서 이동하게 되는 로봇은 이를 통해 장애물이나 벽면에 부딪치게 되는 상황을 피할 수 있다.

고정된 장애물에 대해서는 임의순서확장법에 의해서 이미 회피할 수 있는 경로가 정해진다. 그러나, 이동하는 물체에 대해서는 장애물이 없는 방향으로 임의로 회피를 한다. 이때 이동 로봇의 위치가 영역을 벗어나게 되면 새로운 경로 설정을 하게 된다.

### 3. 실험 및 결과

그림 4는 시뮬레이션을 위한 공간이며 임의의 위치를 갖는 장애물로 구성되어 있다. 이동 로봇은 2축을 가진 정사각형 형태이며 크기는 0.8m이다. 초음파 센서의 영역은 최대 거리 5m이다. 여러개의 영역크기  $r$ 과 밀도값  $d$ 를 사용하여 경로설정과 장애물 회피의 소요 시간을 측정하였다.



(a)

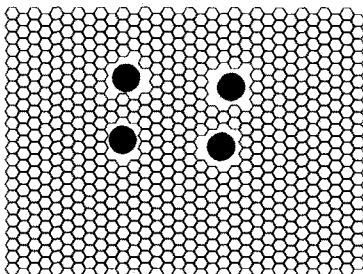


그림4 경로 설정 결과  
Fig. 4 Path planning result

표 3. 결과

Table 3.Result

순서	영역크기	갯수	경로수	시간
1	8	2507	80	0.3
2	16	450	38	0.1
3	32	87	15	0.1
4	64	34	8	0.1

표3에서 나타내고 있는 영역의 크기는 실제의 값이 아닌 영역과 비례한 값이다. 이 값은 실제 환경의 적용에 있어서는 이동로봇의 크기에 대해서 재설정해 주어야 한다.

### 4. 결론 및 추후과제

3절의 결과에서 알 수 있듯이 영역의 크기를 조절함으로써 시간과 이동 경로의 모습에 차이를 보이고 있다. 영역의 크기가 줄어들면 이동 하고자 하는 위치에 가깝게 이동할 수 있으나 더 많은 영역이 생성되어 결정하는 시간이 증가한다. 즉 장애물 회피의 경우 새로운 경로를 결정하는데 더 많은 시간 지연이 발생하게 된다. 따라서, 이 영역의 크기는 작업의 종류에 따라서 적당한 값을 선택해야 한다. 본 논문에서 입증한 결과를 사용하여 실제 이동 로봇의 적용과 초음파 센서를 이용한 동적환경에서의 영역 설정에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 이동하,이영진,김무진, "유전 알고리즘을 이용한 이동 로봇의 최적경로 계획", *Proceedings of the 14<sup>th</sup> KACC*, pp. 385-388, 1999. 10
- [2] 임경수,국태용, "초음파 센서를 이용한 이동 로봇의 경로제어", *Proceedings of the 14<sup>th</sup> KACC*, pp. 358-361, 1999. 10
- [3] de Sousa, E. M. Hemeryl, "Adaptive control for mobile robot using wavelet networks" ,*System, Man and Cybernetics IEEE transaction on*, vol. 32,pp. 493-504 ,2002. 8
- [4] E. Zalama, J. Gomez, J.R. Peran, " Adaptive behavior navigation of a mobile robot", *System, Man and Cybernetics IEEE transaction on*, vol. 32, pp. 160-169, 2002. 1