

유전알고리즘을 이용한 자율이동로봇의 경로계획

이 동 하*, 이 동 활*, 이 만 형**, 배 중 일***

* 부산대학교 대학원, ** 부산대학교 기계공학부, *** 부경대학교 전기공학과

Path Planning of an Autonomous Mobile Robot Based on Genetic Algorithms

D H Lee*, D H Lee*, M H Lee**, J I Be***

* Mech. Eng. Dept., PNU, ** Mech. Eng., Dept. PNU, *** Electric Eng., Dept. PKU

Abstract - In this paper we propose a path planning method for an autonomous mobile robot based on genetic algorithms(GAs). There have been a number of methods proposed for the path planning of a mobile robot. However, few algorithms have been developed for an on-line path planning of a mobile robot with the uncertain information of a task environment. Therefore, we propose a path planning algorithms based on GAs that has ability of creating path planning without the perfect information of a task environment and an ability of planning the efficient path by on-line process. Then we show a possibility of the practical use with the results of simulations and experiments.

1. 서 론

본 논문에서는 이동로봇의 항법 시스템을 구성하기 위한 연구를 수행함에 있어 이동로봇의 이동거리를 최소화 하는 경로를 보장하는 계획 알고리즘에 보다 큰 비중을 두어 연구가 진행되었으며 경로 생성을 위한 알고리즘으로 유전 알고리즘을 채택하였다. 또한 기존의 경로계획을 위한 유전 알고리즘에서 유전자형의 길이가 가변적인 성질을 가짐으로서 발생하는 문제들을 보완하기 위하여 이동로봇이 움직임이 x·y-단조 증가·감소 형태를 가진다는 가정을 통하여 새로운 유전자형을 제한하여 일정 길이를 갖는 유전자형을 구성하였다 [1].

본 논문에서는 새로운 유전자형을 제안하고 불확실한 초기의 환경정보만을 가진 경우에도 이동로봇이 이동과 동시에 온라인으로 유전연산을 수행하여 효율적인 경로 계획이 가능함을 보이이고자 한다. 본 논문의 알고리즘을 검증하기 위하여, 제작한 이동로봇에 본 알고리즘을 적용하고 계획된 경로를 잘 추종하도록 하기 위하여 PD 제어를 설계하여 실제 실험을 실시하여 실용가능성을 보이고자 한다.

2. 본 론

2.1 이동로봇의 기구학 및 동역학

Fig. 1는 이동로봇의 절대 좌표(Global coordinate)와 로봇자체 좌표계(Robot coordinate)를 나타내고 있다.

이동로봇의 구속조건을 유도하기 위하여 전제되는 두 가지 가정에 의하여 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

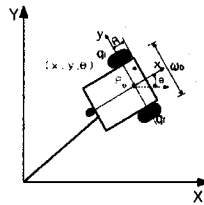
(가정1) non-slip contact

$$y \cos \theta - x \sin \theta = 0 \quad (1)$$

(가정2) perfect rolling contact

$$x \cos \theta + y \sin \theta + \frac{\omega_b}{2} \theta - R \dot{q}_r = 0 \quad (2)$$

$$x \cos \theta + y \sin \theta - \frac{\omega_b}{2} \theta - R \dot{q}_l = 0 \quad (3)$$



X, Y : Global Coordinate
 x, y : Robot Coordinate
 θ : Moving direction angle
 q_l, q_r : Wheel Angle velocity
 R : Wheel radius
 P_0 : Tracking point

Fig. 1 Global coordinates & Robot coordinates

이동로봇의 운동이 급격한 속도 변화를 보이지 않는다면 가정1, 2는 충분히 타당하고, 실제로 적용할 이동로봇은 거의 일정한 속도로 주행한다[6].

위의 가정1, 2에 의해 얻어진 식(1), 식(2), 식(3)을 행렬 형태로 나타내어, 라그랑지 좌표벡터(Lagrange coordinate vector) q 와 $A(q)$ 는 다음과 같이 정의한다.

$$A(q) \dot{q} = 0 \quad (4)$$

$$A(q) = \begin{bmatrix} \sin \theta & -\cos \theta & 0 & 0 & 0 \\ \cos \theta & \sin \theta & \frac{\omega_b}{2} & -R & 0 \\ \cos \theta & \sin \theta & -\frac{\omega_b}{2} & 0 & -R \end{bmatrix}, q = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \\ q_r \\ q_l \end{bmatrix} \quad (5)$$

이동로봇의 동역학적 모델을 구하기 위해 Fig. 2의 이동로봇의 동역학 식을 유도한다. 유도 방법은 라그랑지 방정식(Lagrange's Equation)을 이용하여 식을 유도하고 행렬 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$M(q) \ddot{q} = E(q) \tau - A^T(q) \lambda \quad (6)$$

이고, 여기서 $A(q)$ 는 식(5)에서 정의한 행렬이고 각 계수 행렬을 다음과 같이 정의된다.

$$M(q) = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{\omega} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_{\omega} \end{bmatrix}, E(q) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\tau = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix}, \lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{bmatrix}$$

여기서 q 는 $n \times 1$ 의 기구학 해석에서 정의한 상태벡터(state vector)이고, $M(q)$ 는 $n \times n$ 의 관성행렬(inertia matrix), $E(q)$ 는 $n \times r$ 의 입력 변환 행렬, τ 는 $r \times 1$ 의 입력 토크 벡터, λ 는 라그랑지 멀티플라이어 벡터를 나타낸다.

$S(q)$ 를 유도한 $A(q)$ 의 null space안에 있도록 정의하여, 식(6)의 양변에 $S^T(q)$ 를 곱하면 라그랑지 멀티플라이어

이어가 합되어있는 항은 $S^T(q)A^T(q)\lambda = 0$ 이 되어 제거된다.

$$S^T(q)M(q)(S(q)\nu + \dot{S}(q)\nu) = S^T(q)E(q)\tau \quad (8)$$

$$S(q) = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} \cos \theta & \frac{r}{2} \cos \theta \\ \frac{r}{2} \sin \theta & \frac{r}{2} \sin \theta \\ \frac{R}{\omega_b} & -\frac{R}{\omega_b} \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \nu = [\dot{q}_r, \dot{q}_\theta] \quad (9)$$

위의 유도된 동력학 방정식을 이용하여 PD제어를 구성하여 경로를 추적하도록 하였다.

2.2 유전 알고리즘

유전 알고리즘이란 유전적 계승과 생존경쟁이라는 자연 현상을 알고리즘 형태로 모델링한 확률적 탐색 방법을 말한다. 유전적 계승이란 각 세대가 자손을 생산하는 유전학적 과정을 흉내낸 것이고, 생존경쟁은 세대에서 세대로 집단을 만들어 가는 다윈의 진화과정을 흉내낸 것이다. 유전 탐색 프로세스는 크게 초기화, 적합도 평가, 재생산, 교배, 돌연변이 4단계로 구분된다.

2.2.1 가정 및 유전자의 구성

본 논문에서는 작업환경에서 자율적으로 이동하는 이동로봇에 관심을 두고 있고, 유전연산을 간단하게 하기 위한 유전자형을 제한하기 위하여 다음과 같은 가정을 한다.

(가정)

1. 자율 이동 로봇은 일정한 실내의 환경 하에서 이동한다.
2. 이동로봇의 현재위치의 사방의 장애물의 검출 가능하다.
3. 작업환경은 $n \times m$ 의 격자를 갖는 환경으로 가정한다.
4. 로봇의 이동속도는 일정 속도를 갖는다.
5. 로봇의 이동형태는 항상 x 또는 y-단조증가·감소 형태를 갖는다 [1] [2].

위와 같은 가정 하에서 작업환경의 초기 이동 시작점과 목표점은 좌측 상단의 격자의 중앙과 우측 하단의 격자 중앙으로 정의하고, 현재의 격자 i 와 인접한 격자 j 사이의 거리($d(i, j)$)는 그 격자 i 의 중심 ρ_i 와 격자 j 의 중심 ρ_j 사이의 유클리드 거리(euclid distance)로 정의한다.

본 논문에서는 가장한 $m \times n$ 격자 작업환경에서 경로계획을 위한 입력과 출력을 다음과 같이 정의한다.

- 입력 : 환경 격자의 크기, 시작점(s)과 목표점(d) 정보, 그 리고 이동 중에 거리 센서로부터 얻은 장애물 관련 정보.
- 출력 : 시작점(s)과 목표점(d)사이의 좌표정보를 갖는 인접한 격자들의 번호의 열로 표시되는 경로.

Fig. 2은 x, y 좌표쌍을 갖는 기존의 유전자와 그 유전자열의 표현 방법을 나타낸 것이다. 이러한 유전자를 가진 경우는 유전 연산시에 선택된 부모 세대의 유전자의 길이가 서로 같지 않은 경우가 존재하고, 서로 다른 유전자열의 길이를 갖는 부모 세대들간에는 서로의 교배점을 찾는 것이 간단하지 않다. 이러한 점을 개선하기 위해서는 최적 또는 알맞은 표현형의 길이는 정해주거나 서로 다른 길이를 갖는 유전자들 간의 연산이 가능하게 하기 위한 방안이 필요하게 된다.

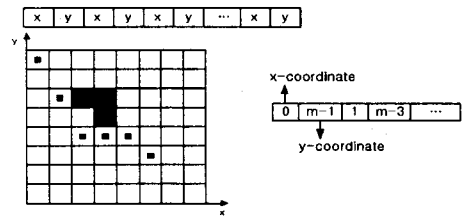


Fig. 2 The general Genotype

Fig. 3는 제한한 유전자 표현형과 이를 통하여 이동하는 이동로봇의 경로의 표현을 나타낸 것이다

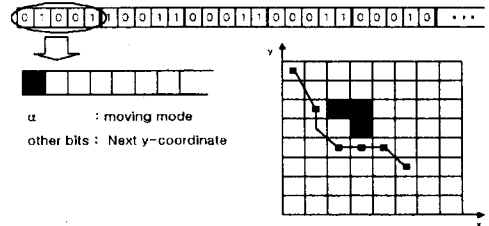


Fig. 3 The applied Genotype

새로운 유전자를 살펴보면, 위의 Fig. 3에서와 같이 각 유전자의 첫 번째 비트는 이동로봇의 이동 방법을 나타내고 항상 일정한 길이의 유전자형을 가진다. 그리고 이동로봇의 이동 방법은 α 비트를 통하여 결정이 되며, α 비트가 0인 경우 대각선 형태 갖는 직선 주행을 하게 되고, 1인 경우에는 수직으로 주행을 한 후 대각선 주행을 하게 된다.

2.2.2 적합도 함수

적합도 함수는 유전 알고리즘에서 각 세대들간의 우성 형질과 열성 형질을 판별하기 위한 적합도를 결정하는 함수이므로 유전 알고리즘의 전체적인 성능에 크게 영향을 미치는 요소로 작용을 한다.

목적함수(y)와 적합도 함수(fit)는 식(10), 식(11)과 같이 정의한다.

$$fit = a_i / add$$

$$\begin{cases} a_i = y_i \\ add = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \end{cases} \quad (10)$$

$$y_i = ((n-2+\sqrt{2}) * m)^2 - f^2 \quad (i=1, 2, 3, \dots) \quad (11)$$

여기서, y 는 각 개체가 갖는 목적함수 값이며 n 과 m 은 각각 가로격자와 세로격자의 수를 나타내고, f 는 실제 이동거리를 나타낸다.

2.2.3 유전 연산자

본 논문에서는 경로계획을 위한 유전 연산자로 두 가지를 사용한다. 첫 번째 연산자로는 두 개체 사이에 임의로 선택된 지점에서 각 스트링(string)을 잘라내어 서로 교환(crossover)하는 한점 교배(1-point-crossover)를 사용한다. 이때 미리 정하여둔 교배가 일어날 확률 즉, 교배율(crossover-rate)에 의하여 교배를 제한한다.

두 번째의 연산자로는 돌연변이(mutation)로 한 개체를 택하여 임의의 한 유전자를 바꾸어 버림으로서 전혀 다른 형질을 가질 수 있도록 한다. 이 연산자는 너무 자주 행하여지면 효율적인 경로를 찾는 연산 시간이 길어지게

되고 도리어 나쁜 영향을 미칠 수도 있기 때문에 돌연변이가 일어날 확률을 돌연변이율(mutation-rate)에 의해 제한하여 필요 이상으로 연산이 수행되는 것을 막는다.

2.2.4 경로 계획 알고리즘

본 논문에서 제안한 유전 알고리즘을 흐름선도로 나타내면 다음과 같다.

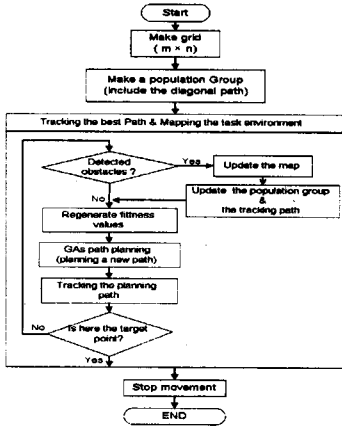


Fig. 4 Flowchart of the path planning

2.3 실험

유전 알고리즘을 이용한 경로계획을 위하여 이동로봇은 앞에서 언급한 것과 같이 두 개의 구동용 바퀴를 가지고 있고 하나의 구름 바퀴를 사용하는 구조를 가진 이동로봇을 사용하였다. 실험환경은 제안한 유전 알고리즘을 적용하기 위하여 한 격자의 크기는 0.8 m로하여 실험을 하였으며 공간은 7×7의 격자를 갖는 환경을 구성하여 실험을 수행하였다.

시작점과 목표점은 전체 환경격자의 한 쪽 끝을 시작점으로 하여 다른 쪽 대각선 방향의 마지막 격자를 목표점으로 하여 경로를 계획하고 추종하는 것으로 하고, 이동로봇의 이동속도는 0.83 %로 하였으며, 샘플링 시간은 4ms로 설정하여 실험을 수행하였다.

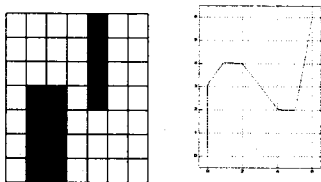


Fig. 5 tracking trajectory & Generated path using GA

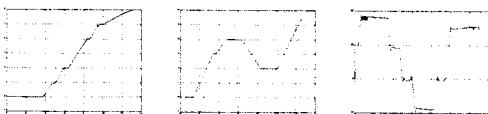


Fig. 6 The variance of the X,Y-coordinate & θ

실험을 통하여 이동로봇이 이동하면서 유전 알고리즘을 이용하여 경로를 계획하고 원하는 목적지까지 이동이 가능하고 환경에 대한 기본적인 정보만을 가지고도 만족할만한 경로계획이 가능하다는 것을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 효율적인 경로예측을 위하여 새로운 유전자형을 제안하고, 실험을 통하여 제안한 유전자형을 적용한 유전 알고리즘이 기존의 유전 알고리즘이 가지고 있던 연산시간이 길어 온라인 경로계획을 어려움을 개선하여 짧은 시간에 효과적인 경로를 찾을 수 있다는 것을 볼 수 있었다. 또한 작업환경에 대한 많은 정보를 주지 않고 환경에 대한 기본적인 정보(시작점의 좌표와 목표점의 좌표)만을 가지고도 본 알고리즘을 적용하여 만족할만한 경로계획이 가능하다는 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 모든 경로의 계획이 목표점을 한 지점으로 하여 목표점에 도착하면 모든 작업이 완료한 것으로 하고 수행되었으나, 향후에는 환경을 설정시 환경격자의 구조를 가변적 설정이 가능하게 하여 장소를 옮겨가며 작업이 가하도록 하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

[참고 문헌]

- [1] K. Sugihara, "GA-based on-line path planning for SAUVIM," Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 1416, pp. 329-338, Springer-Verlag, 1998.
- [2] K. Sugihara, "Measures for performance evaluation of genetic algorithms," Proc. 3rd Joint Conference on Information Sciences, Research Triangle Park, NC, Vol. I, pp. 172-175, March 1997.
- [3] D. E. Goldberg, Genetic algorithms in search, optimization and machine learning, Addison Wesley, 1989
- [4] N. Sarkar, X. Yun and V. Kumar, "Control of Mechanical systems With Rolling Constants: Application to Dynamic Control of Mobile Robots," The international Journal of Robotics Research, Vol. 13, No. 1, pp. 55-69, 1994.
- [5] 진강규, 유전알고리즘과 그 응용, 교우사, 2000.
- [6] 김무진, 신경회로망을 이용한 이동로봇의 경로 추적 제어, 부산 대학교 공학석사 학위논문, 2000.
- [7] 곽한택, 이기성, "유전알고리즘을 이용한 이동로봇의 경로 계획," '96 한국자동제어학술회의 논문집, pp. 1189-1192, 1996.
- [8] 김진수, 이영진, 장용훈, 이권순, "유전알고리즘을 이용한 이동로봇의 경로계획 및 충돌회피에 관한 연구," '96한국자동제어학의 논문집, pp. 1193-1196, 1996.