

유전 알고리즘과 가시도 그래프를 이용한 이동로봇의 최적경로 계획

정연부, 이민중, 전항식, 최영규
부산대학교 공과대학 전기공학과

Optimal Path Planning for Mobile Robots
based on Genetic Algorithms and Visibility Graph

Youn-Boo Jung, Min-Jung Lee, Hyang-Sig Jun, Young-kiu Choi
Dept. of Electrical Eng. Pusan National Univ

Abstract - This paper proposes a path planning algorithm for mobile robots. To generate a minimum-distance path for mobile robots, we use the Genetic Algorithm(GA) and Visibility Graph.

After finding a minimum-distance path between a start and a goal point, the path is revised to find the smooth subminimum-distance path by a path-smoothing algorithm. Simulation results show that the proposed algorithms are effective.

1. 서론

최근 공장자동화의 관심이 커짐에 따라 작업반경이 넓으며, 작업환경의 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 이동로봇에 대한 필요성이 높아지고 있다. 이러한 이동로봇은 주어진 환경을 인식하고, 로봇이 가야할 경로를 계획하며, 계획된 경로를 충실하게 따라 가야 한다.

연속적인 자유경로를 결정할 수 있는 그래프 방식과 유전알고리즘을 이용한 기존의 경로 계획은 이동로봇의 이동시간에 대한 최적경로를 고려하지 않고, 단지 최단거리에 대한 최적경로만을 고려하고 있다[1]. 장애물의 꼭지점을 연결하는 가시도 그래프에서 얻은 로봇의 최적경로는 실제 로봇이 움직일 경우 필연적으로 정지한 후 회전해야만 하는 경로가 생성되는 문제점이 야기된다. 이에 본 논문에서는 로봇의 작업환경을 가시도 그래프에 의해 초기 경로를 생성한 후, 유전알고리즘으로 최단거리에 대한 최적경로를 생성한다. 그리고 장애물의 위치와 로봇의 최소회전 반경을 고려한 경로 재생성 알고리즘을 적용하여 실제 로봇이 정지하지 않고 움직일 수 있는 경로를 재생성하여 로봇이 최단시간에 출발점에서 목표점까지 이동할 수 있는 경로를 생성한다. 또한 적은 개체군(Population)과 적은 세대(Generation)에서 보다 빠른 최적경로를 생성하기 위해 경로재결합 연산자[1]를 재수정하여 제안하였다.

2. 가시도 그래프와 유전 알고리즘

2.1 가시도 그래프

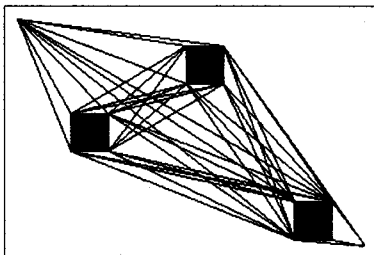


그림 1. 가시도 그래프

가시도 그래프는 그림 1과 같이 출발점, 목표점과 장애물들의 꼭지점으로 구성된 노드들의 집합과 장애물을 가로지르지 않는 직선의 노드 쌍들의 집합으로 이루어진 방향이 없는 그래프이다[2]. 출발점과 장애물을 가로지르지 않는 노드와 목표점의 조합으로 이동로봇의 경로를 산출할 수 있다.

2.2 유전 알고리즘

1970년대 초 John Holland에 의해 본격적으로 연구되기 시작한 유전 알고리즘은 자연생태계의 진화과정에서 관찰된 몇가지 처리과정에서 '적자생존'의 원리를 이용하여 정립된 최적화 알고리즘이다[3]. 유전알고리즘은 초기 개체군을 토대로 재생산, 교배, 그리고 돌연변이 과정을 거친다. 이때 각 개체가 목적함수에 알맞은 정도를 나타내는 적합도를 평가하여 확률적으로 우수한 적합도를 지닌 개체들을 선택하여 재생산한 후 다음 세대로 진화한다.

유전알고리즘이 기존의 탐색 또는 최적화 방법과 다른 점은 다음과 같다.

- 점(point)이 아닌 군(population)에 기반한 탐색 방법
- 확률적인 연산자를 사용하여 수행된다.
- 탐색공간에 대해 연속성이나 미분 가능성 등의 제약 조건을 요구하지 않는다.

그림 2는 단순 유전알고리즘의 순서도이다.

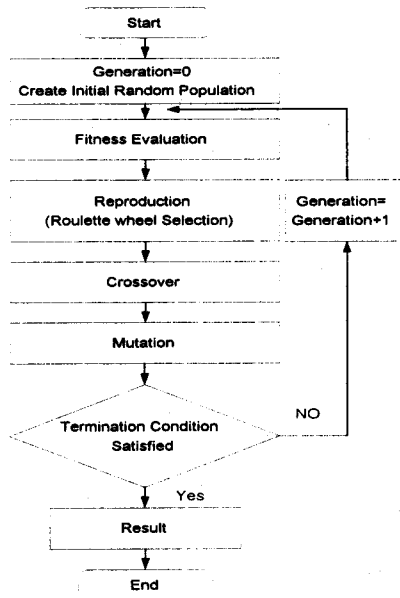


그림 2. 단순 유전알고리즘의 순서도

3. 경로계획

먼저 가시도 그래프에 의해 장애물을 지나지 않는 노드로 구성된 초기 경로와 그 경로의 적합도 값을 구한다. 이동로봇의 경로계획은 일반적인 유전알고리즘의 연산자인 교배, 돌연변이를 사용할 수 없으므로 부모의 경로를 재구성하여 적합도 값이 높은 자손을 선택하는 방법을 채택하여 최적의 경로를 생성한다.

3.1 초기 경로 개체군

초기 경로 개체군은 가시도 그래프에서 얻은 각 꼭지점의 고유 번호들의 임의적 조합을 통해 초기 경로를 얻는다. 즉, 초기 경로 개체의 유전자는 0,1의 이진값으로 구성되지 않고, 장애물의 꼭지점의 고유 번호인 정수값으로 구성된다. 또한 한 개체의 길이는 고정되지 않고 가변적인 길이를 갖는다.

(P ₁ , P ₂)	(P ₂ , P ₃)	(P ₃ , P ₄)	(P ₄ , P ₅)
(-1, 1)	(1, 3)	(3, 7)	(7, 0)

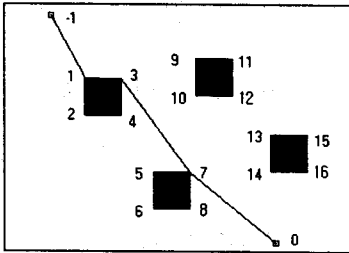


그림 3. 경로 표현형

그림 3은 초기 경로를 구성하는 한 예를 보인 것이다. 초기경로개체의 처음과 마지막 유전자는 로봇의 출발점(-1)과 목표점(0)으로 구성된다. 로봇의 초기 경로를 구성하는 단계는 다음과 같다.

- [단계1] 작업환경에서 장애물의 꼭지점을 찾아서 고유 번호를 부여한다.
- [단계2] 우선 로봇의 출발점(-1)을 P₁로 하고, 장애물을 지나지 않고, P₁과 연결된 꼭지점(1,2,3,9,10,11,14)중 임의의 하나(P₂)를 선택한다.
- [단계3] 선택된 꼭지점과 연결된 모든 노드를 제거한다>(* ,P₁)(P₁,*)
- [단계4] P₂와 연결된 노드 중 임의의 것(P₃)을 선택한다.
- [단계5] P₃이 로봇의 목표점(0)이면 중지하고 아니면 위의 단계를 반복한다.

위와 같은 단계를 거친 초기 경로들은 모두 장애물을 피해서 목표점까지 연결된 경로들이다.

3.2 적합도 함수

이동로봇의 경로계획에서 적합도 함수는 거리를 최소화시키는 함수로 정의할 수 있다. 적합도 함수는 거리의 역수를 취함으로써 최소화 문제를 최대화 문제로 변환시킬 수 있다.

$$f = \frac{1}{\sum_{k=2}^n d(P_{k-1}, P_k)} \quad , \quad P_k = (x_k, y_k) \quad (1)$$

여기서,

L : 각 개체의 길이

d(P_{k-1}, P_k) : 꼭지점 P_{k-1}과 P_k 사이의 거리

3.3 유전 연산자 및 경로재결합 연산자

● 재생산(Reproduction)

높은 적합도를 가지는 개체가 다음 세대에서 더 많은 자손을 남기도록 하는 과정이다. 본 논문에서는 각 개체의 적합도 값을 평가하여 roulette wheel selection 방식과 엘리트 선택방식을 사용하였다.

● 경로 재결합(Path Recombination) 연산자

이동로봇의 경로계획에 기본적인 유전 알고리즘에 적용되는 교배, 돌연변이 연산자를 사용할 경우 경로의 연결성을 보장할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 자손경로를 결정하기 위해 교배나 돌연변이 효과를 가지면서 경로의 연결성을 보장할 수 있는 경로 재결합 연산자를 수정하여 새로운 경로 재결합 연산자를 제안한다. 경로를 재결합하는 과정은 다음과 같다.

- [단계1] 초기 개체군에서 roulette wheel selection 방식으로 2개의 부모개체를 선택한다.
- [단계2] 선택된 2개의 부모개체에서 중복되지 않는 새로운 장애물의 꼭지점을 산출한다.
- [단계3] 새롭게 생성된 고유번호와 로봇의 출발점과 목표점을 조합하여 새로운 자손개체군을 생성한다.
- [단계4] 자손개체군중에서 최고의 적합도를 가지는 한 개의 자손개체를 선택한다.
- [단계5] 개체군의 크기만큼 위의 단계를 반복하여 새로운 개체군을 생성한다.
- [단계6] 위를 반복하여 세대를 증가시킨다.

3.4 최소 회전반경을 이용한 경로 재생성

그림 3의 초기경로 개체군의 한 개체에서 볼 수 있듯이 가시도 그래프와 유전 알고리즘에 의해 생성된 경로는 실제 이동로봇의 이동시 두 노드의 결합부분, 즉 이동로봇의 방향전환점에서 회전시 필연적으로 로봇은 정지후 회전하여 다시 이동해야 하는 경로를 생성한다. 즉 이동로봇이 최단시간에 출발점에서 목표점까지 이동할 수 있는 최적경로가 아닌 단지 거리상의 최적경로가 될 수 밖에 없다. 따라서 본 논문에서는 실제로 로봇의 최소 회전반경을 고려하여 경로를 재생성 한다. 경로의 재생성 즉 유연한 경로를 생성하기 위해서는 다음과 같이 2가지 경우에 대해 고려해야 한다.

● 장애물이 로봇회전방향과 다른 방향에 있는 경우
그림4의 두 직선 (3,4)과 (4,0)를 연결하는 경로에서 로봇이 장애물과 충돌하지 않으면서 이동하려면 두 직선에 접하는 원을 그려 새로운 경로를 생성해야 한다.

● 장애물이 로봇회전방향과 같은 방향에 있는 경우
그림 4의 두 직선 (-1,3)과 (3,4)를 연결하는 경로에서는 위의 경우와 같이 두 직선에 접하는 원을 그렸을 경우 장애물과 충돌하므로 두 직선이 만나는 점(3)을 지나는 원을 그려 경로를 재생성한다.

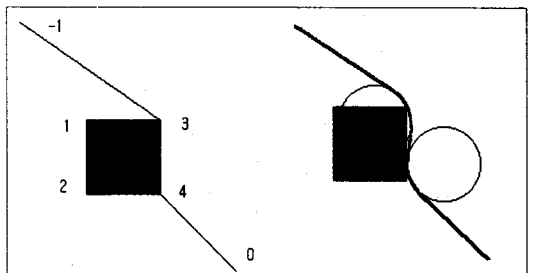


그림 4. 경로 재생성

4. 시뮬레이션 결과

작업영역은 300×200 픽셀크기로 하였고, 로봇은 1 픽셀의 점로봇으로 나타내었다. 다음의 그림들은 유전알고리즘과 가시도 그래프를 이용하여 최적경로를 생성후 로봇의 최소 회전반경을 고려하여 경로를 재생성한 결과를 나타내었다. 시뮬레이션시 파라미터는 부모 개체수 10, 자손 개체수 10, 세대수 10으로 하였다. 장애물은 직사각형을 사용했으며 로봇의 출발점과 목표점은 정사각형과 원으로서 나타내었다.

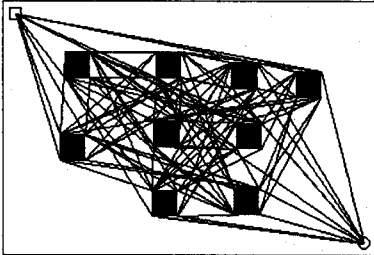


그림 5. 초기 개체군

그림 5는 장애물을 지나지 않는 노드로 구성된 10개의 초기 경로 개체군을 나타낸 그림이다.

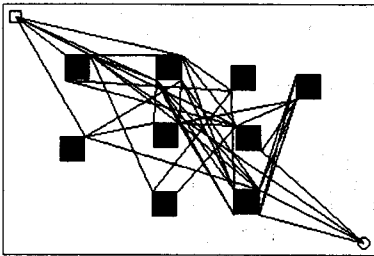


그림 6. 5세대 후 생성된 경로

그림 5의 초기 경로에 비해서 적합도가 높은 경로가 많이 살아남아 점점 경로의 수가 줄어드는 것을 그림 6에서 볼 수 있다.

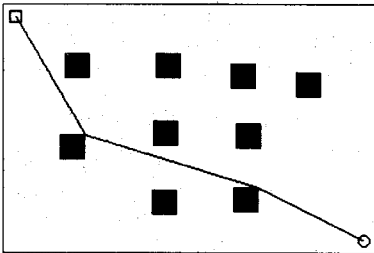


그림 7. 10세대 후 생성된 경로

그림 7은 10세대가 지난 후의 최종 경로를 나타낸 그림이다. 10세대가 지나면서 적합도 값이 높은 경로만 살아남고 나머지는 모두 소멸하여 결국 적합도 값이 가장 높은 하나의 경로로 모두 모여지게 된다. 하지만 유전알고리즘의 탐색원리는 상당히 확률적이어서 언제나 최적의 경로를 찾지 못하는 경우가 발생한다. 시뮬레이션 결과, 90% 이상이 최적경로를 포함한 최적에 가까운 적절한(feasible) 경로를 찾아냄을 볼 수 있었다. 그림 8은 최적경로 생성 후 최소회전반경을 고려한 새로운 경로를 생성한 그림이다. 그림 9, 10은 다른 환경에서

의 시뮬레이션 결과이다. 연결된 장애물에서도 빠른 시간에 최적경로를 찾는 것을 볼 수 있다.

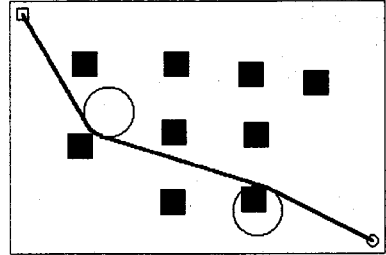


그림 8. 경로 재생성

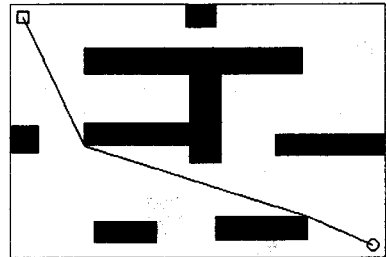


그림 9. 다른 환경에서의 10세대 후 생성된 경로

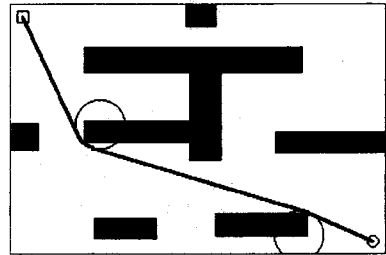


그림 10. 다른 환경에서의 경로 재생성

5. 결 론

본 논문에서는 단순 유전알고리즘의 교배와 돌연변이 효과를 낼 수 있는 경로 재결합 연산자를 수정하여 적은 개체와 세대에서 적은 계산량으로 보다 빠른 시간에 최적경로를 생성하였다. 그리고 실제 로봇의 최소회전반경을 고려하여 경로를 재생성하여 최단거리에 대한 최적 경로뿐만 아니라 이동시간을 최소화시킬 수 있는 경로를 생성함을 보였다. 향후 실제 환경과 로봇에 적용하여 그 타당성 검증이 요구된다.

[참 고 문 헌]

- (1) 윤창경, "유전알고리즘을 이용한 이동로봇의 충돌회피 경로계획에 관한 연구," 한국과학기술원 석사학위 논문, 1993.
- (2) Jean C. Latombe, *Robot Motion Planning*, Kluwer Academic Publishers, 1994.
- (3) D.E.Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
- (4) Zbigniew Michalewicz, *Genetic Algorithms + Data structures = Evolution Programs*, Springer-Verlag, 1994.
- (5) Andreas C.Nearchou, "A Genetic Navigation Algorithms For Autonomous Mobile Robots," *Cybernetic and Systems*, 30, pp.629-661, 1991.