

### 유전알고리즘을 적용한 로봇의 장애물 충돌회피 및 경로추정

임진수\*, 김문수\*\*, 이양우\*

\*동의대학교 전기공학과, \*\*동의공업대학 전기공학과

### Collision Avoidance of Obstacles and Path Planning of the Robot applied Genetic Algorithm

Jin-Su Lim\*, Moon-Su Kim\*\*, Yang-Woo Lee\*

\*Dept. of Electrical Eng., Dong-Eui Univ.

\*\*Dept. of Electrical Eng., Dong-Eui Institute of Technology

**Abstract** - This paper presents a method for solving the path planning problem for robot manipulators. The technique allows manipulators to move from a specified starting point to a goal without colliding with objects in two dimensional environment. Approximate cell decomposition with a greedy depth-first search algorithm is used to guide the end effector though Cartesian space and genetic algorithms are used to solve the joint variable for the robot manipulators.

#### 1. 서론

최근 산업과 과학기술의 발달은 인간생활에 많은 변화를 가져왔으며 이러한 변화는 산업현장의 생산성 향상과 편리함을 위한 공장자동화에 요구에 기인하였다. 공장자동화 설비는 인건비의 절감과 공정의 효율성을 증가시킬 수 있기 때문에 자동화 설비부분 중 무엇보다도 로봇 설비에 대한 관심은 점점 증가하고 있다. 실제 산업현장에서 로봇은 제품의 조립과 운반, 용접, 도장 등에 널리 사용되고 있으며 그 수요도 날로 증가하고 있는 추세이다.

과거의 로봇에 대한 연구는 인간이 작업하기에 부적절한 작업이나 단순작업 위주였지만 오늘날 로봇에 대한 연구는 복잡한 작업을 하면서도 인간의 간섭을 줄여 나가는 데 중점을 두고 있다. 그러한 연구 추세는 로봇 연구분야 중 경로계획문제(Path planning problem)가 포함되어 인간의 조정이나 간섭을 줄이면서 자동화 시스템에 유연성을 높일 수 있는 방법으로 인공 유전시스템인 유전알고리즘(Genetic algorithm)을 로봇의 경로계획에 이용하고자 한다.

유전알고리즘은 1975년 John Holland에 의해 개발되어 자연계의 진화현상에 기초한 계산 모델로 자연선택의 원리와 생물 유전학에 기본을 두며, 병렬적이고 전역적인 탐색 알고리즘으로 모든 생물은 주어진 다양한 환경에 적응함으로써 살아남을 수 있다는 Dawin의 적자생존(Survival of fitness)의 개념을 기본으로 하였다. 이러한 자연계 시스템의 골격을 인공 시스템에 적용시킬 수 있고, 자연계의 적응과정도 합축 강건(robustness)하게 설명할 수 있기 때문에 유전알고리즘은 탐색기법 및 최적화, 기계학습 측면에서 많이 사용되며, 구조가 단순하고 방법이 일반적이기 때문에 응용 분야가 매우 넓다.[1~2]

본 논문의 경로계획은 로봇 매니퓰레이터가 장애물이 존재하는 작업환경에서 장애물과의 충돌을 회피하는 경로계획에 대해 연구하였으며, 충돌 회피 알고리즘으로 유전알고리즘을 이용하였다.[3] 또한 작업환경과 출발점과 목표점에 대한 경로 설정을 위해 근사적 셀분해법(approximate cell decomposition)과 greedy depth-first search법을 사용하였다.[4]

#### 2. 유전알고리즘

유전알고리즘은 병렬 탐색 알고리즘이며 자연계의 생물적 유전 특성을 근거로 하여 만들어진 최적화 기법으로서 재생산, 교배, 돌연변이 단계를 거치는 과정을 통해 보다 나은 다음 세대를 생성시켜 나가는 생물 유전알고리즘을 응용한 것이 유전알고리즘이다. 이러한 유전알고리즘은 탐색기법이나 최적화 기술과 같은 복잡 다양한 문제의 최적해를 찾는 데 이용되므로 완전한 해를 찾는 것이 아니라 적절한 최적해를 빠르게 찾으려 하는 것으로 풀고자하는 문제의 가능한 해를 정해진 형태의 자료 구조로 만든 후 이것들을 점차적으로 변형함으로써 점점 더 좋은 해를 찾을 수 있도록 한다.[5]

유전알고리즘이 기존 탐색알고리즘과 다른 점은 (1) 파라메타(parameter) 그 자체를 사용하기보다는 파라메타를 코딩(coding)해서 사용하고 (2) 탐색 공간에서 단일해를 이용하지 않고 해 집단을 사용하며 (3) 결정론적 전이규칙이 아닌 확률적 규칙을 사용하고 (4) 미분 가능성, 연속성 등과 같은 최적화 함수의 정보를 필요치 않고 단지 적합도 함수(fitness function) 값만을 이용하여 나타낼 수 있는 특징을 가지고 있다. 이러한 유전알고리즘 특징을 로봇 매니퓰레이터에 대한 경로계획 연구에 적용하여 장애물이 존재하는 곳에서 장애물과 충돌 없이 로봇 매니퓰레이터가 적절한 최적의 경로계획을 찾을 수 있도록 하였다.[6~7]

본 연구에서는 여러 가지 유전자 표현방법 중 이진문자열(binary string)로 표현했으며 유전알고리즘 중 단순 유전알고리즘(SGA: simple genetic algorithm)을 사용하고 재생산, 교배, 돌연변이 연산자를 이용하였다. 그림 1은 유전알고리즘의 순서도를 나타낸 것이다.

##### 단계 1 재생산(Reproduction)

재생산 연산자는 각각의 문자열(string)이 가지는 적합도에 따라서 그 문자열을 복제하는 과정으로 적합도 함수는 최대화하기를 원하는 어떠한 함수 형태도 가능하다. 여기서는 적합도 함수값이 클 경우는 다음 세대에 그만큼 선택될 확률이 크고 낮을 경우 선택확률이 낮아지는 방법인 Biased roulette wheel selection 방법을 사용하였다.

##### 단계 2 교배(Crossover)

교배 연산자는 문자열(string)들 사이의 정보를 교환할 수 있는 연산자로서 두 개의 부모 개체가 정보를 통해 새로운 자손(offspring) 생산하는 것으로 다른 최적화 알고리즘에는 없는 유전알고리즘의 특징이다. 교배 위치의 설정은 범위  $0 < r < 1$  사이의 난수  $r$ 을 발생시켜 교배확률( $p_c$ : Probability of crossover)과 비교하여 교배 위치를 결정하는 것으로 일반적인 단순 교배법을 이용하였다.

### 단계 3 돌연변이(Mutation)

돌연변이 연산자는 현재 집단의 문자열의 비트를 임의로 수정하여 개체에 새로운 정보를 제공하기도 하고 과거에 잃어버린 중요한 정보를 되찾을 수 있도록 하여 탐색의 방향이 전역적 극값보다 큰 지역적 극값 생성시 여기서 벗어날 수 있도록 하여 전역적 탐색 능력을 향상시킬 수 있게 한다. 돌연변이확률은 일반적으로( $p_m$ : Probability of mutation)  $0 < p_m \ll 1$  사이의 범위로 설정한다.

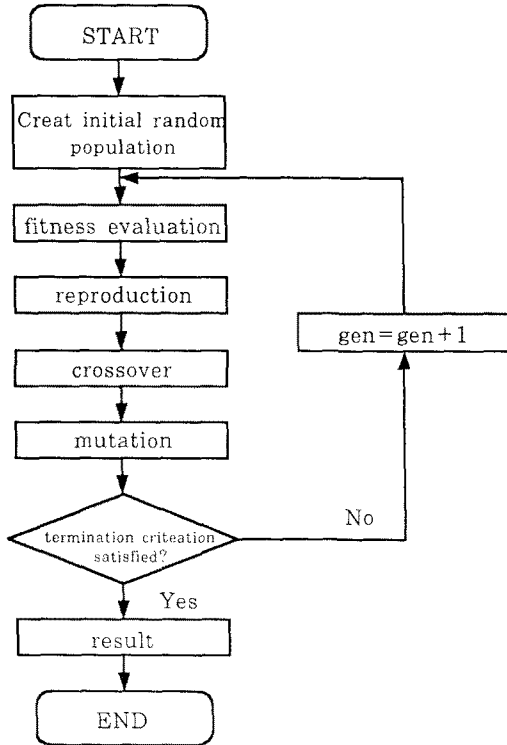


그림 1 단순 유전알고리즘의 순서도  
Fig. 1 Flowchart of Simple Genetic Algorithm

### 3. 작업환경의 설정 및 적합도 함수

본 연구에서는 로봇 매니플레이터의 작업공간을 2차원 공간으로 한정하였고, 전체 영역을 같은 크기의 셀로 나누며 셀과 셀이 서로 중복되지 않는 작업환경을 만들었다. 작업환경은 근사적 셀분해법(approximate cell decomposition)으로 나타내었고, 장애물 표시는 다각형 형태를 색칠하여 나타냈으며, 장애물은 고정된 것으로 하였다.

셀의 탐색방법은 greedy depth-first search법을 사용하여 이웃하는 셀로만 이동하도록 하였고, 2차원에서 이동 경우의 수는 4가지(Top, Left, Bottom, Right)이며, 이동은 항상 목적점과 가까운 곳으로 움직이도록 하였다. 이러한 셀 이동에 세 가지 제약을 두었는데 (1) 셀 이동시 작업환경을 벗어나지 않도록 하였고, (2) 현재의 셀이 다음 셀로 이동시에는 장애물과 충돌하지 않도록 하였고, (3) 이동한 지점은 다시 이동하지 않는 것으로 하였다.

충돌 회피 알고리즘으로 이용된 유전알고리즘은 로봇 매니플레이터가 출발점에서 목표점까지 도달할 수 있도록 하기 위해

로봇 매니플레이터가 작업공간에서 장애물이나 로봇 링크들(links) 사이의 충돌없이 제한된 공간에서 요구되어지는 목표점으로 움직일 수 있도록 하기 위한 관절각도(joint angle)를 고려하였다.

적합도 함수에 대한 결정은 다음의 경우를 고려하여 계산하였다. 로봇 공구단이 요구하는 위치와 실제위치의 오차의 정도와 로봇 매니플레이터와 장애물 사이의 근접거리 및 각 링크들 사이의 관절각도가 급격히 변화나 반전이 발생을 고려하여 적합도 함수를 결정하였다.

유전알고리즘의 개체의 표현인 문자열을 이용하여 부분자열(substring)을 관절변수와 대응시키면서 로봇 매니플레이터가 특정한 관절변수에서 장애물과의 충돌시에는 상응하는 문자열의 적합도를 0이 되도록 적합도 함수값을 설정하였다. 또한 관절각도가 명확하지 않을 경우에는 유전알고리즘의 개체집단이 커지게 되고 시작점의 적절한 각도를 발견하는데 많은 시간이 걸리기 때문에 문자열을 같은 크기를 갖는 부분자열로 나누어 각각의 결합변수에 대응시켰다.

본 연구에서 채택한 적합도 함수는 다음 식과 같다.

$$\text{fitness} = \frac{1}{1 + w_1 \times e_1 + w_2 \times e_2 + w_3 \times e_3} \quad (1)$$

여기서

$w_1, w_2, w_3$  = 에러의 하중

이다.

$e_1$ 은 로봇 매니플레이터의 요구위치와 실제위치 사이의 비교치를 구하는 것으로 다음 식으로 나타낸다.

$$e_1 = \frac{|r - r'|}{2 \times R} \quad (2)$$

여기서

$r'$  = 실제 위치

$r$  = 요구되는 위치

$R$  = 매니플레이터의 최대 도달 거리

이다.

$e_2$ 는 장애물과 로봇과의 근접하는 정도로서 다음 식으로 나타낸다.

$$e_2 = \text{Mean}_{i \in \{\text{obstacles}\}} \left( \frac{1}{D_i} \right) \quad (3)$$

장애물과의 인접성을 나타낸 식은 다음과 같다.

$$D_i = \begin{cases} (\delta - g_i) / R & g_i < \delta \\ 0 & g_i > \delta \end{cases} \quad (4)$$

여기서

$\delta$  = 인접 한계점

$g_i$  = 매니플레이터와 장애물  $i$  사이의 최솟거리

이다.

$e_3$ 는 로봇 매니플레이터 링크들 사이의 관절각도를 고려하여 관절각도가 급격히 변하거나 로봇 매니플레이터 자체가 반전되는 것을 피하기 위한 식은 다음 같다.

$$e_3 = \text{Mean}_{i \in \{\text{links}\}} \left( \frac{|\theta_i - \theta'_i|}{2\pi} \right) \quad (5)$$

## 5. 결론

본 연구에서 나타난 시뮬레이션의 결과와 같이 유전 알고리즘을 이용한 로봇 매니퓰레이터가 장애물이 존재하는 작업환경에서 장애물과의 충돌 없이 최적의 경로를 찾을 수 있었다. 이렇게 유전 알고리즘을 이용한 로봇 매니퓰레이터의 경로계획은 복잡한 수학적 계산 없이도 최적 경로 탐색이 가능하여 장애물의 위치나 크기가 다른 공간의 로봇 매니퓰레이터의 경로계획이나 이동 로봇의 경로계획에도 적용이 가능하다. 그러나 실제 로봇 매니퓰레이터의 속도 및 가속도, 외란 등과 같은 동역학적인 요소를 배제하였고, 여기서는 로봇 매니퓰레이터의 목표점의 경로에 따른 위치만을 생각하였다. 앞으로 고정된 장애물 뿐만 아니라 이동 장애물에 대한 충돌 회피와 여러 개의 로봇 매니퓰레이터가 동시에 작업할 수 있는 연구도 고려되어야 할 것이다.

## 6. 참고 문헌

- [1] Goldberg, D.E., "Genetic algorithm in search, optimization, and machine learning," Addison-Wesley, 1989.
- [2] Zbigniew Michalewicz, "Genetic algorithm+data structures=evolution program," Springer-Verlag, 1994.
- [3] Mark A. C. and Albert Y. zomaya, "A cell decomposition-based collision avoidance algorithm for robot manipulators," Cybernetics and system:an International Journal, 29, p113-115, 1998.
- [4] Theo Pavlidis, "Graphic and image processing," Computer science press, 1982.
- [5] Witold Pedrycz, "Fuzzy Evolutionary Computation", Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [6] Kubota, N, Fukuda, T, Shimojima, K. "Trajectory Planning of Reconfigurable Redundant Manipulator Using Virus-Evolutionary Genetic Algorithm," Procs. of The 22nd International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, pp. 836-841,1996.
- [7] Mitsuo Gen, Runwei Cheng, "Genetic Algorithms & Engineering Design," Wiley-Interscience Publication JOHN WILEY & SONS, INC., 1997.

## 4. 시뮬레이션 및 검토

본 연구에서의 작업환경은 한정된 2차원 공간으로 300×300 크기로 하였으며 로봇 매니퓰레이터의 움직임은 해석이 가능한 것으로 전제하였다.

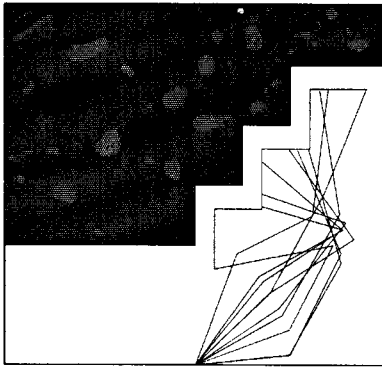


그림 2 30 세대에서 표현된 로봇 매니퓰레이터 경로  
Fig. 2 A Robot Manipulator Path of 30 Generation

사용된 로봇 매니퓰레이터의 링크수는 3으로 하였으며 시뮬레이션에서 사용되는 유전 알고리즘의 파라미터를 다음과 같이 설정하였다. 교배율( $p_c$ )은 0.2이고 돌연변이 확률( $p_m$ )은 0.033으로 하였다. 그림2는 세대수가 30인 경우이고, 그림3은 세대수가 100인 경우이다. 시뮬레이션 그림에서 알 수 있듯이 유전 알고리즘의 세대수가 30인 경우의 관절각도 보다 세대수가 100인 경우의 관절각도가 더 완만한 경로를 가지며 목적지점에 도달하는 것을 알 수가 있다.

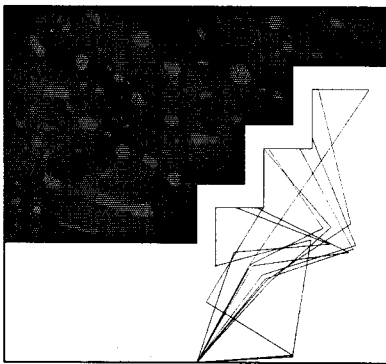


그림 3 100 세대에서 표현된 로봇 매니퓰레이터  
Fig. 3 A Robot Manipulator Path of 100 Generation