

장애물 환경에서 경로 생성을 위한 알고리즘 연구

The Study of Algorithm for the Path generation in the Obstacles Environment

황하성, 양승윤(부산대학교 대학원 정밀기계공학과), 이만형(부산대학교 제어기계공학과)
Ha-Sung Hwang, Seung-Yun Yang, Man-Hyung Lee(Pusan Nat'l Univ.)

Abstract

In This paper, we design the developed path generation method which is named that CBPM(Continuous path generation method Based artificial Potential field) that is able to be used in the obstacles environment. This CBPM is designed so that it puts together two obstacle avoidance algorithm—the continuous path generation method and the artificial potential field method. Here, the continuous path generation method generate the safety path using continuous path curvature. But, this method has demerits when used in obstacles environment in which are closely located. Another method which is named the artificial potential field method generates the path with the artificial potential field in the obstacles environment. But, APFM has local minima in certain places and unnecessarily calculates the path in which obstacles are not located. So, the developed path generation method, CBPM, is suggested and performances in many different obstacles environments are shown by using computer simulation .

Key Words : Path Planning, Obstacle Avoidance, Artificial Potential Field Method, Continuous Path Generation Method

1. 서론

로봇에 대한 연구가 발전하면서 인간의 작업 영역 이외의 부분에서의 사용이 많아 지고 있고, 그런 부분에서의 무인 운동체의 활용이 많이 이루어 지고 있다. 이런 무인 운동체들은 Mission Planner, Global Path Planner, Local Path Planner, Tracker, Autopilot 등으로 구성되어 진다. 무인 운동체의 작업 수행에 있어 발생하는 여러 가지 문제들 가운데 운동체의 작업 수행을 방해하는 장애물 환경에서 최적 경로 생성이 있다.

이러한 문제에 대하여 본 논문에서는 장애물 회피하여 최적 경로 생성을 하는데 필요한 전체 경로 계획(Global Path Planning)과 지역 경로 계획(Local Path Planning)에 대하여 살펴보고자 한다.

장애물 회피를 위한 최적 경로 생성 알고리즘의 연구 방향은 다음과 같은 방향으로 진행되고 있다.

Lozano와 Perez는 물체의 형상인자(Configuration Parameter)를 좌표축으로 하는 형상 공간에 장애물에 대한 기하학적 제한을 표현하는 방법을 제안하였고, Kant는 Visibility-Graph Search Algorithm을

이용하였다. 그리고, Gilbert는 잠재적인 충돌 가능성을 지닌 물체 사이의 충돌 회피를 거리 함수(Distance Function)를 사용하여 표시하였으며, Lee는 물체의 속도를 고려하여 작성된 충돌 지도를 기반으로 로봇의 동작을 Time Scheduling하여 구(球)로 모델링된 로봇 팔목의 시변 환경 내에서의 충돌 회피에 관한 알고리즘은 제안하였다. 그리고, Shin은 형상 공간을 확장한 형상 공간-시간 지도를 구성하여 여러 대의 로봇이 주어진 우선 순위에 따라 시작점에서 목적점까지 일정한 속도로 동작하는 알고리즘을 제안하였다.

이와같은 장애물에 대한 회피 알고리즘 연구들 가운데 본 논문에서는 경로 곡률을 이용하여 안전한 경로를 생성하는 장점을 가진 연속 경로 생성 기법(Continuous Path Generation Method)과 인공 전위계를 구성하여 안전한 경로를 생성하는 특징을 가진 인공 전위계 기법(Artificial Potential Field Method)을 바탕으로 장애물 환경에서 최적 경로를 생성하기 위한 발전된 알고리즘인 CBPM(Continuous path generation Based artificial Potential field Method)

을 제시하고자 한다.

2. 최적 경로 생성 이론

여기서는 장애물 환경에서 최적 경로 생성에 많이 사용되고 있는 알고리즘인 연속 경로 생성 기법과 인공 전위계 기법에 대하여 기본 개념과 특징을 살펴본다.

2.1 연속 경로 생성 기법

연속 경로 생성 기법(Continuous Path Generation Method, CPGM)은 장애물이 위치해 있는 공간에서 운동체가 장애물을 피하는 동안 이미 지정된 경로점(Way Point)을 따라가는 경로를 만드는데 관심이 있다.

원하는 경로점의 배치를 시간에 대한 변화 함수로 표현하여 이 함수에 의해 계산되어진 경로점들의 값을 바탕으로 운동체가 움직이게 될 경로를 평균 곡률을 가진 원호로 추정하여 설계하여 원하는 경로를 얻는 것이 CPGM이다. 이 방식에서 경로를 만드는데 필요한 요소는 경로 곡률이고, 이 방법을 바탕으로 안정한 경로의 생성을 위해서는 경로 곡률이 제어되어야 할 것이다.

이 방식은 운동체에 안전한 경로 곡률을 구성하고 이를 바탕으로 회피 경로를 만드는 장점이 있는 반면 각 시간에 따른 각 점에서의 위치를 계산해야 하는 번거로움으로 인해 계산량이 많아지고, 외부 환경에 대한 정보를 바탕으로 다음 경로를 계산하기 때문에 외부 환경에 대한 정보가 불충분하다면 연속적인 경로 생성을 할 수 없게 된다. 또한, 장애물 사이의 설정된 회피 반경이 겹치는 경우에 이 CPGM은 그 사이를 양분하여 경로를 설정하게 되어 장애물과 운동체의 충돌을 일으킬 위험이 발생한다.

2.2 인공 전위계 기법

인공 전위계 기법(Artificial Potential Field Method, APFM)은 도달하고자 하는 위치를 인력 극점(attractive pole)으로, 장애물은 반향 표면(repulsive surface)으로 하는 인공 전위계(Artificial Potential Field)를 설정하고 이를 이용하여 경로를 생성하는 기법이다.

전체 경로를 생성하기 위해서, 전위계는 운동이 발생하는 모든 영역에 대해서 계산되어지고, 일정시간마다 반복 계산된다. 그리고, 전위계에 의해 구해지는 가상력(Artificial Force)은 운동 방향을 의미하고, 이 가상력에 의해서 운동체의 다음 경로가 결정된다.

APFM은 거리 함수를 바탕으로 인공 전위계를 설

정하므로 계산량이 작다는 장점이 있다. 이에 반해 전위계를 구성하는데 사용되어지는 거리 함수를 정의하는데 있어 특정하게 정해진 방식이 없다는 것과 장애물이 존재하지 않는 공간에서도 인공 전위계를 계산하게 되어 불필요한 계산 과정이 수행된다는 단점을 갖고 있고, 국부 최소치(Local Minimum)가 발생하는 경우가 있다.

3. 장애물 환경에서의 최적 경로 생성 알고리즘

본 연구에서는 이 두 방식의 장점을 바탕으로 장애물 환경에서 최적 경로 생성을 위한 알고리즘인 CBPM(Continuous path generation Based artificial Potential field Method)를 제시한다.

제안된 경로 생성 알고리즘은 장애물 환경을 크게 두 부분으로 나누어 회피 동작을 수행한다. 장애물이 있는 영역과 장애물이 없는 영역으로 장애물 환경을 구분하고, 이 두 부분에 적용되는 방식을 각기 다른 방식을 사용하여 다른 하나의 발전된 경로 설계 방식으로 만들고자 하는데 목적을 두고 있다.

3.1 장애물이 없는 환경에서의 경로 생성

장애물이 존재하지 않는 환경에서는 경로 추종능과 운동체에 적합한 경로 곡률을 생성하는 CPGM을 이용하여 최적 경로를 생성하도록 한다. 최적 경로를 생성하는데 필요한 Δs , $\Delta \theta$ 는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\Delta s = U \Delta t, \quad \Delta \theta = \theta \Delta t \quad (3.1)$$

여기서 Δs 는 경로값의 변화, $\Delta \theta$ 는 경로점의 각도 변화이다.

s를 x, y, θ 의 함수로 가정된다.

평균 곡률을 가진 원호로 이 경로 배열을 추정하므로 각 시간에서의 곡률 반경은 다음과 같이 된다.

$$r = \frac{\Delta s}{\Delta \theta} = \frac{U}{\theta} \quad \text{if } \Delta \theta \neq 0 \quad (3.2)$$

$$K = \frac{1}{r} \quad (3.3)$$

여기서 K 는 경로 곡률이다.

경로는 t 가 ∞ 로 감에 따라 $(D, \Delta K, \Delta \theta)$ 가 0이 된다면 원하는 어떤 경로로 복귀하도록 명령이 내려지고 생성되어 진다. 여기서 D 는 현재의 위치와 원하는 경로와의 수직 거리이고, ΔK 와 $\Delta \theta$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$\Delta K = (K - K_{im}) \quad (3.4)$$

$$\Delta \theta = (\theta - \theta_{im}) \quad (3.5)$$

$\Delta K, \Delta \theta, D$ 는 아래와 같이 주어진 안정한 경로 제어에 의해 0으로 강제적으로 수렴하게 된다.

$$\frac{dK}{ds} = -(a \cdot \Delta K + b \cdot \Delta \theta + c \cdot D) \quad (3.6)$$

방정식 (3.6)의 해는 식 (3.7)과 같이 된다.

$$D = f(s)e^{-ks} \quad (3.7)$$

여기서 $s \rightarrow \infty$ 에 따라 $D \rightarrow 0$ 가 된다.

이것은 조종 함수를 3차 자유 함수에서 1차 자유 함수로 감소시키고, k^{-1} 는 특정 길이가 된다. 일단 dK/ds 가 계산되어지면 지정된 경로에 들어가기 위해 현재의 경로 곡률을 바꾸는데 사용되어지고, 다음 경로 곡률은 오일러 적분법(Euler integration)을 사용하여 구한다.

이상의 관계들을 이용하면 다음 경로 위치가 현재의 원점 변화와 경로 길이의 증분으로 계산되어질 수 있다.

이 방식은 3차의 방정식을 1차로 간이화하여 쉬운 적분이 가능토록 하고, 전 영역이 아닌 수중운동체가 운행하고자 하는 경로를 바탕으로 수행되기 때문에 계산의 효율성을 기할 수 있다.

3.2 장애물이 있는 환경에서의 경로 생성

장애물이 있는 공간에서 회피 경로 생성에는 회피 영역이 겹치는 경우에 충돌 위험이 있는 CPGM 대신 APFM을 이용하여 안전한 회피 경로 계획을 수행한다.

인력 전위 함수는 인력 벡터를 비례항으로 생각하였기 때문에 식(3.8)과 같이 표현할 수 있다.

$$U_g = \frac{1}{2} k_p (x - x_g)^2 \quad (3.8)$$

그리고 척력 전위 함수는 기존에 제시되었던 함수를 사용하였다. 본 논문에서는 그 시스템에 적합한 전위 함수의 제시가 목적이 아니라 그 적절할 사용이기 때문이다. 여기서 사용하는 전위 함수는 식 (3.9)과 같이 정의되어진다.

$$U_o(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{D(X)} - \frac{1}{D_o} \right)^2 & \text{if } D(X) \leq D_o \\ 0 & \text{if } D(X) > D_o \end{cases} \quad (3.9)$$

여기서 $D(X)$ 는 주어진 장애물에 근접한 위치이고, η 는 상수 개인이다. $D(X)$ 는 장애물과 운동체 사이의 거리를 나타내는 항으로 이 함수의 결정에 따라 좀더 효율적인 전위 함수의 표현이 가능하다. 이에 본 논문에서는 이 거리 함수 $D(X)$ 를 정의하는데 도플러 효과를 이용하였다.

각 시간에서 인력과 척력 벡터가 계산되어져 운동체의 다음 진행 방향을 알 수 있다.

그리고 본 논문에서는 인공전위계를 이용할 때 발생하는 국부 최소치 문제의 해결 방안으로 본 논문에서는 인력과 척력 전위의 계산을 분리하였고, 인

공 전위계 사용범위를 작은 구간에 한정시켰다. 척력의 전위 함수는 각 장애물에 대하여 계산이 일어나고 비례 함수로 정의되어진 인력 전위 함수의 결과가 더해지게 되므로 항상 최소값을 목표점이 갖도록 함수를 설정되어진다. 그리고, 전 구간에서 인공 전위계를 사용하지 않고 장애물이 있는 공간에서만 인공 전위계법을 사용하므로 국부 최소치가 발생하는 구간에서는 연속 경로 생성법이 수행되게 되고, 국부 최소치에서 이탈하게 된다. 이것은 국부 최소치에 빠져서 더 이상의 작업이 수행되지 않는 인공 전위계법의 단점을 개선한 것이라고 생각한다.

4. 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 조건

다음과 같은 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다.

(i) 운동체는 한 점으로, 장애물은 일정 반경을 가진 영역으로 설정

(ii) 장애물 환경은 고정 장애물이고 위치를 안다.

이 조건을 가지고 작동 공간상에 하나의 장애물이 존재하는 경우(Case 1)와 9개의 장애물이 격자형으로 회피 반경이 겹치게 존재하는 경우(Case 2)에 대하여 각 알고리즘에 대한 시뮬레이션과 마지막으로 10개의 장애물이 불규칙하게 존재하는 경우(Case 3)에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

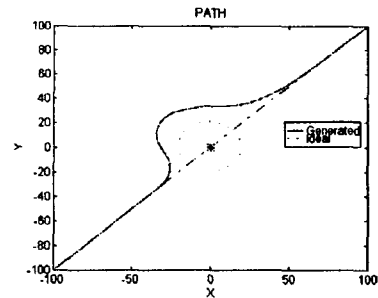


Fig. 1 CPGM(Case 1)

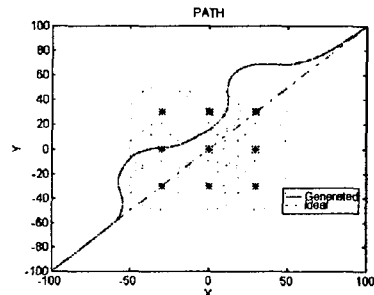


Fig. 2 CPGM(Case 2)

4.3 고찰

CPGM, APFM, 그리고 CBPM의 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 첫 번째, 하나의 장애물이 임의 설정 경로상에 존재하는 경우(Case 1)에 있어서는 세 가지 모두가 충분한 회피 경로를 생성하고, 특히 CPGM과 CBPM이 부드러운 회피 경로를 생성시켜 운동체의 실제 운동에는 유리하리라 생각된다. 두 번째 경우인 9 개의 장애물이 회피 반경이 겹치게 격자형태로 배치되어 있는 경우(Case 2)에서는 CPGM은 앞에서 제기한 위험한 회피 경로를 만들지만, 나머지 두 방식은 안전한 경로를 생성시킴을 알 수 있다.

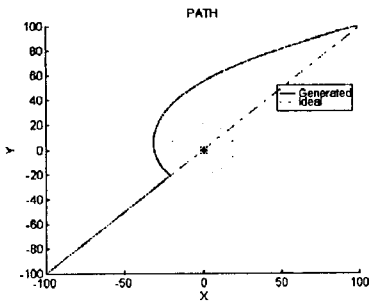


Fig. 3 APFM(Case 1)

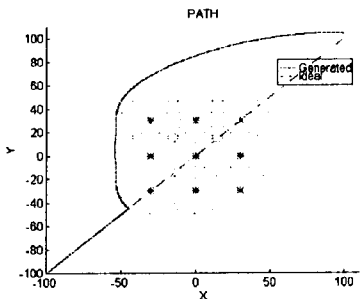


Fig. 4 APFM(Case 2)

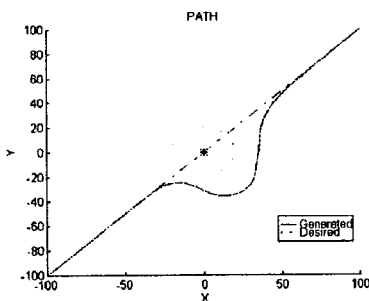


Fig. 5 CBPM(Case 1)

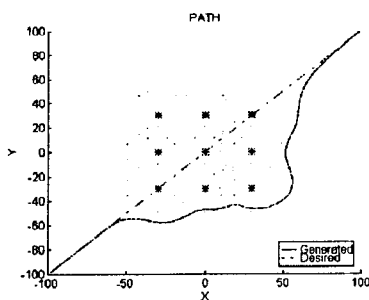


Fig. 6 CBPM(Case 2)

5. 결론

운동체가 제시된 작동 공간상에서 장애물 회피 동작을 수행하는데 얼마나 안전한 경로를 생성하는가와 얼마나 짧은 거리를 만들어 내는가의 두 가지 문제를 고려해야 한다.

이에 본 논문에서는 두 가지의 문제를 고려하여 운동체가 작업 공간 내에서 최대한 안전하면서 짧은 경로를 생성하는 알고리즘인 CBPM을 제시하였다.

CPGM과 APFM의 병용 방식인 CBPM은 장애물 환경 하에서의 우수한 최적 회피 경로 생성한다고 할 수 있다. 즉, 생성된 경로의 안전성면에서는 CPGM의 겹치는 회피 반경을 양분하는 단점을 개선하였고, 경로의 거리면에서는 APFM에 비하여 회피 반경에 접하여 회피 경로를 생성하여 개선하였고, 마지막으로 전체 계산량 면에서는 CPGM과 APFM의 단독 사용에 비하여 우수하다.

그 결과를 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

참고 문헌

1. Oussama Khatib, "Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobil Robots," *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 5, No. 1, pp. 90-98, 1986.
2. Charles W. Warren, "A Technique For Autonomous Underwater Vehicle Route Planning," *IEEE Journal of Ocean Engineering*, Vol. 15, No. 3, pp. 199-204, 1990.
3. Y. Koren, J. Borenstein, "Potential Field Methods and Their Inherent Limitations for Mobile Robot Navigation," *Proceeding of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1398-1404, 1991
4. 전홍주, 거리 함수를 이용한 로봇의 시변 장애물 회피 동작 계획, 학위논문집, 서울대학교, 1992.