

2차원 경로상에서 이동물체에 대한 로봇의 회피 알고리즘 Avoidance Algorithm of a Robot about Moving Obstacle on Two Dimension Path

방 시 현(부산대 대학원), 원 태 현(부산대 대학원), 이 장 명(부산대), 이 만 형(부산대)
*SiHyun Bang(Graduate School, Pusan Univ), TaeHyun Won(Graduate School, Pusan Univ),
JangMyung Lee(Pusan Univ), ManHyung Lee(Pusan Univ)

ABSTRACT

If a mobile robot is used in a real situation, robot must face a moving obstacles. In that case, the collision avoidance algorithm for moving obstacle is a indispensable element in mobile robot control.

We carried out a research to find and evaluate the advanced avoidance algorithm for mobile robot. At first we generate the continuous path for mobile robot. Then by creating a curved path for avoidance, the mobile robot can change its path more smoothly. Smoothed path made the robot adapt more effectively to the changing of path.

Under time-varying condition, computer simulation was performed to show the validation of proposed algorithm.

Key Words : avoidance algorithm(회피 알고리즘), the continuous path(연속 경로), time-varying(시변)

1. 서 론

이동로봇이 다양한 형태의 작업공간에서 임무를 수행할 수 있기 위하여 충돌회피 경로계획이 요구된다. 로봇에 대한 장애물은 그것이 일정한 위치와 모양을 시간에 관계없이 유지하느냐에 따라 시불변 장애물(Time-Invariant Obstacle)과 시변 장애물(Time-Varying Obstacle)로 구분되며, 또한 로봇의 동작 계획은 경로 계획(Path Planning)과 궤적 계획(Trajectory Planning)으로 구성된다. 회피하고자 하는 장애물이 시불변인가 시변인가에 따라 접근 방법에 약간의 차이가 있다. 시변 장애물을 고려하는 경우에는 경로이외에 적절한 궤적을 구해야 한다. 시변 장애물이 있는 환경에서는 같은 경로상의 속도가 다른 두 동작이 상이한 결과를 고려해야 하기 때문이다. 따라서, 시변 장애물에 대한 회피 동작은 로봇과 장애물의 기하학적인 정보뿐만 아니라 시변 장애물과 로봇의 운동에 따른 변화를 적용해야 한다.

이것이 시변 장애물을 회피하는 동작을 계획할 때의 고려해야할 점이다. 이와 같은 문제를 근본적으로 해결하기 위하여 환경에 대한 정보를 이용해야 한다.

환경을 이용한 시변 장애물에 대한 여러 회피 알고리즘들 가운데 본 논문에서는 연속적으로 회피 곡률을 선정하여 자율 운반체에 적합한 안전한 경로를 구성하는 연속 경로 생성 기법을 설정한다. 또한 로봇이 안전하게 장애물을 회피하여 목적점에 도달하도록 하는 부드러운 경로를 설정하는 장점을 바탕으로 한 형태의 장애물 환경에서의 최적 경로 생성을 적용하여 이동 장애물을 회피하는 모의 실험에서 증명하고, 그 결과에 대하여 검토한다.

2. 경로 생성 이론

고정 장애물의 회피는 로봇과 장애물의 위치, 그리고 그들 사이의 거리만을 고려하면 된다. 그러나

이동 장애물 회피를 위해서는 장애물과 로봇의 상대적인 이동성까지 고려해야 충돌을 피할 수 있다. 다음에 장애물과 로봇의 충돌을 회피하기 위한 연속 경로를 정의한다.

2.1 연속 경로 생성 특징

연속 경로 생성의 장점은 간단한 알고리즘으로 구성된다는 점, 쉽게 경로 계획을 세울 수 있다는 점, 그리고 경로 곡률을 바탕으로 경로를 생성하므로 로봇의 운동 능력에 적합한 경로를 생성하게 된다는 장점이 있다. 반면에 각 시간에 따른 각 점에서의 위치를 계산해야 하는 번거로움으로 인해 계산량이 많아진다는 단점이 있다. 그리고, 이보다 더 중요하게 고려되어야 할 것은 로봇의 운동 특성이다. 실제로 로봇은 경로에 의해 생성된 곡률의 빠른 변화에 적절하게 잘 대응하지 못한다. 이 점에서 연속 경로 생성의 장점이 있는 것이다. 즉, 로봇이 추종하기 용이한 경로 곡률을 따라 경로가 생성되어지므로 연속 경로 생성에 의해 생성된 경로는 로봇에 쉽게 적용이 가능하다. 이상을 종합하면, 연속 경로 생성은 적용의 간이성과 시스템의 특성에 부합하는 경로 생성을 한다는 장점이 있다. 하지만, 연속 경로 생성은 외부환경에 대한 정보를 바탕으로 다음 경로를 계산하기 때문에 외부환경에 대한 정보를 충분히 활용해 연속적인 경로 생성을 해야 한다.

2.3 연속 경로 생성 기법

연속 경로 생성 기법은 장애물이 위치해 있는 공간에서 로봇이 장애물을 피하는 동안 이미 지정된 경로점을 따라가는 경로를 만드는데 관심이 있다. 이러한 원하는 경로를 만드는 과정은 다음과 같은 세 단계로 구성된다.

(1) 경로 추정 알고리즘에 따라 경로점을 생성시킨다.

(2) 만일 장애물이 감지된다면 로봇의 작동 성능을 넘어서지 않는 영역 내에서 장애물 회피에 충분한 정도의 변화된 경로 곡률을 생성시킨다.

(3) 지정된 경로에 새롭게 생성된 경로점을 포함시킨다.

이 세 단계를 반복 수행하여 원하는 경로를 생성시키는 것이 연속 경로 생성이다.

3. 연속 경로 생성 알고리즘

먼저 로봇이 이동하게 될 경로 증가 변화가 일정 시간 간격에 대하여 측정 가능하고, 각 경로점에서 발생하는 변위의 변화와 각 시간에 따른 원점의 변화(경로점의 각도 변화)가 측정 가능하면 원하는 경로점의 배치를 어떤 특정 함수로 가정할 수 있고, 이 함수는 시간에 대한 변화 함수로 표현이 가능할 것이다.

불필요한 계산의 제거와 안전한 경로 곡률을 만드는 장점이 있는 연속 경로 생성 기법을 이용하여 최적 경로를 생성하도록 한다.

각 경로점에서의 원점 변화를 각 시간 간격에 대해 $\Delta\theta$ 이고, 자율 운반체 경로 변화를 일정 시간 간격 Δt 에 대해 측정 가능하다고 가정하며, 경로에 따른 각 경로점에서의 경로 값의 변화를 Δs 라 하면 이 변수들 사이에는 다음의 식(1),(2)과 같은 관계가 성립한다.

$$U = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \rightarrow \Delta s = U \Delta t \quad (1)$$

$$\dot{\theta} = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \rightarrow \Delta \theta = \dot{\theta} \Delta t \quad (2)$$

여기서 U는 자율 운반체의 경로 이동 속도이고, $\dot{\theta}$ 는 자율 운반체의 초기 각속도이다. 이 값들을 바탕으로 경로점을 구성하는 경로 배열인 s를 x, y, θ 의 함수로 표시할 수 있다.

이와 같은 관계를 이용하여 생성될 경로의 다음 방향과 경로점은 식(3)에 의해 구해 질 수 있다.

$$\begin{aligned} x(s+\Delta s) &= x(s) + \Delta s \cdot \cos(\theta(s) + \frac{\Delta \theta}{2}) \\ y(s+\Delta s) &= y(s) + \Delta s \cdot \sin(\theta(s) + \frac{\Delta \theta}{2}) \\ \theta(s+\Delta s) &= \theta(s) + \Delta \theta \\ q(s+\Delta s) &= f[x(s+\Delta s), y(s+\Delta s), \theta(s+\Delta s)] \end{aligned} \quad (3)$$

(3)식을 곡률 반경(r)과 경로 곡률(K)의 변수들의 관계를 바탕으로 식(4),(5)로 바꾸어 쓸 수 있다.

$$r = \frac{\Delta s}{\Delta \theta} = \frac{U}{\dot{\theta}} \quad \text{if } \Delta \theta \neq 0 \quad (4)$$

$$K = \frac{1}{r} = \frac{\Delta \theta}{\Delta s} = \frac{\dot{\theta}}{U} \quad \text{if } \Delta \theta \neq 0 \quad (5)$$

특히, 경로는 t 가 ∞ 로 감에 따라 ($D, \Delta K, \Delta \theta$)가 0이 된다면 원하는 어떤 경로로 복귀하는 지령이 내려지고 경로가 생성된다.

곡률은 경로 변수의 연속 함수가 되기 위해 조종 함수(steering function)라 부르는 dK/ds 의 사양에 의해서 제어된다. dK/ds 가 계산되면 지정된 경로에 들어가기 위해 현재의 경로 곡률을 바꾸는데 사용된다.

오일러 적분법을 사용하여 다음 구간에서의 K 는 식(6)을 통해 구해진다.

$$K(i) = K(i-1) + \left(\frac{dK}{ds}\right) \cdot \Delta s \quad (6)$$

식(3)을 사용해서 다음 경로 위치가 현재의 원점 변화와 경로 길이의 증분으로 계산될 수 있다. 이들 방정식을 이산 시간으로 바꾸면 식(7)과 같다.

$$\begin{aligned} x(i+1) &= x(i) + U(i) \cdot \cos\left[\theta(i) + \dot{\theta}(i)\frac{dt}{2}\right] \\ y(i+1) &= y(i) + U(i) \cdot \sin\left[\theta(i) + \dot{\theta}(i)\frac{dt}{2}\right] \\ \theta(i+1) &= \theta(i) + \dot{\theta}(i)dt \end{aligned} \quad (7)$$

이상의 과정들은 일정 시간 Δt 를 통해서 일어나기 때문에 이산 근사가 된다. 로봇이 출발하면서 설정하는 가상의 최단 경로를 추종하면서 작업을 수행하도록 하는 특성을 갖고, $D, \Delta K, \Delta \theta$ 의 값들을 0으로 수렴하게 하여 강제적으로 설정된 경로에 수렴하도록 경로를 생성하게 된다.

4. 시뮬레이션

제안된 이동 장애물 회피 방법의 실제 적용가능성을 시뮬레이션을 통해 검증하고, 그 특성에 대해 논의한다.

4.1 시뮬레이션 조건

장애물의 속도가 측정된다고 가정할 때, 방향이 다른 장애물이 로봇과의 경로상에 부딪힐 때의 로봇 경로생성과 장애물의 속도에 따른 로봇의 충돌 회피 궤적의 변화를 관찰한다. 로봇의 감지거리를 이해하기 쉽게 장애물 주위에 일정 반경의 점선으로 표시하였고, 로봇은 한 점(pass-mass model)으로 설정하였다. 먼저 하나의 장애물이 등속 직선 운동하는 경우 로봇의 충돌 회피 궤적 변화와 방향이 서

로 다른 두 개의 장애물이 등속 직선운동 할 때 로봇의 충돌 회피 궤적을 보여준다. 또한 그 상황에 따른 로봇의 각 스텝과 장애물과의 상대거리를 보여준다.

4.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 통하여 연속 경로를 이용한 장애물 회피 방법의 성능과 그 특징을 관찰한다. 본 연구에서는 장애물이 하나인 경우와 방향이 서로 다르게 움직이는 두 개의 장애물이 공존하는 경우에 회피 동작을 시뮬레이션 한다. 로봇이 시작점 (-100,-100)에서 출발해 목표점 (100,100)으로 20cm/s의 속도로 갈 경우 각각 속도가 다른 장애물들이 로봇의 회피 경로에 어떻게 영향을 미치는지 보고자 한다. 또한 그 상황에 따른 상대거리(Y축)와 회피반경(10cm:X축)을 표시한 로봇의 각step을 또 다른 그림에 표시하였다.

Fig.1은 장애물이 45° 아래방향으로 5cm/s 등속 운동하는 경우로 설정한다. 이 경우 좌표 (0,0)에서 서로 충돌할 때 로봇과 장애물과의 상대거리를 Fig.2에 나타낸다. Fig.2에서 로봇이 step7일 때 상대거리가 10cm로 가장 가깝게 회피 경로를 설정해 지나가는 것을 볼 수 있다. Fig.3과 Fig.4는 장애물의 속도가 10cm/s로 갈 때 회피반경을 보여주고 있다. Fig.5는 서로 다른 방향의 장애물이 5cm/s의 속도로 로봇의 경로에 충돌할 때를 보여주고 있다. 또한, Fig.6, Fig.7은 충돌지점을 확대해 보여준다. Fig.8과 Fig.9는 두 장애물이 공존할 때 회피 곡률이 생성되어 다시 본 경로를 따라감을 보여주고 있다. Fig.10, Fig.11, Fig.12는 장애물의 속도가 10cm/s일 때 경로생성 형성을 나타내고 있다.

5. 결론

연속 경로 생성 알고리즘은 출발 전에 설정되는 출발점과 목표점을 기준으로 한 가상의 최단 거리를 설정하고 각 샘플링 시간마다의 곡률 변화를 통하여 로봇의 위치를 설정되어진 경로로 수렴하도록 하면서, 매 샘플링 시간마다 운동 공간상에 나타나는 장애물의 유무를 판단하여, 장애물을 회피하기 위한 여유분의 경로 곡률을 더하여 회피 작업을 수행함과 동시에 자율 운반체의 동작을 원활히 수행하도록 하고 있다. 전체적인 경로의 구성이 부드러워서 로봇의 급격한 운동을 발생시키지 않음을 알 수 있다.

이와 같이 생성된 경로의 안전성 및 경로의 주행 거리면에서 우수한 성능을 수행하여 로봇이 설정한 회피반경을 침범하지 않고 곡선을 형성해 최적의 경로로 목표점까지 도착함을 보였다.

참 고 문 헌

1. Dana R. Yoerger, "Robust Trajectory Control of Underwater Vehicles," IEEE Journal of oceanic eng, pp462-470 oct 1985.
2. Oussama Khatib, "Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots." The International Journal of Robotics Research, Vol.5, No. 1, pp. 90-98, 1968.
3. Johann Borenstein and Yoren Koren, "Real-Time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots." IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics, Vol. 19, No. 5, pp. 1179-1187, 1989.
4. 김성철, 주재한, 고낙용, 박세승, "인공전위계와 가상 거리 함수를 이용한 로봇의 시변 장애물 회피." '94 한국자동제어학술회의 논문집, pp. 929-933,1994.

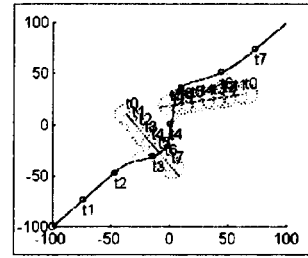


Fig.5. 로봇의 시변 장애물 회피동작

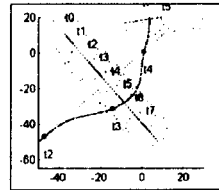


Fig.6. 로봇의 첫 번째 시변 장애물 회피동작

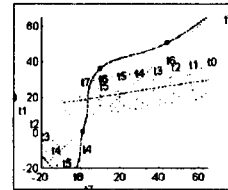


Fig.7. 로봇의 두 번째 시변 장애물 회피동작

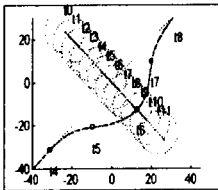


Fig.1. 로봇의 시변 장애물 회피동작

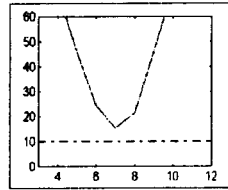


Fig.2. 로봇과 시변 장애물의 상대거리

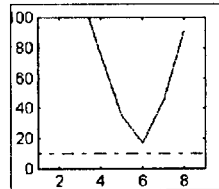


Fig.8. 로봇과 시변 장애물의 상대거리

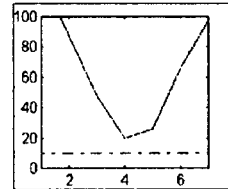


Fig.9. 로봇과 시변 장애물의 상대거리

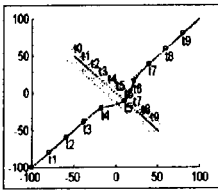


Fig.3. 로봇의 시변 장애물 회피동작

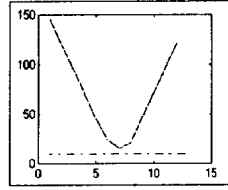


Fig.4. 로봇과 시변 장애물의 상대거리

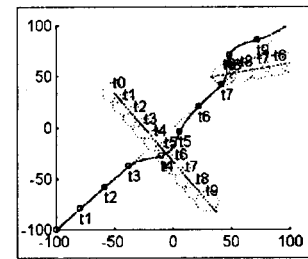


Fig.10. 로봇의 시변 장애물 회피동작

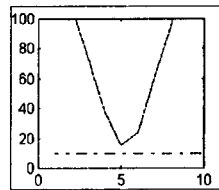


Fig.11. 로봇과 시변 장애물의 상대거리

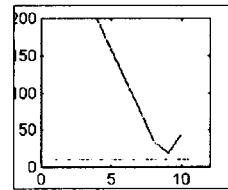


Fig.12. 로봇과 시변 장애물의 상대거리