

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), 양 승 윤(ADD), 이 만 형(부산대)

*Si Hyun Bang(Graduate School, Pusan Univ), Tae Hyun Won(Graduate School, Pusan Univ),
Seung Yun Yang(Agency for Defence Development), Man Hyung 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. Also the doppler effect was used to calculate the virtual distance between the mobile robot and obstacles.

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)

2. 경로 생성 이론

1. 서론

이동로봇이 다양한 형태의 작업공간에서 임무를 수행할 수 있기 위하여 충돌회피 경로계획이 요구된다.

본 연구에서는 시변 장애물에 대한 자율 이동 로봇(mobile robot)의 충돌 회피 동작에 대하여 논한다. 시변 장애물을 어떻게 설정함에 따라 경로생성이 설정되고, 장애물의 특성에 따라 동작 계획이 다르게 수립되어야 한다. 환경을 이용한 시변 장애물에 대한 여러 회피 알고리즘들 가운데 본 연구에서는 연속적으로 회피 곡률을 선정하여 로봇에 적합한 안전한 경로를 구성하는 연속 경로 생성 기법을 이용한다. 또한 시변 장애물 고려를 위하여 도플러 효과를 이용한 상대 속도에 따른 시변 장애물의 감지 거리를 달리 주어 최소 회피 반경에 따른 곡률 생성을 보여준다.

이동 장애물을 회피하는 모의 실험에서 증명하고, 그 결과에 대하여 검토한다.

연속 경로 생성 기법은 장애물이 위치해 있는 공간에서 로봇이 장애물을 피하는 동안 이미 지정된 경로점을 따라가는 경로를 만드는데 관심이 있다.

(1) 경로 추정 알고리즘에 따라 경로점을 생성시킨다.

(2) 만일 장애물이 감지된다면 로봇의 작동 성능을 넘어서지 않는 영역 내에서 장애물 회피에 충분할 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 변화가 측정 가능하면 원하는 경로점의 배치를 어떤 특정 함수로 가정할 수 있고, 이 함수는 시간에 대한 변화 함수로 표현이 가능할 것이다.

각 경로점에서의 원점 변화를 각 시간 간격에 대해 $\Delta\theta$ 이고, 로봇 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 U 는 로봇의 경로 이동 속도이고, $\dot{\theta}$ 는 로봇의 초기 각속도이다. 이 값들을 바탕으로 경로점을 구성하는 경로 배열인 s 를 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.

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

(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 있

다. 이들 방정식을 이산 시간으로 바꾸면 식(7)과 같다.

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

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. 가상 거리 유도

시변 장애물을 고려시 최소한의 회피 반경을 고려해야 한다. 그림. 1에서 도플러 효과를 고려한 시변 장애물의 최소 회피 반경을 유도한다.

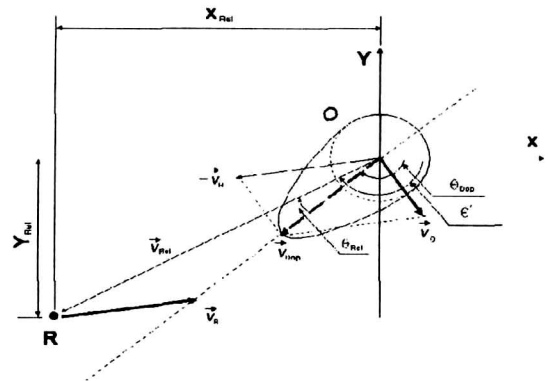


그림. 1 장애물과 로봇과의 도플러 효과

그림. 1에서 로봇(R)이 \vec{V}_{Rel} 의 속도로 오른쪽 방향으로 등속 운동으로 이동할 때 장애물(O)이 로봇으로 X 축에 대해 θ' 의 각도로 등속도로 운동하는 경우 장애물의 최소 회피 반경은 원으로 가정한다. 하지만 로봇과 장애물이 서로 접근하는 경우 도플러 효과에서 진동수가 음원의 진동수보다 높아지는 경우를 적용시켜 상대 속도에 비례한 길이를 회피하게 된다. 식(8)은 도플러 효과를 고려한 상대속도 방향을 나타내었다.

$$\begin{aligned} \vec{V} &= \vec{V}_O - \vec{V}_R \\ &= (V_{O_x}, V_{O_y}) - (V_{R_x}, V_{R_y}) \\ &= (V_{O_x} - V_{R_x}, V_{O_y} - V_{R_y}) \end{aligned} \quad (8)$$

또한 도플러 효과를 고려한 k_{Dop} 배 한 회피 반경의 상대 속도 벡터 각도와 상대 속도 벡터는 식(9)에 표시한다.

$$\theta_{Dop} = \text{atan2}(V_{ox} - V_{Rx}, V_{oy} - V_{Ry})$$

$$V_{Dop} = \sqrt{(V_{ox} - V_{Rx})^2 + (V_{oy} - V_{Ry})^2} \quad (9)$$

\vec{V}_{Dop} 축 방향으로 k_{Dop} 배로 도플러 효과가 발생하며, 또한 $+\theta$ 와 $-\theta$ 방향 즉, θ_{rel} 에 따라 곡률의 회피 방향이 결정된다.

5. 시뮬레이션

5.1 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. 먼저 하나의 장애물이 등속 직선 운동하는 경우 로봇의 충돌 회피 궤적 변화와 방향이 서로 다른 두 개의 장애물이 등속 직선운동 할 때 로봇의 충돌 회피 궤적과 장애물과의 상대거리를 보여준다.

5.2 장애물 속도 변화

그림. 2, 3은 하나의 시변 장애물이 있을 때 그림. 4, 5는 두 개의 시변 장애물이 있을 때 시변 장애물의 속도를 로봇에 대해 같은 속도($V_0=1$), 두배 속도($V_0=2$)로 하여 로봇의 회피동작을 관찰한다. 또한 로봇이 $(-100, -100)$ 에서 출발하여 목표점 $(100, 100)$ 으로 등속 직선운동으로 이동하며 시변 장애물은 시작점 $(-100, 100)$ 에서 목표점 $(100, -100)$ 으로 가며 중앙에서 마주치는 상황을 설정했다. 또한 그림. 4, 5에서 두 번째 시변 장애물은 그림 오른쪽에서 왼쪽으로 가는 것으로 설정했다. 그림. 3, 5는 장애물이 로봇의 두배 속도로 마주칠 경우를 설정했는데 속도가 빠를수록 곡률이 심해지고 그에 따른 회피 경로가 길어지며 에너지값도 커짐을 알 수 있다.

각 그림의 오른쪽 그림은 각 스텝(step)과 장애물간의 상대거리를 표시한 것이다. Y축상 10의 값은 최소 충돌 반경을 보여주고 있다.

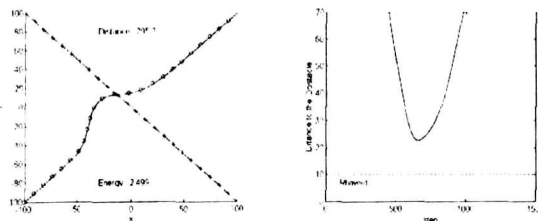


그림. 2 로봇의 회피 경로와 상대 거리 ($V_0=1, k_{Dop}=25$).

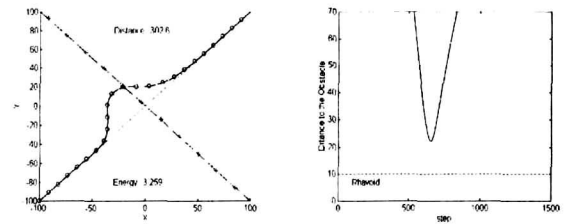


그림. 4.1 로봇의 회피 경로와 상대 거리 ($V_0=2, k_{Dop}=25$).

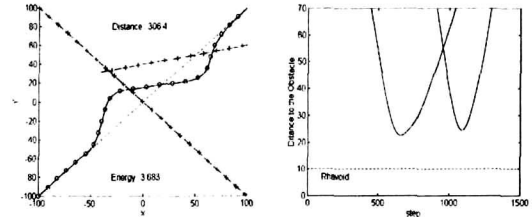


그림. 4.1 로봇의 회피 경로와 상대 거리 ($V_0=1, k_{Dop}=25$).

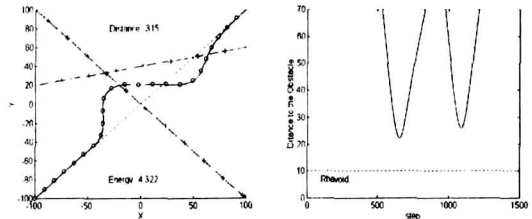


그림. 4.1 로봇의 회피 경로와 상대 거리 ($V_0=2, k_{Dop}=25$).

시뮬레이션에서는 k_{Dop} 값을 적절한 25로 하였다. 물론 k_{Dop} 값에 따라서 다른 변수들도 바뀌지만 25전후가 시뮬레이션한 값들 중에 적절한 값으로 선정 되어 사용하였다.

5.3 시뮬레이션 결과

그림. 6은 앞에서 시뮬레이션을 한 결과를 로봇이 시작점에서부터 목표점까지의 거리와 계인과의 관계를 나타낸 것이다. 즉, 로봇이 출발하여서 목표점까지 도착한 거리를 산출해내 안정적이면서 가깝게 가는 경로의 거리를 알려고 한다.

그림에서와 같이 장애물이 하나일 경우는 두 개일 때보다 안정적으로 거리변동이 적은걸 알 수 있다. 그러나 두 개의 장애물일 경우는 계인이 약 18까지 거리면에서 부적절함을 보였다. 그러나 약 28이상일 경우도 불안정해서 종합적으로 계인을 약 20~27정도를 택함이 적절함을 알 수 있다.

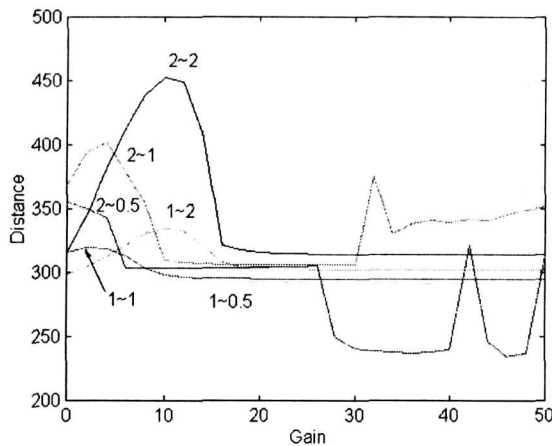


그림. 6 로봇의 이동 경로 거리와 도플러 계인(k_{Dop})과의 관계.

그림. 7은 또한 앞에서 시뮬레이션을 한 결과를 곡률 변화 에너지와의 관계로 계인을 구한 것이다. 회피한 곡률의 값들을 절대값으로 더한 전체 값을 나타내었다. 즉, 변화된 경로의 각도가 작을수록 에너지의 값이 작아짐을 이용해 목표점까지의 경로를 에너지 차원으로 바라본 결과이다. 이 그림에서도 장애물이 하나일 경우는 두 개일 때보다 안정적으로 변화가 작은걸 알 수 있다. 그러나 두 개의 장애물일 경우는 계인이 약 18까지 부적절함이 나타났으며, 약 30이상일 경우도 불안정해서 종합적으로 계인을 약 18~30정도를 택함이 적절함을 알 수 있다.

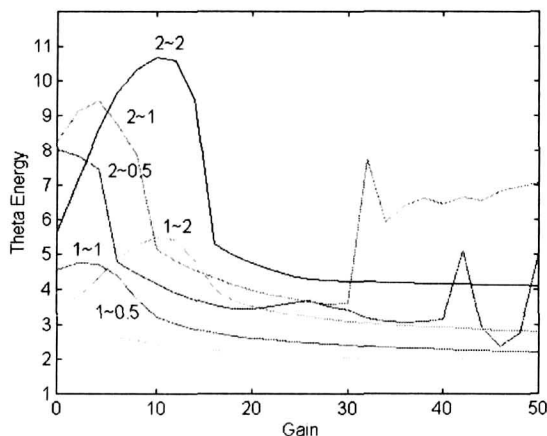


그림. 7 로봇의 곡률 변화 에너지와 도플러 계인(k_{Dop})과의 관계.

이상과 같이 계인의 값을 적절히 택함을 목표점까지 최단 거리와 곡률 에너지와의 관계로 적절함을 보였고 시뮬레이션을 통해 증명하였다.

5. 결론

연속 경로 생성 알고리즘은 출발 전에 설정되

는 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 로봇의 동작을 원활히 수행하도록 하고 있다. 전체적인 경로의 구성이 부드러워서 로봇의 급격한 운동을 발생시키지 않음을 알 수 있다. 시변 장애물의 회피를 위해 이동하는 장애물을 매 샘플링 시간마다 정지해 있는 장애물로 간주하여 동작 계획을 하였던 방법과는 달리, 운동하고 있는 장애물의 속도와 방향에 대한 정보를 얻어내 가상 거리를 구하고, 이를 연속 곡률 회피 알고리즘에 적용시키고, 속도에 따른 도플러 계수를 주어 회피 반경을 설정해 충분히 회피함을 보였다. 가상 거리를 구하기 위해 물체의 운동 속도와 운동 방향과 상대 속도에 따라서 에너지량이 변화하는 특성을 가진 도플러 효과의 성질을 이용하였고, 이것으로부터 두 물체의 운동으로부터 상대 속도를 구하여 가상 거리를 구하였다.

이와 같이 생성된 경로의 안전성 및 경로의 주행 거리면에서 우수한 성능을 수행하여 로봇이 설정한 회피반경을 침범하지 않고 곡선을 형성해 최적인 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, "인공전위제와 가상 거리 함수를 이용한 로봇의 시변 장애물 회피." '94 한국자동제어학술회의 논문집, pp. 929-933, 1994.