

論文98-35T-12-10

가상 거리 함수를 이용한 이동 로봇의 지역 장애물 회피 방법

(Local Obstacle Avoidance Method of Mobile Robot Using Virtual Distance Function)

林 春 煥 * , 金 成 喆 ** , 片 爽 範 ***

(Chun-Hwan Lim, Sung-Cheol Kim, and Suk-Bum Pyeon)

요 약

이 논문은 이동 장애물 회피를 위한 새로운 로봇 동작 계획을 제안한다. 이동 장애물의 운동성을 고려하여, 로봇과 장애물 사이의 관계를 위해 가상거리 함수를 정의한다. 각각의 샘플링 시간에, 장애물의 움직임을 고려한 인공 전위계를 구성하기 위해 가상거리 함수를 이용한다. 로봇은 인공 전위 함수에 의해 유도된 인력과 척력 벡터에 따라 이동한다. 제안된 알고리즘은 실시간으로 이동 장애물을 회피할 수 있었다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 알고리즘의 효율성을 입증한다.

Abstract

This paper presents a new robot motion planning method for moving obstacle avoidance. To consider the mobility of a moving obstacle, we define virtual distance function(VDF) between the robot and the obstacle. At each sampling time, we use the VDF to construct an artificial potential, considering the motion of obstacles. The robot moves according to the repulsive and attractive force vector induced by the artificial potential function. The proposed algorithm can be driven the robot to avoid moving obstacles in real time. Some simulation studies show the effectiveness of the proposed method.

I. 서 론

로봇의 동작 계획은 환경에 대한 정확한 인식을 토대로 로봇과 장애물간의 상관 관계를 파악하여 충돌을 회피할 수 있도록 이루어져야 한다. 로봇이 작업하는

작업 공간에서 가장 다양한 형태로 나타나는 환경 요소 중의 하나는 장애물이며, 동일한 작업 공간에 공존하는 다른 로봇들이나 작업자들도 장애물에 포함될 수 있다. 로봇의 성공적인 작업 수행을 위해서는 장애물과의 충돌을 회피하는 문제가 반드시 고려되어야 한다. 일반적으로 로봇의 작업 공간 내에 존재하는 장애물은 일정한 형상으로 고정 되어있는 고정 장애물(stationary obstacle)과 시간이 변화함에 따라 형상이나 위치 등이 변화하는 시변 장애물(time-varying obstacle)로 구분되며, 고정된 형상을 가지고 위치만 변화하는 이동 장애물(moving obstacle) 또한 시변 장애물의 큰 범위 안에 포함된다.

본 논문에서는 이동 장애물에 대한 자율 이동 로봇(autonomous mobile robot)의 지역 장애물(local obstacle) 회피 방법에 대하여 논한다. 시변 장애물을

* 正會員, 朝鮮大學校 大學院 電子工學科
(Dept. of Electronics · Information & communication Eng., Chosun Univ.)

** 正會員, 朝鮮大學校 大學院 制御計測工學科
(Dept. of Control & instrumentation Eng., Chosun Univ.)

*** 正會員, 東岡大學 電子科
(Dept. of Electronic Eng., Dongkang college)

接受日字: 1998年10月29日, 수정완료일: 1998年12月14日

회피하기 위한 방법에는 작업 공간에 시간 차원을 확장한 공간-시간 공간(space-time space)을 만들어 이동 장애물을 고정 장애물(stationary obstacle)로 취급하여 동작 계획하는 방법^[1], 로봇의 동작 경로 상에서 동작 속도를 조절하는 속도 조절 방법^[2], 두 물체간의 거리 함수(distance function)를 정의하여 물체 사이의 거리를 항상 주어진 여유 값 이상으로 유지하도록 하는 거리 함수를 이용하는 방법^[3] 등이 있다. 시변 장애물을 고정 장애물로 평가하기 위해 관측 시간 개념(view-time concept)을 도입하여 각 관측 시간마다 장애물이 움직인 부피를 고정 장애물로 간주하여 한번의 관측 시간에 나타난 장애물의 부피만큼을 회피하도록 하는 방법^[4]도 제안되었다. 그리고 공간상의 물체 사이에 가상의 힘이 작용하여 그 힘에 의해 운동하도록 하는 인공 전위계(artificial potential field : APF) 방법^[5,6]과 여기에 확실성 격자 개념을 합성한 가상 역장(virtual force field : VFF) 방법^[7]이 있으며, 이를 발전시킨 벡터장 히스토그램(vector field histogram : VFH) 개념을 이용함으로써 좁은 통로에서도 빠른 속도로 진동 없이 운동하게 하는 충돌 회피 방법^[8]들이 제안되었다. 또한 관측 시간 개념과 장애물의 이동성에 대한 확률적 표현을 인공 전위계 방법에 이용한 시변 장애물 회피 방법^[9]도 제시되었다.

본 연구에서는 이동 장애물의 운동성을 고려하지 않은 이동 장애물의 고정화 방법을 보완하기 위하여 운동성을 고려한 가상 거리 함수(virtual distance function : VDF) 개념을 제안한다. 가상 거리 함수는 이동하는 장애물의 속도와 운동 방향에 대한 정보로부터 구성되며, 이 함수를 인공 전위 함수에 적용시켜 로봇의 이동 장애물에 대한 충돌 회피 동작을 수행한다.

II. 가상 거리 함수

이동 장애물에 대한 충돌 회피 동작을 위해 이동 장애물의 운동성을 고려한다. 이동 장애물의 경우 인공 전위계 방법을 이용하여 구해지는 포텐셜(potential)의 형태는 고정 장애물일 때와 달라야 한다는 전제하에서 문제에 접근한다. 즉, 이동하는 장애물의 운동 방향 및 속도의 크기에 따라 포텐셜의 형태가 다르게 나타나고, 이 포텐셜로부터 생성되는 힘에 의해서

로봇의 충돌 회피 동작은 달라질 것이다.

각 샘플링 시각마다 이동하는 장애물로부터 얻어지는 장애물의 운동 방향 및 속도에 관한 정보를 이용하여, 가상 거리 함수를 세우고, 이를 바탕으로 하여 인공 전위계를 구성한다. 또한 로봇과 목표점(goal-point)간의 경우에 대해서도 가상 거리 함수를 이용한 인공 전위계를 적용한다. 로봇은 여기서 만들어진 인공 전위계에서 발생하는 힘에 의하여 구동되도록 동작 계획한다. 이동 장애물 회피를 위해 사용되는 인공 전위계는 다음과 같이 구성한다.

1. 인공 전위계(artificial potential field)^[6]

인공 전위계를 이용한 방법은 로봇과 장애물 사이에는 척력(repulsive force)이 작용하고, 로봇과 목표점 사이에는 인력(attractive force)이 작용하는 가상의 역장(force field)을 구성하여 로봇이 척력과 인력에 의해 운동하도록 하는 방법이다. 공간상의 점 $X(x, y)$ 에 작용하는 인공 전위계 함수는 식 (1)과 같이 표현한다.

$$U_{art} = U_o(X) + U_g(X) \quad (1)$$

여기서, $U_o(X)$ 는 장애물에 의해 척력을 발생시키는 포텐셜이고, $U_g(X)$ 목표점에 의해 인력을 발생시키는 포텐셜이다.

로봇의 운동을 위해서 위의 두 가지의 포텐셜로부터 발생하는 척력과 인력을 구해서 이들을 합성시킨다. 점 $X(x, y)$ 에서의 척력과 인력은 식 (2)와 같이 구해지며, 가상의 역장에서 로봇에 가해지는 힘 F_{art}^* 는 식 (3)으로 표현한다.

$$F_o^* = -grad [U_o(X)], F_g^* = -grad [U_g(X)] \quad (2)$$

$$F_{art}^* = F_o^* + F_g^* \quad (3)$$

여기서, F_o^* 는 척력(repulsive force)이고, F_g^* 는 인력(attractive force)이다.

$U_o(X)$ 와 $U_g(X)$ 는 동작 계획의 목적과 작업 환경에 따라서 다르게 설정할 수 있다. 본 논문에서는 적당한 포텐셜 함수를 구하는 것이 목적이 아니므로 $U_o(X)$ 와 $U_g(X)$ 는 기존에 제안되어진 함수^[6]를 이용하여 특히 $U_g(X)$ 의 경우 인력은 척력의 반대 개념이므로 식 (4)의 형태를 이용하면서 부호만 반대로 하여 적용한다.

$$U_o(X) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_o} \right)^2 & (\rho \leq \rho_o), \\ 0 & (\rho > \rho_o), \end{cases} \quad (4)$$

여기서, η 는 상수 이득, ρ 는 장애물과 로봇간의 거리, ρ_o 는 제한 거리이다.

식 (4)는 매 샘플링 시각에서 로봇과 장애물간의 거리에 정보만으로 구성하였으므로 장애물의 운동성은 반영되어 있지 않다. 따라서 장애물의 운동성을 반영한 가상 거리 함수 $d(X)$ 를 구하여 기존의 ρ 를 $d(X)$ 로 대체하여 인공 전위 함수를 구성하면 식 (5)와 같다.

$$U_o(X) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{d(X)} - \frac{1}{d_o(X)} \right)^2 & (d(X) \leq d_o(X)), \\ 0 & (d(X) > d_o(X)), \end{cases} \quad (5)$$

여기서, $d(X)$ 는 장애물과 로봇간의 가상 거리 함수(VDF)이고, $d_o(X)$ 는 가상 거리로 표현된 제한 거리이다.

2. 가상 거리 함수(virtual distance function : VDF)의 유도

작업 공간에 이동 장애물(moving obstacle)이 존재할 경우, 로봇은 장애물이 운동 속도 및 방향의 변화에 적응하여 운동하여야 하므로 여기서는 이동 장애물의 운동성을 고려한다. 로봇과 장애물, 로봇과 목표점간의 실제 거리와 운동 성분의 변화 관계 등으로 가상 거리 함수 $d(X)$ 를 구성한다. $d(X)$ 를 이용하여 인공 전위계를 만들면, 이 포텐셜은 장애물의 운동성이 반영되므로 장애물이 정지해 있는 경우의 포텐셜과는 다른 형태가 된다. 만약 장애물이 진행하는 방향 쪽의 포텐셜이 다른 방향에서의 포텐셜보다 크게 되면 로봇에 작용하는 척력이 클 것이므로 충돌 가능성은 작아지게 된다. 또한 단위 샘플링 시각에서 장애물의 운동 속도가 빠른 속도, 혹은 느린 속도의 값으로 변화하더라도 이 변화는 가상 거리 함수에 반영되어 전위계의 형태는 다르게 나타나며 장애물의 이동 속도에 따라서 로봇의 회피 동작도 달라질 것이다. 이와 같은 특성을 표현하는 수단으로서 λ 를 정의하고, 운동성을 반영하여 인공 전위계에 적용이 가능한 가상 거리 함수를 유도한다.

$$\lambda = \lambda_o \left(\frac{v_o \pm v}{v_o} \right) \quad \begin{matrix} \lambda: \text{파장}, v: \text{물체의 상대 속도}, \\ v_o: \text{속도상수} \end{matrix} \quad (6)$$

식 (6)으로부터 물체가 다가오는 경우(+v)에 λ 는 커지고, 물체가 멀어지는 경우(-v)에 λ 는 작아짐을 알 수 있다. 그러므로 운동하는 음원을 중심으로 운동 방향과 운동의 반대 방향 쪽으로 동일한 거리 l 내에 나타나는 파장의 길이는 식 (7)과 같은 관계가 있다.

$$\lambda_{l-F} > \lambda_{l-B} \quad (7)$$

λ 와 로봇과 장애물간의 실제 거리 d 를 이용하여 새로운 가상 거리 함수 $d(X)$ 를 정의하면 식 (8)과 같이 된다.

$$d(X) = \frac{d}{\lambda} = \frac{d}{\lambda_o} \left(\frac{v_o}{v_o \pm v} \right) \quad (8)$$

상수 λ_o 를 크게 정해주면 가상 거리 함수 $d(X)$ 가 작아지고, 작게 정해주면 가상 거리 함수 $d(X)$ 가 커지게 된다. v_o 는 움직이는 장애물의 속도에 영향을 주어 이 속도에 의한 로봇의 회피 동작에도 영향을 주므로 v_o 는 적절한 값으로 설정해 주어야 한다. 상대 속도 v 는 로봇에 대한 이동 장애물의 상대 속도 V_{OR} 과 목표점에 대한 로봇의 상대 속도 V_{RG} 로 표현한다.

다음은 공간상에 위치해 있는 장애물과 로봇, 로봇과 목표점간의 상대적 운동으로부터 가상 거리 함수를 얻어내는 과정이다. 이제부터는 가상 거리 함수 $d(X)$ 는 장애물과 로봇간의 가상 거리 함수는 $d_{OR}(X)$ 과 로봇과 목표점간의 가상 거리 함수 $d_{RG}(X)$ 로 표기한다. 또한 가상 거리로 표현된 제한 거리 $d_o(X)$ 는 장애물과 로봇간의 가상 제한 거리 $d_{OR}^{ld}(X)$ 과 장애물과 목표점간의 가상 제한 거리 $d_{RG}^{ld}(X)$ 로 표기한다.

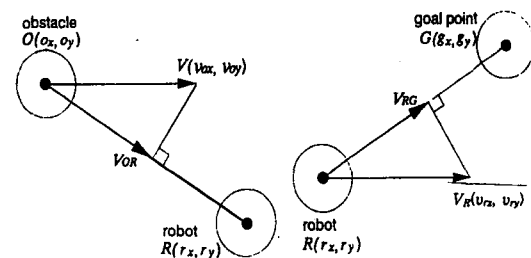


그림 1. 상대 속도 벡터 VOR, VRG
Fig. 1. Relative velocity vector VOR, VRG.

그림 1(a)와 같이 공간상에서 운동하는 장애물과 로봇을 점 $O(o_x, o_y)$ 와 $R(r_x, r_y)$ 로 설정한다. 점 $O(o_x, o_y)$ 의 속도 $V_O(v_{ox}, v_{oy})$ 에 대하여 점 $R(r_x, r_y)$ 가 느

기는 상대 속도 V_{OR} 은 식 (9)와 같이 구하며, V_{OR} 을 식(8)에 대입하여 장애물과 로봇간의 가상 거리 함수 $d_{OR}(X)$ 를 얻는다.

$$V_{OR} = \frac{v_{ox}(r_x - o_x) + v_{oy}(r_y - o_y)}{\sqrt{(r_x - o_x)^2 + (r_y - o_y)^2}} \quad (9)$$

$$\lambda = \lambda_o \left(\frac{v_o \pm V_{OR}}{v_o} \right) \quad (10)$$

$$d_{OR}(X) = \frac{d}{\lambda} = \frac{d}{\lambda_o} \left(\frac{v_o}{v_o \pm V_{OR}} \right) \quad (11)$$

그림 1(b)는 공간상에서 $V_R(v_{rx}, v_{ry})$ 의 속도로 운동하는 로봇에 의한 목표점에서의 포텐셜을 구하기 위해 로봇과 목표점을 점 $R(r_x, r_y)$ 와 점 $G(g_x, g_y)$ 로 놓고 상대 속도 벡터 V_{RG} 를 구하는 방법을 보인 것이며, 이를 식 (10)에 대입하여 $d_{RG}(X)$ 를 얻는다.

$$V_{RG} = \frac{v_{rx}(r_x - g_x) + v_{ry}(r_y - g_y)}{\sqrt{(r_x - g_x)^2 + (r_y - g_y)^2}} \quad (12)$$

$$\lambda = \lambda_o \left(\frac{v_o \pm V_{RG}}{v_o} \right) \quad (13)$$

$$d_{RG}(X) = \frac{d}{\lambda} = \frac{d}{\lambda_o} \left(\frac{v_o}{v_o \pm V_{RG}} \right) \quad (14)$$

3. VDF를 이용한 인공 전위 함수의 구성

이상과 같이 장애물과 로봇, 로봇과 목표점 사이의 관계로부터 얻어진 각각의 가상 거리 함수인 식 (11), (14)을 식 (5)에 대입하여 구한 인공 전위 함수는 식 (15), (16)이며, 이로부터 얻어지는 인공전위계는 식 (17)과 같다.

$$U_o(X) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{d_{OR}(X)} - \frac{1}{d_{OR}^{old}(X)} \right)^2 & (d_{OR}(X) \leq d_{OR}^{old}(X)), \\ 0 & (d_{OR}(X) > d_{OR}^{old}(X)) \end{cases} \quad (15)$$

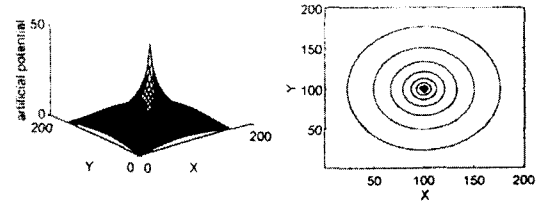
$$U_g(X) = \begin{cases} -\frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{d_{RG}(X)} - \frac{1}{d_{RG}^{old}(X)} \right)^2 & (d_{RG}(X) \leq d_{RG}^{old}(X)), \\ 0 & (d_{RG}(X) > d_{RG}^{old}(X)) \end{cases} \quad (16)$$

$$U_{art} = U_o(X) + U_g(X) \quad (17)$$

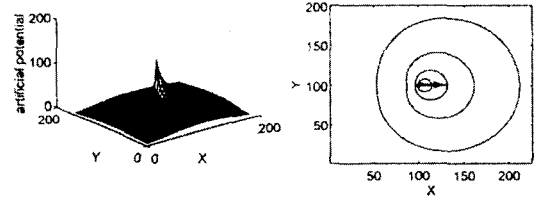
다음은 장애물이 정지해 있는 경우와 제안한 가상 거리 함수를 이용하여 장애물이 운동하는 경우에 나타나는 전위계의 형태에 대하여 서술한다. 그림 2(a)는 장애물의 상대 속도가 0으로써 정지 상태에서 장애물 주변 공간상의 임의의 점 $X(x, y)$ 에서 나타나는 전위계의 형태와 등고선(contour)이다. 전위계의 등고선은

장애물 주변으로 균일하게 나타나고 있다. 이 그림은 가상 거리 함수를 사용하지 않고 일반적인 거리를 인공 전위 함수에 대입하여 얻는 인공 전위계와 비슷한 형태이다.

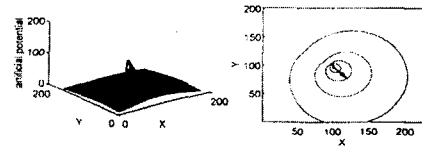
그림 2(b)는 장애물이 x축 방향으로 V_x 의 속도로 운동하고 있을 때, 장애물 주변 역장(力場)의 임의의 점 $X(x, y)$ 에 생성되는 전위계의 형태이며 그림 2(c)는 장애물이 x축 방향으로 V_x , y축 방향으로 V_y 의 속도로 운동하고 있을 때, 장애물 주변 역장의 임의의 점 $X(x, y)$ 에 생성되는 전위계의 형태이다.



(a)



(b)



(c)

그림 2. 정지 및 운동 장애물 주변에 생성되는 포텐셜

Fig. 2. Artificial potential and its contour around the stationary and obstacle.

그림 2의 전위계 등고선을 보면 장애물이 운동하는 방향 쪽에서 나타나는 전위계는 장애물이 정지해 있는 경우의 전위계보다 넓고 크게 나타나며, 장애물이 운동하는 반대 방향으로 전위계의 등고선이 좁고 낮게 나타남을 알 수 있다. 따라서 가상 거리 함수가 매 샘

플링 시각마다 장애물의 위치 및 운동속도를 잘 반영하고 있으며 이동 장애물 회피 동작 계획에 적용할 수 있는 가능성을 확인하였다.

Ⅲ. 이동 장애물 회피 동작 계획

1. 제한 조건

로봇의 운동은 구동기의 운동역학상의 한계와 동력학적 특성에 의한 제한 때문에 유연 제한 조건(smoothness constraints)과 동력학적 제한 조건(dynamics constraints)을 고려해야 한다^[4]. 이동 로봇은 대부분 운동의 속도, 가속도 및 저크(jerk) 등의 유연 제한 조건만을 고려한다. 본 논문에서는 로봇과 장애물간의 효율적인 무충돌 동작과 유연한 로봇의 궤적의 보장 및 목표점 부근에서의 로봇의 속도 증가로 인한 목표점 수렴 상태의 불안정성 방지를 위해 로봇에 속도 제한을 주며 가속도 및 저크에 대한 제한은 고려하지 않는다.

로봇과 장애물간의 거리가 일정 거리 이내로 가까워지면 가상 거리 함수의 값을 인공 전위계 함수에 대입하면 척력은 매우 커지며, 목표점에 로봇이 가까이 근접할 수록 목표점으로서의 인력이 매우 커져 목표점 부근에서 속도가 빨라지는 현상을 볼 수 있다^[11]. 그러므로 매 샘플링 시각마다 구해진 속도를 일정한 크기로 제한하는 조건을 두면 급격한 속도의 증가를 막을 수 있다. 가상의 역장 내에 있는 점 $X(x, y)$ 에서 로봇의 속도 제한과 운동 영역의 설정 및 장애물의 크기와 장애물 운동에 대한 규정은 다음과 같다.

로봇

- 속도제한 : $\| v_r \| < v_{r,max}$ [m/sec]
- 운동영역 : $\{ (x, y) \mid x_{min} < x < x_{max}, y_{min} < y < y_{max} \}$ (18)

장애물

- 크기 : $\{ (x, y) \mid \| (x, y) - (o_x, o_y) \| < r \}$
- 운동 : 등속 직선 운동, V_{ob} [m/sec] (19)

2. 이동 장애물에 대한 회피 동작 계획

2장에서 구한 가상 거리 함수 $d_{OR}(X)$, $d_{RG}(X)$ 를 식 (5)에 대입하여 각각의 샘플링 시각마다 로봇과 장애물 사이에서 형성되는 포텐셜을 구하고, 로봇과 목표점 사이에서 형성되는 포텐셜을 구한 뒤, 각각에 대

하여 그레디언트(gradient)에 부(負)의 기호를 붙인 값은 척력(repulsive force)과 인력(attractive force)이 된다. 따라서 이 두개의 힘을 합성한 힘은 가상의 역장 내에서 로봇의 궤적을 생성시키는 힘으로 작용한다. 각 샘플링 시각마다 U_o , U_g 로부터 식 (22)와 같은 척력 F_o^* 와 인력 F_g^* 를 구하고, 두 힘을 합성하여 F_{art}^* 를 구한다.

$$F_o^* = -grad[U_o(X)] = F_{ox}i + F_{oy}j \quad (20)$$

$$F_{ox} = -\frac{\partial U_o}{\partial x}, \quad F_{oy} = -\frac{\partial U_o}{\partial y}$$

$$F_g^* = -grad[U_g(X)] = F_{gx}i + F_{gy}j \quad (21)$$

$$F_{gx} = -\frac{\partial U_g}{\partial x}, \quad F_{gy} = -\frac{\partial U_g}{\partial y}$$

$$F_{art}^* = F_o^* + F_g^* \quad (22)$$

지금까지 논의한 이동 로봇의 지역 장애물 회피 과정을 요약하면 다음과 같다.

[VDF과 APF를 이용한 이동 장애물 회피 과정]

```

begin /* initialize parameters */
starting and goal-point, obstacle(moving or stationary) speed limit of robot
do {
begin
step 1 :  $V_{or}$  from  $V(v_{ox}, v_{oy}), O(o_x, o_y), R(r_x, r_y)$ 
 $d_{or}(X)$  from robot and obstacle
step 2 : Calculate  $F_{ox}, F_{oy}$  from  $U_o$  potential
step 3 :  $V_{rg}$  from  $V(v_{rx}, v_{ry}), R(r_x, r_y), G(g_x, g_y)$ 
 $d_{rg}(X)$  from robot and goal-point
step 4 : Calculate  $F_{gx}, F_{gy}$  from  $U_g$  potential
step 5 :  $F_x = F_{ox} + F_{gx}, F_y = F_{oy} + F_{gy}$ 
 $V_r = f(F_x, F_y)$  /* command for robot to move next position */
if ( $V_r \geq V_{r,max}$ ) then  $V_r = V_{r,max}$ 
end
 $r_x = r_x + F_x, r_y = r_y + F_y$ 
move next position by  $R(r_x, r_y)$ 
} while (current position != goal point)
end
    
```

IV. 모의 실험 및 고찰

1. 모의 실험

모의 실험의 모델 설정 시 고려한 사항은 로봇이 충돌 회피 계획 없이 이동하는 경우 반드시 장애물과 충돌하게 된다는 것과 충돌 회피 동작 및 목표점 수렴 상태를 감안하여 속도제한을 두었다는 것이다. 제안된 방법이 만족할만한 실시간 이동 장애물 회피 동작을 보이기 위해서는 상수 v_0 와 상수 이득 η 및 가상 제한 거리 함수인 $d_0(X)$ 의 값들을 적절하게 동조하는 작업이 필요하다. λ_0 의 크기는 장애물과 목표점에 대한 속도 및 위치 정보의 변화에 큰 영향을 미치고 이에 따른 로봇의 속도 및 궤적의 형태가 달라지므로 이 값의 선정은 매우 중요하다.

본 논문에서는 등속 직선 운동을 하는 한 개의 이동 장애물이 존재하는 경우 로봇에 동일한 속도 제한을 주고 λ_0 를 변화시켰을 때의 회피 동작과 동일한 λ_0 에서 로봇에 속도 제한을 다르게 주었을 경우의 회피 동작에 대한 모의 실험을 행하였으며, 로봇과 장애물에 대한 제한조건을 다음과 같이 설정하였다.

로봇

- 속도제한 : $\|v_r\| < v_{r,max}$ [m/sec]
- 운동영역 : $\{(x, y) | 0 < x < 70, 0 < y < 50\}$ [m]

이동 장애물

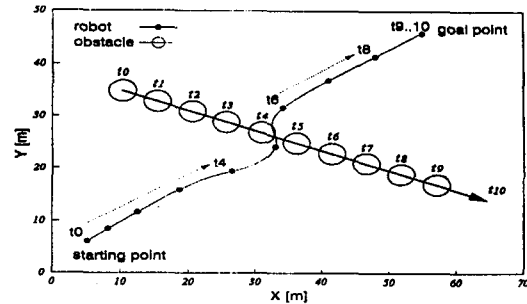
- 크기 : $\{(x, y) | \|(x, y) - (o_x, o_y)\| < 0.3\}$ [m]
- 운동 : 등속 직선 운동, V_{ob} [m/sec]

고정 장애물 1, 2

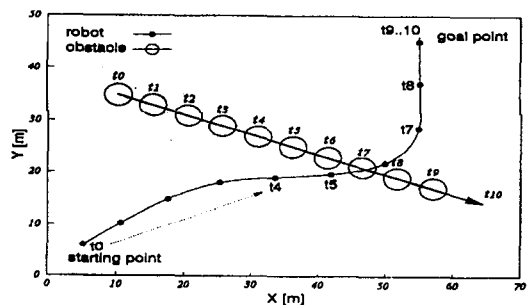
- 위치 : $\{(x, y) | SO_1(40, 42), SO_2(33, 25)$
또는, $SO_1(61, 38), SO_2(36, 21)\}$
- 크기 : $\{(x, y) | \|(x, y) - (SO_{1x}, SO_{1y})\| < 0.3$
[m] $\} \{(x, y) | \|(x, y) - (SO_{2x}, SO_{2y})\| < 0.3\}$ [m]

모의 실험에서는 이동 장애물의 속도 $V(v_{ox}, v_{oy})$ 를 (1.3, -0.5)로 하여 시변 장애물의 운동 속도 V_{ob} 를 1.392m/sec로 설정하였다. 또한 속도 상수 v_0 는 25, 인공 전위 함수에서의 상수 이득 η 는 30으로 설정하고, 가상 제한 거리 $d_{ob}^{vid}(X)$ 는 1, $d_{RC}^{vid}(X)$ 는 5로 하여 모의 실험을 수행하였다.

그림 3 (a), (b)는 $V_{r,max}$ 를 2.088m/sec로 하고 λ_0 의 값을 변화시키면서 모의 실험한 결과이다.



(a)



(b)

그림 3. 이동 로봇의 이동 장애물 회피 (1)

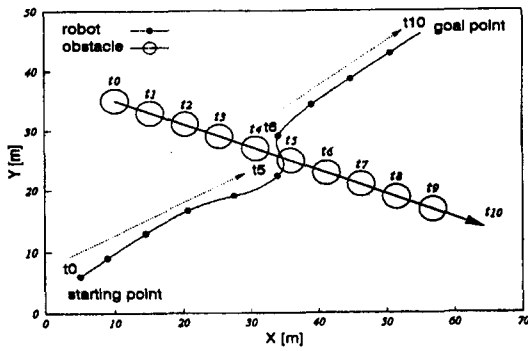
Fig. 3. Moving obstacle avoidance of a mobile robot (1).

λ_0 가 작을 경우 가상 거리 함수 $d(X)$ 값이 커져서 로봇 [점 $R(r_x, r_y)$] 이 운동하는 공간상에서 이동 장애물과 목표점 주변에 발생하는 포텐셜의 크기가 작아진다. 따라서 로봇이 장애물과 근접하더라도 척력의 영향이 작기 때문에 회피동작이 둔하며 속도가 느리다. 반대로 λ_0 가 클 경우에는 척력 및 인력의 영향이 미치는 범위가 넓어져서 급작스런 이동 장애물의 변화에 민감하고 목표점으로 진행하는 속도가 빨라지는 특성을 갖는다.

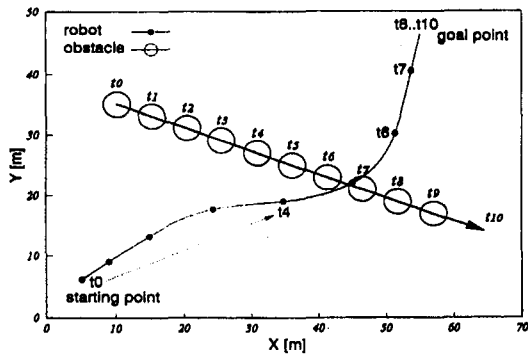
그림 4 (a), (b)는 λ_0 의 값을 일정하게 320으로 고정시키고 $V_{r,max}$ 만을 변화시켰을 때 나타나는 결과이다. 이 실험에서 보는 바와 같이 λ_0 가 일정한 경우에 제한 속도를 다르게 해주면 장애물을 회피하는 궤적이 달라짐을 알 수 있다.

그림 5는 이동 로봇의 이동 경로상에 이동 장애물과 고정 장애물이 공존하는 경우에 대한 실험 결과를 나타내었다. (a)의 경우 λ_0 가 (b)의 경우 보다 크므로

회피 동작을 일찍 시작하여 큰 궤적을 그리며 회피하게 된다. 반면에 (b)는 (a)에 비해 상대적으로 λ_0 가 작아 장애물의 이동성에 둔감하므로 장애물에 근접하여 급작스런 궤적의 변화를 보이고 있다.

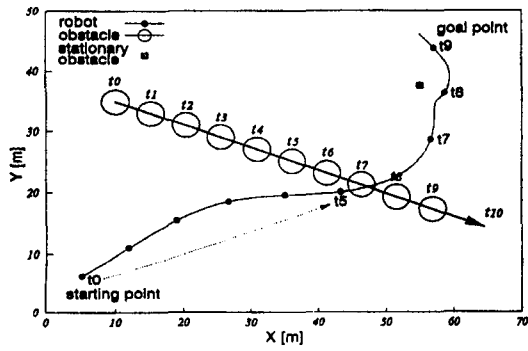


(a)

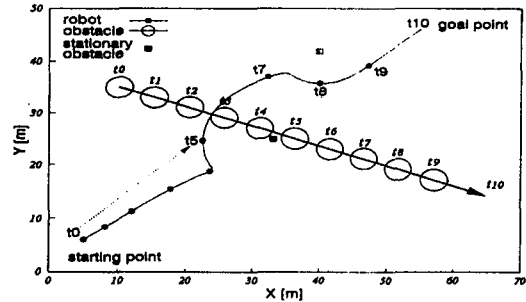


(b)

그림 4. 이동 로봇의 이동 장애물 회피 (2)
Fig. 4. Moving obstacle avoidance of a mobile robot (2).



(a)



(b)

그림 5. 이동 로봇의 이동 장애물과 고정 장애물 회피
Fig. 5. Moving and stationary obstacle avoidance of a mobile robot.

2. 고찰

지금까지 모의 실험을 통하여 가상 거리 함수를 이용한 인공 전위 함수 방법을 로봇의 이동 장애물 회피 동작 계획에 적용해 보았다. 모의 실험에서는 출발점에서 로봇과 목표점 사이의 거리가 로봇과 장애물간의 거리보다 멀기 때문에 로봇과 목표점간의 가상 거리로 표현된 제한 거리인 $d_{RG}^{vid}(X)$ 를 $d_{OR}^{vid}(X)$ 보다 크게 설정해서 인력이 미치는 범위를 넓게 하였다. 이 결과 가상 거리 함수에서 상수 값인 λ_0, v_0 에 따라 회피 동작이 달라져 궤적이 상이하게 나타남을 볼 수 있었다. λ_0 의 변화에 따라서 이동하는 장애물로부터의 척력과 목표점으로부터의 인력의 세기가 변화하였다. 그리고 가상 거리 함수에서 v_0 는 장애물과 로봇에 의한 상대 속도인 V_{OR}, V_{RG} 의 영향을 크게, 혹은 작게 하도록 작용하고 있기 때문에 회피 동작의 유형을 결정짓는 중요한 요소가 되었다. 또한 로봇의 제한 속도인 $V_{r,max}$ 를 달리하여 실험한 결과 각기 다른 회피 동작을 볼 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 이동 장애물을 매 시각 정지 장애물화 하여 처리하는 방법과는 달리 이동 장애물의 운동성을 고려하여 장애물의 운동 속도와 방향에 대한 정보를 실시간(real-time)으로 얻어내어 가상 거리 함수를 구하고, 이를 인공 전위 함수에 적용하였다. 가상 거리 함수에서는 장애물과 로봇의 운동 속도, 운동 방향, 장애물과 로봇 및 목표점 등으로부터 구한 상대

속도(V_{OR} , V_{RG})와 장애물과 로봇 및 목표점간의 실제 거리 d 가 변수였고, λ_0 와 v_0 는 적절한 값으로 선정한 상수 이득이었다. 다음으로 기존에 제안된 인공 전위계 방법에 가상 거리 함수를 적용하여 이동 장애물에 대한 충돌 회피 동작을 계획하고 모의 실험한 결과, 로봇의 충돌 회피 동작은 가상 거리 함수에서 상수 이득인 λ_0 와 v_0 에 따라 큰 차이를 보였다. 특히 λ_0 의 값을 바꾸어 가며 실험한 결과, λ_0 가 큰 경우에는 인력 및 척력이 로봇에 크게 작용했고, λ_0 가 작은 경우 작게 작용하였으며 그로 인해 로봇의 충돌 회피 동작이 다르게 나타났다. 그리고 가상 거리 함수의 특성상 나타나는 속도의 증가 문제를 해결하기 위해 로봇에 속도 제한을 둔 결과, 유연한 궤적과 목표점 수렴할 때 안정된 궤적의 형태를 보였으며 제한 속도의 크기에 따라 궤적의 형태도 다르게 나타났다.

제안한 가상 거리 함수(VDF)를 이용하여 실제 다중 센서가 장착된 로봇에 적용하기 위한 과정에 있으며, 나아가 다중 로봇의 충돌 회피 환경에서 그 효용성을 검증할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] K. Fujimura, H. Samet, "A hierarchical strategy for path planning among moving obstacles," IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol. 5, no. 1, pp. 61-69, Feb. 1989.
- [2] B. H. Lee, Y. P. Chien, "Time-varying obstacle avoidance for robot manipulators: Approaches and difficulties," roc. "87 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1610-1615, 1987.
- [3] Elmer G. Gilbert, Daniel W. Johnson, "Distance function and their application to robot path planning in the presence of obstacles," IEEE J. of Robotics and Automation, vol. 1, no. 1, pp. 21-30, Mar. 1985.
- [4] 고낙용, "관측 시간 개념을 이용한 로봇트 매니플레이터의 시변 장애물 회피 동작 계획," 서울대학교 박사학위 논문집, 1993. 8
- [5] B. H. Krogh, "A generalized potential field approach to obstacle avoidance control," SME Conf. Proc., Robotics Research: The Next Five Years and Beyond, 1984.
- [6] Oussama Khatib, "Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots," Int. J. of Robotics Reserch, vol. 5, no. 1, pp. 90-98, 1986.
- [7] J. Borenstein, Y. Koren, "Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots," IEEE Trans. on System, Man, and Cybernatics, vol. 19, no. 5, pp. 1179-1187, 1989.
- [8] J. Borenstein, Y. Koren, "The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots," IEEE Tran. on Robotics and Automation, vol. 7, no. 3, pp. 278-288, 1991.
- [9] 남윤석, 고낙용, 이범희, "인공 전위계를 이용한 로봇의 시변 장애물 회피 동작 계획," 한국 자동 제어 학술 회의 논문집, vol. 2, pp. 1258-1263, 1994, 10
- [10] Borowitz, Beiser, "Physics" Addison Wesley, 1981.

저 자 소 개



林 春 煥(正會員)
1991년 2월 朝鮮大學校 電子工學科
卒業. 1993년 8월 朝鮮大學校 大學
院 電子工學科 卒業(工學碩士). 1993
년 9월 ~ 現在 朝鮮大學校 大學院
電子工學科 博士課程 在學中. 主觀심
분야는 영상처리, 패턴인식, 신경망,

로보틱스 등임



片 爽 範(正會員)
1986年 朝鮮大學校 電子工學(工學
士). 1988年 同大學院 電子工學科(工
學碩士). 1994年 同大學院 電氣工學
科(工學博士). 1992年 ~ 現在, 東岡
大學 電子科 教授 主觀심분야는 신
경망을 이용한 문자인식 및 뉴러컴퓨

터링, 영상처리, 이동통신, RF 회로설계등임



金 成 喆(正會員)
1993年 2月 朝鮮大學校 制御計測工
學科 卒業. 1995年 2月 朝鮮大學校
大學院 電子工學科 卒業(工學碩士).
1998年 3月 ~ 現在 朝鮮大學校 大
學院 制御計測工學科 博士課程 在學
中. 主觀심분야는 로보틱스 및 자동

화, 다중 로봇 제어, 자율 이동 로봇 등임