

차선방법과 속도공간 명령 방식을 이용한 실내 주행 로봇의 지역 장애물 회피

Local Obstacle Avoidance of an Indoor Mobile Robot Using Lane Method and Velocity Space Command Approach

°김 성 철*, 고 낙 용**

* 조선대학교 대학원 제어계측공학과(Tel: 062-230-7106; E-mail: ksc1019@shinbiro.com)

** 조선대학교 제어계측공학과(Tel: 062-230-7108; Fax: 062-224-1987; E-mail: nyko@mail.chosun.ac.kr)

Abstract

This paper presents a local obstacle avoidance method for indoor mobile robots using Lane method and Velocity Space Command approach. The method locates local obstacles using the information from multi-sensors, such that ultrasonic sensor array and laser scanning sensor. The method uses lane method to determine optimum collision-free heading direction of a robot. Also, it deals with the robot motion dynamics problem to reduce some vibration and guarantee fast movement as well. It yields translational and rotational velocities required to avoid the detected obstacles and to keep the robot heading direction toward goal location as close as possible. For experimental verification of the method, a mobile robot driven by two AC servo motors, equipped with 24 ultrasonic sensor array and laser scanning sensor navigates using the method through a corridor cluttered with obstacle.

1. 서론

본 논문에서는 자율 주행 로봇의 지역 장애물 회피를 위해 방향 명령 방식인 차선 방법과 속도 공간 명령 방식을 병합하여 빠르고 안정적인 충돌 회피를 위한 방법을 제시하고, 모델링된 다중 센서의 정보를 이용하여 실제 로봇에 적용한 결과에 대하여 서술한다.

자율 주행 로봇의 지역 장애물 회피 문제에서 로

봇에 요구되는 성능은 안정적이고 신속한 장애물 회피 동작 및 목표 방향 또는 목표 위치로의 정확한 추종이다. 자율 주행 로봇의 이러한 성능은 전체 알고리즘의 실시간 처리를 요구하며, 지역 장애물 회피 알고리즘은 센서의 특징을 잘 반영하여야 하고, 신속하며 정확한 장애물 데이터를 얻어내어 그 결과를 알고리즘에 효율적으로 사용하여야 한다. 기존에 제안되었던 충돌 회피 알고리즘에 대한 연구는 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

첫째, 방향 명령 방식으로 분류되는 방법들로서, 로봇 주변의 환경을 모델링하기 위한 수단으로 점유 격자를 사용하는 가상 역장(VFF) 방법, 벡터장 히스토그램(VFH) 방법과, 인공전위계(APF) 방법 등이 있다[1~4]. 이 방법들은 정확한 장애물 표현이 가능하고 환경의 변화에 민감하게 반응하는 장점이 있으나, 주행체의 동력학적 특성을 반영하지 못하여 과도한 회피 동작이나 진동이 발생하는 단점을 보인다.

둘째, 방향 명령 방식의 단점을 보완하기 위한 속도 공간 접근 방식이 있으며, 곡률-속도 방법[5], 차선-곡률 방법[6]이 있다. 곡률-속도 방법은 장애물에 대하여 최적의 곡률 거리를 계산하고, 최적의 곡률 거리를 직선 속도 성분과 회전 속도 성분으로 분리하여 명령화 함으로서 부드러운 주행 성능을 보였으나 때때로 효과적인 회피 경로를 지나치는 문제점이 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 차선-곡률 방법이 제안되었다. 차선-곡률 방법은 무충돌 이동 방향을 위하여 차선의 개념을 사용하였으며 이 결과를 곡률-속도 방법에 적용하여 효율적인 경로 및 부드럽고 안정적인 주행 결과를 보였으나, 두 가지 개념에서 모두 충돌 회피를 고려하는 소모적인 부분이 있었다. 곡률-속도 방법 중 일부의 개념, 즉 직선 속도와 회전 속도 개념만을 동력학적 특성을 반영하는 단계

에서 사용한다면 보다 신속하고 정확한 장애물 회피 동작을 기대할 수 있을 것으로 여겨진다[7].

본 연구에서는 무충돌 이동 방향을 결정하는 단계에서는 차선 방법을 이용하고, 동력학적 특성을 반영하는 단계에서는 직선 속도 및 회전 속도 생성 알고리즘을 사용한 새로운 방법을 제안하고, 제한한 속도 공간에서의 알고리즘이 실제 로봇에서 효율적으로 작용하는지를 실험하여 그 타당성을 보인다. 실험을 위해 사용할 다중 센서의 데이터는 10° 단위로 모델링된 사전 데이터를 이용하며, 주행 동작은 실제의 로봇에서 실현되어 미리 구성된 환경을 주행하도록 하였다.

2. 장애물 환경 및 로봇 구동부의 모델링

2.1 다중 센서 데이터의 모델링

일반적으로 자율 이동 로봇 시스템에서 환경의 인식을 위해 사용되는 센서에는 레이저 스캐닝 센서, 초음파 센서 어레이 및 비전 시스템 등이 있다[8]. 자율 주행 로봇에서 주로 사용되고 있는 레이저 스캐닝 센서의 데이터는 지역 장애물 회피 뿐만 아니라 로봇의 위치 추정에도 유용하게 사용된다. 대부분의 레이저 스캐닝 센서는 단일 평면의 데이터를 출력하며, 이 단점을 보완하기 위하여 방사형의 신호를 통해 장애물의 정보를 얻어내는 초음파 센서 어레이를 융합하여 사용한다. 융합된 물리적 센서들의 정보는 장애물 회피 알고리즘에 효과적으로 적용될 수 있는 형태로 재구성되어야 한다. 각 센서의 초기 해석으로부터 얻어지는 데이터는 별도의 변환 과정을 거쳐 고차 레벨의 논리적 데이터로 재구성한다. 본 논문에서는 24개의 초음파 센서 어레이와 레이저 스캐닝 센서를 융합한 모의 실험 모델을 설정하고, 이 데이터를 10° 단위의 거리 정보로 재구성하여 충돌 회피 알고리즘에 사용하였다. 알고리즘에 사용된 모의 센서 정보 ${}^k\theta_j$, ${}^k d_j$ 는 식 (1), (2)로 표현된다.

$$\begin{aligned} {}^k\theta_j &= {}^k\theta_j - {}^k\theta_k & (\text{for } j=1,2,\dots, \frac{360}{\Delta\theta}) \\ {}^k d_j &= \varepsilon_s \cdot S d_j + \varepsilon_l \cdot L d_j & (\varepsilon_s + \varepsilon_l = 1) \end{aligned} \quad (1)$$

$${}^k\theta_k = {}^g\theta_k - ({}^r\theta_k + 90) \quad (2)$$

여기서, ${}^k\theta_k$ 는 임의의 명령 주기 k 에서 목표 방향과

로봇의 지향 방향이 이루는 각도로서, 로봇의 중심점과 목표점을 잇는 선분이 카테시안 좌표계의 x 축과 이루는 각 ${}^g\theta_k$ 와 로봇의 두 바퀴의 중심을 지나는 선분이 카테시안 좌표계의 x 축과 이루는 각 ${}^r\theta_k$ 를 이용하여 식 (2)에 의하여 구해진다. 식 (1)의 ${}^k\theta_j$ 와 ${}^k d_j$ 는 각각 회피 알고리즘에서 j 번째로 사용될 논리적 센서 데이터로서 각도와 검출 거리를 의미한다. 여기서, 검출 거리 ${}^k d_j$ 는 초음파 센서의 검출 거리 ${}^s d_j$ 와 레이저 스캐너의 검출 거리 ${}^l d_j$ 에 가중치 ε 을 주어 합한 값이다. $\Delta\theta$ 는 알고리즘에서 필요로 하는 주변 환경 검출 단위 각이며, 본 연구에서는 10°로 정하였다. 그림 1에 다중 센서 데이터로부터 모델링된 데이터의 범위를 나타내었다.

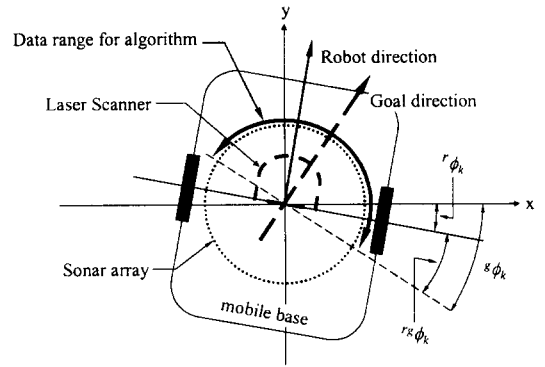


그림 1 알고리즘에 필요한 검출 데이터의 범위

2.2 차선 방법에 의한 장애물 환경의 모델링

논리적으로 구성된 센서 데이터를 이용하여 목표 방향을 지향하는 180° 범위의 차선 공간을 구성하고 이 공간에 장애물을 표현한다. 장애물의 크기 ${}^o r_j$ 는 식 (3)에 의해 정해진다.

$${}^o r_j = {}^k d_j \cdot \sin\left(-\frac{\Delta\theta}{2}\right) + \frac{{}^r w}{2} \quad (3)$$

여기서, ${}^r w$ 는 로봇의 폭이다. 장애물의 크기를 식 (3)과 같이 정의하면, 로봇을 점으로 간주하여 계산하더라도 충돌이 발생하지 않는다. 그림 2에 차선 공간에서 사용하는 변수와 차선 방법의 개념을 보였다.

차선이 구성되면 각 차선들은 차선의 폭과 무충돌 거리를 고려하여 차선 통합의 과정을 거친다. 또

한 장애물 검출의 출발선 상에 가까운 곳에서 장애물이 검출되면, 로봇의 진행 방향은 이 장애물이 위치하는 방향을 배제하여야 하므로 경계각(boundary angle) ba 를 설정한다. $va(k)$ 는 로봇이 k 번째 차선으로 진입하기 위해 필요한 최소의 조향각이다. 다음의 규칙 1과 2에 차선 통합의 규칙을 서술하였다.

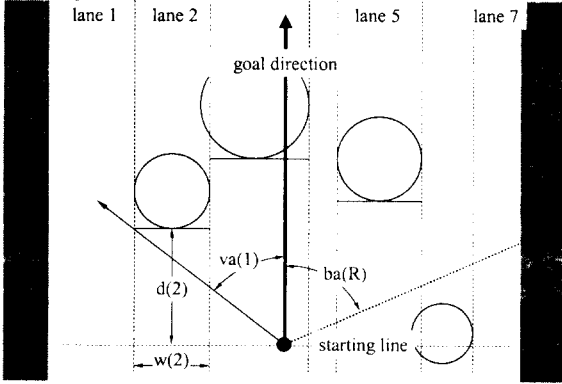


그림 2 차선 공간의 변수들

규칙 1:

if $w(k) \leq w_{\min}$ and $d(k) > \min\{d(k-1), d(k+1)\}$
 then $w(k) = w(k) + w(k')$ (k' 은 $\min\{d(k-1), d(k+1)\}$ 인 차선)

규칙 2:

if $|d(k) - d(k+1)| \leq \delta d_{\min}$
 then $d(k) = d(k) + d(k')$ (k' 는 $\min\{d(k), d(k+1)\}$ 인 차선)

여기서, $w(k), d(k)$ 는 각각 k 번째 차선의 폭과 무충돌 거리이다. w_{\min} 는 차선의 폭의 제한값으로서 본 연구에서는 직사각형 형태인 로봇 폭의 절반인 0.3[m]로 하였고, δd_{\min} 는 서로 비교되는 차선의 무충돌 거리의 임계값으로서 본 연구에서는 0.05 [m]로 하였다.

2.3 최적 차선의 선택 및 방향 명령의 결정: 차선 선택 함수

구성된 차선에서 로봇이 선택해야 하는 차선의 조건은 무충돌 거리가 길고 차선 폭이 로봇에 비해 충분히 넓은 차선이다. 또한, 가능한 한 목표 방향과 각도 편차가 적고 이전 명령 주기에서 입력된 조향 명령과의 편차가 적은 차선을 선택함으로써 로봇의 급격한 방향 전환을 지양하는 것이 바람직하다. 이러

한 조건을 충족시키는 최적의 차선을 선택하기 위하여 다음의 차선 선택 함수[7]를 사용한다.

$$f_s(k) = \beta_1 \cdot \overline{d(k)} + \beta_2 \cdot \overline{w(k)} + \beta_3 \cdot \overline{ad_{va,c}(k)} + \beta_4 \cdot \overline{ad_{va,o}(k)} \quad (4)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \overline{d(k)} &= \min\{d(k), \frac{dr d_{\max}}{2}\} / \frac{dr d_{\max}}{2} \\ \overline{w(k)} &= \min\{w(k), \frac{Rw}{2}\} / \frac{Rw}{2} \\ \overline{ad_{va,c}(k)} &= \min\{va(k) - c_r, rv_{\max}\} / rv_{\max} \\ \overline{ad_{va,o}(k)} &= \min\{va(k) - o_r, rv_{\max}\} / rv_{\max} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, $dr d_{\max}$ 는 검출 영역의 임계 거리, rv_{\max} 는 최대 회전 속도이며 $\overline{ad_{va,c}(k)}$ 는 조향 명령의 변화량을 작게 하기 위한 항이고 $\overline{ad_{va,o}(k)}$ 는 조향 명령이 현재 로봇이 지향하고 있는 방향과 가깝게 가깝게 하기 위한 항이다. 이 네 개의 항은 각각 제한 값들에 의하여 정규화 되어있다. 식 (4)의 β 값은 차선 선택 함수에서 위의 네 조건을 반영하는 비율 조절의 기능을 갖으며, 본 연구에서는 $\beta_1: \beta_2: \beta_3: \beta_4$ 를 반복적 실험을 거쳐 최적의 결과를 보인 7 : 5 : 0.5 : 1로 설정하였다. 매 샘플링 시각마다 구성된 차선을 대상으로 위의 식 (5)를 계산하여 식 (4)의 결과 값이 최대가 되는 차선이 로봇이 진행하여야 할 차선으로 선택된다.

2.3 조향 명령의 결정

앞 절의 결과로부터 선택된 최적의 차선으로 로봇을 진행시키기 위하여 조향 명령을 구한다. 만약 선택된 차선이 현재 로봇이 위치한 차선일 경우 로봇은 현재의 진행 상태를 유지하여야 하므로 조향 명령은 0° 가 된다. 반면, 선택된 차선과 로봇이 위치한 차선이 동일하지 않을 경우, 로봇이 선택된 차선으로 진입하기 위한 최소 조향각 및 경계각을 이용하여 조향 명령을 만들어낸다. 경계각의 경우 로봇이 장애물을 검출한 출발선상에 장애물이 없을 때에는 90° 로 하고, 장애물이 존재하는 경우 65° 로 설정한다.

$$hc = \begin{cases} 0 & \text{if } n_r = n_s \\ va(n_s) + \delta \cdot (ba - va(n_s)) & \text{if } n_r \neq n_s \end{cases} \quad (6)$$

여기서, hc 는 조향 명령, $va(n_s)$ 는 선택된 차선 n_s 로 로봇이 진행하기 위해 필요한 최소 조향각이며, ba

는 경계각을 의미한다. 위의 식 (6)에서 δ 는 0과 1사이의 값을 가지며, 이 값에 따라 hc 는 최소 조향각 va 와 경계각 ba 사이의 값으로 결정된다. 즉, δ 의 값이 0에 가까울 경우 로봇은 조향 명령은 최소 조향각에 가까운 값이 되므로 장애물과 긴밀한 거리를 유지하며 회피하는 동작을 보이고, δ 의 값이 1에 가까운 경우 경계각에 근접한 회피동작 즉, 장애물에서 먼 거리를 유지하며 회피하는 동작을 보인다. δ 의 값이 1에 가깝고 장애물이 밀집된 지역을 통과하는 경우 조향 명령이 최소 조향각 보다 훨씬 크게 되어 급격한 조향 동작이나 충돌을 일으킬 수 있다.

3. 속도 명령의 생성

로봇이 진행하여야 할 최적의 차선을 선택하여 조향 명령을 만들어 낸 다음, 이 조향 명령을 이용하여 로봇의 구동부로 입력될 속도 명령을 생성한다. 구동부를 위한 속도 명령은 직선 속도 tv 와 회전 속도 rv 로 구분한다. 직선 속도 및 회전 속도는 로봇의 운동을 곡률에 근거한 원호 운동으로 근사할 수 있으므로, 운동 역학적인 고려뿐만 아니라 로봇의 위치평가에도 유용하게 사용할 수 있다. 2장에서 구한 조향 명령을 이용하여 곡률을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\nu = \begin{cases} \eta \cdot \max(hc - {}^r\phi_k, rv_{\max}) / rv_{\max} \\ \quad (if (hc - {}^r\phi_k) < 0 \ \& \ |hc - {}^r\phi_k| \geq rv_{\max}) \\ \eta \cdot \min(hc - {}^r\phi_k, rv_{\max}) / rv_{\max} \\ \quad (if (hc - {}^r\phi_k) \geq 0) \end{cases} \quad (7)$$

여기서, η 는 곡률 상수이며, ${}^r\phi_k$ 는 목표 방향과 로봇의 지향 방향과의 차이이다. 곡률 ν 는 로봇이 한번의 명령 주기 동안 주행하여 나타나는 원호 궤적의 곡률을 의미한다. 식 (7)에서 곡률 ν 는 hc 와 ${}^r\phi_k$ 의 차이를 최대 회전 속도 rv_{\max} 로 정규화 시킨다. η 는 정규화된 곡률에 곱해지는 상수로서 이 값의 크기에 따라 로봇이 조향 명령을 반영하는 속도에 차이를 보인다. 본 연구에서는 $\eta=3.14$ 로 정하였다.

로봇의 구동 명령으로 사용할 직선 속도와 회전 속도를 결정하기 위하여 식 (7)에서 구한 곡률을 이용한다. 직선 속도와 회전 속도는 로봇이 주행중 후진을 하지 않으며, 급속한 회전이 요구되는 경우 직진 속도를 줄이고 회전 속도를 크게 반영하며, 동시에 충돌 회피가 가능한 범위 내에서 직진 속도를 최

대한 큰 값으로 유지하도록 결정되어야 한다. 또한 로봇에 동력학적 제한 조건을 두어 부드러운 궤적을 보일 수 있도록 하여야 한다. 이러한 조건들을 반영하여 식 (8)의 속도 및 가속도 제한 조건을 만족하는 범위 내에서 식 (9)~(11)의 과정으로 직진 속도와 회전 속도를 구한다.

$$0 \leq tv_k \leq tv_{\max} \quad , \quad rv_{\min} \leq rv_k \leq rv_{\max} \quad (8)$$

$${}^n a_{\min} \leq {}^n a_k \leq {}^n a_{\max} \quad , \quad {}^r a_{\min} \leq {}^r a_k \leq {}^r a_{\max}$$

$$rv_{temp} = hc_k \cdot tv_{\max} \quad (9)$$

$$t_{temp} = tv_{\max} - \tau \cdot \left(\frac{tv_{\max} \cdot |rv_{k-1}|}{rv_{\max}} \right)$$

여기서, τ 는 회전 속도의 요구가 클 때 직진 속도를 줄여주는 정도를 결정하는 상수이다. 식 (10)은 이전 명령 주기에서의 직진·회전 속도와 현재의 명령 주기에서 계산된 직진·회전 속도의 차를 이용하여 가속도를 구하는 과정이다. 속도와 마찬가지로 식(10)의 결과 또한 가속도 제한 범위의 값으로 결정된다.

$${}^n a_k = \left(\frac{tv_{temp} - tv_{k-1}}{\Delta t} \right) \quad (10)$$

$${}^r a_k = \left(\frac{rv_{temp} - rv_{k-1}}{\Delta t} \right)$$

$$tv_k = tv_{k-1} + {}^n a_k \cdot \Delta t \quad (11)$$

$$rv_k = rv_{k-1} + {}^r a_k \cdot \Delta t$$

직진 속도 tv_k 와 회전 속도 rv_k 가 결정되면, 식 (12)에 의하여 로봇의 2 개의 AC 서보로 입력되는 속도 명령을 구할 수 있다.

$$L_{v_k} = tv_k + \frac{wb}{2} \cdot rv_k \quad (12)$$

$$R_{v_k} = tv_k - \frac{wb}{2} \cdot rv_k$$

여기서, L_{v_k} 및 R_{v_k} 는 각각 왼쪽과 오른쪽 바퀴의 속도 명령이다.

4. 실험 및 고찰

4.1 실험 대상 로봇

본 연구에서 실험에 사용한 로봇의 구동부는 2개

의 AC servo 시스템(200W, Panasonic社)으로 구성된 이륜 구동 방식이다. ISA backplane에 SBC-456 싱글 보드 컴퓨터를 주제어기로 사용하였고, 구동 명령을 펄스로 변환하여 서보에 입력하기 위해서 AD7008 direct digital synthesizer(DDS)를 이용한 variable pulse generator 보드를 제작하여 사용하였다. 다중 센서 시스템은 레이저 스캐닝 센서(PLS-200, SICK社)와 24개의 초음파 센서(Helpmate社)를 원형으로 배열하였으며, 두 센서 시스템의 출력을 모의실험을 통하여 논리 센서 데이터로 이용하였다. 또한 로봇의 위치 평가를 위해 2개의 서보부착형 엔코더 이용하였다. 로봇 시스템의 소프트웨어는 Borland C++ 환경에서 컴파일되었다.

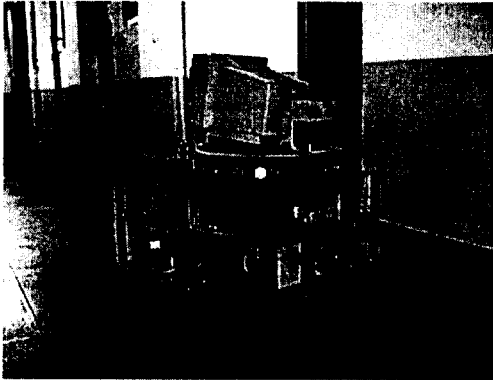


그림 3 실험용 이동 로봇

통로

그림 4는 경우 1에 대한 실험 결과이다. 장애물을 지나쳐 급선회하며 회전 속도가 큰 동안에 로봇은 직선 속도를 줄임을 볼 수 있다. 이것은 식 (8)~(11)의 결과를 반영하고 있다. 그림 5는 경우 2에 대한 실험 결과로서 곡률-속도 방법에서 목표 방향으로 나 있는 좁은 통로를 지나치는 문제를 해결함을 보였고, 차선-곡률 방법 보다 유연한 궤적을 그리며 좁은 통로에 진입함을 알 수 있다. 또한 직각 방향의 좁은 통로의 폭이 로봇 폭의 2배가 이하가 되는 경우 통로에 진입하지 못하였다.

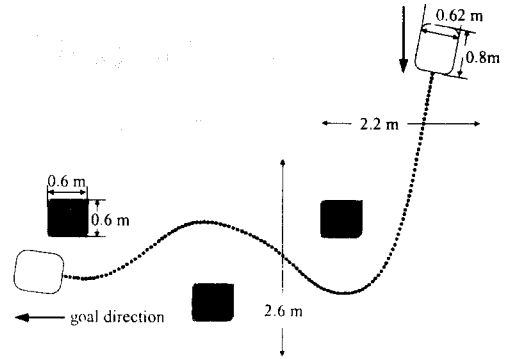


그림 4 경우 1의 주행 결과

4.2 실험 조건 및 실험 결과

본 실험에서는 로봇의 직진 속도 및 회전 속도, 그리고 직진 가속도 및 회전 가속도의 범위를 다음과 같이 설정하였다.

$$\begin{aligned}
 0 &\leq tv_k \leq 0.314 && [m/sec] \\
 -60 &\leq rv_k \leq 60 && [deg/sec] \\
 -0.075 &\leq {}^v a_k \leq 0.075 && [m/sec^2] \\
 -15 &\leq {}^r a_k \leq 15 && [deg/sec^2]
 \end{aligned}$$

직선 및 회전 속도의 범위는 로봇이 주행중 후진하지 않도록 계산된 값이다. 조향 명령을 위한 상수 δ 는 0.35, 직선 속도 상수 τ 는 0.75로 하였으며 실험 환경은 다음의 두 가지 경우로 하였다.

- 경우 1: 목표 지점을 향하는 직각 통로의 경로상에 3개의 장애물이 존재
- 경우 2: 직선 통로와 직각으로 목표점을 향하는 좁은

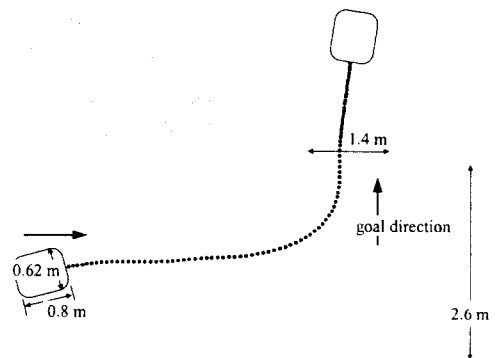


그림 5 경우 2의 주행 결과

장애물을 훨씬 지나쳐서 급선회를 하는 현상이나 좁은 통로로의 진입 여부는 속도 결정 식에 큰 영향을 받으며, 또한 차선의 통합에 사용되는 제한 값, 조

항 명령 상수의 변화, 그리고 목표 방향에 영향을 받음을 반복 실험을 통하여 확인하였다.

새로운 방법." 한국공작기계학회지, 제7권, 제4호, 1998. 8.
[8] H. R. Everett, "Sensors for Mobile Robots; Theory and Application," A. K. Peters, Ltd, 1995.

5. 결론

본 연구에서는 다중 센서의 데이터를 simulation 한 데이터를 이용하여 실내 주행 로봇의 무충돌 방향을 얻어내기 위하여 차선 방법과 속도 공간 명령 방식을 이용한 무충돌 알고리즘을 제안하여 실험을 통하여 그 타당성을 확인하였다. 다중 센서의 데이터는 24개의 초음파 센서 어레이와 레이저 스캐닝 센서를 graphic 기반에서 10° 단위로 검출하였으며, 기존에 제안된 차선 방법을 무충돌 방향 명령을 결정하는데 사용하였다. 로봇의 주행 속도 및 가속도는 구동 능력을 반영한 값으로 제한되었으며, 회전 속도 및 직선 속도 명령은 장애물 회피 요구에 적합하도록 속도 공간에서 구성하여 로봇의 구동 명령으로 사용하였다. 이 결과 안정적이며, 부드럽고 신속한 회피 동작을 확인 할 수 있었다. 센서 검출을 위한 지연시간을 감안하여 본 연구에서 모의의 논리 센서 데이터로 처리한 다중 센서부를 실제의 데이터에 의하여 구동되도록 발전시킬 것이며, 차선 방법과 효과적으로 조화를 이루는 속도 공간 명령 알고리즘을 개발할 것이다.

6. 참고문헌

- [1] J. Borenstein, Y. Koren, "Real-time Obstacle Avoidance for Fast Mobile robot," IEEE trans. on SMC, Vol. 19, No. 5, pp. 1179-1187, Sept./Oct. 1989.
- [2] J. Borenstein and Y. Koren, "The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots," IEEE Trans. Robotics Automation, pp. 278-288, Vol. 7, No. 3, Jun. 1991.
- [3] O. Khatib, "Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots," The int. J. Robotics Research, Vol. 5, No. 1, Spring 1986.
- [4] Y. K. Hwang and N. Ahuja, "A potential fields approach to path planning," IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 8, No. 1, pp.23-32, Feb. 1992.
- [5] R. G. Simmons, "The curvature-velocity method for local obstacle avoidance," IEEE Int. Conf. on robotics and Automation, Minneapolis MN, April 1996.
- [6] Nak Yong Ko and Reid G. Simmons, "The Lane-curvature Method for Local Obstacle Avoidance," Int. conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 1998), Victoria, B.C., Canada, Oct. 13-17, 1998.
- [7] 고낙용, 김재열, "이동 로봇의 실시간 장애물 회피를 위한