

레이저 스캐닝 센서를 이용한 이동 로봇의 지역 장애물 회피 방법

論 文

51P-3-8

Local Obstacle Avoidance Method of Mobile Robots Using LASER scanning sensor

金成喆* · 姜園贊* · 金桐玉* · 徐銅辰* · 高樂溶**

(Sung Cheol Kim · Won Chan Kang · Dong Ok Kim · Dong Jin Seo · Nak Yong Ko)

Abstract - This paper focuses on the problem of local obstacle avoidance of mobile robots. To solve this problem, the safety direction section search algorithm is suggested. This concept is mainly composed with non-collision section and collision section from the detecting area of laser scanning sensor. Then, we will search for the most suitable direction in these sections. The proposed local motion planning method is simple and requires less computation than others. An environment model is developed using the vector space concept to determine robot motion direction taking the target direction, obstacle configuration, and robot trajectory into account. Since the motion command is obtained considering motion dynamics, it results in smooth and fast as well as safe movement.

Using the mobile base, the proposed obstacle avoidance method is tested, especially in the environment with pillar, wall and some doors. Also, the proposed autonomous motion planning and control algorithm are tested extensively. The experimental results show the proposed method yields safe and stable robot motion through the motion speed is not so fast.

Key words: local obstacle avoidance, autonomous mobile robot, laser scanning sensor

1. 서 론

자율 이동 로봇의 경로 계획 분야는 작업 공간 전체에 대한 전역 경로의 계획 부분과 이미 정해진 전역 경로상에 존재하는 지역 장애물에 대한 충돌 회피를 다루는 지역 경로 계획 부분으로 구별된다. 이 중 이동 로봇의 지역 경로 계획 부분은 지역 지도 작성과 장애물 회피의 부분으로 세분화되며 본 논문에서는 이동 로봇의 지역 경로 계획의 일부인 지역 장애물 회피 문제를 다룬다. 로봇의 장애물 회피 방법은 로봇이 사용하는 센서 정보와 회피 알고리즘에 따라 그 성능이 결정된다. 따라서 실제 환경을 정확하게 인식할 수 있는 센서의 사용과 획득된 환경 정보로부터 회피 동작에 유용한 속도 및 방향 명령을 구할 수 있는 충돌 회피 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

기존에 제안된 센서 정보에 기반을 둔 이동 로봇의 지역 장애물 회피 방법은 센서 데이터의 누적을 통해 데이터의 불확실성을 줄이는 방법[1,2,3]과 다소의 불확실성을 감안하여 회피 동작 알고리즘이 장애물 환경을 효과적으로 근사화 할 수 있도록 하는 방법[4]들이 있다. 센서 데이터를 누적하여 불확실성을 줄여 얻어진 정보로부터 회피 방향을 결정하는 방법은 계산 단계나 데이터의 누적 횟수에 따라 실시간 성능에 영향을 미치기 때문에 환경의 검출 단계에서부터 정확도를 높일 수 있는 센서의 선택이 이루어져야 하고 회피 동작을 계획하는 알고리즘은 간결하면서도

효율적인 회피 동작을 보일 수 있도록 구성되어야 한다. 또한, 로봇은 실제 공간에서 운동하는 운동체이므로 로봇이 가지는 운동 특성이 회피 동작을 계획하는 단계에서 반영되어야 함은 물론이며, 이로부터 안정적이고 유연하며 신속한 궤적을 보일 수 있어야 한다. 따라서, 본 논문에서는 로봇이 주행하는 실내의 견실한 환경 정보를 바탕으로 하여 자율 이동 로봇의 충돌 회피 동작이 효과적인 무충돌 방향의 탐색 성능과 유연하고 안정적인 궤적 형성의 성능을 보일 수 있도록 하는 새로운 방법을 제안하고자 한다.

2. 문제 구성

지역 장애물 회피 방법 중 VFH(vector field histogram) 방법[1,5]은 로봇의 운동 영역에 대한 측정이 초음파 센서를 통해 이루어지는 점에 착안한 방법이다. 이 방법은 검출 데이터의 불확실성을 줄이기 위한 데이터의 누적 과정과 풀라 장애물 밀도의 구성 과정이 복잡할 뿐 만 아니라, 정확한 장애물의 표현 여부는 히스토그램 격자의 단위 셀(cell)의 크기와 누적된 횟수에 의해 결정된다. 이는 만일 정확한 장애물의 표현을 요구하는 경우 셀 크기를 줄이거나 누적 횟수를 늘리는 경우의 계산적 부하의 증가를 초래한다. 비록 VFH 방법이 벡터 공간에 존재하는 장애물의 밀도로부터 조향 방향을 결정하여 고속 주행의 성능을 보였다 하더라도, 초음파 센서가 가지는 고유의 검출 오차에 대한 고려는 되지 않았다. 특히 센서 고유의 오류 검출치는 누적이 반복됨에 따라 더욱더 확실한 값으로 인식되어 실제보다 큰 장애물 밀도를 가지게 되는데, 이는 로봇이 충분히 진행할 수 있는 방향을 외면하게 하는 작용을 한다. 그러므로, 보다 정확한 검출 결과를 보이는 센서를 사

* 正 會 員 : 朝鮮大 大學院 制御計測工學科

** 正 會 員 : 朝鮮大 情報 · 制御計測工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2002年 7月 16日

最終完了 : 2002年 8月 27日

용하는 일이 중요하다. 조향 방향의 결정 단계에서 VFH 방법은 최소 안전 거리를 설정하고 목표 방향 쪽에 위치한 장애물과의 실제 거리와 안전 거리를 비교하여 조향각의 정도를 결정하는 방법을 택하고 있다. 이는 안정적인 무충돌 동작을 기대할 수 있는 장점을 가진 반면, 로봇의 궤적이 지나치게 장애물의 배치 패턴을 추종할 수 있다. 또한, 방향 명령 방식이 가지는 로봇의 동력학적 구속 조건들을 충분히 반영하지 못하는 점도 문제점으로 대두된다.

그러므로 본 논문에서는 무충돌 방향의 탐색 성능과 유연한 궤적 성능을 얻어내기 위한 방향 구간 탐색 방법을 제안하고 실험한 결과에 대하여 논한다. 이를 위하여 레이저 스캐닝 센서 데이터를 히스토그램으로 표현하여 로봇의 조향을 위한 무충돌 구간(collision free section; CFS) 및 충돌 구간(collision section; CS)을 정의한다. 로봇은 무충돌 구간 내의 한 각도를 조향각으로 결정하며, 무충돌 구간 내의 임의의 각에 대하여 로봇의 충돌 구간, 목표 방향 그리고 명령 변화량 등을 사용하여 일정의 성능 함수로 평가함으로써 최적의 조향각을 계산한다.

3. 구간의 탐색 및 속도 공간 명령

3.1 구간 탐색에 따른 최적 방향의 결정

히스토그램으로부터 무충돌 구간 CFS 및 충돌 구간 CS를 결정하기 위하여 두 개의 임계치를 사용한다. 무충돌 구간 임계치 τ_{cfs} 는 센서의 최대 검출 거리와 최소 검출 거리의 범위 내에서 일정한 간격만큼 감소하며 변화한다. 충돌 구간 임계치 τ_{cs} 는 로봇이 장애물과 접촉하지 않도록 하는 값으로 정한다. 식 (1)에 τ_{cfs} 와 τ_{cs} 에 대하여 정의하였다.

$$\tau_{\min} < \tau_{cfs} < \tau_{\max}, \quad \tau_{cs} = D_{safe},$$

where, $\tau_{\min}: D_{safe}$
 $\tau_{\max}: \text{maximum detect range}$
 $D_{safe}: \text{minimum detect range} + \text{robot radii}$

(1)

τ_{cfs} 를 변화시켜가며 얻은 무충돌 구간 집합 M_{CFS} 는 다음 식 (2)와 같다.

$$M_{CFS} = \{CFS_0, \dots, CFS_n\},$$

$$CFS_k = \{\theta_i, \dots, \theta_{i+W_k}\}$$

(2)

$$k = \max \{W_0, \dots, W_n\} \cap (\overline{CFS_k} > \text{robot radii})$$

(3)

무충돌 구간 집합 M_{CFS} 는 센서의 검출값이 무충돌 구간 임계치 τ_{cfs} 보다 길게 나타난 n 개의 무충돌 구간 CFS를 원소로 갖는다. 이 집합 M_{CFS} 의 원소 중 최대의 구간 폭을 가지며 이 폭이 로봇의 반경보다 큰 k 번째의 무충돌 구간 CFS_k 를 선택한다. CFS_k 는 구간 k 의 시작 각도 θ_i 부터 구간 k 의 폭 W_k 만큼을 더한 각도 θ_{i+W_k} 까지의 검출 각도를 원소로 갖는다. 한편, 충돌 구간 CS는 충돌 구간 임계치 τ_{cs} 를 이용하여 다음 식 (4)로부터 구한다.

$$CS = \begin{cases} \{\theta_c, \dots, \theta_{c+W}\}, & \tau_{cs} \leq D_{safe} \\ \text{none}, & \tau_{cs} > D_{safe} \end{cases}$$

(4)

충돌 구간 CS는 센서의 최소 검출 거리에 로봇의 반경을 더한 안전 거리 D_{safe} 보다 작은 검출값을 가지는 구간의 각도 $\theta_c, \dots, \theta_{c+W}$ 를 원소로 갖는다. 만약, 센서의 모든 방향에 대한 검출 값이 안전 거리 D_{safe} 보다 큰 경우에는 충돌 구간 CS는 존재하지 않는다. 매 검출 시기마다 충돌 구간 CS는 식 (4)로부터 한 개 이하로 결정되며, 방향 결정 단계에서 사용되는 충돌각은 무충돌 구간 CFS_k 가 존재하는 방향에 따라 충돌 구간 CS의 θ_c 또는, θ_{c+W} 가 선택된다.

식 (3)과 식 (4)로부터 구해진 무충돌 구간 CFS_k 및 CS로부터 로봇이 진행할 최적의 방향을 결정한다. 무충돌 구간 CFS_k 를 구성하고 있는 원소 θ 들에 대하여 충돌각, 목표방향 그리고 최근 명령각 등에 대한 편차를 조사하여 이들 중 최소값을 보이는 방향으로 로봇을 진행하게 한다. 다음 식 (5)는 무충돌 구간 CFS_k 로부터 최적의 방향을 얻어내기 위한 성능 평가 함수이다.

$$f_p(\theta) = -\alpha_{\text{colli}} \cdot P_{CS}(\theta) + \alpha_{\text{goal}} \cdot P_{GD}(\theta) + \alpha_{\text{mov}} \cdot P_{CD}(\theta) + \alpha_{\text{safe}} \cdot P_{CFS}(\theta),$$

where, $P_{CS}(\theta) = \min\{|\theta_{CS} - \theta|, \overline{CFS}\} / \overline{CFS}$,
 $P_{GD}(\theta) = \min\{|\theta_{GD} - \theta|, \overline{CFS}\} / \overline{CFS}$,
 $P_{CD}(\theta) = \min\{|\theta_{CD} - \theta|, \overline{CFS}\} / \overline{CFS}$,
 $P_{CFS}(\theta) = \overline{CFS} / 2$

(5)

P_{CS} , P_{GD} , P_{CD} 는 각각 충돌각, 목표 방향 그리고 최근 명령각 등과 CFS_k 구간 집합을 구성하는 각도들이 보이는 편차를 CFS_k 구간의 폭으로 정규화 한 항이다. 그림 1은 본 논문에서 제안하는 최적 방향 결정에 필요한 개념을 나타낸 것이며, 위의 식 (5)의 결과를 최대화 하는 무충돌 구간 CFS_k 내의 각도 θ 를 로봇이 진행하여야 할 최적의 방향으로 결정한다.

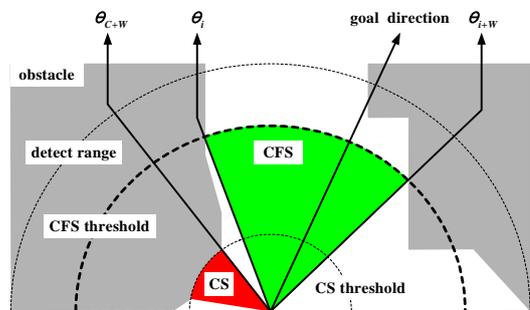


그림 1 최적 방향의 결정
 Fig. 1 Decision of optimal direction.

3.2 최적 방향의 속도 공간 명령화

예측 히스토그램으로부터 구간을 탐색한 다음, 성능 함수

수를 통해 얻어진 최적의 조향각을 명령 주기 시간 Δt 로 나누어 로봇에 요구되는 회전 속도 rv_{req} [rad/s]를 정의하며, 이 회전 속도에 따라 결정되는 직진 속도를 tv_{req} 라 한다[6]. 여기에 과도한 로봇의 회전 동작을 방지하기 위해 회전 속도의 제한 조건을 둔다. 회전 속도의 최대값과 최소값을 각각 rv_{max} , rv_{min} 라 하면, 회전 속도의 제한 조건은 식 (6)과 같다.

$$rv_{min} \leq rv_{req} \leq rv_{max}, \quad rv_{min} = -rv_{max} \quad (6)$$

식 (6)의 조건을 만족하는 rv_{req} 로부터 로봇에 요구되는 직진 속도 tv_{req} 를 구하기 위하여 다음 그림 2와 같은 관계를 이용한다.

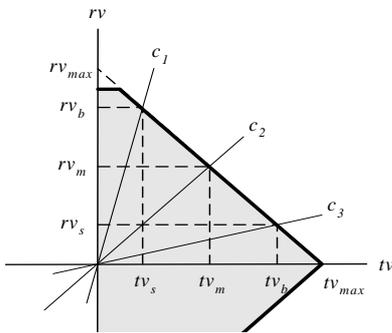


그림 2 회전 속도와 직진 속도의 관계
Fig. 2 The relationship of rv and tv .

그림 2는 로봇의 회전 속도와 직진 속도를 반비례 관계로 두어 로봇에 급격한 방향 전환 동작이 요구되는 경우 로봇의 직진 속도를 줄이고 회전 속도에 대한 요구가 작을 경우 로봇이 신속하게 진행할 수 있게 한다. 그림 2와 같은 관계를 다음의 식 (7)로 표현한다.

$$tv_{req} = \begin{cases} -\beta_1 \cdot \frac{tv_{max}}{rv_{max}} (\beta_2 \cdot rv_{req} - rv_{max}), & rv_{req} > 0 \\ \beta_1 \cdot \frac{tv_{max}}{rv_{max}} (\beta_2 \cdot rv_{req} + rv_{max}), & rv_{req} < 0 \\ tv_{max}, & rv_{req} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

식 (7)에서 β_1 , β_2 는 상수로서 β_1 은 로봇의 회전 속도에 대한 직진 속도의 크기를 결정하고 β_2 는 방향 전환시 로봇 중심점의 고정 또는 이동의 정도를 결정한다. 식 (7)에 의한 직진 속도 tv_{req} 는 다음의 식 (8)을 만족하여야 한다.

$$0 \leq tv_{req} \leq tv_{max} \quad (8)$$

위의 식 (7)과 (8)의 과정으로부터 얻어진 시각 t 에 로봇에 요구되는 회전 속도 $rv_{req}(t)$ 및 직진 속도 $tv_{req}(t)$ 에 대한 명령 주기 Δt 시간 동안의 가속도는 다음 식 (9)와 같이 구한다.

$$\begin{aligned} ra_{req}(t) &= (rv_{req}(t) - rv(t-1)) / \Delta t \\ ta_{req}(t) &= (tv_{req}(t) - tv(t-1)) / \Delta t \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} ra_{min} \leq ra_{req} \leq ra_{max}, \quad ra_{min} &= -ra_{max} \\ ta_{min} \leq ta_{req} \leq ta_{max}, \quad ta_{min} &= -ta_{max} \end{aligned} \quad (10)$$

시각 t 에 로봇에 주어질 속도 명령은 위의 식 (10)의 가속도 제한 조건을 만족하는 ra_{req} , ta_{req} 로부터 다음 식 (11)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} rv(t) &= rv(t-1) + ra_{req} \cdot \Delta t, \\ tv(t) &= tv(t-1) + ta_{req} \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (11)$$

그림 3은 레이저 스캐닝 센서로부터 얻어진 검출 결과를 히스토그램으로 표현하여 무충돌 구간 CFS와 충돌 구간 CS를 탐색하여 최적의 조향각을 얻어내는 과정이다.

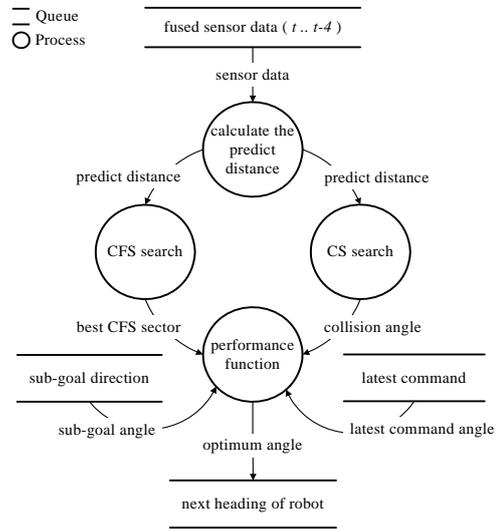


그림 3 방향 구간 탐색 방법의 데이터 흐름도
Fig. 3 Data flow diagram of direction section search method

4. 실험 및 고찰

4.1. 이동 로봇의 사양 및 실험 환경 모델

본 논문에서 제안한 방법을 실험하기 위하여 그림 4와 같은 자율 이동 로봇을 사용하였다.



그림 4 개발한 자율 이동 로봇
Fig. 4 Developed autonomous mobile robot.

이 로봇은 초음파 및 레이저 센서로 구성된 센서부와 차륜 방식의 2대의 AC 서보 모터를 가진 구동부, 전원부 그리고 로봇 프레임 등으로 이루어져 있다. 로봇의 센서부는 초음파 센서와 레이저 스캐닝 센서로 이루어져 있고, 초음파 센서는 충돌 방지를 위하여 시스템의 하위 단계 검출(low level sensing)에 사용되며 제안한 알고리즘에서는 레이저 스캐닝 센서의 정보만을 이용한다. 로봇의 단위 시스템들은 산업용 컴퓨터로 통합하였으며, MS-WINDOWS 98® 기반에서 C++ 언어로 작성한 운영 소프트웨어로 구동된다. 로봇 시스템의 주요 사양을 표 1에 정리하였다.

표 1 개발한 이동 로봇의 사양
Table 1 Specification of developed mobile robot.

Item	Contents
Diameter×Height [cm]	62 × 80
Weight & payload [kg]	140 / 100
Max. t-acc. / r-acc. [m/s ²]	1.2 / 1.25
Max. Trans. speed [m/s]	0.63
Encoder resolution [counts/cm]	1194
Number of wheel / Drive type	2 wheel differential
Battery Capacity [W-hour]	780
Main controller CPU	Pentium-III 700MHz

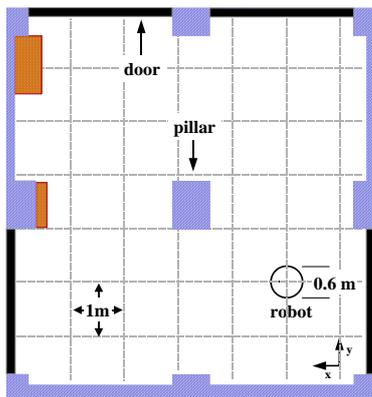


그림 5 실험 환경 모델
Fig. 5 Experimental environment model.

제안한 방법을 실제 로봇에 적용하여 실험을 수행할 환경 모델은 그림 5와 같이 벽과 기둥으로 구성된 사각형 공간으로 정하였다. 로봇의 실시간 충돌 회피 성능은 이 실험 환경에서 주변을 인식하여 충돌하지 않고 최적의 경로를 찾아 이동하는 배회 동작(wandering)을 평가함으로써 입증한다.

4.2. 제한 조건 및 가중치의 설정

로봇의 안정적인 주행 동작을 위해 로봇의 속도 및 가속도에 제한 조건을 둔다. 로봇의 직진 속도와 회전 속도에 대한 제한 조건은 식 (12)와 같고 직진 가속도 및 회전 가속도에 관한 제한은 식 (13)과 같다.

$$\begin{aligned} 0.0[m/s] &\leq tv \leq 0.1256[m/s] \\ -0.1395[rad/s] &\leq rv \leq 0.1395[rad/s] \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} -0.0628[m/s^2] &\leq ta \leq 0.0628[m/s^2] \\ -0.0279[rad/s^2] &\leq ra \leq 0.0279[rad/s^2] \end{aligned} \quad (13)$$

위 식 (12)의 속도 제한 조건에 따라 로봇의 중심점은 후진하지 않으며 급가속, 감속 그리고 과도한 회전 동작 등을 방지할 수 있다. 본 실험에서 사용되는 가중치는 예측 거리 가중치, 속도 가중치 그리고 성능 함수의 가중치 등으로 구분된다. 식 (7)의 속도 결정 과정에서 사용되는 β₁은 직진 속도의 전체적인 크기를 조절하는 역할을 하며 β₂는 회전 속도량의 반영 정도를 결정한다. β₂가 1에 가까워질수록 로봇의 회전 반경은 작아지며 0에 가까울수록 회전 반경은 커져서 장애물과의 충돌 가능성이 높아진다. 본 논문에서는 β₁을 2.0으로 하고 β₂를 0.9로 하여 실험하였다.

4.3 실험 및 고찰

본 논문의 모든 실험에서 로봇의 궤적은 목표 방향을 고려하지 않고 장애물에 대한 회피 동작과 개방 공간에서 최적의 방향을 탐색하는 결과만을 보인다. 실험 1에서 사용한 성능 평가 함수의 가중치는 표 2와 같으며 로봇의 주행 결과는 그림 6과 같다.

표 2 성능 함수의 가중치(실험 1)
Table 2 Weights of performance function(Exp. 1)

situation	weight			
	α _{safe}	α _{goal}	α _{mov}	α _{colli}
CS	0.4	0.0	0.0	-0.6
non CS	0.4	0.0	0.0	0.0
max. CFS threshold	3.0 [m]			

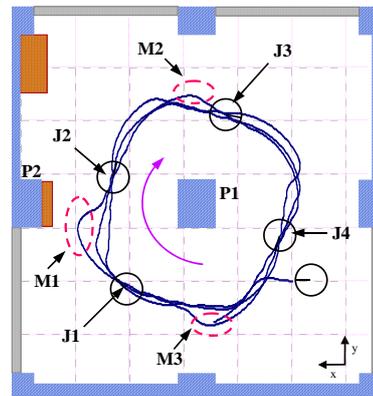


그림 6 로봇의 주행 결과(실험 1)
Fig. 6 Robot trajectory(Exp. 1).

그림 6은 실험 1의 결과이다. 로봇이 형성한 전체 궤적 중 보편적인 궤적으로부터 이탈 현상을 보인 M1은 1차 회전에서 나타났으며 M2, M3는 2차 회전에서 나타났다. M1은 개방된 공간에서 가속된 로봇이 기둥 P2에 의하여 급격하게 방향을 전환한 결과이며 M2, M3 또한 각각의 위치에서 정면의 돌출된 장애물에 따른 급격한 방향 전환의 결과이다. 이탈 지역 M 중에서 로봇이 진행하게 될 공간의 크기가 가장 큰 곳은 M2로서 이 공간이 넓고 로봇이 공간의 중앙을 향하는 경우 과도한 회전이 적게 나타났다.

또한 이탈 궤적은 로봇이 회전을 2, 3회 반복함에 따라 점차적으로 줄어들 수 있다. 동일한 실험 환경에 대하여 로봇의 주행 궤적이 상이하게 나타난 원인은 첫째, 로봇이 매 회전마다 주변 환경을 검출한 시각 및 위치의 차이가 있기 때문이며 둘째, 로봇 바퀴의 미끄러짐이나 주행 노면의 상태 그리고 로봇 구동부 부품의 체결 정밀도 등에 따르는 오차로 요약된다. 실험 2에서 사용한 성능 함수 가중치를 표 3에 보였으며 실험 결과는 그림 7과 같다.

표 3 성능 함수의 가중치(실험 2)
Table 3 Weights of performance function(Exp. 2).

situation	weight			
	α_{safe}	α_{goal}	α_{mov}	α_{colli}
CS	0.3	0.0	0.5	-0.7
non CS	0.7	0.0	0.5	0.0
max. CFS threshold	2.5 [m]			

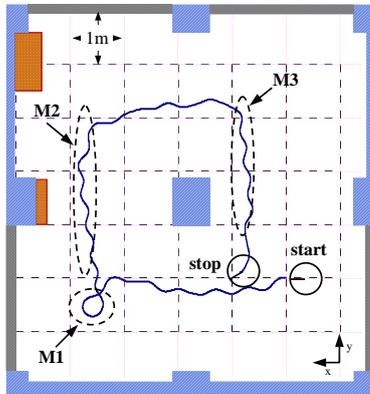


그림 7 로봇의 주행 결과(실험 2)
Fig. 7 Robot trajectory(Exp. 2).

그림 7에서 M1 지역에서의 로봇의 동작은 무충돌 구간 CFS의 탐색 임계치를 3.0[m]에서 2.5[m]로 줄여준 결과이며, 이는 전체적인 로봇의 궤적에 진동을 야기하였다. 그림 6의 실험 결과에 비해 그림 7의 실험 결과에서 빈번하게 나타난 로봇 궤적의 진동 현상은 속도 및 가속도의 제한, 탐색 임계치의 축소(3.0[m] → 2.5[m]), 방향 변화 가중치 α_{mov} 의 확대(0.0 → 0.5)의 영향으로 해석된다. M2와 M3에서 공간의 측면으로 편중되어 진동 궤적을 보인 원인은 로봇이 개방된 공간의 중앙부로 진행하기 위해 비교적 큰 회전이 필요함에도 불구하고 방향 변화 가중치 α_{mov} 에 의해 로봇의 방향 전환에 한계가 있었기 때문이다. 따라서 다음 실험 3에서는 로봇의 방향 전환 동작이 실험 2 보다 더 원활하도록 하기 위해 α_{mov} 를 0.25로 줄여보았다. 그리고, CFS 임계치를 3.0[m]로 재조정하였다. 실험 3의 가중치와 주행 결과는 각각 표 4 및 그림 8과 같다. 그림 8에서 M1과 M2는 실험 2에서와 같이 로봇이 진행하는 방향에 넓게 형성된 공간의 영향이다. 그러나 무충돌 구간 CFS의 임계치를 3.0[m]로 함에 따라 실험 2의 결과와는 달리 로봇이 좌측 하단의 구석까지 진행하여 회전하지 않고 좌측 상단의 넓은 공간 쪽으로 선회하였다.

다음 표 5는 실험 4에서 사용한 가중치이다. 실험 4에서

는 안전 방향 가중치 α_{safe} 와 방향 변화 가중치 α_{mov} 를 0.3으로 설정하였으며, 그 결과를 그림 9에 나타내었다.

표 4 성능 함수의 가중치(실험 3)
Table 4 Weights of performance function(Exp. 3).

situation	weight			
	α_{safe}	α_{goal}	α_{mov}	α_{colli}
CS	0.3	0.0	0.25	-0.7
non CS	0.7	0.0	0.25	0.0
max. CFS threshold	3.0 [m]			

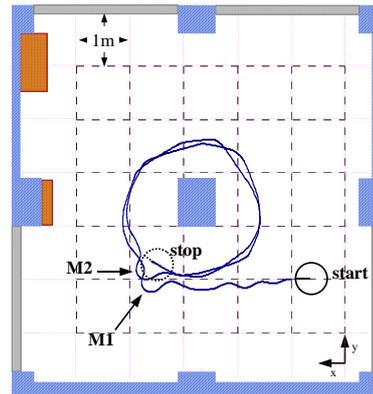


그림 8 로봇의 주행 결과(실험 3)
Fig. 8 Robot trajectory(Exp. 3).

표 5 성능 함수의 가중치(실험 4)
Table 5 Weights of performance function(Exp. 4).

situation	weight			
	α_{safe}	α_{goal}	α_{mov}	α_{colli}
CS	0.3	0.0	0.3	-0.5
non CS	0.3	0.0	0.3	0.0
max. CFS threshold	3.0 [m]			

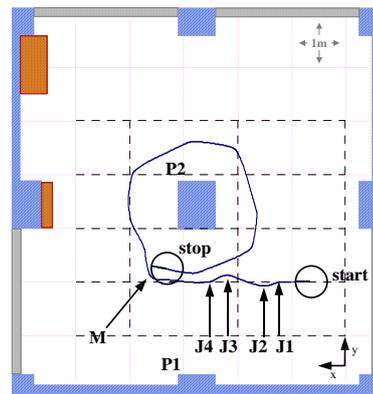


그림 9 로봇의 주행 결과(실험 4)
Fig. 9 Robot trajectory(Exp. 4).

실험 4의 결과는 앞서 수행한 실험 1, 2, 3의 결과에 비해 로봇의 궤적이 가장 안정적인 결과를 보였다. 특히, M1 지역에서 나타났던 보편적인 궤적의 이탈 현상이 현저히 줄고, 기동 P2를 중심으로 회전하는 동작이 로봇의 진행

방향에 있는 넓은 공간을 향하는 특징을 보인 점은 제한한 방향 구간 탐색 방법이 최적 방향 결정하여 로봇의 안정적인 주행을 할 수 있도록 하는 알고리즘의 성능을 잘 보여주는 결과이다. 로봇이 주행을 시작한 직후에 나타난 J1~J4 까지의 방향 전환 동작은 기동 P1과 P2의 검출에 의한 것으로서 급격한 회전 동작이나 진동 궤적으로 해석되지는 않는다.

실험 1~4의 결과로부터 가중치 α_{safe} , α_{mov} 와 CFS 임계치의 변화에 대하여 첫째, 가중치 α_{safe} , α_{mov} 의 비율이 동등한 수준일 경우 안정적인 주행 결과를 보였음을 실험 1과 실험 4의 결과로부터 확인할 수 있었으며 둘째, 센서의 검출 영역과도 관계가 있는 무충돌 구간 CFS의 임계치는 3.0[m]로 설정한 경우가 2.0[m]나 2.5[m]로 설정한 경우보다 안정된 궤적을 보였음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 자율 이동 로봇이 실내 장애물 환경에서 주행하는 경우 장애물에 대한 실시간 충돌 회피 동작의 문제 대하여 로봇이 장애물과 충돌하지 않는 안정적인 회피 동작과 신속한 주행, 유연한 궤적 생성 그리고 효과적인 조향 동작을 계획할 수 있는 새로운 지역 장애물 회피 방법인 방향 구간 탐색 방법을 제안하였다.

방향 구간 탐색 방법은 로봇이 레이저 스캐닝 센서를 통해 검출할 수 있는 최대의 검출 영역에서부터 로봇의 중심점을 향해 순차적으로 임계치를 줄여 가는 동안 나타나는 무충돌 구간과 충돌 구간을 정의함으로써 구성된다. 무충돌 구간, 충돌 구간 그리고 목표 방향과 단위 명령 주기 동안의 방향 변화량 등은 로봇의 최적 조향 방향을 결정하기 위한 성능 함수에 반영하였으며, 결정된 최적의 조향 방향은 회전 속도와 직진 속도로 구분하여 로봇의 배회 동작에 적용한 결과 로봇은 주행하는 실내 공간에서 가장 넓은 지역을 효율적으로 탐색하여 진행하는 성능을 보였다. 향후 본 연구 결과가 작업 환경에 대한 전역 경로 계획, 지도 작성 및 위치 평가 과정에서 효과적으로 사용될 수 있도록 개선이 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Borenstein J. and Koren, Y., "The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots", IEEE Transaction on Robotics Automation, Vol. 7, no. 3, pp. 278-288, June 1991.

[2] Borenstein, J. and Koren, Y., "Obstacle Avoidance with Ultrasonic Sensors", IEEE Jour. of Robotics and Automation, Vol. RA-4, no. 2, pp. 213-218, 1988.

[3] Borenstein, J. and Feng, L., "Where am I? Sensors and Method for Autonomous Mobile Robot Positioning", 1995.

[4] Ko, N. Y. and Simmons, R. G., "The Lane-curvature Method for Local Obstacle Avoidance", International Conference in Intelligent Robots and Systems (IROS 1998), Victoria, B.C., Canada, Oct. 1998.

[5] Borenstein J. and Koren, Y., "Real-time Obstacle A

voidance for Fast Mobile robot", IEEE Tran. on SMC, Vol. 19, no. 5, pp. 1179-1187, Sep./Oct. 1989.

[6] 고낙용 · 김재열, "이동 로봇의 실시간 장애물 회피를 위한 새로운 방법", 한국공작기계학회지, 4호, 제7권, 1998.

저 자 소 개



김 성 철 (金 成 喆)

1971년 10월 19일생. 1993년 조선대 공대 제어계측공학과 졸업(학사). 1995년 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2002년 2월 동 대학원 제어계측공학과 졸업(박사)

Tel: 062)230-7766, Fax: 062)224-1987

E-mail : ksc1019@shinbiro.com



강 원 찬 (姜 園 贊)

1970년 12월 23일생. 1993년 조선대 공대 제어계측공학과 졸업(학사). 2000년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2000년~현재 동 대학원 제어계측공학과 박사과정

Tel: 062)230-7764, Fax: 062)230-7106

E-mail : kwc89@shinbiro.com



김 동 옥 (金 桐 玉)

1971년 5월 1일생. 1994년 조선대 공대 제어계측공학과 졸업(학사). 1996년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2002년 8월 동 대학원 제어계측공학과 졸업(박사)

Tel: 062)230-7764, Fax: 062)230-7106

E-mail : dongok7@netian.com



서 동 진 (徐 銅 辰)

1974년 12월 22일생. 2000년 조선대 공대 제어계측공학과 졸업(학사). 2002년 조선대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 제어계측공학과 박사과정

Tel: 062)230-7766, Fax: 062)224-1987

E-mail : commidi@nownuri.net



고 낙 용 (高 樂 溶)

1961년 3월 13일생. 1985 서울대 공대 제어계측공학과 졸업(학사). 1987 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(석사) 1993 동 대학원 제어계측공학과 졸업(박사). 현재 조선대학교 정보제어계측공학부 교수

Tel: 062)230-7108, Fax: 062)224-1987

E-mail : nyko@mail.chosun.ac.kr