

## 레이저 스캐닝 센서를 이용한 이동 로봇의 지역 장애물 회피 방법

김성철<sup>1</sup>, 김원배<sup>2</sup>

조선대학교 대학원 제어계측공학과\*, 송원대학 디지털전기정보과\*\*

### Local Obstacle Avoidance Method of a Mobile Robots Using LASER scanning s

Sung Cheol Kim and Won Bae Kim

**Abstract** - 본 논문에서는 자율 이동 로봇의 장애물에 대한 실시간 충돌 회피 동작의 문제에 대하여, 로봇이 장애물과 충돌하지 않는 안정적인 회피 동작과 유연한 궤적 생성, 그리고 효과적인 최적의 조향 동작을 계획할 수 있게 하기 위하여 레이저 스캐닝 센서를 이용한 지역 장애물 회피 방법을 제안한다. 레이저 센서를 이용한 로봇의 안전한 방향 탐색은 자율 이동 로봇이 검출할 수 있는 최대의 검출 영역에서부터 로봇의 중심점을 향해 순차적으로 임계치를 줄여가는 동안 나타나는 무충돌 안전 구간과 충돌 구간을 정의함으로써 구성된다. 제안한 안전 방향 구간 탐색에 의한 로봇의 장애물 회피 동작의 성능 실험은 최적 방향의 탐색 성능을 평가하며, 실제의 이동 로봇을 이용하여 실험한 결과에 대하여 고찰하고 결론을 내린다.

운 방법을 제안하고자 한다.

### 2. 방향 구간 탐색

지역 장애물 회피 방법 중 VFH 방법<sup>[5,6]</sup>은 로봇의 운동 영역에 대한 측정이 초음파 센서를 통해 이루어지는 점에 착안한 방법이다. 이 방법은 검출 데이터의 불확실성을 줄이기 위한 데이터의 누적 과정과 플라 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 장애물 밀도로부터 얻어낸 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. 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. 따라서 실내 공간에서 이동 로봇의 장애물 회피를 위한 문제는 다음과 같이 정리된다.

### 1. 서 론

자율 이동 로봇의 경로 계획 문제는 작업 공간 전체에 대한 전역 경로의 설정 문제와 이미 정해진 전역 경로를 따라 이동하는 경로에 존재하는 지역 장애물에 대한 충돌 회피를 도모할 수 있는 지역 경로 계획 문제 등의 두 가지로 구별된다. 이 중, 이동 로봇의 지역 장애물 회피 문제는 로봇이 사용하는 센서 정보, 그리고 회피 알고리즘에 따라 그 성능이 결정된다. 따라서 실제 환경을 정확하게 인식할 수 있는 센서의 사용과, 얻어진 환경 정보로부터 회피 동작에 유용한 속도 및 방향 명령을 얻어 낼 수 있는 충돌 회피 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

기준에 제안된 센서 정보에 기반을 둔 이동 로봇의 지역 장애물 회피 방법은 센서 데이터의 누적을 통해 데이터의 불확실성을 줄이는 방법<sup>[1,2,3]</sup>과 다소의 불확실성을 감안하여 회피 동작 알고리즘이 장애물 환경을 효과적으로 근사화 할 수 있도록 하는 방법<sup>[4]</sup>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 동작 계획 단계에서 반영되어야 함은 물론이며, 이로부터 안정적이고 유연하며 신속한 궤적을 보일 수 있어야 한다. 그러므로 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 새로

- ① 초음파 센서의 불확실성, 구조적 검출 오류의 문제
- ② 최적의 진행 방향을 계산하였더라도 로봇의 위치에 따라 결정되는 방향이 수시로 변화하고, 이로 인해 로봇이 과도한 동작을 보임에 따라 로봇 궤적에 진동 특성이 나타나는 문제
- ③ 운동 특성이 잘 반영된 유연한 궤적 생성의 문제

이상의 문제에 대하여 실내 공간에서 무충돌 방향을 탐색하는 성능과 유연한 궤적 성능을 얻어내기 위한 안전 방향 구간 탐색 방법을 제안하고 실험한 결과에 대하여 논한다. 이를 위하여 센서 데이터에 대한 가중 평균의 방법으로 로봇의 이동성을 반영한 예측 거리를 이용하여 예측 히스토그램(prediction histogram)을 구성한다.

히스토그램에서 로봇의 조향을 위한 안전 구간(collision free section; CFS) 및 충돌 구간(collision section; CS)을 정의한다. 로봇은 안전 구간 내의 한 각

도를 조향각으로 결정하며, 이 때 안전 구간 내의 임의의 각에 대하여 로봇의 충돌 구간, 목표 방향, 명령 변화량 등을 사용하여 일정한 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 종류의 임계치를 사용한다. 무충돌 구간을 위한 임계치는 센서의 최대 검출 거리와 최소 검출 거리의 범위 내에서 일정한 간격만큼 감소하며 변화한다. 충돌 구간을 구하기 위한 임계치는 로봇이 장애물과 접촉하지 않도록 하는 값으로 정한다. 식 (1)에 CFS와 CS를 구하기 위한 임계치  $\tau_{cfs}$  와  $\tau_{cs}$  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)

CFS 임계치  $\tau_{cfs}$ 를 변화시켜가며 얻은 무충돌 구간 CFS의 집합  $M_{CFS}$ 는 다음 식 (2)와 같다.

$$M_{CFS} = \{CFS_0, \dots, CFS_n\}, \quad CFS_k = \{\theta_i, \dots, \theta_{i+W_k}\}$$

$$k = \max\{W_0, \dots, W_n\} \cap (\overline{CFS_k} > \text{robot radii})$$
 (2) (3)

식 (3)을 만족하는  $k$ 를 가진 구간  $CFS_k$ 는 검출된 영역 내에서 로봇의 폭 보다 크고 가장 멀리 있는 무충돌 구간이 된다. 충돌 구간 CS는 충돌 구간 임계치  $\tau_{cs}$ 에서 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 식 (4)로부터 1개 이하로 결정되며, 방향 결정 단계에서 사용되는 충돌각은 무충돌 구간이 존재하는 방향에 따라 충돌 구간의  $\theta_c$  또는,  $\theta_{c+W}$ 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  $\theta$ 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.

$$f_b(\theta) = -\alpha_{\text{colli}} \cdot P_{CS}(\theta) + \alpha_{\text{goal}} \cdot P_{GD}(\theta) + \alpha_{\text{mov}} \cdot P_{CD}(\theta) + \alpha_{\text{safe}} \cdot P_{CFS}(\theta),$$
 (5)

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

$P_{CS}$ ,  $P_{GD}$ ,  $P_{CD}$ 는 각각 충돌각, 목표 방향, 그리고 최

근 명령각 등과  $CFS_k$  구간 집합을 구성하는 각도들이 보이는 편차를  $CFS_k$ 구간의 폭으로 정규화한 항이다. 그림 1은 본 논문에서 제안하는 최적 방향을 결정에 필요한 개념을 나타낸 것이다.

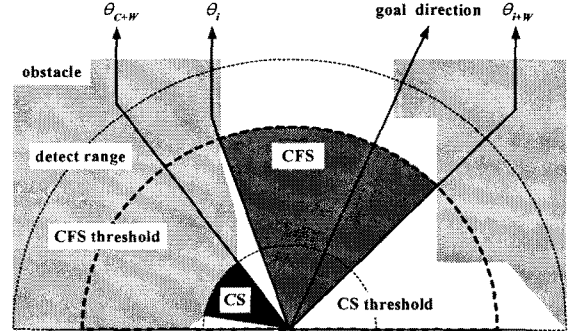


그림 1. 최적 방향의 결정

위의 식 (5)의 결과를 최대화 하는 무충돌 구간  $CFS_k$  내의  $\theta$ 가 로봇이 진행하여야 할 최적의 방향으로 결정된다.

#### 3.2 최적 방향의 속도 공간 명령화

예측 히스토그램으로부터 구간을 탐색하고, 성능 함수를 통해 얻어진 최적 조향각을 명령 주기 시간  $\Delta t$ 로 나누어 로봇에 요구되는 회전 속도  $rv_{req}$  [rad/s]를 정의하며, 회전 속도에 따라 결정되는 직진 속도를  $tv_{req}$ 라한다<sup>[7]</sup>. 여기에 과도한 로봇의 회전 동작을 방지하기 위한 회전 속도의 제한 조건을 부여한다. 회전 속도의 최대값과 최소값을 각각  $rv_{max}$ ,  $rv_{min}$ 라하며 회전 속도의 제한 조건은 식 (6)과 같다.

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

회전 속도의 제한 조건을 만족하는  $rv_{req}$ 로부터 로봇에 요구되는 직진 속도를  $tv_{req}$ 를 구하기 위하여 다음 그림 2와 같은 관계를 이용한다.

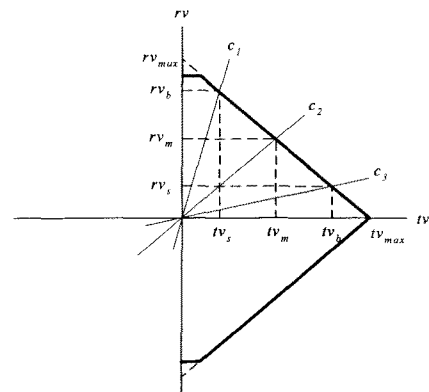


그림 2. 회전 속도  $rv$  와 병진 속도  $tv$ 의 관계

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

#### 4. 실험 및 고찰

##### 4.1. 이동 로봇의 사양 및 실험 환경 모델

제안한 센서 정보 기반의 실시간 지역 장애물 회피 방법을 실험하기 위하여 사용한 로봇은 그림 4와 같다. 이 로봇은 초음파 및 레이저 센서로 구성된 센서부와 차륜 방식의 2대의 AC 서보 모터를 가진 구동부 및 전원부, 그리고 로봇 프레임 등으로 이루어져 있다. 로봇을 구성하는 단위 시스템은 산업용 컴퓨터를 주 제어기로 하여 통합하였으며, Microsoft WINDOWS 98<sup>®</sup> 기반에서 C++ 객체 지향 언어로 프로그램된 운영 소프트웨어로 구동된다. 로봇 시스템의 주요 사양을 표 1에 정리하였다.

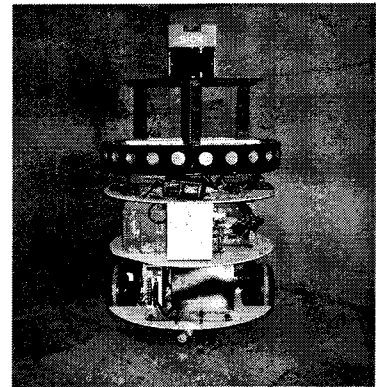


그림 4. 실험에 사용된 자율 이동 로봇

표 1. 개발한 이동 로봇의 사양

Item	Contents
Diameter×Height [cm]	62 × 80
Weight & payload [kg]	140 / 100
Maximum acceleration: trans. & rotate. [m/s <sup>2</sup> ]	1.2 / 1.25
Maximum translational speed [m/s]	0.63
Encoder resolution [counts/cm]	1194
Number of wheel / Drive type	2 wheel differential type
Battery Capacity [W-hour]	780
Main controller CPU	Pentium-III 700MHz

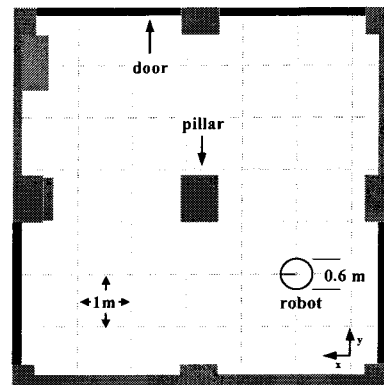


그림 5. 실험 환경 모델

제안한 안전 방향 구간 탐색 방법의 성능을 평가하기 위하여 그림 5와 같은 실험 환경을 모델로 하였다. 이 모델

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

여기서  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ 는 상수이며,  $\beta_1$ 은 로봇의 회전 속도에 대한 직진 속도의 비를 결정하며,  $\beta_2$ 는 상수이며, 방향 전환시 로봇 중심점의 고정 또는 이동의 정도를 결정한다. 식 (7)에 의한 회전 속도  $tw_{req}$ 는 다음의 식 (8)을 만족하여야 한다.

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

위의 식 (7), (8)의 과정으로부터 얻어진 시간  $t$ 에 로봇에 요구되는 회전 속도  $rv_{req}(t)$  및 직진 속도  $tw_{req}(t)$ 에 대한 명령 주기  $\Delta t$ 의 가속도는 다음 식 (9)와 같이 구한다.

$$ra_{req}(t) = (rv_{req}(t) - rv(t-1)) / \Delta t \quad (9)$$

$$ta_{req}(t) = (tw_{req}(t) - tw(t-1)) / \Delta t$$

$$ra_{min} \leq ra_{req} \leq ra_{max}, \quad ra_{min} = -ra_{max} \quad (10)$$

$$ta_{min} \leq ta_{req} \leq ta_{max}, \quad ta_{min} = -ta_{max}$$

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

$$rv(t) = rv(t-1) + ra_{req} \cdot \Delta t, \quad (11)$$

$$tw(t) = tw(t-1) + ta_{req} \cdot \Delta t$$

그림 3은 예측 거리를 이용하여 로봇의 무충돌을 위한 안전 방향 구간을 탐색하고, 여기에서 얻어진 최적 조향각을 얻어내는 프로세스이다.

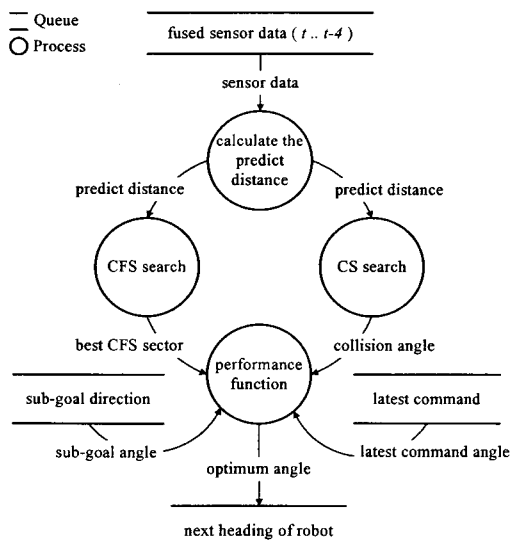


그림 3. 방향 구간 탐색 과정의 데이터 흐름도

에서 로봇은 목표 방향을 고려하지 않고 주행하는 배회 동작(wandering)을 보인다. 제시한 실험 환경 모델에서 개방된 공간에서 안전한 지역으로 진입하는 로봇의 동작을 관찰하며, 유연한 궤적과 반복된 주행이 이루어질 때의 로봇의 궤적을 관찰한다.

#### 4.2. 제한 조건 및 가중치의 설정

로봇의 안정적인 주행 동작을 기대하기 위하여 로봇에 속도 및 가속도에 관한 제한 조건을 둔다. 제안한 안전 방향 구간 탐색 방법으로부터 계산된 로봇의 직진 속도와 회전 속도에 대한 제한 조건은 식 (12)와 같고, 직진 가속도 및 회전 가속도에 관한 제한은 식 (13)과 같다.

$$0.0[\text{m/s}] \leq tv \leq 0.1256[\text{m/s}] \quad (12)$$

$$-0.1395[\text{rad/s}] \leq rv \leq 0.1395[\text{rad/s}]$$

$$-0.0628[\text{m/s}^2] \leq ta \leq 0.0628[\text{m/s}^2] \quad (13)$$

$$-0.0279[\text{rad/s}^2] \leq ra \leq 0.0279[\text{rad/s}^2]$$

위 식 (12)의 속도 제한 조건에 따라 로봇의 중심점은 후진하지 않으며, 급가속이나 감속, 또는 과도한 회전 동작 등을 방지할 수 있다. 본 실험에서 사용되는 가중치는 예측 거리 가중치, 속도 가중치, 그리고 성능 함수의 가중치 등으로 구분된다. 예측 거리 가중치와 속도 가중치는 반복 실험을 통해 사전에 결정된 값으로 고정하였으며, 성능 함수의 가중치는 각 실험 모델에 따라 변화시켜가며 최적의 값을 결정한다. 또한 각 실험에 사용한 성능 함수의 가중치는 실험 결과와 함께 제시하여 로봇의 회피 동작에 미치는 영향을 고찰한다. 로봇의 회전 속도 요구량을 참조하여 직진 속도를 결정하는 단계에서 사용하는 속도 결정 가중치는 표 2와 같다.

표 2. 속도 조절에 사용된 가중치

weights	value
$\beta_1$	2.0
$\beta_2$	0.9

표 2의 속도 결정 가중치에서,  $\beta_1$ 은 직진 속도의 전체적인 크기를 조절하는 역할을 하며,  $\beta_2$ 는 회전 속도량의 반영 정도를 결정한다.  $\beta_2$ 가 1에 가까워질수록 로봇의 회전 반경은 작아지며, 0에 가까울수록 회전 반경은 커져서 장애물과의 충돌 가능성이 높아진다. 표 2에서  $\beta_2$ 를 0.9로 정함에 따라 로봇의 직진 속도는 회전 속도 요구를 90%만큼 반영하게 된다.

#### 4.3 실험 및 고찰

4.1 절에서 제시한 실험 모델에 대하여 주행 실험한 결과와 이에 대한 고찰을 서술한다. 로봇의 궤적은, 목표 방향을 고려하지 않으므로 순수하게 장애물에 대한 회피 동작과 개방 공간에서 최적의 방향을 탐색하여 진행한 결과를 보여준다. 이 실험에서 성능 평가 함수에 사용한 가중치는 표 3과 같으며, 로봇의 주행 결과는 그림 6과 같다.

그림 6은 로봇이 사각형 공간의 중앙 기둥을 중심으로 3회 가량 회전한 결과이다. 매 회전마다 로봇의 궤적은 다르게 나타났으나, J1~J4에서 로봇의 궤적이 다시 일치됨을 볼 수 있다. 로봇이 형성한 전체 궤적 중, 보편적인 궤적으로부터 이탈 현상을 보인 지역을 M1, M2, M3로 표시하였다. 이탈 궤적 M1은 1차 회전에서 나타났으며, M2,

M3는 2차 회전에서 나타났다. M1은 개방된 공간에서 가속된 로봇이 기둥 P2에 의하여 급격하게 궤적을 수정한 결과이며, M2, M3 또한 각각의 위치에서 정면의 돌출부에 따른 영향을 받은 유사한 사례이다.

표 3 성능 함수의 가중치(실험 1)

situation	weight			
	$\alpha_{\text{safe}}$	$\alpha_{\text{goal}}$	$\alpha_{\text{mov}}$	$\alpha_{\text{colli}}$
CS	0.4	0.0	0.0	-0.6
non CS	0.4	0.0	0.0	0.0
max. CFS threshold	3000			

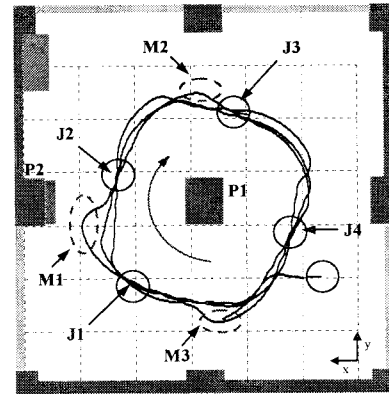


그림 6. 로봇의 주행 결과(실험 1).

이탈 궤적 M1이 M2 및 M3와 다소 크게 나타난 원인은, 이들 지역에서 로봇이 검출한 개방 공간의 크기에서 찾아볼 수 있다. 즉, 이탈 지역 M 중에서 로봇이 진행하게 될 개방 공간의 크기가 가장 큰 곳은 M2로서, 이 공간이 넓고 로봇이 공간의 중앙을 향하여 위치하는 경우 과도한 회전이 적게 나타났다. 또한 이탈 궤적은 로봇이 회전을 2차, 3차 반복함에 따라 점차적으로 줄어들어 볼 수 있다. 동일 지역의 주행에 대하여 로봇의 궤적이 다소간의 차이를 보이는 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 따라 구조적으로 발생하는 위치 평가 오차로 요약된다.

실험 모델의 두 번째 실험 사례에서 사용한 성능 함수 가중치를 표 4에 보였으며, 실험 결과는 그림 7과 같다.

표 4. 성능 함수의 가중치(실험 2)

situation	weight			
	$\alpha_{\text{safe}}$	$\alpha_{\text{goal}}$	$\alpha_{\text{mov}}$	$\alpha_{\text{colli}}$
CS	0.3	0.0	0.5	-0.7
non CS	0.7	0.0	0.5	0.0
max. CFS threshold	2000			

본 실험에서 CFS 최대 임계치는 1차 실험의 3.0[m]보다 작은 2.5[m]로 조정하였으며, 충돌 구간이 검색된 경우와 검색되지 않은 경우로 나누어 가중치를 달리하였다. 로봇의 방향 변화량에 대한 가중치는 0.5로 하였으며, 안전 방향에 대한 가중치  $\alpha_{\text{safe}}$ 도 충돌 구간 CS가 검색되었을 때 (0.3)와 검색되지 않았을 때(0.7)로 다르게 설정하였다. 그림 5.5에서 M1 지역에서의 로봇의 동작은 안전 방향 구간 CFS의 탐색 임계치를 3[m]에서 2[m]로 줄여준 결과이다.

그림 6의 실험 결과와 비교하여 그림 7의 결과에서 로봇

의 궤적에 진동이 더 많은 원인은 첫째, 속도 및 가속도의 제한을 식(12), (13)과 같이 두었으며 둘째, 성능 함수에서 방향 변화 가중치  $\alpha_{mov}$  를 0.5로 두었기 때문이다. 또한 CFS 임계치를 줄여준 결과이기도 하다.

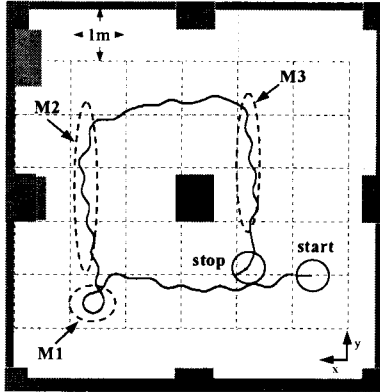


그림 7. 로봇의 주행 결과(실험 2).

위 그림 7의 궤적 M2와 M3에서, 공간의 측면으로 편중되어 진동하는 궤적을 보인 원인은 로봇이 개방된 공간의 중앙부로 진행하기 위하여 비교적 큰 회전이 필요함에도 불구하고, 방향 변화 가중치  $\alpha_{mov}$  에 의해 로봇의 방향 전환에 한계가 있었기 때문이다. 따라서 다음 실험 사례에서는 로봇의 방향 전환이 본 실험 보다 더 원활하도록  $\alpha_{mov}$  를 0.25로 줄여서 실험해 보았다. 그리고, 광범위한 영역에서 실내 정보를 검출하여 로봇이 진행할 수 있도록 CFS 임계치를 3.0[m]로 재조정하였다. 실험 모델에 대하여 표 5의 가중치를 주어 실험한 세 번째 사례를 그림 8에 나타내었다.

표 5 성능 함수의 가중치 (실험 3)

situation	weight			
	$\alpha_{safe}$	$\alpha_{goal}$	$\alpha_{mov}$	$\alpha_{colli}$
CS	0.3	0.0	0.25	-0.7
non CS	0.7	0.0	0.25	0.0
max. CFS threshold	3000			

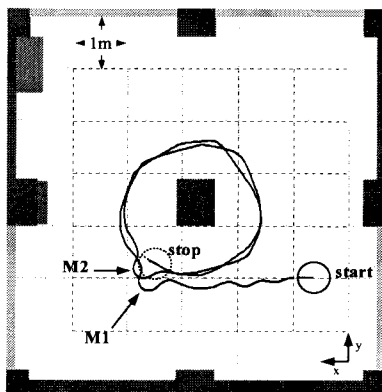


그림 8. 로봇의 주행 결과(실험 3).

위의 그림 8에서 M1과 M2는 그림 7의 실험에서와 같이 로봇이 진행하는 방향에 넓게 형성된 공간의 영향이다. 그러나 CFS의 임계치를 3[m]로 함에 따라 그림 7의 실험 결과와 달리 로봇이 좌측 하단의 구석까지 진행하여 회전하지 않고 좌측 상단의 넓은 공간 쪽으로 선회하였다. 그림

8의 로봇 궤적에서 특징적인 점은 로봇이 공간의 중앙에 위치한 기둥에 근접하여 주행한 점인데, 이는 로봇이 기둥을 지나치는 동시에 곧바로 로봇의 우측 방향으로 넓게 검출된 영역으로 진행하였기 때문이다.

다음 표 6은 그림 9의 실험에서 사용한 가중치이다. 이 실험에서는 안전 방향 가중치  $\alpha_{safe}$  와 방향 변화 가중치  $\alpha_{mov}$  를 0.3으로 주어 실험한 결과이다.

표 6. 성능 함수의 가중치 (실험 4)

situation	weight			
	$\alpha_{safe}$	$\alpha_{goal}$	$\alpha_{mov}$	$\alpha_{colli}$
CS	0.3	0.0	0.3	-0.5
non CS	0.3	0.0	0.3	0.0
max. CFS threshold	3000			

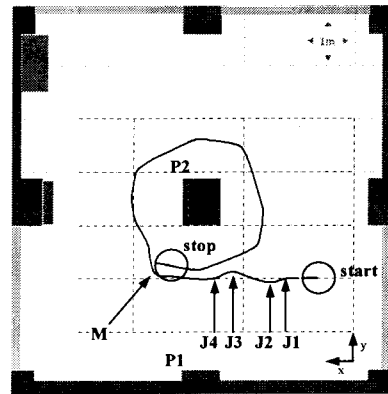


그림 9. 로봇의 주행 결과(실험 4)

앞선 실험 사례와 비교하여 로봇의 궤적은 가장 안정적인 결과를 보였다. 특히, M 지역에서 보편적인 궤적을 이탈하던 현상은 현저히 줄었고, 기둥 P2를 중심으로 회전하는 동작이 로봇의 전방에 개방된 넓은 공간을 향하는 특징을 보인 점은 제한한 안전 방향 구간 탐색 방법의 최적 방향 결정 성능을 잘 보여주는 경우이다. 로봇의 출발 직후 나타난 네 차례의 방향 전환 동작 J1~J4는 기둥 P1과 P2의 영향이므로 급격한 회전 동작이나 진동 궤적으로 보기는 어렵다.

## 5. 결 론

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

방향 구간 탐색 방법은 센서의 정보와도 밀접한 관련성을 가져 로봇이 이동하는 패턴을 반영한 예측 거리를 구하여 환경 정보를 구성한다. 안전 방향 구간 탐색 방법은 자율 이동 로봇이 검출할 수 있는 최대의 검출 영역에서부터 로봇의 중심점을 향해 순차적으로 임계치를 줄여가는 동안 나타나는 무충돌 안전 구간과 충돌 구간을 정의함으로써 구성된다. 안전 구간 및 충돌 구간, 그리고 목표 방향과 단위 명령 주기 동안의 방향 변화량 등은 로봇의 최적 조향 방향을 결정하기 위하여 성능 함수에 반영되며, 이 네 가지 요소에 대한 반영 정도는 각각의 가중치로 조정된다.

최적 조향 방향이 결정되어 로봇의 회전 속도 요구량을 계산한 후, 속도 및 가속도 제한 조건과 장애물에 대한 여유로운 회피 동작이 구현될 수 있도록 로봇의 속도 공간에서 직진 속도와 회전 속도의 명령을 구하여 로봇의 구동 명령으로 사용하는 방법이다.

본 논문에서 제안한 자율 이동 로봇의 지역 장애물 회피를 위한 안전 방향 구간 탐색 방법은 로봇의 효과적인 무충돌 방향을 제시할 뿐 만 아니라, 이동하는 로봇이 가진 동적 특성을 잘 반영하는 방법이다. 실험에서 최적 방향을 결정하는 성능 평가 함수의 가중치들 중 안전 방향에 대한 가중치  $\alpha_{safe}$ 의 크기를 목표 방향에 대한 가중치  $\alpha_{goal}$ 의 크기보다 2배 이내로 크게 하였을 경우 신속한 장애물 구간의 통과 뿐 만 아니라, 유연한 궤적과 충돌 가능성이 적은 안정적인 주행이 가능함을 확인하였다.

또한, 안전 방향 구간 탐색 방법을 로봇의 배회 동작에 적용한 경우, 로봇은 개방된 사각형의 공간에서 가장 넓은 지역을 효율적으로 추종하는 성능을 보였으며, 최적 방향 탐색이나 지역 장애물 회피 동작 모두 로봇의 방향 변화량에 대한 가중치의 영향이 절대적으로 작용함을 알 수 있었다.

이상으로, 본 연구를 통해 제안한 안전 방향 구간 탐색 방법이 실내의 장애물 환경에서 효율적인 진행 방향을 탐색하여 로봇의 장애물에 대한 무충돌 동작이 이루어짐을 확인하였으며, 향후 본 연구 결과가 작업 환경에 대한 지역 경로 계획, 지도 작성, 그리고 위치 평가의 기능과 결합되어 이동 로봇의 자율 주행 동작을 구현 할 수 있도록 지속적인 연구가 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* 7(3): 278-288, June, 1991.
- [2] Borenstein, J. and Koren, Y., "Obstacle Avoidance with Ultrasonic Sensors," *IEEE Journal of Robotics and Automation RA-4(2)*: 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. 13-17, 1998.
- [5] Borenstein J. and Koren, Y., "The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots," *IEEE Transaction on Robotics Automation* 7(3): 278-288, June, 1991.
- [6] Borenstein J. and Koren, Y., "Real-time Obstacle Avoidance for Fast Mobile robot," *IEEE Transaction on SMC* 19(5): 1179-1187, Sep./Oct. 1989.
- [7] 고낙용 · 김재열, "'이동 로봇의 실시간 장애물 회피를 위한 새로운 방법,' 『한국공작기계학회지』 7(4): 1998.