

工學 碩士學位 論文

적외선 센서를 이용한 가상 목표  
생성에 의한 장애물 회피

**Obstacle Avoidance by Sub-Goal Generation Using Infrared  
Sensors**

亞 洲 大 學 校 大 學 院

電 子 工 學 科

中澤 一樹

# 적외선 센서를 이용한 가상 목표 생성에 의한 장애물 회피

**Obstacle Avoidance by Sub-Goal Generation Using Infrared  
Sensors**

指導教授 홍 석 교

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2005年 8月

亞 洲 大 學 校 大 學 院

電 子 工 學 科

나카자와 카즈키

中澤 一樹의 工學 碩士學位 論文을 認准함.

審査委員長 홍 석 교 인

審査委員 이 광 원 인

審査委員 고 영 길 인

亞 洲 大 學 校 大 學 院

2005年 7月 8日

## 감사의 글

2003년 2월 24일, 저의 한국 유학 생활이 시작된 날... 지금도 선명히 기억하고 있습니다. 그 때부터 벌써 2년과 6개월, 이제 아주대학교 대학원을 졸업합니다.

이 한국 유학을 인정해 주시고 따뜻하게 지켜주신 제 부모님께 제일 먼저 감사하고 싶습니다. 저를 언제나 믿어주시고 응원을 해주셔서 진심으로 감사합니다.

대학원 생활은 한국말도 잘 못 하고 전공 공부도 잘 못 했던 저에게는 결코 쉬운 것이 아니었습니다. 그런 저에게 많은 기회를 주시고, 때로는 엄격하게, 때로는 자상하게 지도해 주셨던 홍석교 교수님께 진심으로 감사드립니다.

제가 한국 생활에 힘들었을 때 언제나 저에게 힘을 주셨던 사람은 로봇 응용 연구실 선배님들과 친구 입니다. 공부가 어려웠을 때 정확한 아드바이스를 주셨던 민호형, 영어, 한국어, 전공, 여러 분야에서 항상 도와주셨던 형철이형, 여러가지 일을 서로 토론하고 저에게 여러 가지 알려주시던 문수형, 공부뿐만 아니라 연애에 대해서도 많이 이야기 하고 친구처럼 즐겁게 술을 같이 마셨던 덕기형, 동훈이형, 많은 시간을 같이 보내지 못 했지만 제가 질문 했을 때 항상 자상하게 대답을 해주신 신우형, 한국말 못 했던 저에게 일본말로 적극적으로 이야기 해주셨던 승진이형... 아직 아무것도 몰랐던 1년째, 여러가지 것으로 저를 도와주셨던 래성이형, 준범이형, 현석이형, 진규형, 선일이형, 성섭이형, 용철이형, 호준이형... 졸업을 위해 함께 노력하고 저를 많이 도와주셨던 성민이형, 일택이형, 문제형... 실험실에 저보다 늦게 들어와서 저보다 수업도 많고 너무 바빴을 때도 저를 많이 도와주신 정수형, 희석이형, 재용이형... 그리고 동갑끼리 같이 고생한 회정, 토시, 지옥... 한국에 오기 전보다 몇배도 저를 성장시켜 주신 모두에게 진심으로 감사한다는 말을 전합니다.

한국에 왔을 때 한국말을 하나도 못 했던 제가 아직 부족하지만 지금 이렇게 한국말을 쓰고 있습니다. 이렇게 한국말을 할 수 있도록 되는 위해서는 한국어 선생님들의 도움을 없이 될 수 없었습니다. 박미정 선생님, 민희정 선생님, 이정은 선생님, 선생님께 많이 고생을 시켰지만 언제나 저에게 많은 관심과 사랑을 주시고 친절하게 한국말을 가르쳐주셔서 진심으로 감사합니다. 그리고 한국에 와서 지금까지 만났던 모두 친구들에게 진심으로 감사한다는 말을 전합니다.

가을부터 새로운 생활이 시작되지만 한국에서 배운 모든 것을 잊지 않고 항상 노력하는 사람이 되겠습니다.

2005년 7월 나카자와 카즈키

## 국문 요약

본 논문에서는 이동 로봇이 임의의 위치에서 목표 위치까지 주행하고 있을 때 9개의 적외선 센서를 이용하여 장애물을 감지해 센서의 정보를 조합하여 장애물이 존재하지 않는 방향으로 본래의 목표 위치가 아닌 가상 목표 위치를 생성해 장애물 회피를 하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 유효성의 확인을 위해 모의 실험과 실제 실험을 실행하였다.

# 본 문 차 례

제 1 장 서론	1
제 2 장 이동 로봇 시스템	
2.1 이동 로봇의 기본적인 시스템 구성	3
2.2 추측항법	6
2.3 목표추적	8
제 3 장 가상 목표에 의한 장애물 회피 알고리즘	
3.1 장애물 감지를 위한 센서 시스템	10
3.2 가상 목표 생성 알고리즘	11
1) 왼쪽의 적외선 센서(S2~S4)가 장애물을 감지 했을 경우(Case1)	14
2) 오른쪽의 적외선 센서(S6~S8)가 장애물을 감지 했을 경우(Case2)	14
3) 정면의 적외선 센서(S5)가 장애물을 감지 했을 경우(Case3)	14
4) 정면의 적외선 센서(S5)가 장애물을 감지하지 않았을 경우(Case4)	14
5) 양쪽의 적외선 센서(S1, S9)가 장애물을 감지 했을 경우(Case5)	15
6) 모든 적외선 센서(S1~S9)가 장애물을 감지 했을 경우 (Case6)	15
제 4 장 모의 실험	
4.1 이동 로봇이 만날 수 있는 다양한 환경	17
4.2 모의 실험 결과	18
제 5 장 실험 및 결과	
5.1 이동 로봇의 구성	21
5.2 적외선 센서	23
5.3 실험결과	26
제 6 장 결론	31

참고문헌	.....	32
ABSTRACT	.....	34

## 그 립 차 례

그림	차륜 구동형 이동 로봇의 개략도 .....	3
그림	이동 로봇의 선회 .....	5
그림	추측항법 .....	6
그림	목표추적 .....	9
그림	이동 로봇에 사용된 적외선 센서의 배치도 .....	10
그림	알고리즘 순서도 .....	13
그림	가상 목표 방향 설정 .....	16
그림	이동 로봇이 만날 수 있는 다양한 환경 .....	17
그림	모의 실험 결과 1 .....	18
그림	모의 실험 결과 2 .....	18
그림	모의 실험 결과 3 .....	18
그림	모의 실험 결과 4 .....	18
그림	모의 실험 결과 5 .....	19
그림	모의 실험 결과 6 .....	19
그림	모의 실험 결과 7 .....	19
그림	모의 실험 결과 8 .....	19
그림	모의 실험 결과 9 .....	20
그림	모의 실험 결과 10 .....	20
그림	이동 로봇 전체 시스템 블록도 .....	21
그림	제작된 이동 로봇 .....	22
그림	제어부 .....	22
그림	적외선 센서 (PSD) .....	23
그림	아날로그 출력 전압과 측정된 거리 .....	23
그림	센서 모델링 실험 .....	24
그림	측정된 거리와 아날로그 출력 전압 .....	25
그림	왼쪽 센서가 장애물을 감지한 경우 .....	26
그림	오른쪽 센서가 장애물을 감지한 경우 .....	27



그림	정면의 센서가 장애물을 감지한 경우 .....	27
그림	양쪽 센서가 장애물을 감지한 경우 .....	28
그림	정면의 센서가 장애물을 감지하지 않은 경우 .....	28
그림	모든 센서가 장애물을 감지한 경우 .....	29
그림	정면과 오른쪽 센서가 장애물을 감지한 경우 .....	29
그림	센서가 여러 개의 장애물을 감지한 경우 .....	30

## 표 차 례

표 3.1.	가상 목표의 방향 .....	11
--------	-----------------	----

# 제 1 장 서 론

이동 로봇은 고정된 위치에서 작업을 하는 로봇에 이동성을 부여하여 임의의 위치에서 주어진 작업을 행할 수 있도록 고안된 로봇으로 그 동안 이에 대한 많은 연구가 이루어져왔다. 이동 로봇에 대한 연구는 크게 위치 추정(localization)[1], 경로 계획(path-planning)[2], 경로 추종(path-following)[3], 장애물 회피(obstacle avoidance)[4-6], 지도 형성(Map-building)[7] 등으로 나뉜다. 산업 전반에 걸쳐 무인 자동화가 진행됨에 따라 이동 로봇의 응용 사례가 점차 많아지고 있으며, 이에 수반하여 여러 가지 문제들이 대두되고 있다. 특히 이동 로봇이 복잡한 환경에서 원하는 위치까지 장애물과의 충돌없이 이동하기 위해서는 장애물 회피 기능이 매우 중요하다.

장애물 회피에 필수적인 요소는 주변의 환경을 정확하게 인식하는 것이다. 이동 로봇이 주행하며 환경을 인식하는 과정에서 필요한 중요한 정보는 로봇과 장애물의 상대적인 위치관계이다. Fujimori등[4]은 전방에 배치된 세 개의 적외선 센서로부터 측정된 거리의 차이를 이용하여 여러 경우의 장애물 배치 상태를 알아내고 적응 방법을 이용하여 장애물을 회피하는 알고리즘을 제안하였다. Borenstein과 Koren은 초음파센서를 이용해 장애물과의 거리를 측정해 이를 회피하는 알고리즘을 제안하였고[5], 충돌회피를 위해 이동로봇의 조향을 제어하며 동시에 미지의 장애물을 감지하여 목표까지 전진하는 virtual force field 알고리즘을 제안하였다[6]. 또한 광학센서와 근접센서, 초음파센서를 이용하여 장애물을 감지하고 벽면을 따르면서 장애물을 회피하는 방법이 제안되었고[8][9], 센서에서 얻은 거리정보를 퍼지제어를 이용하여 회피하는 방법[10][11]과 미지의 장애물을 회피 하도록 비홀로노믹(nonholonomic) 제약조건을 갖는 이동 로봇이 potential field를 이용한 알고리즘이 제안되었다[12].

거리를 얻기 위해 많이 쓰이는 센서는 초음파 센서와 적외선 센서의 두 종류가 있다. 초음파 센서는 측정 범위가 넓고 긴 대신에 외부의 영향을 받기 쉬운 단점이

있다. 이에 비해 적외선 센서는 측정 거리는 짧지만 외부의 영향을 덜 받는 장점이 있다.

이 논문에서는 로봇의 장애물 회피를 위해 적외선센서를 이용하여 감지된 장애물의 위치로부터 충돌이 발생하지 않는 위치에 가상의 목표를 임시로 만들어 장애물을 회피하는 알고리즘을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 이동로봇의 기본적인 시스템 구성이 설명되어 있다. 3장에서는 가상 목표 생성에 의한 장애물 회피 알고리즘이 제안되어 있다. 4장에서는 여러 장애물의 배치에 따른 시뮬레이션 결과가 제시되어 있고 5장에서는 실험 결과가 제시되어 있다. 6장에서는 이 논문의 결론과 보완할 점이 제시되어 있다.

## 제 2 장 이동 로봇 시스템

### 2.1 이동 로봇의 기본적인 시스템 구성

바퀴 구동형 이동 로봇은 일반적으로 차륜 구동형 로봇과 자동차형으로 나뉜다. 차륜 구동형 로봇은 2개의 구동기에 의해 독립적으로 구동되는 좌우 대칭적 바퀴와 차체 안정성을 위한 보조바퀴(caster)로 구성된다. 자동차형 로봇은 기본적으로 구동부와 조향부로 구성되어 있다. 전자는 후자에 비하여 구조가 간단하고 선회 반경의 설정이 용이하다는 장점이 있으나, 두 개의 바퀴로 구동과 조향을 하기 때문에 직진성을 보장하기가 어렵다. 반면에 후자인 자동차형 로봇은 직진성을 보장하지만, 기계적 구조가 복잡하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 그림 2.1과 같은 차륜 구동 로봇을 선택하였다.

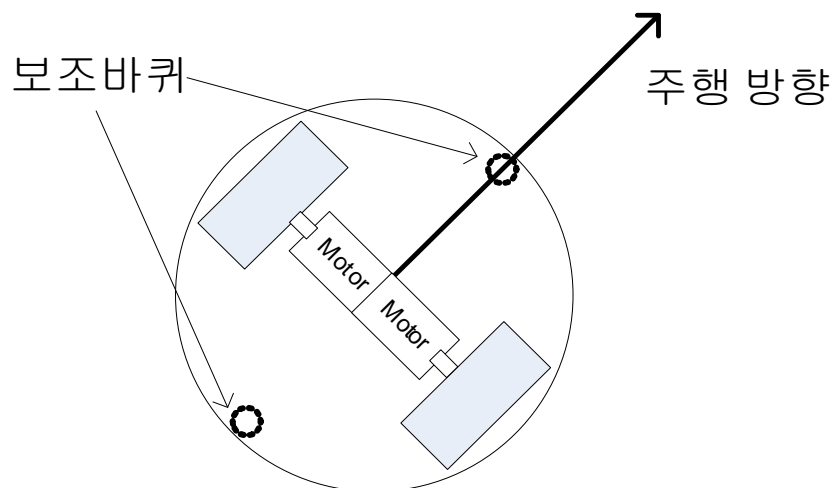


그림 2.1. 차륜 구동형 이동 로봇의 개략도

Fig 2.1. Schematic diagram of a differential-drive mobile robot

차륜 구동형 이동 로봇은 좌우 바퀴의 회전수를 이용하면 로봇의 진행 방향의 속도( $v$ )와 회전 각속도( $\omega$ )를 구할 수 있고,  $v$ 와  $\omega$ 로부터 회전 반경( $R$ ) 또는 곡률( $k$ )이 구해진다. 이 때 이동 로봇의 속도와 회전 각속도는 식(2.1)과 식(2.2)으로 나타낼 수 있다.

$$v = \frac{R_w}{2}(\omega_r + \omega_l) \quad (2.1)$$

$$\omega = \frac{R_w}{T}(\omega_r - \omega_l) \quad (2.2)$$

여기서 좌우의 바퀴의 회전 각속도를 각각  $\omega_l$ ,  $\omega_r$ , 좌우 바퀴 간격(wheel track)을  $T$ , 그리고 바퀴 반경을  $R_w$ 로 한다. 식(2.1)과 식(2.2)를 기구학식으로 표현하면 아래 식(2.3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R_w}{2} & \frac{R_w}{2} \\ \frac{R_w}{T} & -\frac{R_w}{T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

진행 방향 속도( $v$ )와 회전 각속도( $\omega$ )가 주어지면, 식(2.3)부터 좌우 회전 각속도를 식(2.4)과 같이 간단하게 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R_w}{2} & \frac{R_w}{2} \\ \frac{R_w}{T} & -\frac{R_w}{T} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

식(2.4)로부터 진행 방향 속도( $v$ )와 회전 각속도( $\omega$ )가 정해지면 회전 반경( $R$ )과 곡률( $k$ )을 속도( $v$ )와 회전 각속도( $\omega$ )를 이용하여 식(2.5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{v}{\omega}, \quad k = \frac{\omega}{v} \quad (2.5)$$

이때 로봇의 중심으로부터  $R$  만큼 떨어진 위치에 선회의 중심이 생기고,  $R$  이나  $k$  가 양수이면 좌선회, 음수이면 우선회가 된다. 이 관계를 그림 2.2에 표현하였다.

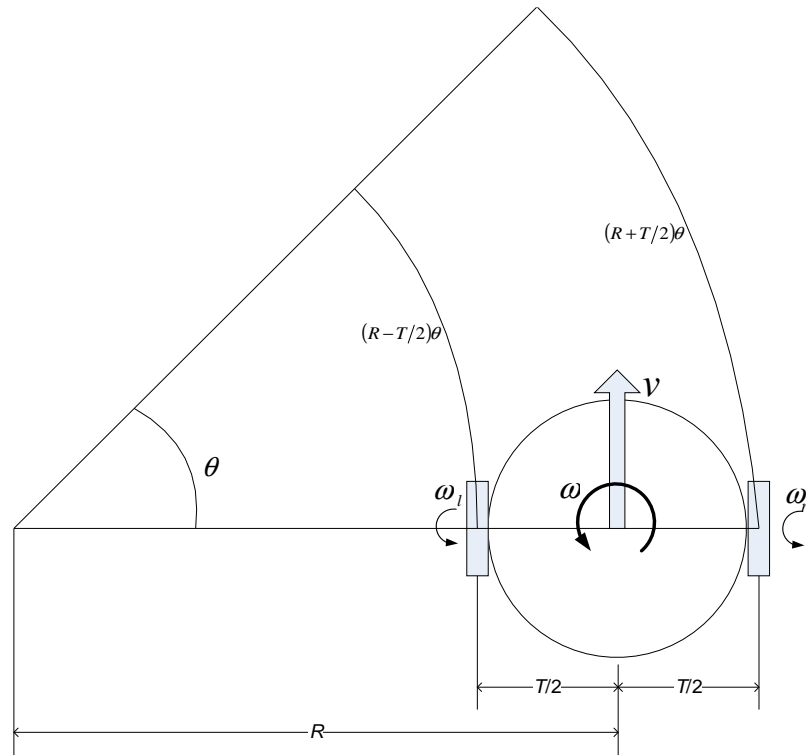


그림 2.2. 이동 로봇의 선회  
Fig 2.2. Gyration of a mobile robot

## 2.2 추측항법

이동 로봇의 현재 위치와 자세 정보는 로봇의 속도( $v$ )와 각속도( $\omega$ )를 적분하여 얻을 수 있다. 이러한 방법을 추측항법(dead-reckoning)이라 한다. 그림 2.3에 추측항법의 원리를 나타내었다.

시간  $t$ 일 때 로봇의 속도를  $v(t)$ 라 하고, 회전 각속도를  $\omega(t)$ 라고 하면 시간  $t$ 에 대한 이동 로봇의 위치와 자세  $((x(t), y(t), \theta(t)))$ 는 식(2.4), (2.5), (2.6)과 같이 표현할 수 있다.

$$\theta(t) = \int_{t_0}^t \omega(\tau) d\tau + \theta(t_0) \quad (2.4)$$

$$x(t) = \int_{t_0}^t v(\tau) \cos(\theta(\tau)) d\tau + x(t_0) \quad (2.5)$$

$$y(t) = \int_{t_0}^t v(\tau) \sin(\theta(\tau)) d\tau + y(t_0) \quad (2.6)$$

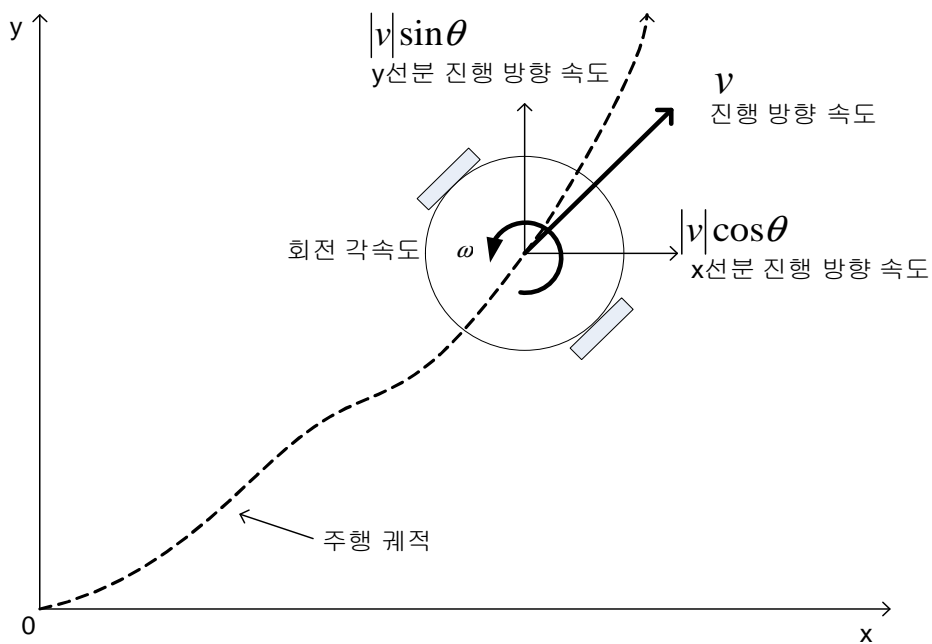


그림 2.3. 추측항법

Fig 2.3. Dead-reckoning

실제로 이동 로봇을 제어하기 위해 제어부는 주어진 시간(sampling time-  $\Delta t$ )마다 속도 ( $v$ )와 회전 각속도 ( $\omega$ )를  $v(N\Delta t)$ ,  $\omega(N\Delta t)$ , ( $N=0,1,2L$ )를 이용하여 측정해야 한다. 이 것을 이용하면 식(2.7), (2.8), (2.9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta(\tau_N) = \omega(\tau_N)\Delta t + \theta(\tau_{N-1}) \quad (2.7)$$

$$x(\tau_N) = v(\tau_N)\cos(\theta(\tau_N))\Delta t + x(\tau_{N-1}) \quad (2.8)$$

$$y(\tau_N) = v(\tau_N)\sin(\theta(\tau_N))\Delta t + y(\tau_{N-1}) \quad (2.9)$$

위 세 식은 각각 (2.4), (2.5), (2.6)의 근사식이다. 위 식에서 측정 시간이  $\tau_N$ 일 때 이동 로봇의 위치와 자세 ( $x(\tau_N), y(\tau_N), \theta(\tau_N)$ )를 구하기 위해, 전 샘플에서의 위치 및 자세 ( $x(\tau_{N-1}), y(\tau_{N-1}), \theta(\tau_{N-1})$ )와 현재 샘플에서의 속도 ( $v(\tau_N), \omega(\tau_N)$ )를 이용하여 계산한다.



## 2.3 목표추적

본 연구에서 이동 로봇이 임의의 위치에서 목표위치까지의 주행은 식(2.3)과 (2.4)를 이용한다. 현재위치 및 목표위치의 거리와 현재방향 및 목표방향의 오차를 계산하고 두 위치의 거리가 임의의 값( $\epsilon$ )보다 작아졌을 때 로봇은 정지하고 그렇지 않으면 계속 목표위치를 향해 이동하도록 한다. 이 방법을 그림 2.4에 표현하였다. 두 위치의 거리는 식(2.10), (2.11), (2.12)에, 방향 오차는 식(2.13)에 나타내었고 거리와 로봇 주행을 위한 직진방향의 속도와 회전속도의 관계는 식(2.14)과 같이 나타내었다.

$$x_e = x_g - x_c \quad (2.10)$$

$$y_e = y_g - y_c \quad (2.11)$$

$$\rho = \sqrt{x_e^2 + y_e^2} \quad (2.12)$$

$$\theta_e = A \tan 2(e_e, e_e) \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} & \text{if } \rho \leq \epsilon \\ & \quad v = 0, \omega = 0 \\ & \text{else} \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$v = \text{constant}, \omega = K_\omega \cdot \theta_e$$

$c$  : current,  $g$  = goal

$e$  : error,  $\rho$  = distance

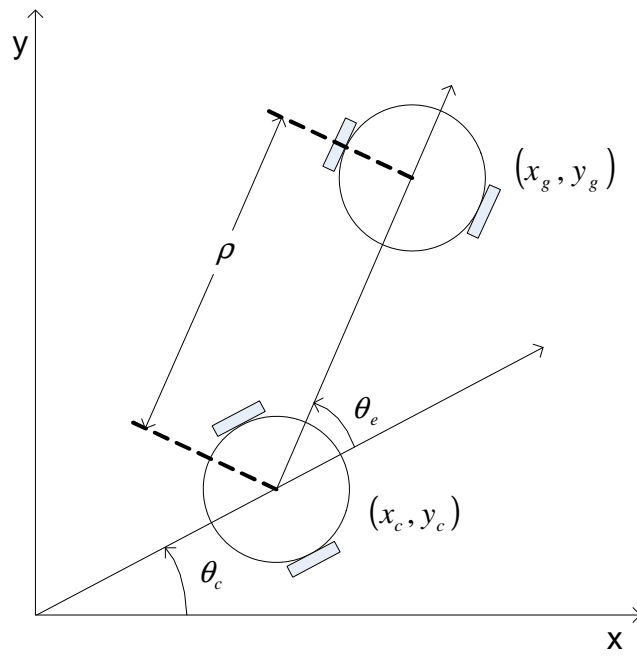


그림 2.4. 목표추적  
Fig 2.4. Target tracking

## 제 3 장 가상 목표에 의한 장애물 회피 알고리즘

### 3.1 장애물 감지를 위한 센서 시스템

그림 3.1은 본 실험에 사용된 로봇에 장착된 적외선 센서의 배치도이다. 총 9개의 센서가 로봇과 장애물 사이의 거리 정보를 얻는다. 로봇 전방에  $22.5^\circ$ 의 간격으로 센서를 배치하였으며, 왼쪽 센서로부터 S1에서 S9까지 센서 이름을 부여하였다.

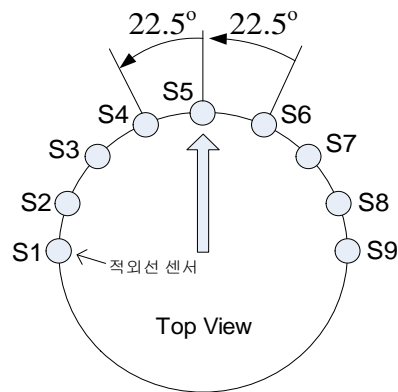


그림 3.1. 이동 로봇에 사용된 적외선 센서의 배치도

Fig 3.1. Displacement of infrared sensors

### 3.2 가상 목표 생성 알고리즘

본 논문에서 제안한 장애물 회피 알고리즘은 로봇이 적외선 센서를 사용하여 장애물을 감지했을 때 충돌로부터 안전한 방향에 가상 목표를 생성하여 로봇이 충돌로부터 안전하다고 판단될 때까지 이동하게 한다.

각 센서가 장애물을 감지하였을 때, 그 센서에 대응되는 가상 목표 후보의 방향을 표 3.1과 같이 센서와 직각이 되는 방향으로 결정한다. 센서의 최대감지 범위가 주어졌을 때, 위에서 결정된 가상 목표 후보의 방향으로 그 감지거리만큼 떨어진 위치에 가상 목표 후보를 두며 그 가상 목표 후보들 위치의 중점을 로봇이 가야 할 가상 목표로 잡는다.

이동 로봇은 이와 같이 설정한 가상 목표를 향해 이동하여 장애물을 회피한 후에는 초기에 설정된 목표점을 향해 다시 이동한다. 표 3.1에서 S5의 가상 목표 후보 결정을 위한  $sum\_L$ 과  $sum\_R$ 는 식(3.1)과 같고 가상 목표 중점 위치는 식(3.2)와 같다.

표 3.1 가상 목표의 방향

Table 3.1 Sub-goal direction

센서번호	가상 목표 후보가 생성 될 방향의 센서번호
S1,S9	S5
S2	S6
S3	S7
S4	S8
S5	if $sum\_L \geq sum\_R \rightarrow S9$ , else $\rightarrow S9$
S6	S2
S7	S3
S8	S4

$$\begin{aligned} sum\_L &= dis1 + dis2 + dis3 + dis4 \\ sum\_R &= dis6 + dis7 + dis8 + dis9 \end{aligned} \quad (3.1)$$

dis1~9: 각각의 센서가 얻은 거리  
sum\_L, sum\_R: 왼쪽 센서와 오른쪽 센서의 각 합

$$\begin{aligned} \frac{\sum_i x_i}{n} &= x_g \\ \frac{\sum_i y_i}{n} &= y_g \end{aligned} \quad (3.2)$$

i: 각 센서의 가상 목표지점 번호  
n: 장애물을 감지한 센서의 개수  
 $(x_i, y_i)$ : 가상 목표 후보의 좌표  
 $(x_g, y_g)$ : 가상 목표의 좌표

그림 3.2에 출발점으로부터 목표 지점까지의 주행을 위한 순서도를 나타내었고 여러 가지 경우에 대한 가상 목표 생성은 다음과 같다.

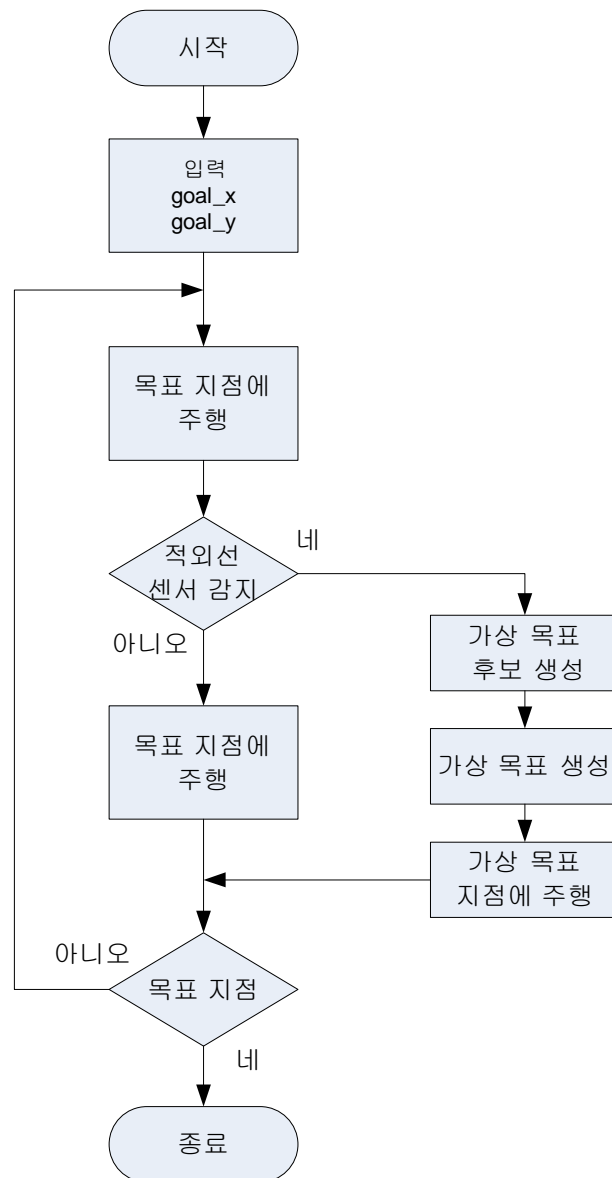


그림 3.2. 알고리즘 순서도  
Fig 3.2. Flowchart of the algorithm

#### 1) 왼쪽의 적외선 센서(S2~S4)가 장애물을 감지 했을 경우 (Case 1)

이동 로봇이 주행하고 있을 때 왼쪽의 센서가 장애물을 감지 했을 경우, 로봇은 오른쪽으로 회피 행동을 한다. 만일 그림 3.3(a)와 같은 센서(S3, S4)가 장애물을 감지했을 경우는 가상 목표 후보가 센서(S7, S8)의 방향에 생성되어 이 가상 목표 후보의 중점을 구한 후, D(direction) 방향으로 회피 주행을 한다.

#### 2) 오른쪽의 적외선 센서(S6~S8)가 장애물을 감지 했을 경우 (Case 2)

위와 반대로 오른쪽 센서가 장애물을 감지 했을 경우, 로봇은 왼쪽으로 회피 행동을 한다. 만일 그림 3.3(b)와 같은 센서(S6, S7)가 장애물을 감지했을 경우는 센서(S2, S3)의 방향에 가상 목표 후보가 생성되어 이 가상 목표 후보의 중점을 구한 후, D의 방향으로 회피 주행을 한다.

#### 3) 정면의 적외선 센서(S5)가 장애물을 감지 했을 경우 (Case 3)

이동 로봇이 주행하고 있을 때 정면의 센서가 장애물을 감지했을 경우, S5의 왼쪽 센서(S1~S4)의 거리의 합과 오른쪽 센서(S6~S9)의 거리의 합을 비교하여 어느 방향으로 회피 행동을 할 지 결정한다. 만일 그림 3.3(c)과 같은 센서(S4~S6)가 장애물을 감지했을 경우는 S4와 S6은 Case1과 Case2와 같은 가상 목표 후보가 생성되고 S5는  $sum\_L = dis4$ 와  $sum\_R = dis6$ 을 비교해  $sum\_L \geq sum\_R$  이면 D1 방향으로, 그렇지 않으면 D2방향으로 회피 주행을 한다.

#### 4) 정면의 적외선 센서(S5)가 장애물을 감지하지 않았을 경우 (Case 4)

만일 그림 3.3(d)와 같은 이동 로봇이 주행하고 있을 때 정면의 센서가 장애물을 감지하지 않았을 경우, 미리 S4와 S6에 설정된 임의의 거리 값 이하가 되면, S5이 장애물을 감지 했을 경우와 같은 방법으로 어느 방향으로 회피 주행 할지 결정 한다.

#### 5) 양쪽의 적외선 센서(S1, S9)가 장애물을 감지 했을 경우 (Case 5)

이동 로봇이 주행하고 있을 때 양쪽의 센서가 장애물을 감지했을 경우, 그림 3.3(e)와 같이 장애물을 감지한 센서가 S1, 또는 S9이면 장애물을 무시하고 원래 목표의 방향으로 주행을 한다.

#### 6) 모든 적외선 센서(S1~ S9)가 장애물을 감지 했을 경우 (Case 6)

이동 로봇이 주행하고 있을 때 그림 3.3(f)와 같은 장애물 안에 들어가서 모든 센서가 장애물을 감지했을 경우, 그 감지한 위치에 정지하고 180°를 선회한 후, 다시 회피 주행을 하면서 장애물로부터 벗어난 후 다시 목표에 주행을 하도록 한다.



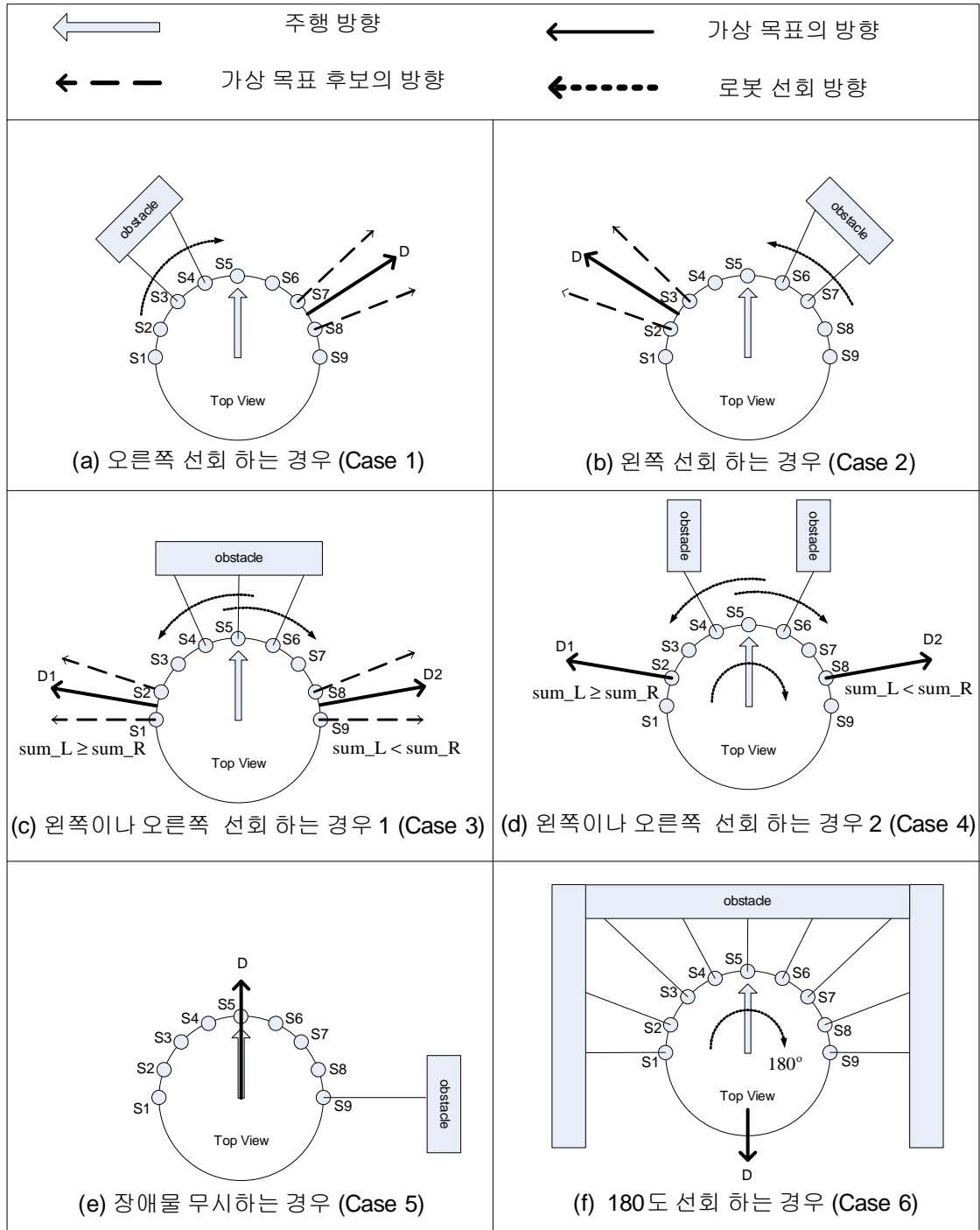


그림 3.3. 가상 목표 방향 설정  
 Fig 3.3. Determination of sub-goal directions

## 제 4 장 모의 실험

### 4.1 이동 로봇이 만날 수 있는 다양한 환경

이동 로봇이 만날 수 있는 다양한 환경을 다음의 그림 4.1과 같이 분류할 수 있다.

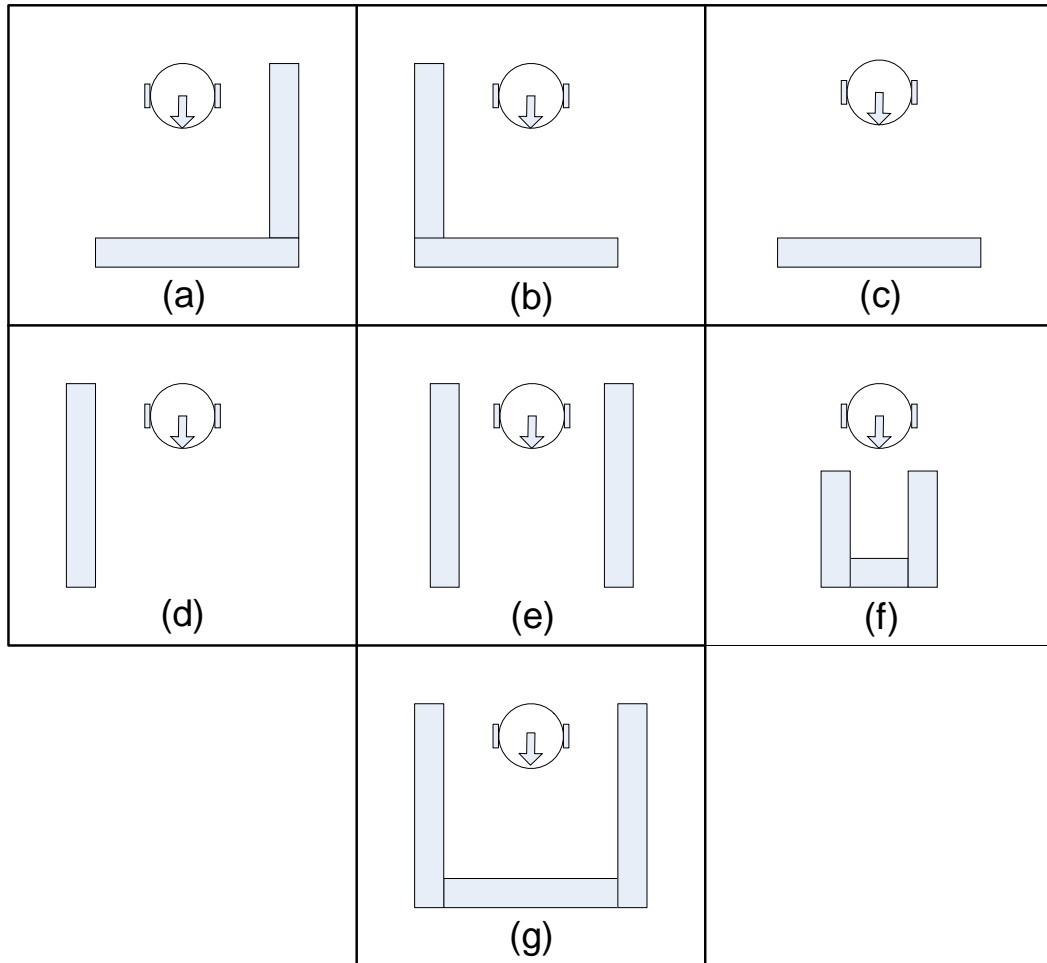


그림 4.1. 이동 로봇이 만날 수 있는 다양한 환경

Fig 4.1. Various cases of sensed environments

## 4.2 모의 실험 결과

그림 4.1(a)와 같은 환경에서의 주행 모습을 그림 4.2에 나타내었다. 이 경우 Case 1을 이용하여 장애물을 회피하고, 목표점까지 주행하였다. 그림 4.1(b)와 같은 환경에서의 주행은 그림 4.3에 나타내 있다. 이 때에는 Case 2를 이용하여 장애물을 회피하며 목표까지 주행하였다.

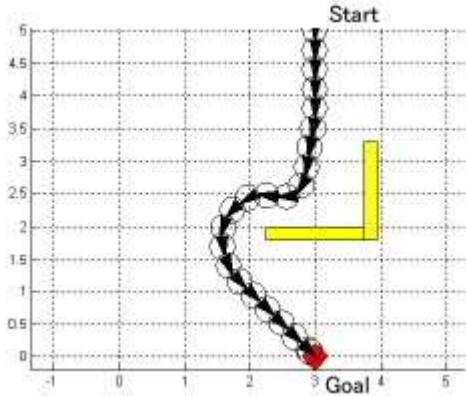


그림 4.2. 모의 실험 결과 1

Fig 4.2. Simulation result 1

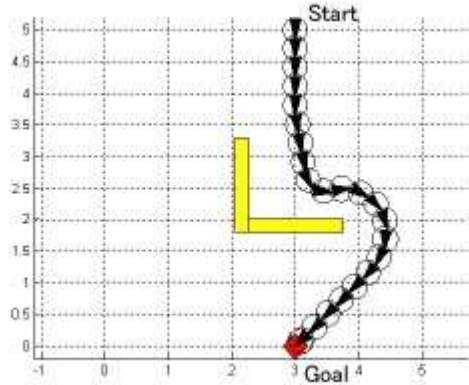


그림 4.3. 모의 실험 결과 2

Fig 4.3. Simulation result 2

그림 4.1(c)와 같은 환경을 그림 4.4에 나타내었다. 이 때 Case 3을 이용하여 장애물을 회피하며 목표까지 주행하였다. 그림 4.1(d)와 같은 환경에서의 주행은 그림 4.5에 나타내었고, 이 때에는 Case 5을 이용하여 장애물을 무시하며 목표까지 주행하였다.

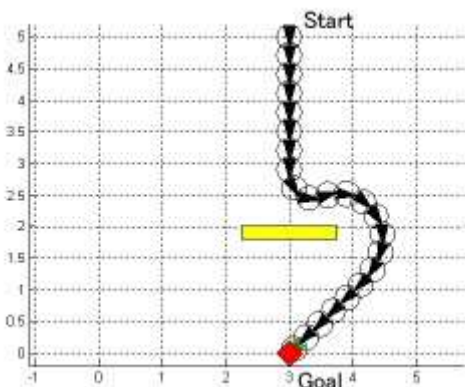


그림 4.4. 모의 실험 결과 3

Fig 4.4. Simulation result 3

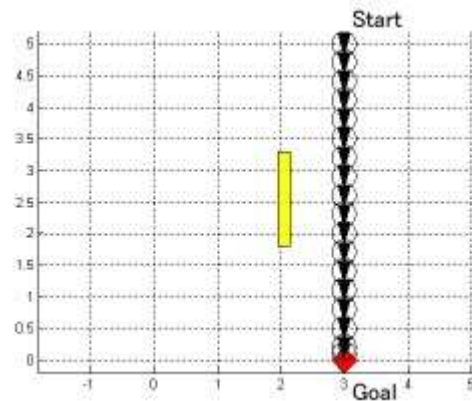


그림 4.5. 모의 실험 결과 4

Fig 4.5. Simulation result 4

그림 4.6과 그림 4.7은 위 그림 4.1(e)에서 나타난 상황에서의 주행을 모의 실험한 결과이다. 두 개의 장애물의 사이에 들어갔을 경우, Case 1과 Case 2를 이용하여 로봇이 양쪽의 장애물에 충돌하는 일 없이 양쪽 장애물 가운데로 주행 하였다.

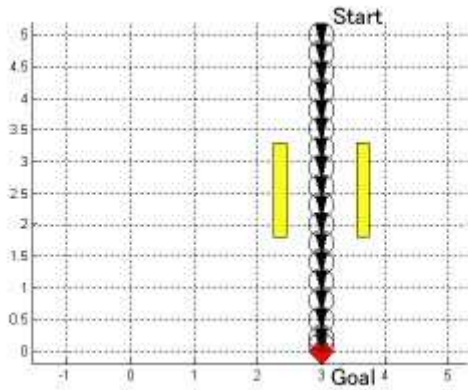


그림 4.6. 모의 실험 결과 5

Fig 4.6. Simulation result 5

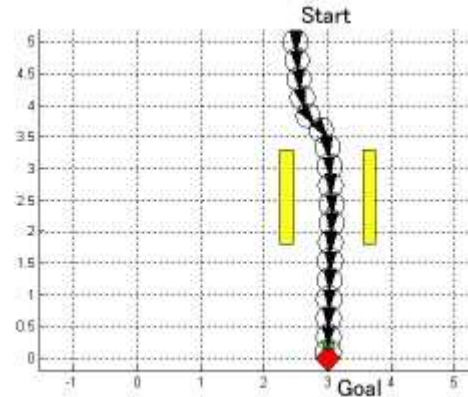


그림 4.7. 모의 실험 결과 6

Fig 4.7. Simulation result 6

그림 4.1(f)와 같은 환경에서의 주행 모습을 그림 4.8에 나타내었다. 이 경우 Case 4를 이용하여 장애물을 회피하고, 목표점까지 주행하였다. 그림 4.1(g)와 같은 환경에서의 주행 모습을 그림 4.9에 나타내었다. 이 경우 Case 6을 이용하여 장애물을 회피하고, 목표점까지 주행하였다.

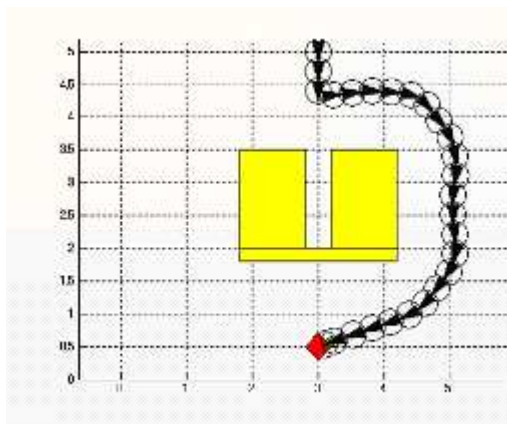


그림 4.8. 모의 실험 결과 7

Fig 4.8. Simulation result 7

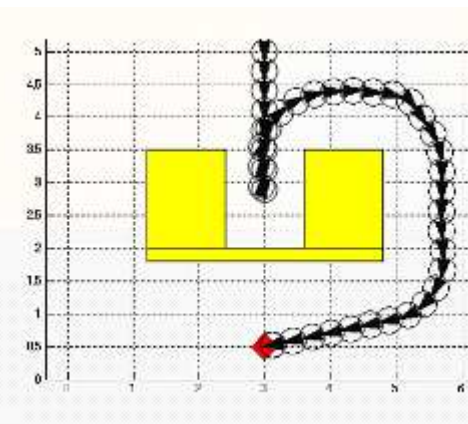


그림 4.9. 모의 실험 결과 8

Fig 4.9. Simulation result 8

그림 4.10은 Case 2와 Case 3을 이용한 장애물을 회피 모습을 보여준다. 이 때 그림을 보면 로봇의 왼쪽에 장애물이 위치하지 않아 목적지가 더 가깝지만, 제안된 알고리즘에 의해, 로봇이 장애물의 오른쪽으로 회피하는 것을 볼 수 있다. 그림 4.11은 앞의 모의 실험 환경을 조합한 복잡한 환경에서도 로봇이 장애물을 잘 회피하여 목적지에 도달 할 수 있음을 보여준다.

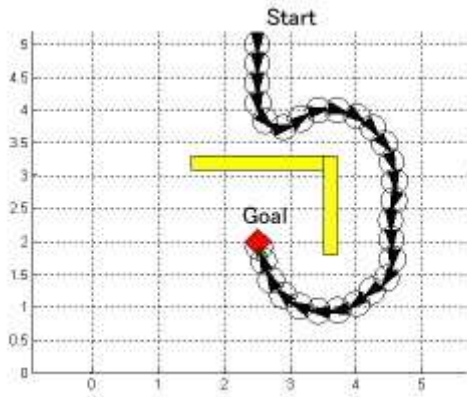


그림 4.10. 모의 실험 결과 9  
Fig 4.10. Simulation result 9

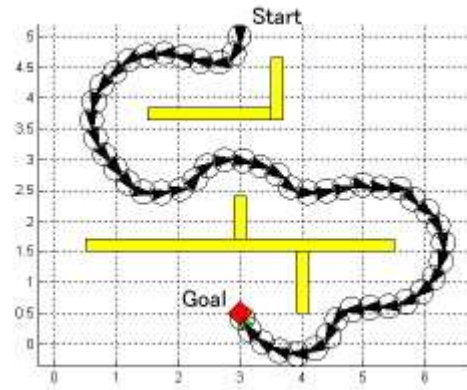


그림 4.11. 모의 실험 결과 10  
Fig 4.11. Simulation result 10

## 제 5 장 실험 및 결과

### 5.1 이동 로봇의 구성

실험을 위해 제작된 이동 로봇 시스템의 하드웨어는 크게 구동부와 제어부로 구성되어 있다. 구동부는 두 개의 DC 모터를 사용하여 차륜 구동형으로 제작하였다. 주행 중인 이동 로봇의 위치와 방향은 양쪽 바퀴에 장착된 엔코더로 측정한다. 또한, 장애물 감지와 로봇과 장애물사이의 거리 정보는 로봇에 장착된 9개의 적외선 센서로부터 얻는다. 제어부는 (TMS320LF2407A/S(Texas Instruments)DSP) 칩이 탑재된 로봇 제어용 보드와, LMD18200 (National Semiconductor)를 이용한 모터드라이버로 구성되어 있다. 바퀴의 속도 제어는 PWM 제어 방식을 선택하였다. 이동 로봇의 위치와 방향은 모터 축에 고정된 엔코더 펄스를 DSP에서 계수하고 적외선 센서의 아날로그신호는 A/D변환기를 이용하여 처리하였다. 시스템 블록도는 그림 5.1과 같으며 제작된 이동 로봇의 그림은 그림 5.2와 같고 제어부는 그림 5.3과 같다.

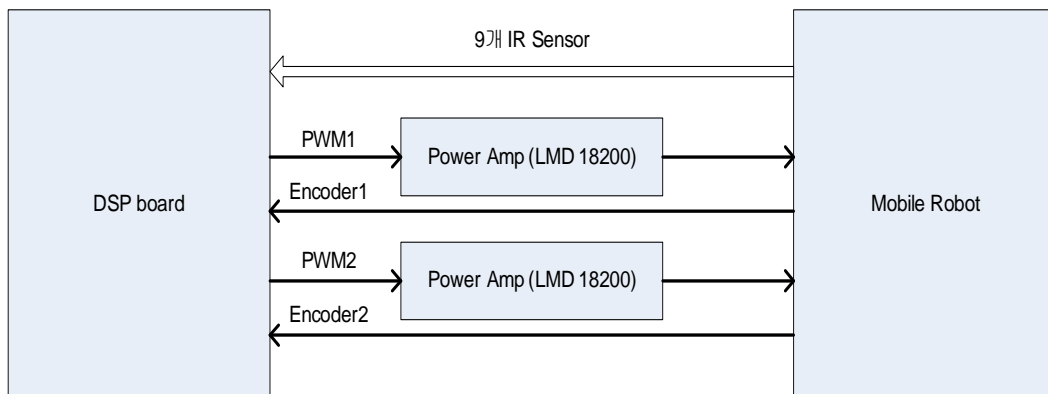


그림 5.1. 이동 로봇 전체 시스템 블록도

Fig 5.1. Block diagram of the mobile robot system

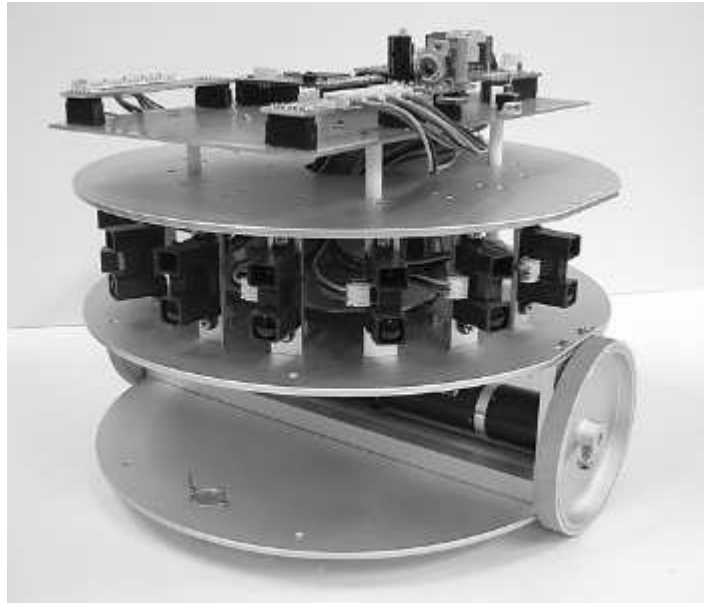


그림 5.2. 제작된 이동 로봇

Fig 5.2. Mobile robot

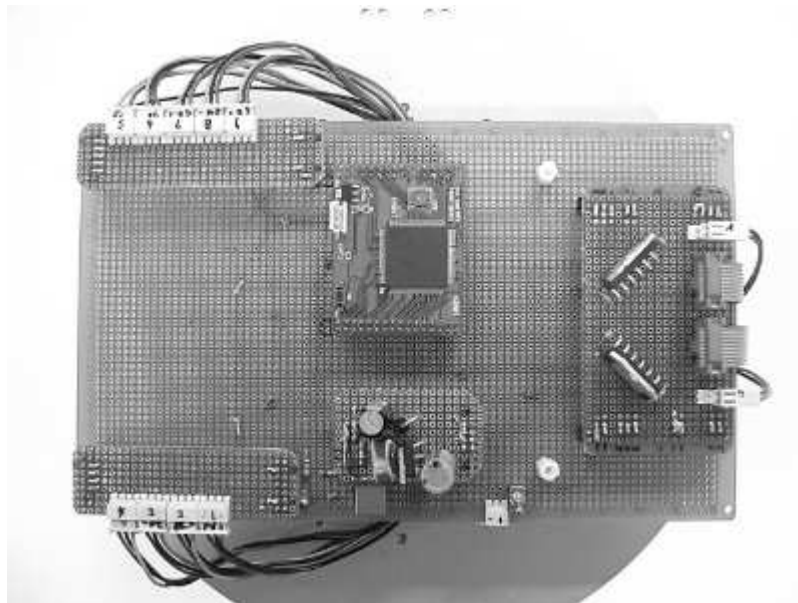


그림 5.3. 제어부

Fig 5.3. Control part

## 5.2 적외선 센서

실험에 사용된 적외선 센서는 SHARP사의 GP2Y0A02YK이다(그림 5.4). 이 적외선 센서는 PSD(Position Sensitive Detector)라고도 불린다. 이 센서의 측정 거리는 0.2~1.5[m]이고, 발광부로부터 송출된 적외선이 장애물에 반사되어 수광부로 들어온다. 이 때 삼각측량의 원리에 의해서 거리를 측정한다.

이 센서는 측정 분해도가 높고 장애물의 모양이나 재질에 관계없이 일정한 성능을 유지할 수 있는 장점이 있는 반면, 측정 범위가 좁고 측정거리가 짧은다는 단점이 있다. 그림 5.5는 아날로그 출력 전압과 측정거리의 관계를 나타낸다.



그림 5.4. 적외선 센서 (PSD)

Fig 5.4. Infrared sensor (PSD)

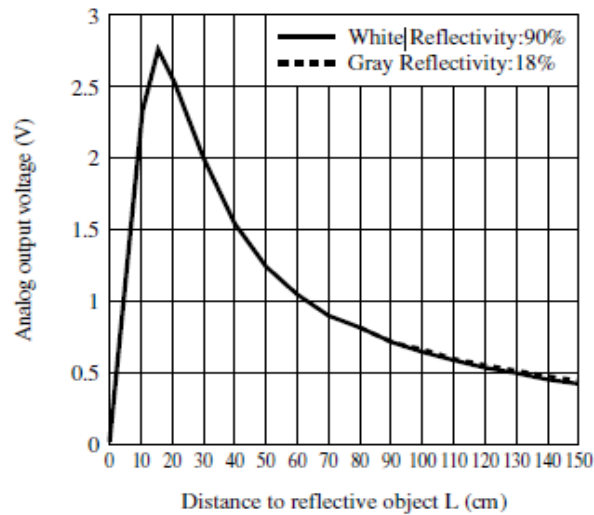


그림 5.5. 아날로그 출력 전압과 측정된 거리

Fig 5.5. Analog output voltage vs. measurement distance



실험에 사용할 적외선 센서의 전압과 거리의 관계식을 구하기 위하여 그림 5.6과 같이 센서와 장애물의 거리(0.2~1[m])간을 0.02[m]씩 이동시키며 센서 출력신호를 받고 DSP로 처리된 디지털 출력 값을 MATLAB의 curve-fitting 도구를 이용하여 전압에 대한 거리를 나타내는 수식(5.1)을 구하였다.

$$d = 2.415 \exp^{(-3.171v)} + 0.9288 \exp^{(-0.5788v)} \quad (5.1)$$

실험에서 얻은 데이터에서 안정된 값을 얻을 수 있는 부분(0.2~0.6[m])을 센서의 측정 범위로 실험을 하였다. 그림 5.7에 센서출력 전압과 거리의 관계 그래프를 나타내었다.

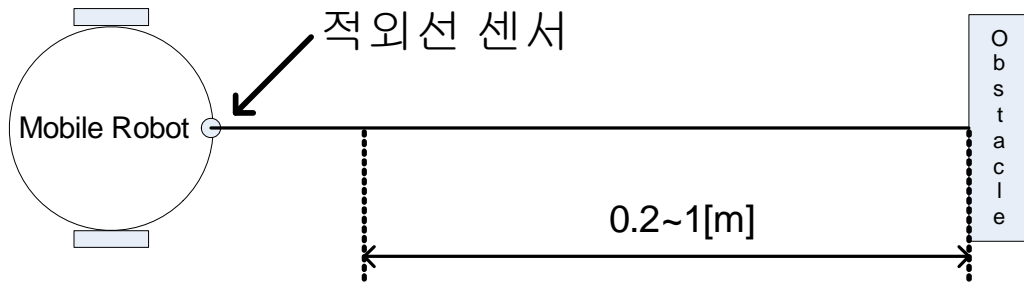


그림 5.6. 센서 모델링 실험  
Fig 5.6. Experiment of sensor modeling

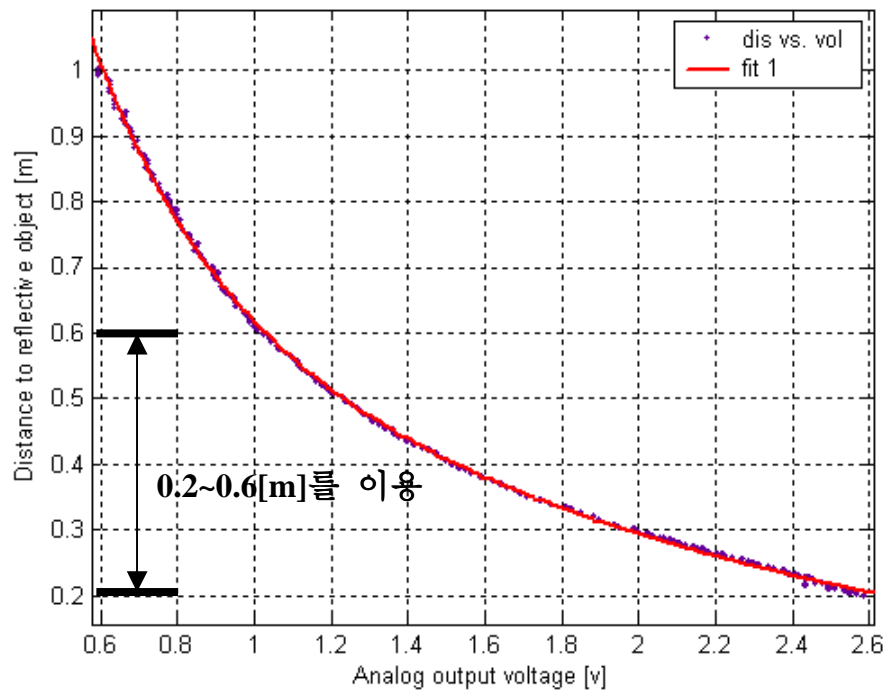


그림 5.7. 측정된 거리와 아날로그 출력 전압

Fig 5.7. Measurement distance vs. analog output voltage

### 5.3 실험결과

본 논문에서 제안된 가상 목표 생성에 의한 장애물 회피 알고리즘의 유효성을 실제 실험을 통해 확인하였다. 모의실험에서 확인한 것처럼 실제 환경에서도 장애물에 충돌하지 않고 감지한 센서에 따라 가상 목표를 생성해 장애물을 회피 하면서 목표 위치까지 주행한다. 이 결과를 그림5.8~그림5.15에 나타내었다.

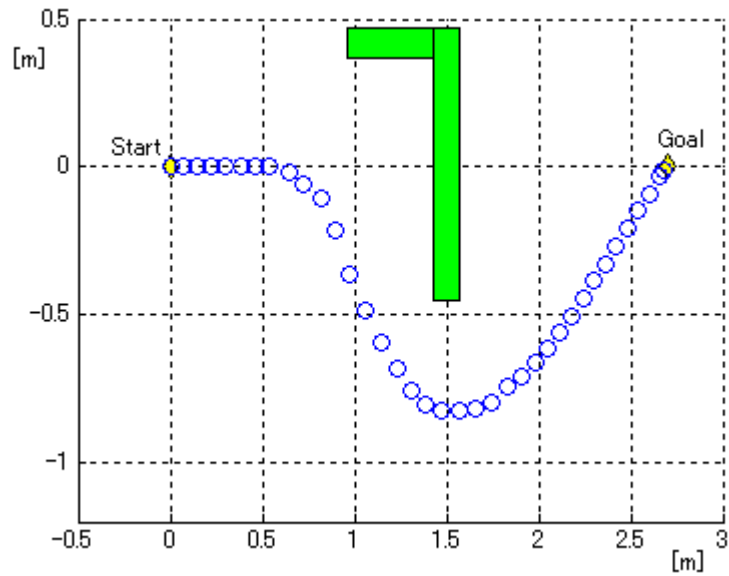


그림 5.8. 왼쪽 센서가 장애물을 감지한 경우  
Fig 5.8. Case of detected obstacle by left-side sensors

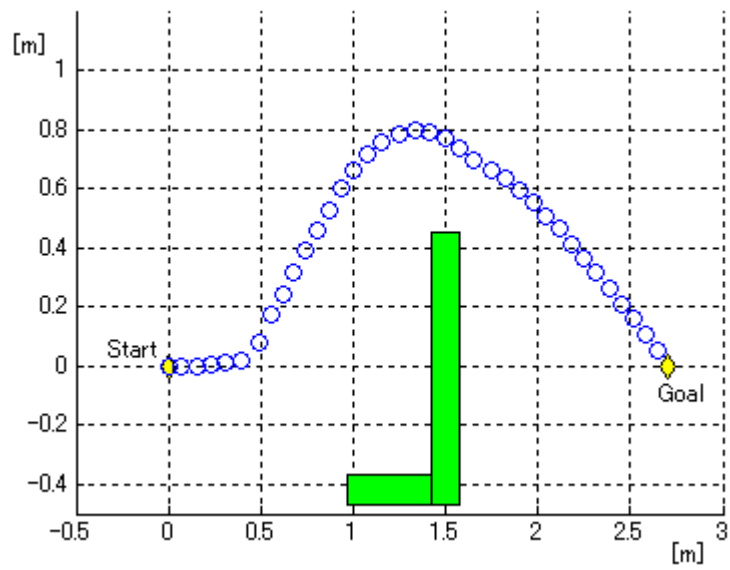


그림 5.9. 오른쪽 센서가 장애물을 감지한 경우  
Fig 5.9. Case of detected obstacle by right-side sensors

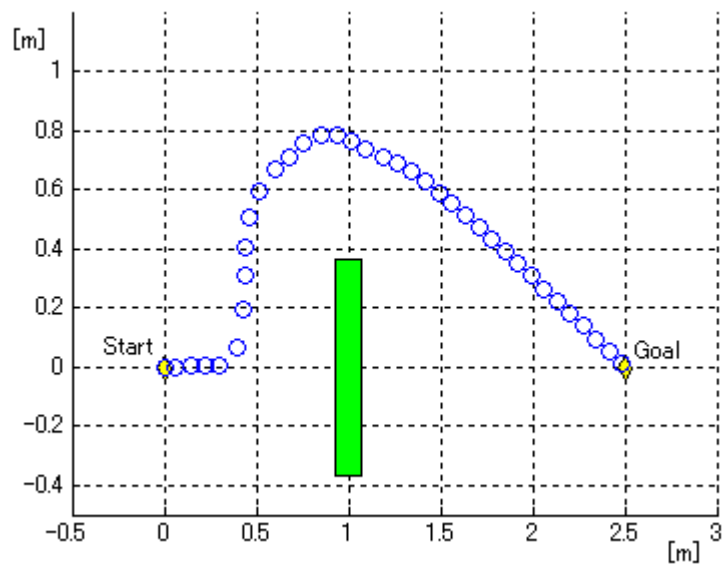


그림5.10. 정면의 센서가 장애물을 감지한 경우  
Fig 5.10. Case of detected obstacle by front sensor

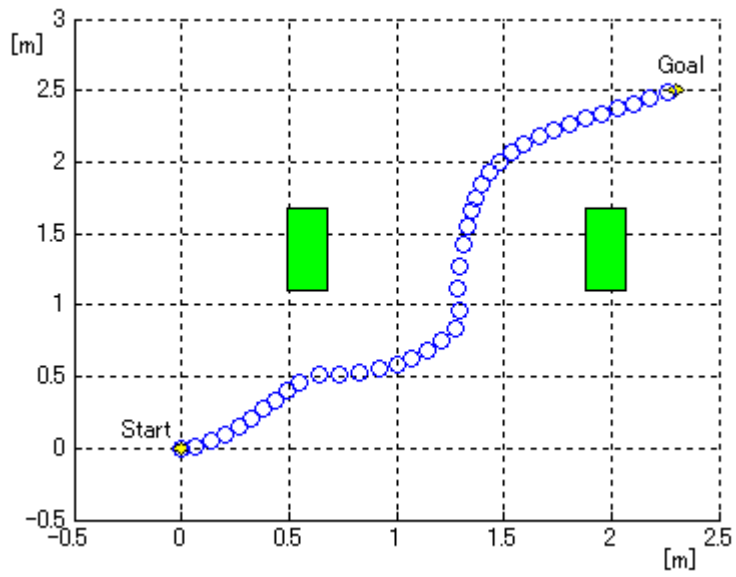


그림5.11. 양쪽 센서가 장애물을 감지한 경우  
Fig 5.11. Case of detected obstacle by both-side sensors

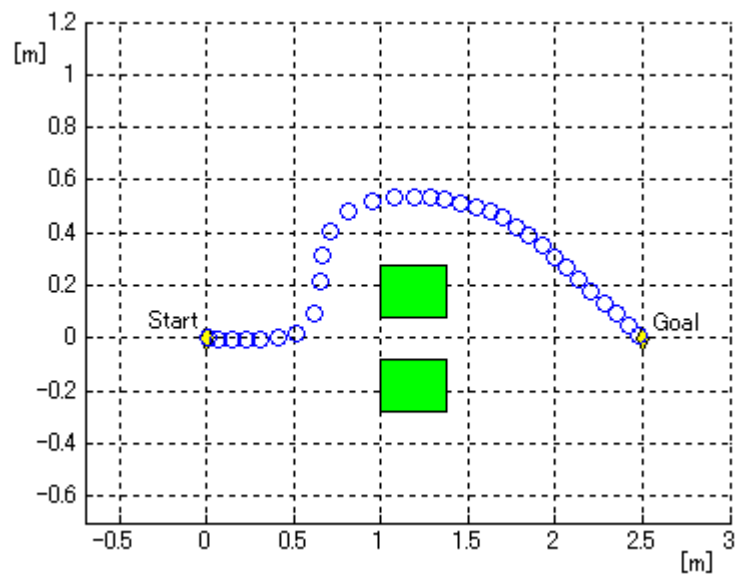


그림5.12. 정면의 센서가 장애물을 감지하지 않은 경우  
Fig 5.12. Case of not-detected obstacle by front sensor

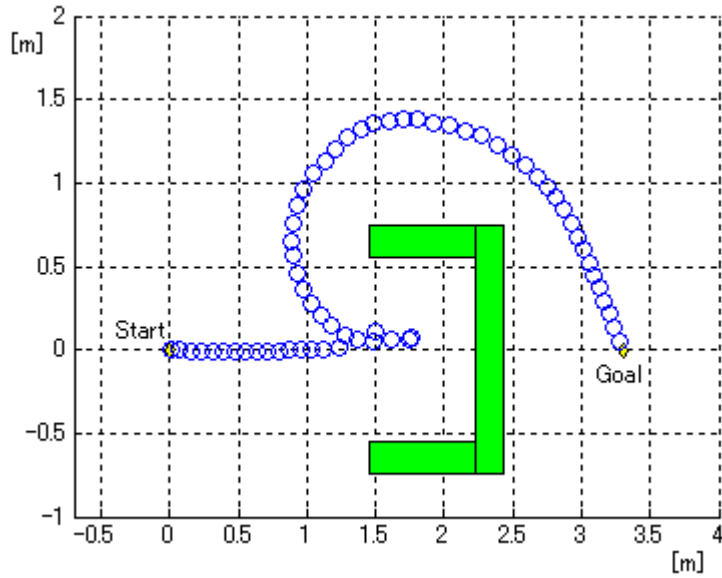


그림5.13. 모든 센서가 장애물을 감지한 경우

Fig 5.13. Case of detected obstacle by all sensors

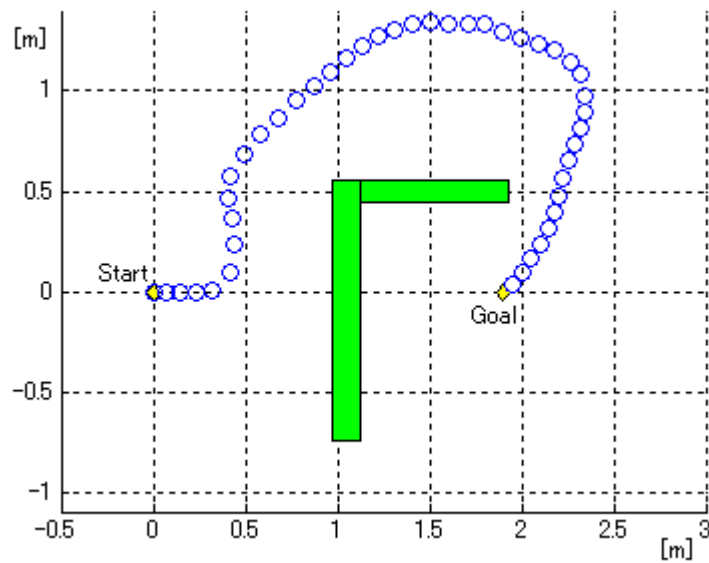


그림5.14. 정면과 오른쪽 센서가 장애물을 감지한 경우

Fig 5.14. Case of detected obstacle by front and right-side sensors

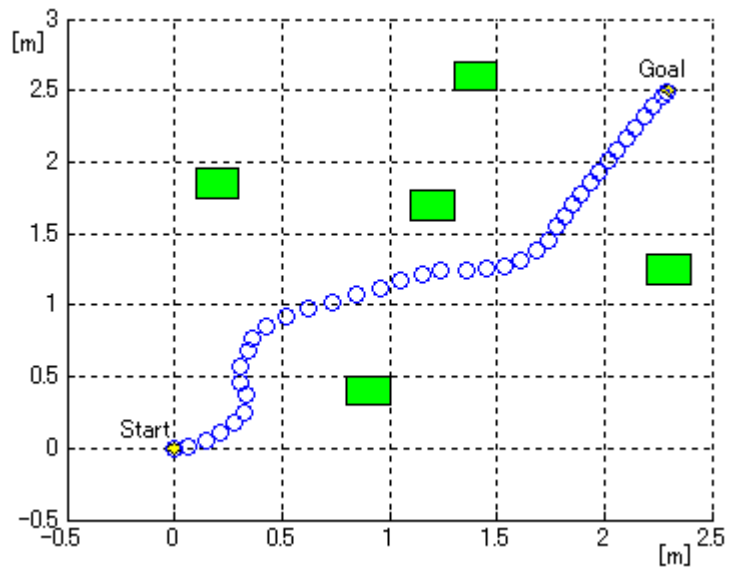


그림 5.15. 센서가 여러 개의 장애물을 감지한 경우  
 Fig 5.15. Case of detected multiple obstacles by sensors

## 제 6 장 결론

본 논문에서는 가상 목표 생성 알고리즘 이용한 장애물 회피방법을 제안하였다. 이 알고리즘은 각 센서가 장애물을 감지하였을 때 감지한 각각의 센서에 대응된 방향으로 감지거리만큼 떨어진 위치에 가상 목표 후보를 두고 그 가상 목표 후보들의 위치의 중점을 로봇이 가야 할 가상 목표로 결정하여 장애물 회피 주행을 하도록 한다.

모의 실험과 실제 실험에서 이동 로봇이 적외선 센서를 이용해 장애물을 감지했을 때 그 감지한 센서에 따라 충돌로부터 안전한 방향에 가상 목표를 생성하여 충돌로부터 안전하다고 판단될 때까지 가상 목표로 회피 주행을 하며 안전하다고 판단이 되면 다시 본래의 목표로 주행 하는 것을 반복하면서 장애물에 충돌하지 않고 목표 위치까지 주행 하는 것을 보였다.

이 가상 목표 생성 알고리즘은 간단하면서도 여러 상황(Case 1~ Case 6)에 대해 대처할 수 있음을 모의 실험과 실제 실험을 통해 확인 하였다.

향후 과제로는 장애물 감지센서 값에 따른 속도제어와 센서마다 가중치(weight)를 붙이거나 로봇과 장애물과의 거리에 퍼지 제어를 써서 더 다양한 가상 목표위치를 만들어 보다 개선될 회피 주행을 실현하는 것이다. 또한 긴 벽을 따르기 위한 벽면 따르기 알고리즘, 더 넓은 범위의 장애물을 감지하기 위한 센서 융합 등을 적용하면 더 다양하고 넓은 환경에서 충돌회피주행을 할 수 있을 것으로 보인다.



## 참고문헌

- [1] I. J. Cox, "Blanch-An experiment in guidance and navigation of an autonomous robot vehicle", *IEEE Trans. Robotics and Automation*, vol. 7, no. 2, pp. 193-204, 1991.
- [2] L. E. Kavraki, P. Svestka, J.-C. Latombe, and M. H. Overmars, "Probabilistic roadmaps for path planning in high-dimensional configuration spaces", *IEEE Trans. Robotics and Automation*, vol. 12, no. 4, pp. 566-580, 1996.
- [3] O. J. Sørndalen, *Feedback Control of Nonholonomic Mobile Robots*, Dr. Ing. Thesis, The Norwegian Institute of Technology, 1993.
- [4] Atsushi Fujimori, Peter N. Nikiforuk, and Madan M. Gupta, "Adaptive Navigation of Mobile Robots with Obstacle Avoidance", *IEEE Trans. Robotics and Automation*, vol. 13, no. 4, pp. 596-602, August 1997.
- [5] Johann Borenstein and Yoram Koren., "Obstacle avoidance with Ultrasonic sensors", *IEEE Trans. Robotics and Automation*, vol. 4, no. 2, pp. 213-218, April 1988.
- [6] Johann Borenstein and Yorem Koren "Real-Time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots", *IEEE Trans. Cybernetics*, vol. 19, no. 5, pp. 1179-1187, October 1989.
- [7] A. Elfes, "Sonar-based real-world mapping and navigation", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol. 3, no. 3, pp. 249-265, 1987
- [8] Ratchatin Chanchaoen, Viboon Sangveraphunsiri, Thammanoon Navakulsirinart, Wasan Thanawittayakorn, Wasin Boonsanongsupa, and Apichaya Meesaplak, "Target Tracking and Obstacle Avoidance for Mobile Robots", *Proc. IEEE ICIT*, pp. 13-17 2002.
- [9] P. van Turenout, G. Honderd, "Following a Wall with a Mobile Robot using Ultrasonic Sensors", *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.1451-1456, July 1992.

- [10] Hyoun-Chul Choi and Suk-Kyo Hong, "Behavior-Based Fuzzy Control of Mobile Robots for Autonomous Navigation", *Proc. KIEE Summer Annual Conference*, pp.2464-2466, July 2001.
- [11] W.L.Xu, S.K. Tso and Y.H. Fung, "Sensor-based reactive Navigation of a Mobile Robot through Local Target Switching", *Proc. ICAR '97*, pp.362-366
- [12] Sun-Gi Hong, Sung-Woo Kim, Kang-Bark Park and Ju-Jang Lee, "Local Motion Planner for Nonholonomic Mobile Robots in the Presence of the Unknown Obstacles", *Proc. IEEE International Conference of Robotics and Automation*, pp. 1212-1217, April 1996.

# **Obstacle Avoidance by Sub-Goal Generation Using Infrared Sensors**

Kazuki Nakazawa

Department of Electrical and Computer Engineering  
Ajou University

## **Abstract**

This thesis presents an obstacle avoidance algorithm for a mobile robot with infrared sensors, which enables the robot to reach a given goal point while avoiding obstacles. For obstacle avoidance, sub-goal generation rules are defined in terms of the location of obstacles identified by information from 9 infrared sensors on the distance between the robot and the obstacles. By the defined rules, the algorithm generates a sub-goal as an intermediate point in an obstacle-free area to which the robot should go when it meets obstacles. Simulations and experiments are carried out to illustrate the effectiveness of the proposed algorithm. For experiments, we used a two-wheeled mobile robot which consists of a TMS320LF2407 DSP board, two DC motors equipped with an optical encoder, and 9 infrared sensors. Simulation and experimental results show that the robot can carry out sub-goal generation, avoid obstacles, and go to a given goal successfully.