creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000237829

2009년 2월
석사학위 논문

차륜형 이동로봇을 위한 자율 주행 시스템의 설계 및 구현

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

양 상 기

차륜형 이동로봇을 위한 자율 주행 시스템의 설계 및 구현

Design and Implementation of an Autonomous Navigation System for Wheeled Mobile Robots

2009년 2월 25일

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

양 상 기

차륜형 이동로봇을 위한 자율 주행 시스템의 설계 및 구현

지도교수 심 재 홍
공동지도교수 모 상 만

이 논문을 컴퓨터공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2009년 2월 25일

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

양 상 기

양상기의 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 조선대학교 교수 인

심사위원 조선대학교 교수 인

심사위원 조선대학교 교수 인

2008년 11월

조선대학교 대학원

ABSTRACT vi

제1장. 서 론 1

제2장. 이동로봇 시스템의 구조 5

제1절. 이동로봇의 기구학 5

제2절. 이동로봇의 자세 오차 9

제3절. 목표점을 갖는 이동로봇의 위치 오차 11

제3장. 센서를 이용한 장애물 감지 및 퍼지제어 13

제1절. 적외선 센서를 이용한 자율 주행 기법의 제안 13

1. 적외선 센서의 원리와 특징 13

2. 브레이튼버그(Braitenberg) 알고리즘 15

3. 개선된 브레이튼버그(Improved Braitenberg) 알고리즘 21

4. 주행 지도 작성 23

제2절. 퍼지 제어 기반의 최적 경로 도출 27

1. 퍼지 논리 제어의 개념 27

2. 퍼지제어 규칙과 추론 방법 28

3. 퍼지수 30

4. 삼각 퍼지수 30

5. 비퍼지화기 31
6. 입출력 변수의 정의 32
7. 퍼지 소속 함수 및 제어 규칙 33
제4장. 실험 및 결과 고찰 36
제1절. 이동로봇 제어시스템 구성 36
1. 이동로봇의 전체 구조 36
2. 이동로봇 시스템 구성 38
제2절. 이동로봇 실험과 분석결과 40
1. 개선된 브레이튼버그(Improved Braitenberg) 알고리즘을 이용한 지도 작성 실험 및 분석 40
2. 이동로봇의 자율주행 실험 및 분석 45
3. 이동로봇의 장애물 회피 실험 및 분석 46
제5장. 결론 47

참고 문헌 48

그 림 목 차

그림 1. 차동구동형 로봇 ····· 5
그림 2. 순간회전중심 ····· 7
그림 3. 기준 자세와 현재 자세의 오차 ····· 9
그림 4. 목표점과 현재 위치의 오차 ····· 11
그림 5. 적외선 센서의 구조 ····· 13
그림 6. 이동로봇 적외선 센서 배치도 ····· 17
그림 7. 브레이튼버그 장애물 회피 알고리즘 ····· 17
그림 8. 개선된 브레이튼버그 장애물 회피 알고리즘 ····· 21
그림 9. 좌측 벽면 추종 예 ····· 22
그림 10. 좌측 벽면 추종 시 상대 좌표 변환 ····· 24
그림 11. 이동로봇 회전에 의한 좌표 변환 ····· 25
그림 12. 퍼지 제어기의 구조 ····· 27
그림 13. 퍼지변수의 소속 함수 ····· 29
그림 14. 삼각 퍼지수 ····· 30
그림 15. 거리에 대한 소속 함수 ····· 33
그림 16. 오차 각에 대한 소속 함수 ····· 34
그림 17. 속도에 대한 출력 소속 함수 ····· 34
그림 18. KeperaIII 로봇 전면부 ····· 36
그림 19. 적외선 센서 배치 ····· 37
그림 20. 시스템 구현 전체 구성도 ····· 38
그림 21. 실험 환경 ····· 40
그림 22. 좌측 벽면 맵핑 결과 ····· 41
그림 23. 우측 벽면 맵핑 결과 ····· 42

그림 24. 실제 지도와 작성 지도의 오차 ····· 43
그림 25. 주행 지도 정보를 이용한 중간 목표점 도출 ····· 44
그림 26. 작성된 지도를 이용한 자율 주행 결과 ····· 45
그림 27. 원형 장애물 회피 실험 결과 ····· 46

표 목 차

표 1. 적외선 센서 거리 측정 실험 ····· 15
표 2. 가중치 조건에 따른 이동로봇의 움직임 결과 ····· 19
표 3. 적외선 센서 가중치 ····· 20
표 4. 벽면 추종을 위한 추종값 ····· 22
표 5. 퍼지 소속 함수 ····· 32
표 6. 좌우측 바퀴의 퍼지 제어규칙 ····· 35
표 7. KeperaIII 로봇의 규격 ····· 37

A B S T R A C T

Design and Implementation of an Autonomous Navigation System for Wheeled Mobile Robots

Sang-Gi Yang
Advisor : Prof. Jae-Hong Shim, Ph. D.
Department of Computer Science
Graduate School of Chosun University

A mobile robot has to have a map in order to reach a target point fast and safely. Its autonomous navigation system sets up the optimal path to the target point using the map. This allows the robot to avoid fixed obstacles during navigation. In this thesis, an obstacle avoidance algorithm is proposed by improving the conventional Braitenberg algorithm and applying a fuzzy control mechanism, in which obstacles are detected by infrared sensors and a navigation map is then created. Using nine infrared sensors, the robot detects obstacles and creates a map while moving in accordance with the improved Braitenberg algorithm in indoor environment. Based on the created map, the robot sets a navigation path by pinning down intermediate pass-through points. Using the proposed fuzzy control algorithm, the robot reaches a target point avoiding fixed obstacles during navigation. For the evaluation of the proposed algorithm, many practical experiments have been carried out with the KheperaIII mobile robot. The experiment results shows that the proposed algorithm creates a contour map for a navigation path efficiently and reaches the target point successfully avoiding fixed obstacles.

제1장 서 론

과거 40년 전 제한된 환경에서 입력된 행동만을 취하는 산업용 로봇이 등장한 후 산업 현장의 여러 분야에 응용되면서 로봇은 매년 향상된 기법을 적용하여 놀라운 속도로 발전하여 왔다. 그리하여 이제는 제한된 작업영역 내에서의 제한된 작업능력 외에 새로운 기능인 주행을 추가할 수 있는 이동로봇의 개발 및 연구가 필요하게 되었다.

대표적인 예로 차륜형 이동로봇(wheeled mobile robot)이 있다. 차륜형 이동로봇은 작업반경이 넓고 이동속도가 빠르면서 미지상황의 작업환경에 적용이 가능하다는 장점이 있다. 이러한 장점은 일반적인 산업용 로봇이 제한적 작업공간이 가지는 단점을 해결 할 수 있다[1].

근래에 들어 로봇의 연구 방향은 제조 산업 분야에서 서비스 분야로 진행되고 있다. 서비스 로봇은(service robot)은 일상적인 인간의 활동과 관련되어 있으며, 재활 로봇, 수술 로봇, 집 지키는 로봇, 수리 로봇, 청소 로봇 등이 있다.

인구의 노령화로 인하여 독립생활이 힘든 사람이 상당히 증가하여 사회적 문제가 되고 있다. 장애인의 수적 증가에는 선천적인 장애자 외에도 최근에는 산업재해 및 교통사고 등으로 인한 후천적 장애자가 더 많은 부분을 차지하고 있다. 이는 교통사고 최다국의 불명예를 안고 있는 우리나라의 경우 더욱더 심각한 문제라고 할 수 있다. 최근의 급격한 과학 기술의 발달에도 불구하고, 이와 같은 노약자와 장애자들은 그 혜택을 누리기 힘든 실정이다. 따라서 과학 기술을 이용하여 장애자와 노약자 등의 상실된 감각을 보충해 주거나 불완전한 활동을 도와주는 재활 공학(rehabilitation engineering) 시스템의 개발이 필요하다[2].

이와 같은 장애자와 노약자들은 정상적인 사회 활동을 하는데 더욱더 많은 제약이 따르게 되어 휠체어를 사용해야만 한다. 일반적인 휠체어는 손으로 조작하여 이

동 및 회전 등을 할 수 있게 되어 있어 체력이 약한 노약자 및 손을 쓰지 못 하는 장애인들은 자력으로 이동하기 힘들기 때문에 전기적 동력을 이용하는 전동휠체어의 도움을 받고 있다. 전동휠체어는 스스로의 힘으로 이동하기 어려운 노인이나 장애인을 위해 개발된 이동 보조 시스템으로, 그의 수요는 점차 늘어나고 있는 실정이다. 그러나 일반적인 전동휠체어는 사용자의 세밀하고 정확한 수준의 제어를 계속적으로 필요로 하므로 감각 능력이나 조작 능력의 손상을 입은 사람에게는 사용이 제한될 수밖에 없다. 이러한 한계를 벗어나고자 다양한 기능을 갖춘 진보된 지능형 휠체어(advanced intelligent wheelchair)의 개발은 필수 불가결하다.

진보된 지능형 휠체어는 기존의 조이스틱을 사용한 단순한 피드백 제어기에 기반한 마이크로 컨트롤러를 사용하는 대신 사용자의 이동성을 강화시키기 위해 이동 로봇학의 기술 및 기술 체계들을 많이 사용하였다.

로봇식 휠체어인 Maid는 행동이 제약된 사람들을 이동성을 강화 시켜 주고 약간의 자율 및 독립성을 제공하기 위해 개발되었다. 그리고 VAHM의 목적은 휠체어가 가능한 자율적으로 하는 것이 아니라, 사용자에게 너무 많은 부담을 지우지 않고 사용자의 능력을 최대한 이용하는 것이다. Bremen autonomous wheelchair, Rolland는 장애인과 노약자가 휠체어를 제어 할 수 있도록 도와주는 역할을 하기 위해 개발되었다. 그러나 무엇보다 전동휠체어는 대부분의 사용자가 거동하기 힘든 노인이나 장애인이므로 사용자의 안전에 대한 고려가 매우 중요한 설계 이슈이다[3]. 그리하여 휠체어의 동작제어에 있어서 중요한 요구사항 중의 하나는 목적지까지 이동할 때 장애물과의 충돌을 회피하는 안정적인 주행이라 할 수 있다.

이동로봇의 동작제어 방법으로 계획기반의 동작제어 방법과 센서기반의 충돌회피제어 방법으로 분류할 수 있다[4]. 계획기반 알고리즘은 환경의 모델 또는 지도를 탐색하여 얻어낸 뒤 현재 위치에서 목적지까지 원하는 궤적을 계산하는 경로계획과 이에 따른 이동로봇의 동작을 계획하는 과정으로 구성되어 있다[5]. 그러나 실제적으로 대부분의 응용에서는 시간에 따라 환경정보가 변하게 된다. 따라서 계

획 기반 알고리즘에서 계획된 궤적과 동작들은 부정확할 수 있다. 그리고 새로운 궤적의 경우 궤적의 생성과 동작 계획이 필요하게 된다. 따라서 이러한 환경에서 계획기반 알고리즘으로 충돌회피 경로를 구하기 위해서는 많은 계산 시간과 복잡한 과정이 필요하게 된다.

계획기반 방법과는 달리 센서기반 충돌회피 알고리즘은 주어진 환경에서 장애물에 대한 충돌을 회피하는 동작을 결정하기 위해서 센서정보를 이용하게 된다. 이러한 방법은 이동로봇의 실내주행을 위하여 실시간 제어 성능을 나타낼 수 있으며, 계산시간 면에서 효과적이다. 센서기반 주행방법들은 위치필드와 벡터필드를 이용한 방법으로 구분할 수 있다[6]. 위치필드 알고리즘은 계산적인 면에서는 효과적이나 이동로봇이 국부 최소점에 빠지는 문제가 있다[7]. 벡터 필드 알고리즘은 장애물 사이에서 이동로봇이 연속적이며 빠른 동작 특성을 보일 수 있지만 국부적 환경에 제한되며 다양한 작업특성을 표현하는데 한계가 있다.

따라서 본 논문에서는 센서기반 충돌회피 알고리즘인 브레이튼버그(Braitenberg) 알고리즘을 개선하여 좌측 벽면 추종과 우측 벽면 추종을 하면서 주행 중 적외선 센서로 장애물에 대한 좌표를 얻어서 주행 지도를 작성한다. 그리고 주행 지도를 토대로 경로 계획을 수립하여 목적지까지 신속하게 이동하게 하였다. 또한, 단점으로 지적된 환경정보 변화에 따른 장애물 회피 방법으로는 적외선 센서로 얻은 장애물과의 거리와 방향으로 장애물과 충돌이 일어나지 않는 공간을 찾아 장애물을 회피하는 퍼지제어를 사용하였다. 이동로봇을 제어하기 위한 퍼지제어기의 퍼지화 방법은 싱글톤 방법, 제어규칙은 정밀한 제어를 위해 49개의 규칙, 추론법은 Mamdani의 추론법, 비퍼지화 방법은 간략화된 무게중심법을 사용하였다. 제어대상으로 하는 이동로봇은 조향장치가 없이 각각의 바퀴로 방향을 바꾸도록 구성된 차동구동형 로봇으로 non-holonomic 시스템이며, 정확한 속도를 알아낼 수 있다는 가정 하에서 설계하였으므로 실제 경우에 발생할 수 있는 불확실성이 고려되지 않았다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이동로봇 시스템의 구조를 정리한다. 3장에서는 개선된 브레이튼버그(improved Braitenberg) 알고리즘을 이용한 주행 지도 작성과 중간 목표점 추출 및 장애물 회피를 위한 퍼지제어를 서술하며, 4장에서는 실험 구현 환경 및 실험 결과에 대해, 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제에 대해 논하고자 한다.

제2장 이동로봇 시스템의 구조

제1절 이동로봇의 기구학

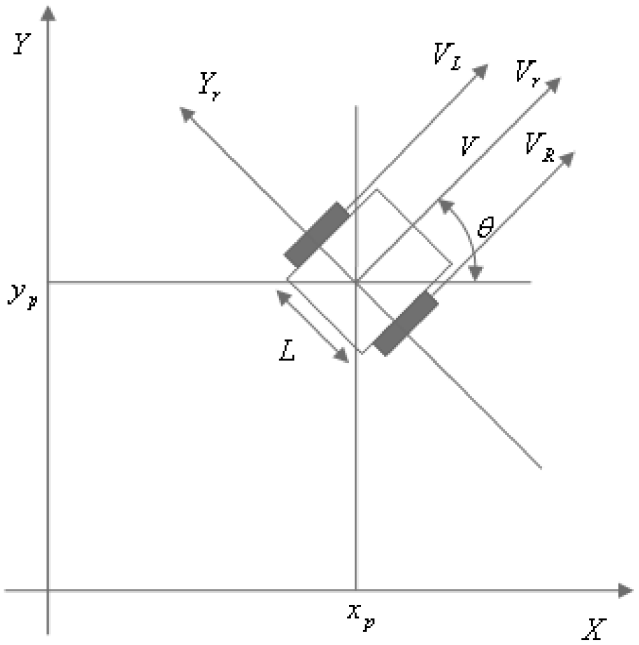

그림 1. 차동구동형 로봇

이동로봇에 주로 이용되는 구조는 그림 1과 같은 차동구동형 로봇으로 구조가 간단하다. 차동구동형 로봇의 기구학적인 모델은 그림 1로부터 얻을 수 있다. 좌표계는 2차원 평면에 전역좌표계인 (X, Y), 로봇의 이동에 따른 상태좌표계 (X_p, Y_p)으로 나타낼 수 있다.

왼쪽 바퀴와 오른쪽 바퀴의 각속도를 ω_L, ω_R이라고 하면 non-slipping 조건에 의

해 왼쪽 바퀴와 오른쪽 바퀴의 지면과의 접촉점의 속도는 식 (1)과 같다.

$$V_L = r\omega_L,\ V_R = r\omega_R \tag{1}$$

단, r 은 바퀴의 반지름

단, 로봇 중심의 선속도를 v이고 V_R, V_L은 각각 오른쪽, 왼쪽바퀴의 선속도이다. 반시계 방향으로의 로봇의 각속도를 ω라고 하면 v, ω와 ω_R, ω_L은 식 (2), 식 (3)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\omega = \frac{V_R - V_L}{L} = r\frac{\omega_R - \omega_L}{L} \tag{2}$$

$$v = \frac{V_R + V_L}{2} = r\frac{\omega_R + \omega_L}{2} \tag{3}$$

여기서 L은 양 바퀴 사이의 거리이다. 로봇의 자세 $[x\ y\ \theta]^T$와 로봇의 선속도와 각속도 $[v\ \omega]^T$는 식 (4)과 같은 기구학에 의해 표현된다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \tag{4}$$

식 (4)에서와 같이 로봇에서 제어할 수 있는 구동기는 2개인데 반해 도달해야 하는 위치 및 각도의 자유도는 3이다. 따라서 현재 로봇의 자세에서 원하는 자세로 제어할 때 제한조건이 발생한다. 바닥과 바퀴의 접촉면에서 바퀴 면에 수직인 방향의 속도성분은 0이라는 non-slipping 조건을 이용하면 식 (5)과 같은 non-holonomic 제한조건을 구할 수 있다[8].

$$H \bullet \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = [\sin\theta - \cos\theta] \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \dot{x}\sin\theta - \dot{y}\cos\theta = 0 \tag{5}$$

여기서, H는 바퀴면에 수직인 단위 벡터이다.

제한 조건은 식 (5)과 같이 되며, 이것은 $\tan\theta = \dot{y}/\dot{x}$ 와 같이 정리될 수 있다. 이것은 로봇의 순간 진행방향은 로봇이 향하고 있는 각도 θ와 같다는 의미이다.

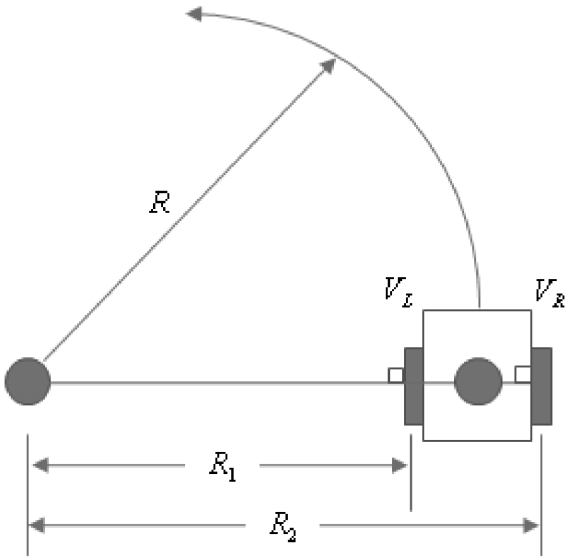

그림 2. 순간회전중심

식 (6)에 나타낸 바와 같이 양 바퀴의 속도 V_L과 V_R은 그림 2에 표시된 순간회전중심에서의 바퀴까지의 거리 R_1, R_2와 비례한다.

$$V_L : R_1 = V_R : R_2 \tag{6}$$

식 (6)은 식 (7)과 같이 정리될 수 있다.

$$\frac{V_L}{(R-\frac{L}{2})} = \frac{V_R}{(R+\frac{L}{2})} \tag{7}$$

식 (7)을 정리하면 로봇의 회전 반경은 식 (8)과 같다.

$$R = \frac{L}{2}\frac{V_R + V_L}{V_R - V_L} \tag{8}$$

식 (8)에 나타낸 바와 같이 로봇이 직진할 경우는 $R = \infty$일 경우이며 $V_R = V_L$일 때이다. 또한, 로봇이 제자리에서 회전하기 위해서는 $R = 0$일 경우이며 $V_R = -V_L$일 경우이다.

제2절 이동로봇의 자세 오차

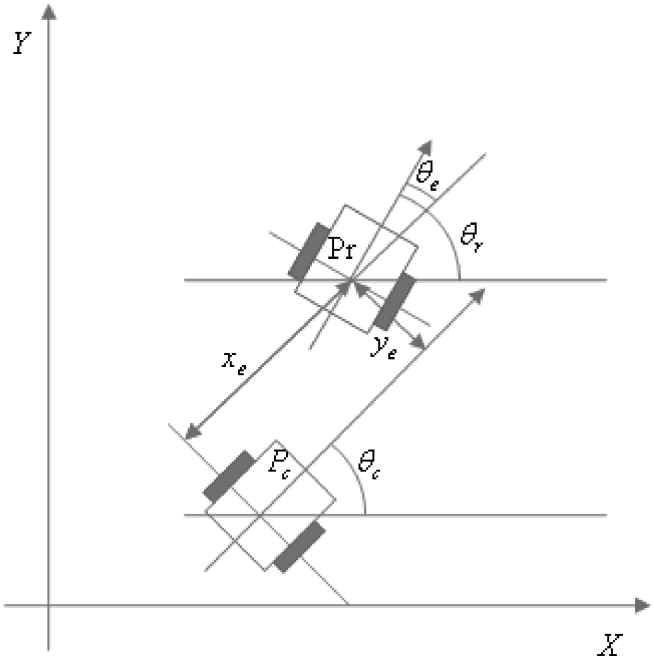

그림 3. 기준 자세와 현재 자세의 오차

그림 3과 같이 오차 에 대한 제어 시스템은 현재자세 $P_c = [x_c y_c \theta_c]$와 기준자세 $P_r = [x_r y_r \theta_r]$을 이용해서 이동로봇의 자세오차를 구한다.

여기서 기준자세는 이동로봇의 목표자세이고, 현재자세는 이동로봇의 실제 자세이다. 기준자세와 현재자세의 좌표변환을 통하여 자세오차 P_e을 식 (9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_e = \begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ \theta_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_c & \sin\theta_c & 0 \\ -\sin\theta_c & \cos\theta_c & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} (P_r - P_c) \tag{9}$$

식 (9)을 표현하면 식 (10)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_e = \begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ \theta_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_c & \sin\theta_c & 0 \\ -\sin\theta_c & \cos\theta_c & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r - x_c \\ y_r - y_c \\ \theta_r - \theta_c \end{bmatrix} \tag{10}$$

만약 $P_r = P_c$이면 자세 오차 $P_e = 0$이 된다.

제3절 목표점을 갖는 이동로봇 위치 오차

이동로봇의 목표점 좌표가 (x_d, y_d, θ_d)와 같이 주어졌다면 위치 및 각도 오차에 대한 식은 식 (11), 식 (12) 그리고 식 (13)과 같다.

$$x_e = x_d - x_c \tag{11}$$

$$y_e = y_d - y_c \tag{12}$$

$$\theta_e = \theta_d - \theta_c \tag{13}$$

그림 4는 목표점에 대한 이동로봇의 오차 (x_d, y_d, θ_d)을 나타내었다.

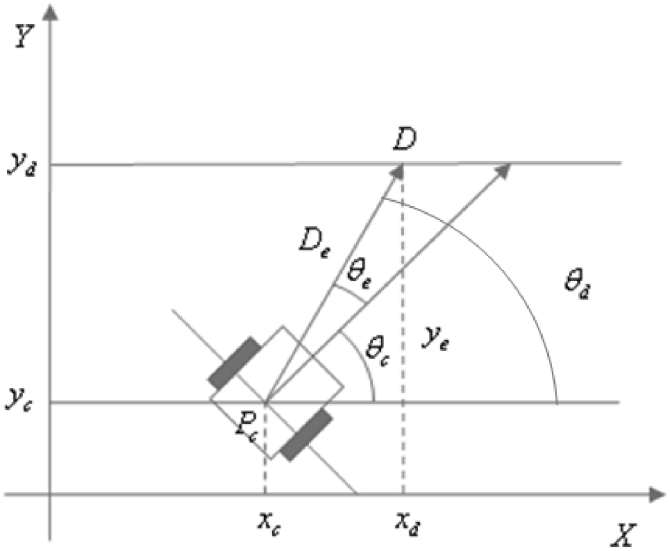

그림 4. 목표점과 현재 위치의 오차

좌, 우측 바퀴 각속도 ω_L, ω_R을 이용하여 v, ω을 조정하면 원하는 목표점까지 도

달할 수 있게 된다.

제3장 센서를 이용한 장애물 감지 및 퍼지제어

제1절 적외선 센서를 이용한 자율 주행 기법의 제안

1. 적외선 센서의 원리와 특징

적외선 센서란 사람의 눈에 보이는 가시광선의 적색광 아래범위 0.75μm에서 1 mm 정도에 해당되는 적외선 전자파를 검출하도록 만들어진 센서이다. 원리는 발광부에서 발생된 적외선은 물체에 부딪혀 반사되고, 수광부에서는 반사된 빛을 감지하여 물체의 유·무 또는 물체까지의 거리 등을 알 수 있다. 즉, 발광부에서 나온 적외선이 물체에 반사되어 수광부에 얼마나 많은 양이 들어오느냐에 따라서 수광부에 들어오는 전압의 양이 변화하게 된다. 예를 들면 발광부에서 흰색과 검정색에 적외선을 보냈을 경우 수광부에서는 반사량이 큰 흰색의 경우가 검정색보다 수광부에 전압이 높아지게 된다.

적외선 센서의 발광부와 수광부에 대한 구조는 다음 그림 5와 같다.

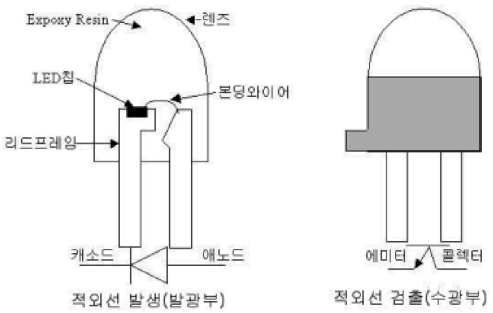

그림 5. 적외선 센서의 구조

적외선의 특징은 강한 열작용을 하고 열을 발산하는 물체는 적외선을 방사한다. 파장이 길어 공기를 잘 통과하는 특성을 가지고 있다. 적외선 센서의 종류로는 양자형 적외선 센서와 열형 적외선 센서가 있다[9]. 양자형 적외선 센서는 감도가 높고 응답 속도가 빠르다. 그러나 검출 감도에 파장의 의존성이 크다. 열형 적외선 센서는 광자형에 비해 감도가 떨어지고 응답속도가 대단히 느리지만 상온에서 동작하므로 극저온 냉각이 필요 없으며 파장의 의존성이 없는 이점이 있다.

본 논문에서 사용된 이동로봇에 부착되어진 적외선 센서는 그림 5와 같이 발광부와 수광부를 가지고 있는 양자형 적외선 센서이며 수신량에 따라 물체의 유•무 또는 물체의 거리를 A-D 변환기를 이용하여 측정할 수 있다.

이동 로봇의 장애물 감지를 위해 표와 같이 적외선 센서와 장애물 사이의 거리에 따라 센서값을 측정하였다. 장애물과의 거리는 0.5cm간의 간격으로 실험하였다.

표 1. 적외선 센서 거리 측정 실험

장애물과의 거리(cm)	거리에 따른 적외선 센서값
1이하	3900 이상
1.5	3800 ~ 3899
2	3700 ~ 3799
2.5	3200 ~ 3699
3	2400 ~ 3199
3.5	1900 ~ 2399
4	1500 ~ 1899
4.5	1200 ~ 1499
5	1000 ~ 1199
5.5	800 ~ 999
6	700 ~ 799
6.5	600 ~ 699
7	500 ~ 599
7.5	450 ~ 499
8	400 ~ 449
8.5	370 ~ 399
9	340 ~ 369
9.5	320 ~ 339
10	280 ~ 319
10.5	250 ~ 279
11	230 ~ 249
11.5	210 ~ 229
12	200 ~ 209
15이상	200 이하

적외선 센서를 통하여 장애물과의 거리가 15cm이상이면 검출되는 데이터 수치가 구분하기 힘들다. 그리하여 15cm 이하까지 나타내었다. 적외선 센서는 장거리 데이터 검출에는 이용할 수 없는 단점이 있다.

2. 브레이튼버그(Braitenberg) 알고리즘

1984년 발렌티노 브레이튼(Valentino Braitenberg)에 의해 Braitenberg 차량이 만

들어졌다. Valentino Braitenberg는 점점 복잡한 차량은 기계적이고 전기적인 구성으로 만들어진 사고 실험의 집합으로 설명하였다[10]. Braitenberg는 심리적인 아이디어와 지능의 본질을 탐험하기 위한 이러한 사고 실험을 이용한다. 즉, 지능형 동작을 기반으로 환경의 표현을 나타내는 반응 또는 추론을 보여준다. 지능적 행위와 유사한 방법으로 이러한 상상의 차량은 “Fear", "Love", "Logic" 등의 행위와 일치된 주어진 이름이 있다.

Braitenberg의 아주 간단한 차량 예를 들면 첫 번째는 하나의 바퀴를 직접적으로 자극하는 빛 감지기 센서는 다음의 규칙을 가지고 있다.

- 빛이 강할수록 더 빠르게 움직인다.
- 빛이 약할수록 더 천천히 움직인다.
- 어두우면 정지한다.

두 번째는 양쪽 두 바퀴에 빛 감지기 센서를 가지고 있을 경우

- 우측 빛이 강하면 우측 바퀴를 빠르게 턴한다. 그리고 왼쪽으로 방향을 전환한다. 그러면 빛에 점점 멀어진다.

마지막으로 부정이나 금지 관계의 경우

- 빛이 강할수록 천천히 움직인다. 이러한 경우는 어두운 곳에서 밝은 곳을 향해 움직인다.

이렇듯, Braitenberg 차량은 복잡하고 동적인 행동을 나타낸다.

본 논문에서는 이러한 차량을 사용하기 위한 이동 로봇으로 KeperaIII을 사용하였다. 그림 6은 이동 로봇의 적외선 센서의 배치도를 나타낸다. 각 센서는 구분을 위해 센서 번호와 부착된 센서 각도를 보여주고 있다.

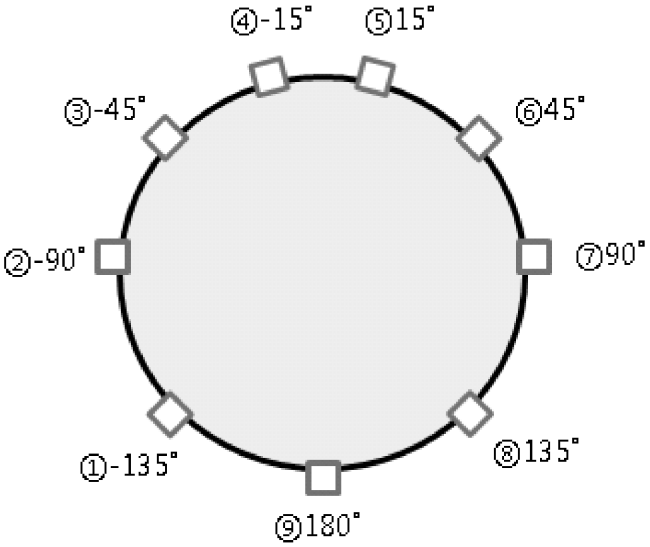

그림 6. 이동로봇 적외선 센서 배치도

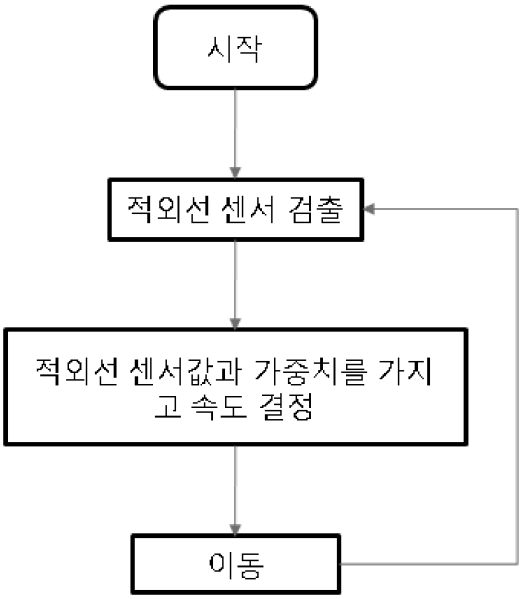

그림 7. 브레이튼버그 장애물 회피 알고리즘 순서도

다음 그림 7과 같이 이동 로봇이 주행할 때 적외선 센서를 이용하여 장애물을 인지하고 회피를 한다. 즉, 이동 로봇 주위에 9개의 적외선 센서 데이터 값을 받으면 각각 좌측 바퀴와 우측 바퀴에 대한 속도를 결정하기 위한 계산을 한다. 좌측 바퀴에 대한 속도는 9개의 적외선 센서 데이터 값과 좌측 바퀴를 기준으로 한 가중치의 곱으로 결정된다. 우측 바퀴도 마찬가지로 9개의 적외선 센서 데이터 값과 우측 바퀴를 기준으로 한 가중치의 곱으로 결정된다. 이동 방향을 결정하기 위한 가중치를 곱하여 좌우측 바퀴에 대한 속도를 결정한다. 예를 들면 주행 중 전방과 좌측에 장애물이 있으면 장애물의 감지를 받은 센서 값은 증가를 하게 된다. 그러면 좌측 바퀴의 기준에서는 장애물의 감지를 받은 센서에 가중치가 양수이므로 속도가 증가하게 되고 그에 반해 우측 바퀴의 기준에서는 가중치가 음수이므로 반대로 감소하게 된다. 결과적으로 진행하는 방향의 우측으로 이동하여 장애물을 회피한다.

표 2. 가중치 조건에 따른 이동로봇의 움직임 결과

조건	결과
가중치를 주지 않았을 경우	장애물에 부딪침
좌측 바퀴 가중치가 다음과 같을 경우 10, 10, 10, 10, -10, -10, -10, -10, 0	장애물과 아주 가까운 거리에서 급격한 회전함
좌측 바퀴 가중치가 다음과 같을 경우 20, 20, 20, 20, -20, -20, -20, -20, 0	장애물과 가까운 거리에서 급격한 회전함
좌측 바퀴 가중치가 다음과 같을 경우 30, 30, 30, 30, -30, -30, -30, -30, 0	장애물과의 거리는 일정 유지되나 회피하는 회전이 커짐
좌측 바퀴 가중치가 다음과 같을 경우 100, 100, 100, 100, -100, -100, -100, 0	장애물과의 먼 거리에서 회피하여 효율성이 떨어짐
좌측 바퀴 가중치가 다음과 같을 경우 -2, 2, 4, 6, -6, -4, -2, 2, 0	장애물과 아주 가까운 거리에서 회전함으로 위험함
좌측 바퀴 가중치가 다음과 같을 경우 -20, 20, 40, 60, -60, -40, -20, 20, 0	적당한 거리에서 자연스런 회피를 함
좌측 바퀴 가중치가 다음과 같을 경우 -200, 200, 400, 600, -600, -400, -200, 200, 0	움직이기 힘들 정도로 좌우 바퀴가 흔들림

장애물에 대한 안전한 회피를 위한 가중치 실험은 다음 표2와 같다. 조건에서 숫자는 좌측에서부터 적외선 센서 번호 1번부터 9번까지 가중치 값을 나타내며 우측 바퀴 가중치는 좌측 바퀴 가중치에 -1을 곱한 값이 된다.

위의 표와 같이 가중치를 주지 않으면 적외선 센서 데이터 값만 가지고 장애물에 대한 회피를 할 수가 없다. 그리고 가중치 값을 일정하게 주게 되면 양 쪽 바퀴

의 속도 차이가 크므로 해서 회전이 크게 일어나는 상황이 발생한다.

그리하여 장애물 회피를 위한 좌측 바퀴와 우측 바퀴에 대한 각 적외선 센서 가중치는 다음 표 3과 같다.

표 3. 적외선 센서 가중치

센서 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9
좌측 바퀴에 대한 가중치	-20	20	40	60	-60	-40	-20	20	0
우측 바퀴에 대한 가중치	20	-20	-40	-60	60	40	20	-20	0

i번째 적외선 센서에 대한 왼쪽 바퀴와 오른쪽 바위에 대한 속도에 대한 공식은 다음 식(14), 식(15)과 같다.

$$V_L[i] = S[i] * weight_L[i] \tag{14}$$

$$V_R[i] = S[i] * weight_R[i] \tag{15}$$

최종 좌측 바퀴와 우측 바퀴에 속도를 가하는 공식은 다음 식(16), 식(17)과 같다.

$$V_L = V_L[1] + \cdots + V_L[9] \tag{16}$$

$$V_R = V_R[1] + \cdots + V_R[9] \tag{17}$$

이렇듯, 좌측 바퀴의 속도와 우측 바퀴의 속도를 가지고 장애물에 대한 회피를 수행하게 된다.

3. 개선된 브레이튼버그(Improved Braitenberg) 알고리즘

이동로봇을 자율주행하기 위해 실내 환경에 대한 적응을 해야 한다. 학습을 통해서 최적의 경로를 얻기 위해서 그림 8과 같이 개선된 브레이튼버그 장애물 회피 알고리즘을 사용한다.

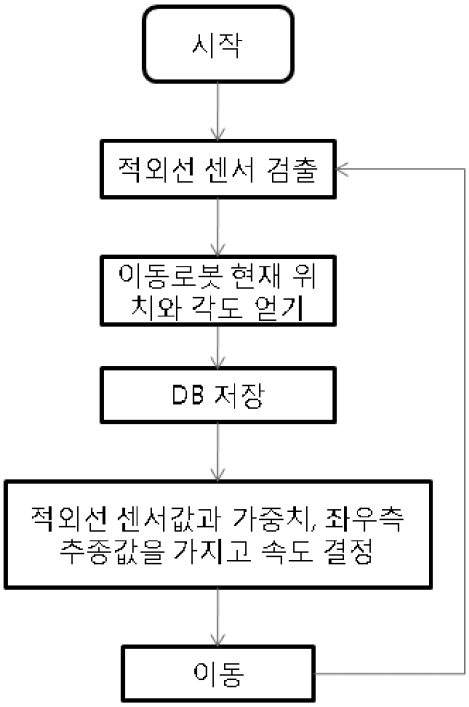

그림 8. 개선된 브레이튼버그 장애물 회피 알고리즘 순서도

미지의 환경에서 충분한 정보가 없을 때, 주행 지도를 작성하기 위하여 좌측 벽면 추종과 우측 벽면 추종을 한다[11]. 그래서 기존의 브레이튼버그 장애물 회피 알고리즘을 이용한다. 좌측과 우측 벽면을 추종하기 위하여 적외선 센서 데이터 값에 추종값을 더한다. 즉, 기존의 브레이튼버그 장애물 회피 알고리즘은 이동 중에 좌측 벽면에 가까워졌을 때 회피하기 위하여 우측으로 이동하게 된다. 그러나 벽면

을 따라가기 위하여 벽면과의 일정한 거리를 유지하면서 이동해야한다. 따라서 좌측 바퀴와 우측 바퀴에 대한 속도가 일정해야 한다.

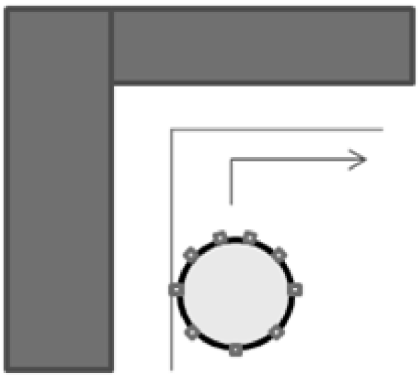

그림 9. 좌측 벽면 추종 예

본 논문에서는 좌측 벽면 추종을 할 경우 다음 그림 9와 같이 적외선 2번 센서 장애물과의 거리를 약 8cm로 유지하면서 벽면을 따라 이동하고 우측 벽면 추종을 할 경우에는 마찬가지로 적외선 7번 센서와 장애물과의 거리를 약 8cm로 유지하면서 벽면을 따라 이동한다.

따라서 이동 로봇의 현재 위치와 각도 그리고 적외선 센서를 통한 장애물과의 거리를 안정되게 얻을 수가 있다. 벽면 추종을 위한 추종값은 표 4와 같다.

표 4. 벽면 추종을 위한 추종값

센서 번호	1	2	3	4
좌측 벽면 추종값	100	-250	-500	-250
센서 번호	5	6	7	8
우측 벽면 추종값	100	-250	-500	-250

i번째 적외선 센서값에 대한 좌측 속도와 우측 속도에 대한 공식은 다음 식

(18), 식 (19)과 같다.

$$V_L[i] = (S[i] + bias) * weight_L[i] \tag{18}$$

$$V_R[i] = (S[i] + bias) * weight_R[i] \tag{19}$$

여기서 bias는 추종값을 나타낸다.

4. 주행 지도 작성

적외선 센서를 통하여 검출되는 데이터를 이용해 실시간으로 2차원 평면에 실제 지도를 작성하기 위해서 고려해야 할 점은 이동로봇의 주행에 따른 이동과 이동로봇의 회전에 의한 적외선 센서 위치의 회전 그리고 이동로봇의 실시간 위치이다.

로봇의 주행 중에 발생하는 이동, 회전, 위치 등을 고려하여 현재 위치의 전역변환이 이루어져야 안정된 지도정보를 얻을 수 있다. 좌측 벽면 추종 시 상대 좌표 변환은 다음 그림 10과 같다.

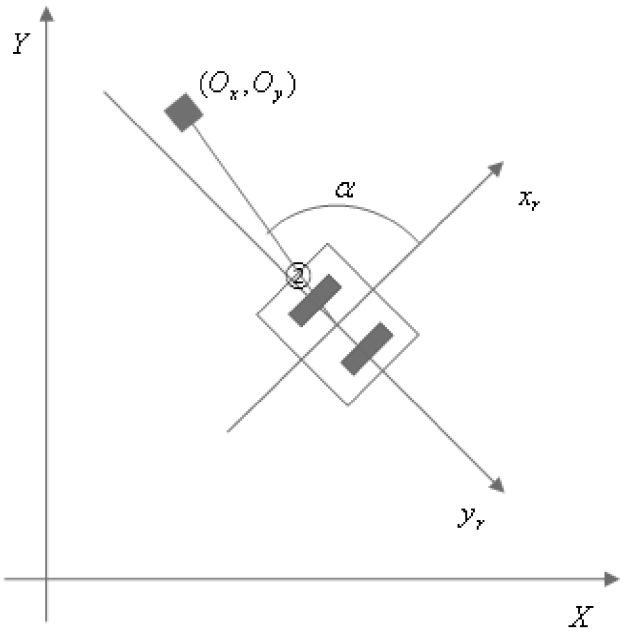

그림 10. 좌측 벽면 추종 시 상대 좌표 변환

좌측 벽면을 추종하여 장애물에 대한 좌표를 구하기 위하여 이동로봇의 여러 적외선 센서 중에서 좌측 2번 센서를 가지고 하였다. 그림에서 적외선 센서 2번에서 검출되는 로봇의 중심에서 기준한 상대좌표계(X_p, Y_p)에서의 장애물의 좌표 (O_x, O_y)는 식 (20), 식(21)과 같다.

$$O_x = \cos(\alpha) \cdot (D+S) \tag{20}$$

$$O_y = \sin(\alpha) \cdot (D+S) \tag{21}$$

여기서 α는 로봇 중심에서 적외선 센서의 위치각을 나타내며, D는 장애물까지 거리를, S는 로봇 중심에서 부착된 센서까지의 거리를 나타낸다. 그림 11은 이동로봇의 회전을 고려한 좌표변환을 나타낸다.

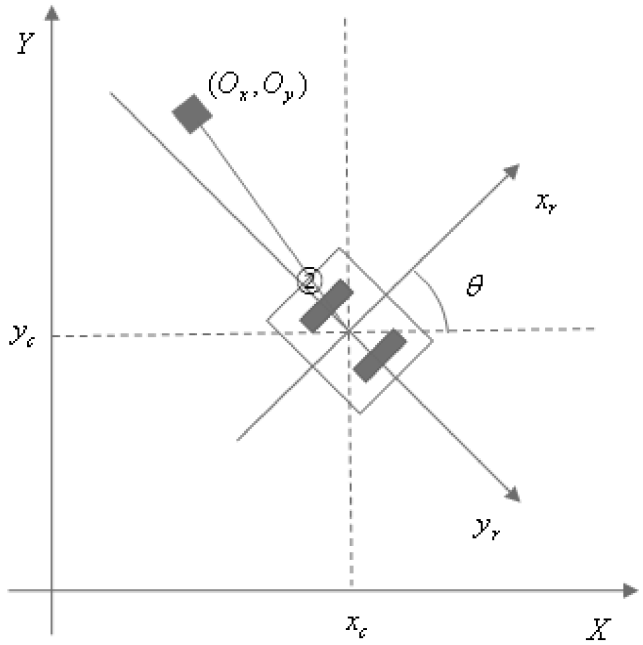

그림 11. 이동로봇 회전에 의한 좌표변환

이동로봇의 현재 위치 기준에서 장애물의 전역위치(X_g, Y_g)는 식 (22)과 식 (23)로 나타낼 수 있다.

$$X_g = O_x \cdot \cos\theta - O_y \cdot \sin\theta \tag{22}$$

$$Y_g = O_x \cdot \sin\theta + O_y \cdot \cos\theta \tag{23}$$

여기서 θ는 절대좌표계에서 로봇이 기울어진 각을 의미한다. 로봇의 이동을 고려한 전역 좌표계에서 장애물의 최종 전역 좌표 (X_G, Y_G)는 식 (24)과 식 (25)을 사용하여 변환된다.

$$X_G = X_g + x_c \tag{24}$$

$$Y_G = Y_g + y_c \tag{25}$$

여기서 (x_c, y_c)는 전역좌표계에서 이동로봇의 현재 위치를 의미하며, 변환된 장애물의 좌표 (X_g, Y_g)에 더해져서 장애물의 최종 전역 좌표를 구할 수 있다.

로봇이 이동한 현재 위치 (x_c, y_c)는 모터의 엔코더를 통하여 기록되고, 그 현재 위치에서 검출된 적외선 센서의 거리 정보와 함께 데이터베이스에 저장된다. 장애물의 전역좌표 (X_G, Y_G)는 위와 같은 좌표변환을 통하여 계산하여 기록된다.

제2절 퍼지 제어 기반의 최적 경로 도출

1. 퍼지논리제어의 개념

퍼지이론은 현상의 불확실한 상태를 그대로 표현해 주는 방법으로서 1965년 미국 버클리 대학의 자데(L. A. Zadeh)교수에 의해서 처음 소개되었다.

퍼지논리제어기는 퍼지이론을 응용한 것으로서 인간의 경험, 느낌을 기본으로 주관성을 이용한 해석이 불가능하거나, 또는 시스템으로부터 얻어지는 데이터가 부정확하거나 불확실한 경우 전문가의 지식과 경험에 의한 언어적인 제어 규칙을 수립, 적용함으로써 우수한 제어 결과를 나타내고 있다. 선형 시스템은 물론 비선형 특성을 가진 시스템에서도 유용하게 적용될 수 있다. 또한 퍼지제어기는 제어 규칙의 전반 조건부에 대한 다양한 조건 기술이 가능한 논리적 제어기이며 일련의 제어 규칙들에 의해 분산되어 적용할 수 있는 병렬 제어기이다[8].

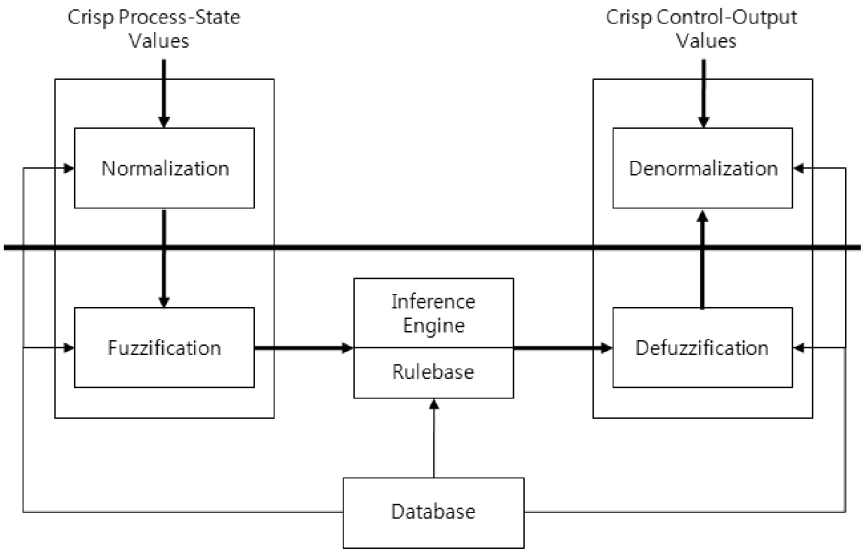

그림 12. 퍼지 제어기의 구조

지식기반 퍼지제어기의 기본적인 구조는 그림 12와 같다. 퍼지제어기는 규칙제어에 해당하는 퍼지 룰베이스가 있고, 계산 장치에 해당하는 추론장치(inference engine)를 기반으로 구성되어 있다. 단, 퍼지제어기가 플랜트 또는 오퍼레이터 등과 주고받는 데이터는 퍼지량이 아닌 크리습양이므로 퍼지량과 크리습양을 상호 바꾸어 줄 수 있는 변환장치(transformation device)가 필요하다. 퍼지제어기의 경우, 퍼지화기(fuzzifier) 및 비퍼지화기(defuzzifier)가 그것이다. 실제의 퍼지제어기는 입력신호를 일단 표준규격화 시키는 정규화 모듈(normalization module)과 제어기 출력을 실제 엑츄에이터/플랜트의 변수영역에 맞추는 비정규화 모듈(denormalization module)이 있고 이러한 여러 기능모듈(functional module)들이 상호 일관된 정보체계 하에서 운영되도록 필요한 데이터를 제공하는 데이터베이스가 있다.

2. 퍼지제어 규칙과 추론방법

퍼지제어는 공정 제어 알고리즘을 제어 대상인 공정의 상태에 대한 정보 X, Y와 공정에 대한 입력 Z 사이의 퍼지 관계로 표현한다. 퍼지제어 알고리즘은 다음과 같은 IF-THEN 조건문으로 주어진다. 즉, 'X가 작고 Y가 크면, Z는 중간이다.', 'X가 크고 Y가 중간이면, Z는 크다.'처럼 나타낸다.

이들을 퍼지제어 규칙(fuzzy control rule)이라 하고 이 규칙의 'IF'문을 선행조건(antecedent). 'THEN'문을 결론(consequent)이라 한다. 일반적으로 변수 X와 Y를 입력이라 하며 Z를 출력이라 한다. '작다'와 '크다'는 퍼지 변수로 X와 Y에 대한 퍼지값으로서 퍼지집합으로 표시된다. 퍼지논리제어기는 이들 퍼지 제어 규칙의 집단으로 구성되며 실제 입력이 주어질 때, 출력은 퍼지추론에 의하여 계산된다.

퍼지추론은 퍼지논리에 근거하는데 계산 시간을 고려하여 고속응답이 필요한 경우에는 간단한 방법이 이용된다. 퍼지제어기에서 사용하는 추론은 명제(퍼지논리제

어기의 실제 입력)가 퍼지값이 아닌 보통의 수치라는 점에서 전형적인 퍼지추론과는 다르다. 지식공학에서의 생성규칙(production rule)과 같은 분야에서 사용되는 방법들과 퍼지제어와 같은 분야에서 사용하는 방법의 주요한 차이점은 후자는 1단계 추론인 퍼지표현을 허용하나 전자는 거의 항상 다단계라는 점이다. 각 퍼지변수에는 고유의 소속 함수가 그림 와 같이 부여된다.

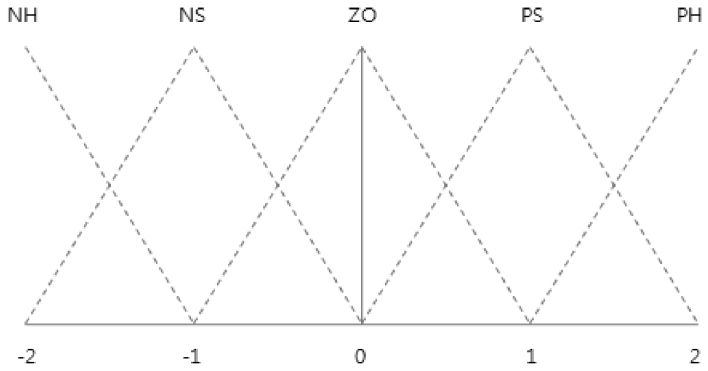

그림 13. 퍼지변수의 소속 함수

위의 그림 13에서 NH, NS, ZO, PS, PH는 각각 큰 음의 값(negative high), 작은 음의 값(negative small), 영(zero), 작은 양의 값(positive small), 큰 양의 값(positive high)들의 의미를 나타내며 이들 모두 구간[-2, 2]의 퍼지 부분집합(퍼지수)를 나타낸다.

퍼지제어의 경우 양이나 음의 값을 가질 수 있는 입력 변수와 출력 변수의 영역은 보통 [-2, 2]로 정규화되며 양의 값만을 갖는 경우에는 [0, 2]로 정규화된다. 따라서 스케일링 인자를 도입하면 모든 변수들에 대한 퍼지변수로 사용할 수 있다[12].

3. 퍼지수

퍼지수(fuzzy number)란 '대략 다섯', '서넛', '여럿' 등의 표현과 같이 수적개념 중에서 애매모호한 성질의 수량을 나타내며, 실용상 매우 유효한 것이다. '약 10cm'는 구체적인 수치를 포함한 표현이며, 10cm를 중심으로 그 상하의 길이를 애매하게 가리키고 있다. 이와 같이 '약 10cm'를 길이 상의 집합, 퍼지집합으로서 기술하는 방법이 퍼지수의 고찰 방법이다.

4. 삼각 퍼지수

소속함수가 그림 14와 같이 삼각형인 퍼지수를 삼각 퍼지수(triangular fuzzy number)라 부른다.

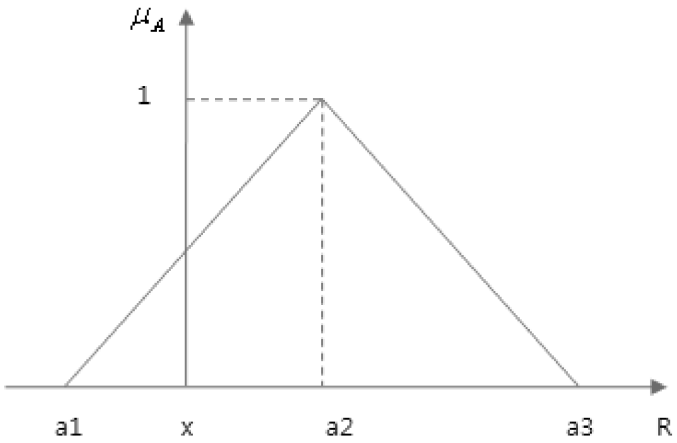

그림 14. 삼각 퍼지수

그림 14의 $\mu_A(x)$는 식 (26)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \le a_1, \\ (x-a_1)/(a_2-a_1), & a_1 \le x \le a_2, \\ (a_3-x)/(a_3-a_2), & a_2 \le x \le a_3, \\ 0, & a_3 \le x \end{cases} \tag{26}$$

5. 비퍼지화기

비퍼지화기는 퍼지집합으로 표시되는 퍼지량으로부터 크리습양(crisp number data)을 얻는 변환장치이다. 비퍼지화기의 종류에는 무게중심법(center of gravity method), 합중심점(center of sums method), 높이법(height method), 최대면적 중심법(center of largest area method), 첫 최대값 방법(first of maxima method), 최대치 평균법(middle of maxima method)등이 있다.

본 논문에서는 간략화된 무게중심법(simplified center of gravity method)을 사용하기로 하며, 이 방법은 다음과 같다.

각각의 퍼지규칙 R_i에 의한 근사추론결과 B_i'을 식 (27)의 COG방법으로 비퍼지화된다.

$$u_i^* = COG(B_i'), i = 1,2,...,N \tag{27}$$

전체규칙에 의한 비퍼지화된 추론결과를 다음의 식 (28)로 정의한다.

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^{N} u_i^* k_i}{\sum_{i=1}^{N} k_i} \tag{28}$$

여기서 k_i는 퍼지제어규칙 R_i의 적합도이다. 간략화된 COG 방법에서는 명제연산자 'also'를 식 으로 정의한 것으로 이해할 수 있으며, 이 방법의 장점으로는 COG의 장점 이외에 구현이 쉽다는 점이 있다.

6. 입출력 변수의 정의

본 논문에서 사용한 입출력 변수와 소속 함수는 다음과 같다.

-입력 변수 : 거리(d), 각도(θ)

-출력 변수 : 좌, 우 바퀴 속도(v_l, v_r)

여기서 입력변수의 거리는 현재 이동로봇과 적외선 센서에 의해 감지된 장애물과의 거리 중에 가장 작은 값이고, 각도는 장애물이 놓은 방향과 현재 이동로봇의 진행 방향 사이의 각도이다. 퍼지 소속 함수는 표 5와 같다.

표 5. 퍼지 소속 함수

Distance (cm)
VN : Very near (0~5)
NE : Near (0~10)
FA : Far (5~15)
VF : Very far (10~15)

Error angle(◦)
NB : Negative big (-15~-45)
NS : Negative short (0~-45)
ZZ : Zero (-15~15)
PS : Positive short (0~45)
PB : Positive big (15~45)

7. 퍼지 소속 함수 및 제어 규칙

위와 같은 입력 변수와 출력 변수를 사용하여 퍼지 소속 함수를 그림 15와 그림 16 그리고 그림 17과 같이 그래프로 나타내었다. 휠체어의 좌, 우 바퀴 속도를 제어하는 경우의 제어 규칙을 표 6에 나타내었다. 표 6과 같이 전조건부의 입력 변수 d와 θ에 대해 각각 4개와 5개의 퍼지 변수를 선택했을 때 좌, 우 바퀴속도의 출력에 적용된 제어 규칙은 총 40개이다.

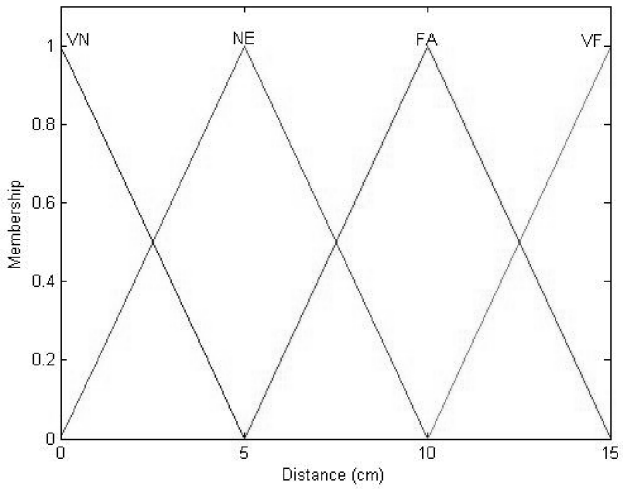

그림 15. 거리에 대한 소속 함수

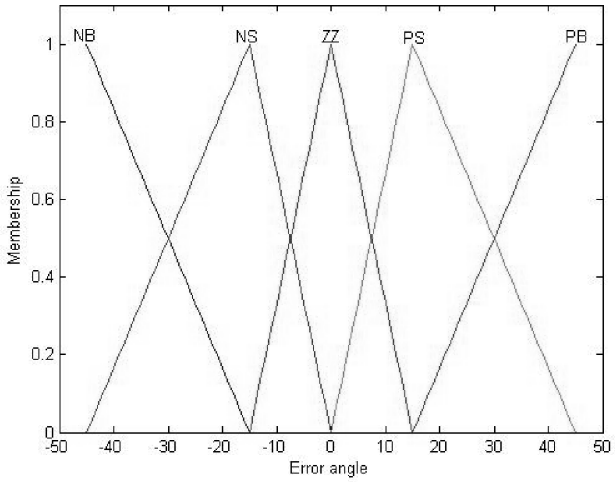

그림 16. 오차 각에 대한 소속 함수

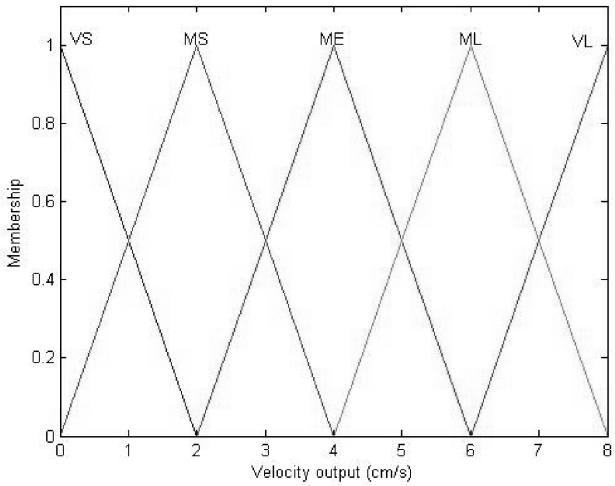

그림 17. 속도에 대한 출력 소속 함수

표 6. 좌우측 바퀴의 퍼지 제어규칙

Fuzzy input		Fuzzy output	
Distance	Delta	Left motor velocity	Right motor velocity
VN	NB	ME	VS
VN	NS	MS	VS
VN	ZZ	VS	VS
VN	PS	VS	MS
VN	PB	VS	ME
NE	NB	ME	MS
NE	NS	ME	MS
NE	ZZ	MS	MS
NE	PS	MS	ME
NE	PB	MS	ME
FA	NB	ML	ME
FA	NS	ML	ME
FA	ZZ	ME	ME
FA	PS	ME	ML
FA	PB	ME	ML
VF	NB	VL	ME
VF	NS	VL	ML
VF	ZZ	ML	ML
VF	PS	ML	VL
VF	PB	ME	VL

제4장 실험 및 결과 고찰

제1절 이동로봇 제어시스템 구성

1. 이동로봇의 전체 구조

자율 주행 시스템을 구현하여 적용하기 위해 사용한 로봇은 Swiss K-TEAM 사의 KheperaIII 로봇으로 고정밀 모터 제어 및 주행거리 측정, 다양한 센서를 통한 근거리, 원거리 장애물 detection 등의 소규모 연구 및 개발에 적당한 형태의 소프트웨어와 하드웨어로 구성되어 있다. 그림 18은 로봇의 전면부 사진이다.

그림 18. KeperaIII 로봇 전면부

각 바퀴를 독립적으로 제어할 수 있는 차동 구동형(differential type)이다. 이동로봇의 제어구조는 Intel Xscale PXA255(400MHz)와 DsPIC 30F5011 프로세서를 사

용한다. 그리고 O/S는 Embedded Linux 2.4.x이다. 실험에 사용된 이동로봇의 규격은 표 7과 같다.

표 7. KheperaIII 로봇의 규격

Size	Diameter: 130 mm, Height: 70 mm
Weight	Approx 725 g
Payload	Approx 2000 g
Power	Swappable Lithium-Polymer battery pack(1400 mAh)
Autonomy	~8 hours, moving continuously, using DsPIC PXA255 board power consumption: Idle: 500mW, Max: 1200mW
Speed	Max 0.5 m/s
Wheels Diameter	40 mm

KheperaIII 로봇은 총 11개의 적외선 센서가 설치되어 있다. 이동로봇의 센서배치도는 그림 19와 같다.

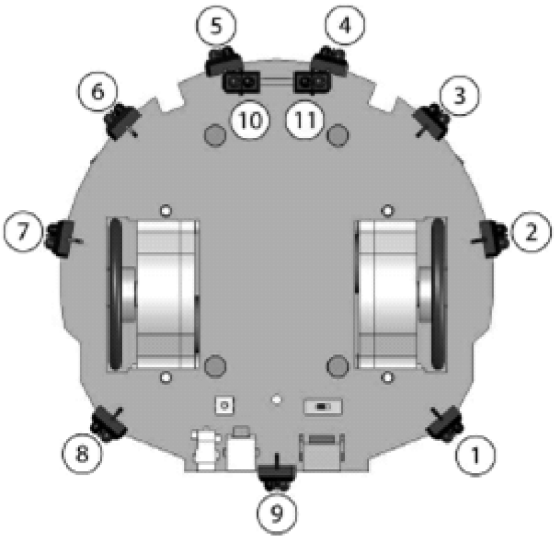

그림 19. 적외선 센서 배치

이동로봇이 이동할 때 다양한 각도로 장애물에 대한 정보를 측정할 수 있도록

하기 위해서 9개의 적외선 센서가 이동로봇 주위에 배치하고 있다. 본 시스템 구현에는 지면에 위치한 10번과 11번 센서에 대해서는 사용하지 않았다. 적외선 센서는 최대 25cm까지 측정할 수 있다.

이동로봇은 주행 알고리즘을 구현하는 PXA255 임베디드 보드가 장착되어 있고 RS-232 시리얼 통신 및 블루투스를 통한 무선 통신으로 로봇에 직접 구동 명령을 내린다.

2. 이동로봇 시스템 구성

이동로봇 시스템은 c언어로 작성하였으며 크게 두 부분으로 나누어진다. 다음 그림 20과 같이 지도 작성 프로그램과 주행 프로그램으로 분류된다.

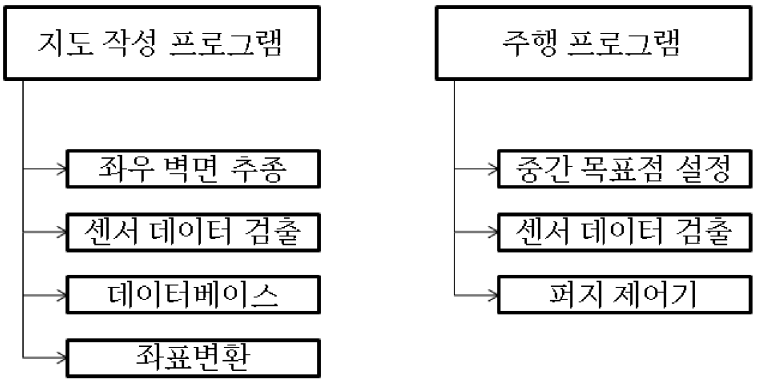

그림 20. 시스템 구현 전체 구성도

지도 작성 프로그램은 이동 로봇에 부착된 적외선 센서와 개선된 Braitenberg 알고리즘을 이용하여 좌측 벽면을 따라 가거나 우측 벽면을 따라 이동하게 된다. 또한 이동하면서 적외선 센서로부터 장애물에 대한 거리와 엔코더 센서로부터 현

재 로봇의 위치와 각도를 얻어서 데이터베이스에 저장을 하게 된다. 그리고 저장된 정보를 통해서 좌표변환을 수행하여 지도 작성을 하게 된다.

주행 프로그램은 주행지도를 바탕으로 주행을 한다. 지도 작성 프로그램을 통해 주행지도 작성이 완성되면 지도 분석을 통하여 중간 목표점을 도출한다. 중간 목표점은 Matlab 프로그램을 사용하여 후처리를 통하여 얻어지며 로봇의 이동반경과 목표점을 고려하여 설정한다. 설정된 중간 목표점을 가지고 시작점에서 목표점까지 주행을 하게 된다. 주행 중에 적외선 센서를 통해서 감지된 고정 장애물은 퍼지제어 알고리즘을 통해서 회피를 한다.

제2절 이동로봇의 실험 및 결과 분석

1. 개선된 브레이튼버그(Improved Braitenberg) 알고리즘을 이용한 지도 작성 실험 및 분석

개선된 브레이튼버그 알고리즘을 사용하여 좌측 벽면과 우측 벽면을 추종하면서 실제 지도를 작성하는 실험을 수행하였다. 실험 환경은 그림 21과 같이 가로 1.5[m], 세로 2.5[m]의 공간에 65cm의 고정 장애물 두 개와 벽들로 구성되어있다.

그림 21. 실험 환경

이동로봇은 (0.14, 0) 좌표에서 출발하여 왼쪽 벽을 따라 이동하였다. 장애물과 이동로봇 사이에 평균 8cm 간격을 유지하면서 20mm/s의 속도로 이동하였다.

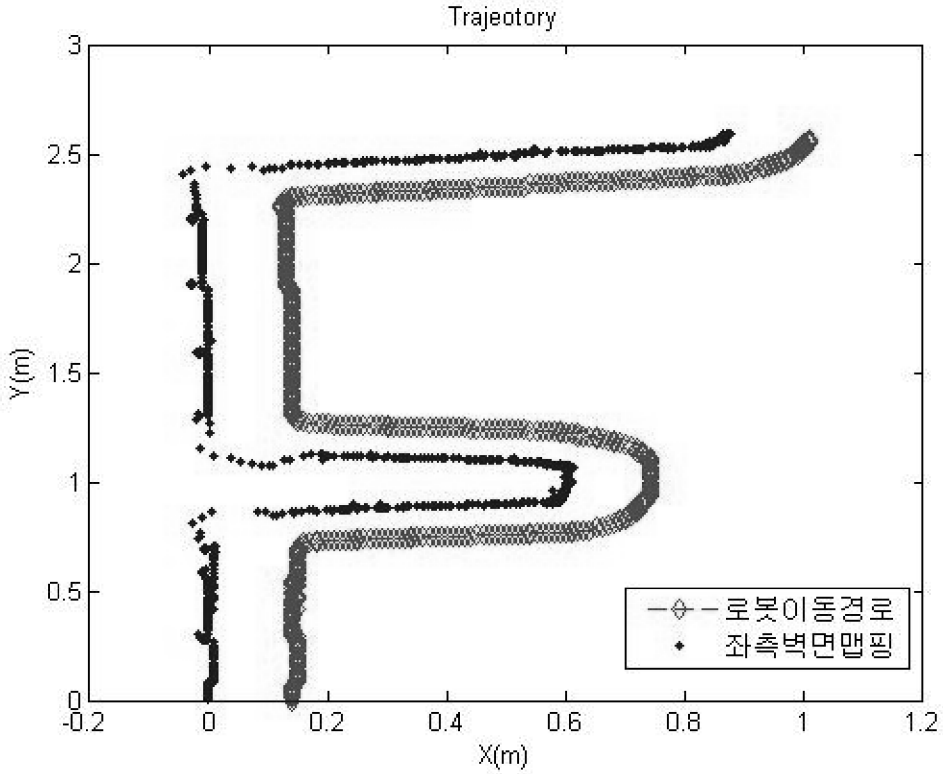

그림 22. 좌측 벽면 맵핑 결과

그림 22는 실제 실험을 통하여 얻어낸 결과이다. 약 2cm 정도의 오차를 보이지만 좌측 벽면 추종이 잘 이루어졌다는 것을 알 수 있다. 특히 코너 부분 회전 시에 발생되는 오차가 거의 없이 대체적으로 맵핑되었다는 것을 알 수 있다.

반대로 우측 벽면을 추종하여 맵핑한 결과는 다음 그림 23과 같다.

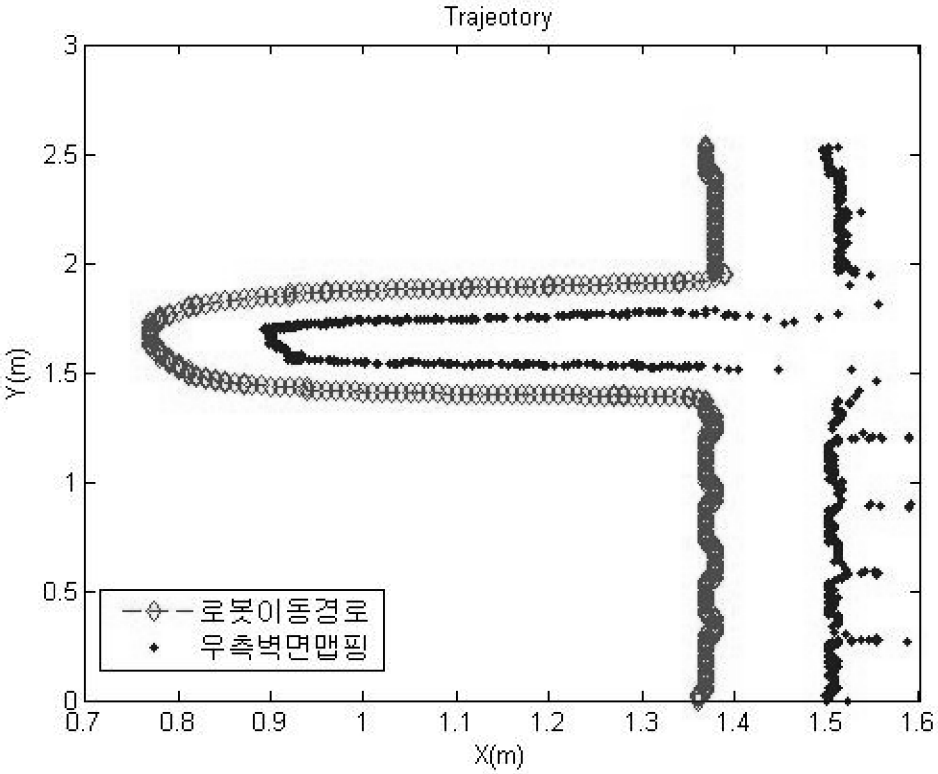

그림 23. 우측 벽면 맵핑 결과

좌측 벽면과 마찬가지로 벽면 추종이 잘 이루어졌다. 다만 벽 뒤에 보이는 오차들은 A4박스로 벽과 벽을 붙이면서 생기는 공백이 검출된 결과이다.

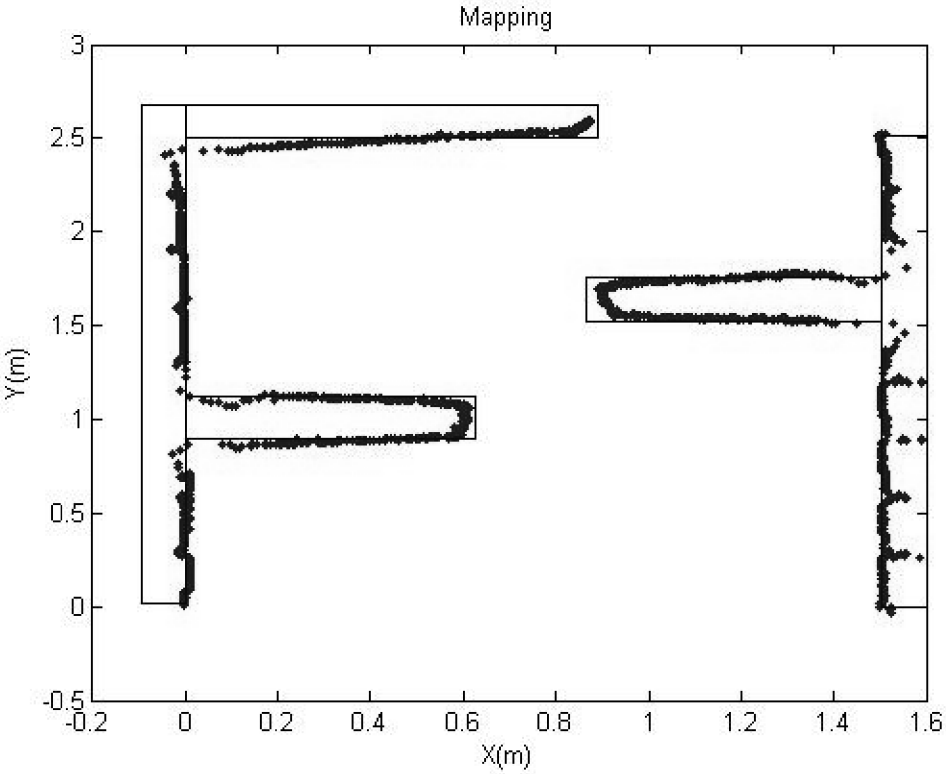

그림 24. 실제 지도와 작성 지도의 오차

그림 24는 실제 지도와 작성 지도의 오차를 나타낸다. 벽면에 대해서는 대체적으로 잘 나타내었다. 모서리 부분에 있어서는 이동 로봇의 회전에 의한 오차가 크게 나는 부분으로 본 알고리즘 적용 결과 근소한 오차를 나타낸다. 다만, 볼록 튀어나온 부분에선 오차가 있다. 좀 더 정확한 맵핑을 위해서는 최적의 필터를 사용할 필요가 있을 것이다.

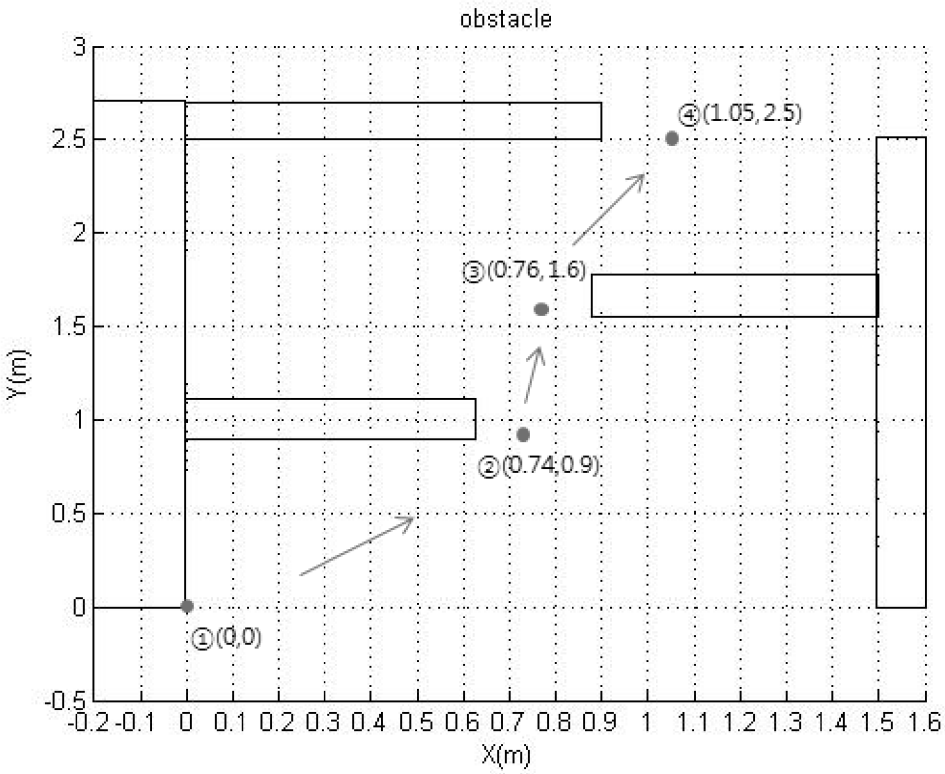

그림 25. 주행 지도 정보를 이용한 중간 목표점 도출

그림 25의 중간 목표점은 좌측 벽면 추종과 우측 벽면 추종하면서 이동한 경로를 이용하여 장애물에 대한 로봇의 이동 경로와 회전 반경을 고려하였다. 중간 목표점은 이동로봇에 명령으로 입력하여 ①(0, 0) -> ②(0.74, 0.9) -> ③(0.76, 1.6) -> ④(1.05, 2.5)의 순서로 주행경로를 계획하였다.

2. 이동로봇의 자율주행 실험 및 분석

주행지도 작성을 통하여 추출한 중간 목표점을 이용하여 이동로봇의 주행 실험을 수행하였다.

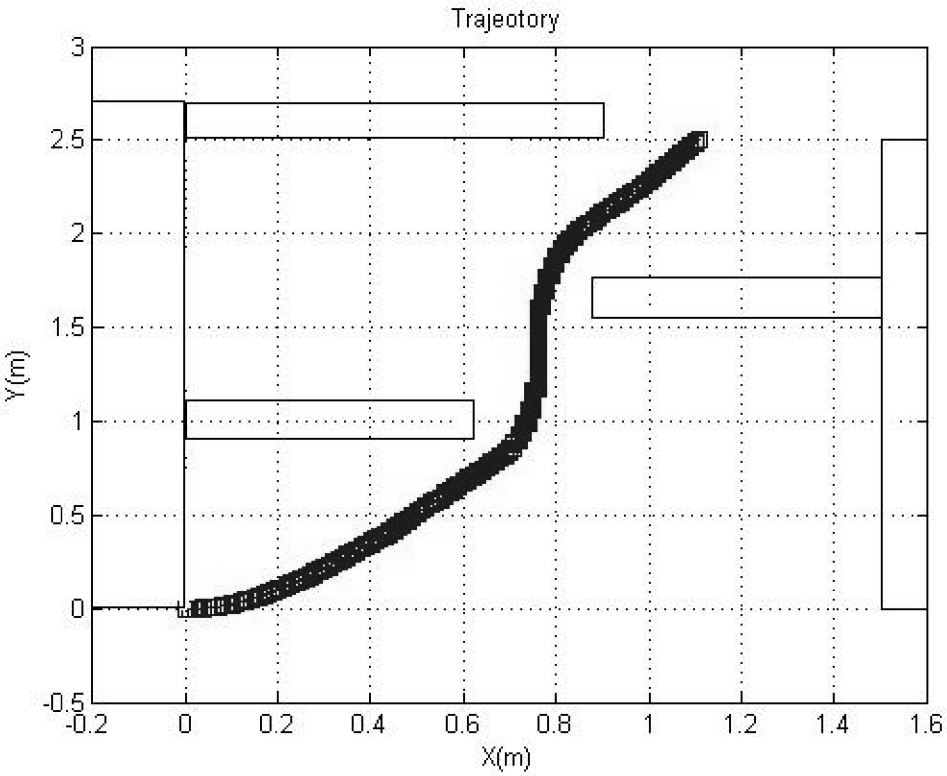

그림 26. 작성된 지도를 이용한 자율 주행 결과

그림 26은 이동로봇의 실제 자율주행 실험에서 얻은 이동경로를 나타낸다. 주행지도에서 추출한 중간 목표점들을 이용한 경로 계획에 의하여 주행하였다. 명령으로 주어진 중간 목표점들을 경유하여 목표점까지 안전하게 도달하는 것을 볼 수 있다.

3. 이동로봇의 장애물 회피 실험 및 분석

x축 방향 (0, 0)에서 (0.9, 0)로 이동하던 중 (0.45, -0.3) 중심에 지름이 17.5cm에 해당하는 원형 장애물을 놔두고 장애물을 회피하는 실험을 하였다.

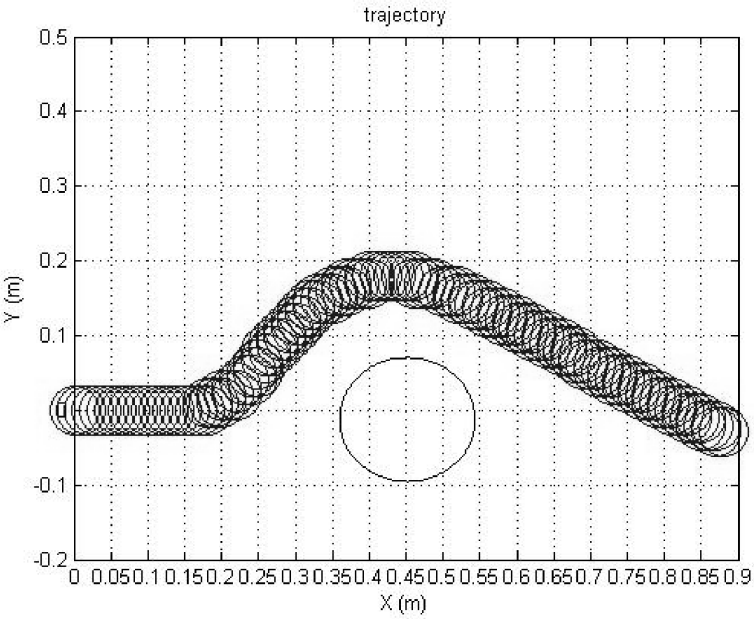

그림 27. 원형 장애물 회피 실험 결과

그림 27처럼 원형 장애물을 잘 회피하는 것을 볼 수 있다. 다만 회피 후에 목표점인 (0.9, 0)에 정확히 도달하지 못하고 오차가 발생하였다. 이것은 장애물 회피할 때 생기는 궤적의 보상을 제대로 하지 못하면서 생긴 오차이지만 보완하면 로봇의 장애물 회피와 자율주행에 충분히 적용될 수 있을 것이다.

제5장 결론

본 논문에서는 이동로봇의 자율주행을 위해 주행 정보를 인식할 수 있는 능력과 작성된 주행 지도에서 추출한 중간 목표점을 이용하여 이동경로를 계획하고, 퍼지 장애물 회피 알고리즘을 적용하여 목표점까지 안전하게 이동할 수 있는 방법을 제시하였다.

이동로봇이 벽면을 따라 주행을 하면서 적외선 센서를 이용하여 속도와 회전에 의한 오차를 적게 하여 안정된 지도정보를 얻을 수 있었다. 작성된 주행 지도의 중간 목표점을 설정하여 주행 경로를 생성하며, 적외선 센서를 이용하여 예상치 못한 장애물에 대한 회피를 위해 퍼지 제어를 제안하여 이동 중에 마주치는 장애물을 회피하여 사용자가 원하는 목표점까지 자율적으로 주행할 수 있도록 하였다. 실제 이동로봇의 실험을 통하여 제안한 알고리즘의 효용성을 입증하였다.

향후 연구로서는 로봇의 자율성을 높이기 위해 지도갱신과 경로계획을 동시에 실시간으로 구현하는 연구가 필요하다. 또한 초음파 센서, 레이저 센서, 비전 시스템 등 서로 다른 장단점을 가진 센서들의 통합으로 더욱 효율적이고 정확한 환경정보를 검출함으로서 긴 거리를 검출할 수 없는 단점을 가진 적외선 센서를 보완할 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] Sungon Lee, Youngil Youm and Wankyun Chung, "Control of Car-like Mobile Robots for Posture Stabilization", Proc. of IEEE/RSJ International Conference on, Vol. 3, 1745-1750, 1999.

[2] KAIST 시스템 제어 연구실 http://ctrgate.kaist.ac.kr/, 2008.

[3] 김성진, 김병국, “전동휠체어의 자유주행을 위한 실시간 제어 구조의 개발”, 제어 • 자동화 • 시스템공학 논문지 제10권, 제10호, 2004.

[4] S. Thongchai and K. Kawamura. "Application of fuzzy control to a sonar-based obstacle avoidance mobile robot", Proc. of the IEEE Int. Conf. on Control Applications Anchorage, Alaska, pp.425-430, 2000.

[5] Chieh-Chin Wang and Chuck Thorpe, "Simultaneous Localization and Mapping with Detection and Tracking of Moving Object", Proc ICRA '02, Vol.3, pp. 2918-2924, 2002.

[6] 임미섭, 임준홍, 오상록, 유범재, 윤인식 “초음파 센서를 이용한 이동 로봇 시스템의 고속 실내 주행을 위한 하이브리드 시스템 제어기의 구현”, 제어 • 자동화 • 시스템공학 논문지 제7권, 제9호, pp.774-782, 2001.

[7] E. P. Dadios and O. A. Maravillas Jr. "Cooperative Mobile Robot with Obstacle and Collision Avoidance Using Fuzzy Logic", Proc. of the IEEE International Symposium on Intelligent Control, Vancouver, Canada, pp. 75-80, 2002.

[8] Gisbert Lawitzky, "A Navigation System for Cleaning Robots", Autonomous Robots, Vol. 9, No.3, pp 255-260, 2000.

[9] 김진상, “적외선 센서 기술”, 한국세라믹학회 세라미스트 제8권 제4호, pp.28~33, 2005.

[10] http://en.wikipedia.org/wiki/Braitenbreg_Vehicles, 2008.

[11] 이우영, “실내 환경에서의 이동 로봇의 자율 주행”, 인하대 대학원 석사 논문, 2003.

[12] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets", Information & control, Vol. 8, 338-353, 1965.

감사의 글

어느덧 제가 2년이라는 시간을 보내고 그 끝자락의 끝에서 이렇게 논문을 내게 되었습니다.

2년간의 대학원 생활을 통하여 많은 것을 배우고 떠나는 것 같습니다. 항상 부족함이 많은 저에게 격려와 지도해주신 분들에게 감사하고자 합니다. 먼저 어떠한 말로도 감사의 마음을 다 표현할 수 없는 부모님, 대학원 입학 때부터 지금까지 저를 믿고 지지해 주셔서 감사합니다. 그리고 언제나 제 옆에서 힘이 되어주었던 하나밖에 없는 내 여동생 상희, 그리고 제게 많은 힘을 주었던 인터넷소프트웨어공학과와 컴퓨터공학과의 선후배 그리고 동기분들 모두에게 감사의 말씀을 전합니다.

대학 생활까지 5년 동안 학문적으로 스스로를 새로운 눈으로 돌아보게 해 주신 심재홍 교수님께 감사드립니다. 많이 부족한 저이지만 교수님의 관심 어린 질타와 충고는 제가 앞으로 발을 내딛는데 커다란 교훈이 되었습니다. 그리고 논문을 완성하기까지 좋은 말씀과 지도를 해주신 정일용 교수님, 모상만 교수님, 신석주 교수님, 정현숙 교수님, 김국세 선생님께 감사드립니다. 그리고 4년 동안 함께 한 임베디드 소프트웨어 연구실의 호정이 형, 혜련이, 재환이와 세훈이에게 감사의 말을 전합니다. 그리고 대학원생활에서 선배가 없던 저에게 많은 도움을 준 금분 선생님, 동민이형, 상욱이형, 유선 누나 그리고 대학원의 처음부터 지금까지 큰 힘이 되었던 나의 동기인 상규형, 충용이형, 지원이가 있었기에 많이 모자란 제가 힘들 때 마다 버틸 수 있었습니다. 주위에서 응원해준 성진이, 유성이, 영곤이, 창선이에게도 고맙다는 말을 전합니다. 마지막으로 바쁘다는 핑계로 연락도 자주 못한 모자란 친구이지만, 잊지 않고 챙겨주었던 정석, 주환, 성서에게도 감사의 말을 전합니다.

제게 있어 석사 생활은 새로운 사회로의 입문이었으며 이 선택은 제게 주어진 선택 중 최선이었다고 말씀드릴 수 있을 만큼 많이 느끼고 배웠습니다. 앞으로도 진정한 사회인으로써 여러분의 기대에 응하도록 열심히 노력하는 양상기가 되겠습니다.

2008년 12월 연구실에서

양 상 기 올림

저작물 이용 허락서

학과	컴퓨터공학과	학번	20077103	과정	석사
성명	한글 양 상 기	한문 梁 上 起		영문 YANG, SANG GI	
주소	광주광역시 북구 문흥동 185-8번지				
연락처	E-mail : mind1004@naver.com				
논문 제목	한글 차륜형 이동로봇을 위한 자율 주행 시스템의 설계 및 구현				
	영문 Design and Implementation of an Autonomous Navigation System for Wheeled Mobile Robots				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포・전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송・출력을 허락함.

동의여부 : 동의(0) 반대( )

2009년 2월

저작자: 양 상 기 (인)

조선대학교 총장 귀하