

퍼지 위험지수에 의한 이동로봇의 물체 추적 및 장애물 회피 주행 제어기

A Simultaneous Object Tracking and Obstacles Avoidance Controller with Fuzzy Danger Factor of Mobile Robot

강재구¹ · 이종재² · 지민석³ · 유범재⁴

Kang Jae-Gu¹ · Lee Joong-Jae² · Jie Min-Seok³ · You Bum-Jae⁴

Abstract This paper proposes a method of avoiding obstacles and tracking a moving object continuously and simultaneously by using new concepts of virtual tow point and fuzzy danger factor for differential wheeled mobile robots. Since differential wheeled mobile robot has smaller degree of freedom to control and are non-holonomic systems, there exist multiple solutions (trajectories) to control and reach a target position. The paper proposes 'fuzzy danger factor' for obstacles avoidance, 'virtual tow point' to solve non-holonomic object tracking control problem for unique solution and three kinds of fuzzy logic controller. The fuzzy logic controller is policy decision controller with fuzzy danger factor to decide which controller's result is more valuable when the mobile robot is tracking a moving object with obstacles to be avoided.

Keywords : Mobile Robot, Fuzzy Logic Control, Virtual Tow Point, Danger Factor

1. 서론

차동 바퀴형의 이동로봇은 나란한 두 개의 구동 바퀴와 로봇 몸체를 지탱해 줄 1~2개의 보조바퀴로 구성되며 두 개의 구동 바퀴를 이용해 자율 이동이 가능한 로봇이다. 두 바퀴의 속도 차를 이용해 회전 및 곡률주행 등의 자유로운 주행이 가능하고 실제 로봇 제작의 편의성과 제작 후 쉬운 이동성 및 이식성 등의 특징으로 인해 많은 학술 연구가 있어 왔다. 하지만 로봇을 제어 할 수 있는 자유도 (2개의 구동축) 보다 로봇에 의해 표현되어지는 자유도 (x-y 평면 위치 및 회전)가 더 많아 (Non-holonomic) 제어의 복잡성이

크다는 단점이 있다.

이 차동 바퀴형 이동로봇을 이용한 연구 분야로는 자기 위치 추정^[1], 경로 설정^[2], 영상 기반 제어분야^[3], 경로 추종^[4], 물체 추적^[5] 등이 있으며 그 중 물체 추적 분야는 로봇이 움직이는 어떤 특정 물체를 조작하려 한다면지 아니면 그 물체와 상호 작용을 해야 할 경우 그 물체의 움직임을 어떻게 따라가야 하는지에 대한 문제를 다룬다. 예를 들어 어떤 물체를 사람 으로부터 건네 받아야 할 경우 로봇은 그 물체를 향해 접근 및 추적을 해야 한다. 또한 리더 (Leader)를 따라 다른 곳으로 움직여야 할 경우에도 따라가야 할 리더를 추적해야만 한다.

기존에 다루어 졌던 연구 중 물체 추적에 주로 쓰이는 방식은 Potential Field Method (PFM)^[6] 방식으로 현재 로봇의 위치에서 로봇이 찾아가야 하는 목적지에 대한 인력 정도를 벡터로 표현하며 장애물에 대해서는 반작용 힘 벡터를 적용해 추적하는 방식이다. 그러나 이 이론은 시작점과

※ 본 연구는 정보통신부 휴머노이드 로봇 개발 과제 지원으로 수행되었음.

¹ 과학기술연합대학원 대학교 석사과정
(E-mail : undergnak@chonbuk.ac.kr)

² 한국과학기술연구원 박사 후 과정(E-mail : arbitlee@kist.re.kr)

³ 한국과학기술연구원 박사 후 과정(E-mail : tomsey@korea.com)

⁴ 한국과학기술연구원 책임 연구원(E-mail : ybj@kist.re.kr)

도착점에 대한 인력 벡터와 장애물의 반작용 벡터를 전역 좌표계로 연산을 수행 해야 하기 때문에 도착점과 시작점, 그리고 장애물들에 대한 전역 좌표 정보가 필요하다. 때문에 이 알고리즘을 적용하기 위해서는 미리 만들어진 지도 정보를 필요로 한다. 또한 추적 해야 하는 물체가 정지되어 있다는 가정하에 세워진 이론으로 실시간으로 움직이는 물체 추적과 위치를 모르는 장애물에 대한 회피에는 부적합하다.

기존의 이 Potential Field Method의 단점을 보완하여 움직이는 물체에 대해서도 추적이 가능하도록 하는 방식이 Dynamic Goal Potential Field Algorithm (DGPF)^[11] 이다. 이 알고리즘은 이동물체의 움직이는 범위가 작을 경우 기존 PFM 방식을 사용하여 추적을 진행 하지만 이동물체의 이동 거리가 클 경우 이동한 물체의 위치에서 기존 PFM 알고리즘을 다시 수행하여 경로를 재설정 하도록 하는 방식이다. 그러나 경로 재 설정 시 예측 경로 상에 임의의 점을 무작위로 찍어 기존의 PFM을 수행해 나온 여러 경로 중 짧은 거리를 선택하여 주행해야 한다. 이러한 방식은 PFM 알고리즘을 재 수행해야 하는 시점을 이동 물체의 움직인 거리 정도에 따라 선택을 해야 하며 그 기준이 모호하다. 또한 그 기준 이하로 움직이는 물체에 대해서는 기존에 계산된 경로를 쓰기 때문에 최종 추적 결과좌표에 어느 정도 오차가 생길 수 있으며 경로 재설정 동작 중 예상 경로상의 무작위 점 추출기준에 있어서의 모호성과 예상된 여러 경로 중 가장 짧은 거리를 계산해 내야 하는 단점이 있다. 또한 기본적인 아이디어가 PFM을 기반으로 하기 때문에 실시간으로 움직이는 물체에 대한 추적을 할 수 있는 것을 제외하고는 전술 했던 PFM이 갖고 있는 단점을 여전히 가지고 있다.

이동로봇과 같은 비선형 시스템의 제어를 보다 쉽고 간편하게 해결 하려는 움직임이 바로 퍼지 제어 방식이다^[18]. 논문 [18]에서는 2대의 이동 로봇을 이용해 한대의 로봇이 다른 선두 로봇을 추적하는 방식으로 제안 하였으며 여기에 쓰인 퍼지제어기의 퍼지규칙은 선두 로봇의 현재 조향각과 추적하는 로봇의 현재 조향각을 제어 입력으로 필요로 한다. 이때 각 로봇의 조향 각은 전역 좌표를 기준으로 한 조향각으로 각 로봇에 대해 정기구학 연산을 통한 전역좌표 연산 기능이 알고리즘 구현 시 필요하다. 이러한 방식은 각 로봇의 바퀴에 부착된 엔코더 및 바퀴의 반지름, 바퀴 간격 등의 치수 정보를 바탕으로 전역 좌표계 연산을 수행하므로 로봇 이동시 생기는 바퀴의 미끄러짐 현상과 실 치수 오차에 의한 좌표 오차 누적 등의 단점이 존재 한다.

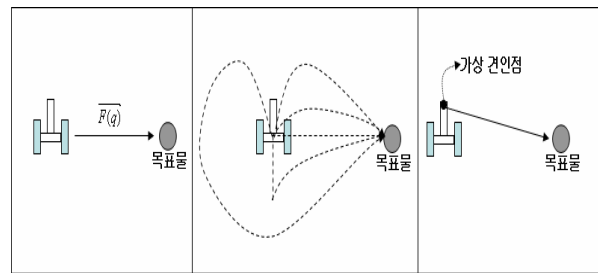


그림 1.1. 추적 주행 시 경로 설정 문제 (a), (b), (c)

본 논문에서는 이동로봇의 물체 추적과 장애물 회피를 동시에 수행이 될 수 있도록 하는 퍼지 제어기와 물체 추적 시 위에서 언급된 몇 가지 문제들을 해결할 수 있는 제어기를 제안 한다.

물체 추적 시 발생 할 수 있는 장애물에 대한 회피와 물체 추적 주행을 동시에 효과적으로 수행 할 수 있도록 장애물의 위치에 따라 그 위험성을 판단 할 수 있는 척도인 퍼지 위험지수 (Fuzzy Danger Factor)라는 요소를 두어 추적 주행과 회피 주행을 제안한다. 퍼지 위험지수는 로봇을 기준으로 장애물의 위치와 거리에 따라 그 위험도를 0.0-1.0사이의 값으로 출력을 하는데 장애물과의 충돌 위험이 클수록 1.0에 가까운 값을, 그리고 충돌 위험이 작을수록 0.0에 가까운 값을 출력하게 된다. 로봇이 전진 주행을 하고 있을 경우 같은 거리에 있는 장애물이라 할지라도 좌우 측방에 위치한 장애물 보다 정면에 있는 장애물의 위험도가 크도록 한다.

추적 주행 시 로봇의 주행 경로 설정과 경로 추종문제 있어서는 가상 견인점 (Virtual Tow Point)방식을 제안하여 해결 하였다.

먼저 그림 1.1의 (a)에서와 같이 이동 로봇이 자신의 오른쪽에 위치하는 목표물을 추적 주행해야 한다고 가정할 때 기존에 쓰이던 Potential Field Method의 경우 로봇이 목표물을 향해 움직여야 할 벡터인 $\vec{F}(q)$ 만을 제공한다. 때문에 이동로봇을 해당하는 목적지까지 움직일 수 있는 경로는 그림 1.1 (b)와 같이 무수히 많으며 각 경로 생성과 최단거리 연산 및 생성된 경로추종을 위한 추가적인 알고리즘이 필요할 뿐만 아니라 로봇이 현재 주행 중인지 혹은 정지되어 있는 상태 인지에 따른 추가적인 처리 작업도 필요 하게 된다. 그러나 그림 1.1 (c)와 같이 로봇에 실제로 존재 하지 않는 가상의 견인점을 만들어 이 견인점과 목표물을 끈으로 연결하여 목표물이 이동 로봇을 마치 끌어가는 것처럼 할 경우 끌어가는 힘에 의해 움직이는 로봇을 퍼지 제어를 이용해 구현 하게 되면 그 해는 한 가지만 존재 하게 되므로 로봇의 경로 설정과 경로 추종 문제를 쉽게 해결 할 수가 있게 된다.

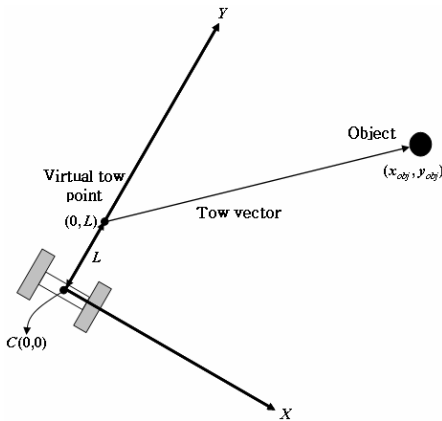


그림 2.1. 이동 로봇의 좌표계 구성

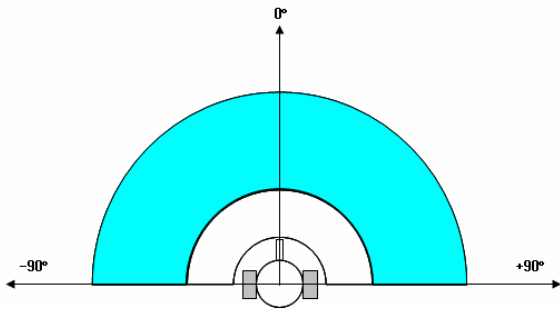


그림 2.2. 센서에 의한 전방 탐지

2. 로봇 및 센서 구성

그림 2.1은 가상 견인점을 포함한 이동 로봇의 기본적인 좌표계를 나타내고 있으며 추적 물체는 이동 로봇을 기준으로 한 좌표를 가진다. 이 좌표 정보는 로봇에 부착된 스테레오 카메라를 이용해 수신하게 되며 가상 견인점 좌표와의 차이 값이 추적 제어기의 입력으로 들어가게 된다.

그림 2.2는 로봇에 부착된 Range-Sensor의 전방 탐지를 나타내고 있으며 SICK사의 LMS200 레이저 센서를 사용하였다.

3. 퍼지 제어기 구성

3.1 가상 견인점을 이용한 물체 추적 퍼지 제어기

서론에서도 이야기 했듯이 차동 바퀴를 이용한 이동 로봇은 로봇 동작에 의해 표현되는 자유도 보다 제어가 가능한 제어도가 작다 (Non-holonomic System). 즉 평면을 움직이는 이동로봇은 현재 로봇의 x 축 및 y 축 좌표점의 위치와 로봇의 앞쪽이 어디를 향하고 있는가 하는 방향값으로 표현 된다. 하지만 로봇에 의해 제어될 수 있는 것은

바퀴 두 개뿐이다. 때문에 지정된 위치 와 각도로의 이동하는 방법은 무수히 많다.

물체 추적 제어기에서는 이러한 복잡한 제어를 간단하게 풀 수 있도록 퍼지 제어방식과 실제 로봇에는 존재 하지 않는 가상의 견인점을 만들어 추적하고자 하는 물체에 의해 로봇이 마치 끌려가는 것처럼 퍼지 룰을 만들어 해결 하였다.

그림 2.1에서는 로봇을 기준으로 한 가상 견인점 및 추적 물체에 대한 좌표를 표현 하고 있으며 가상 견인점은 임의의 길이 L [m]를 갖는다.

본 논문에서 제안하는 퍼지 제어기 방식은 그림 3.1에서와 같은 2개의 입력과 2개의 출력을 갖는 제어기의 형태를 띤다. 사용된 퍼지 추론 방식은 Min-Max 기법을 사용하였으며 비-퍼지화에는 무게 중심법을 사용하였다.

e_x 와 e_y 는 가상 견인점 $(0, L)$ 을 기준으로 했을 때 추적하고자 하는 물체와의 에러 값으로 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$e_y = y_{obj} - L \tag{1}$$

$$e_x = x_{obj} \tag{2}$$

이 두 개의 에러는 실제 수치적 값을 지니는 Crisp값으로 퍼지 추론 엔진에 의해 평가되기 전에 퍼지화 과정을

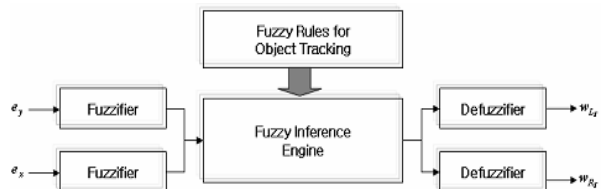


그림 3.1. 물체 추적 퍼지 제어기 구성

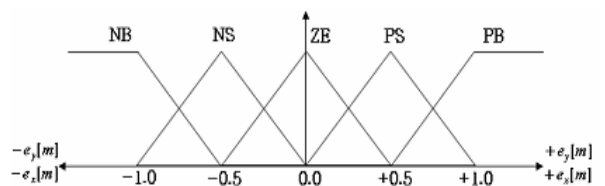


그림 3.2. 추적 제어기 입력에 대한 퍼지 소속 함수

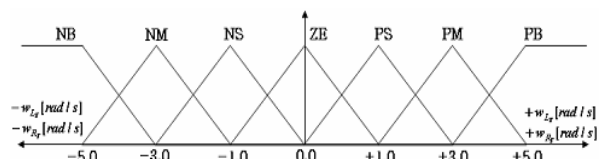


그림 3.3. 추적 제어기 출력에 대한 퍼지 소속 함수

거쳐야 한다. 그림 3.2에서는 이 퍼지 제어기의 입력 값에 따른 퍼지화를 위한 퍼지 소속 함수 (Fuzzy Membership Function)를 나타내고 있으며 단위는 미터[m]이다.

그림 3.3은 이 물체 추적 제어기의 출력에 대한 퍼지 소속 함수를 나타내고 있으며 출력 값 w_{L_r} 와 w_{R_r} 는 각각 두 바퀴에 대한 각속도 값 (rad/s)으로 출력된다.

이제 두 개의 예러 입력 e_x , e_y 에 대한 적절한 두 바퀴의 각속도 값을 만들어 내줄 퍼지 룰이 필요하다. 퍼지 룰은 다음과 같은 방식으로 만들었다.

만약 e_x 와 e_y 값이 0 (ZE)이라면 로봇의 가상 전진점과 추적해야 할 물체는 같은 위치에 있으므로 두 바퀴의 각속도 값은 모두 0 (ZE)의 값을 가지게 된다. 그러나 이때 e_x 는 ZE이고 e_y 값이 양의 값을 가진다면 로봇은 전진 동작을 수행해야 한다. 이 e_y 값이 클 경우 (PB) 추적해야 하는 물체는 멀리 떨어져 있으므로 빠른 속도로 전진을 하여야 하고 e_y 값이 작을 경우 (PS) 상대적으로 느린 속도로 접근을 하면 될 것이다.

값이 0이 아닌 값을 갖게 되면 이때 로봇은 방향 전환을 동작이 필요 하며 e_x 가 양의 값일 경우 (PB 혹은 PS)에는 우회전을 하여야 하며 e_x 가 음의 값일 경우 (NB 혹은 NS) 로봇은 좌회전을 해야 한다.

위에서 설명한 방식대로 양쪽 바퀴에 대한 각각의 각속도 (w_{L_r} , w_{R_r})출력을 퍼지 룰로 표현 하게 되면 표 3.1과 같이 나타낼 수 있다.

퍼지 룰을 만들 때 추적 물체가 로봇 전방에 있을 경우는 위에서 설명한 방식대로 움직이면 물체 추적에 문제가 없다. 하지만 만약 추적 물체가 로봇 바로 뒤에 있을 경우 로봇이 후진을 하게 되면 물체와 충돌 할 가능성이 있으며 이동 물체 인식에 있어서도 불리하기 때문에 이때에는 로봇이 좌회전 먼저 수행한 뒤 추적하도록 퍼지 룰을 설계 하였다.

표 3.1. 추적 제어기의 왼쪽/오른쪽 바퀴에 대한 퍼지규칙

$e_x \backslash e_y$	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB/NS	NM/ZE	NS/PB	ZE/PM	PS/PB
NS	NB/NM	NM/NS	NS/PM	PS/PM	PM/PB
ZE	NB/ZE	NS/ZE	ZE/ZE	PS/PS	PB/PB
PS	NM/NB	NS/NM	PM/NS	PM/PS	PB/PM
PB	NS/NB	ZE/NM	PB/NS	PM/ZE	PB/PS

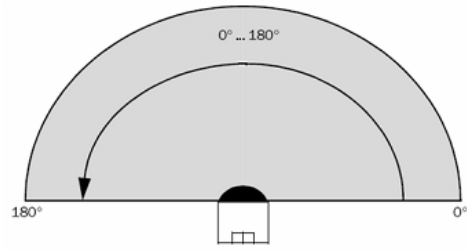


그림 3.4. LMS200 센서 탐지 특성

3.2 장애물 회피 퍼지 제어기

장애물 회피 제어기 역시 퍼지 제어기를 이용하여 구현하였다.

장애물 탐지를 위해 'SICK'사의 Range-sensor를 사용하여 로봇 전방 -90°~+90°사이의 범위를 탐지해 내며 1[mm] 정밀도로 8.191[m]까지 탐지가 가능하도록 설정 하였다. 그림 3.4는 사용된 센서의 탐지 특성을 나타내며 오른쪽을 0°로 시작하여 왼쪽 방향으로 180° 까지 레이저를 이용해 1° 단위로 거리를 측정하게 된다. 그러나 실제 로봇에 사용된 탐지 방식은 전술 했던 것처럼 그림 2.2와 같이 로봇 정중앙을 0°로 기준하기 때문에 센서로부터 들어오는 데이터의 각도 정보를 변형하여 사용한다.

본 논문에서는 장애물 회피 제어기의 설계에 있어서 구현의 용이함과 편의를 위해 다음과 같은 몇 가지 전제조건을 갖도록 한다.

- 1) 정지해 있는 정적 장애물에 대한 회피 제어기이다.
- 2) 물체 추적 시 로봇의 주된 동작은 약간의 방향 전환이 있는 전진 진행 방향으로 간주한다.

제안하는 장애물 회피 퍼지 제어기는 2개의 입력과 2개의 출력을 내는 제어기로 2개의 입력은 센서로부터 오는 정보로써 한 개는 각도 값 θ_{obs} , 그리고 한 개는 그 각도에 대한 장애물까지의 거리 값 d_{obs} 이다. 이 제어기에서 나오는 출력 값은 물체 추적 제어기와 마찬가지로 양쪽 바퀴에 대한 각각의 각속도 w_{L_r} , w_{R_r} 이며 출력에 대한 비-퍼지화 (각속도 출력) 소속 함수는 물체 추적 제어기에서 설명한 그림 3.3과 같다.

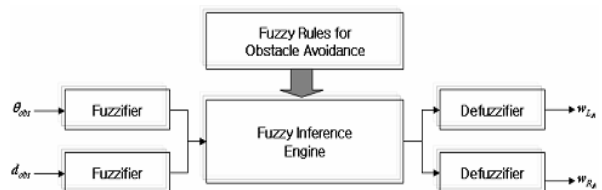


그림 3.5. 장애물 회피 퍼지 제어기 구조

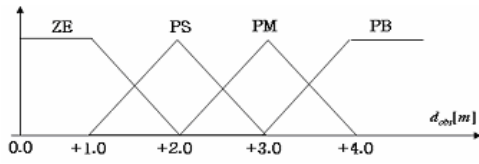


그림 3.6. d_{obs} 에 대한 소속 함수

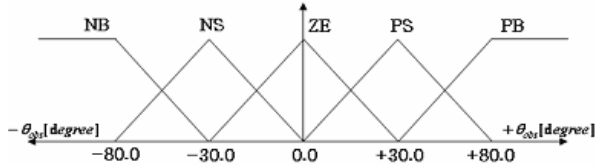


그림 3.7. θ_{obs} 에 대한 소속 함수

표 3.2. 회피 제어기의 왼쪽/오른쪽 바퀴에 대한 퍼지규칙

θ_{obs} \ d_{obs}	NB	NS	ZE	PS	PB
ZE	PM/NS	PM/NS	PM/NS	NS/PM	NS/PM
PS	PM/ZE	PS/ZE	PS/ZE	ZE/PS	ZE/PM
PM	PB/PM	PB/PS	PB/PS	PS/PB	PM/PB
PB	PB/PB	PB/PB	PB/PM	PB/PB	PB/PB

그림 3.5는 이 장애물 회피 퍼지 제어기에 대한 구조를 나타내고 있으며 그림 3.6은 입력 d_{obs} 에 대해, 그리고 그림 3.7에서는 입력 θ_{obs} 에 대한 퍼지화에 필요한 퍼지 소속 함수의 모양을 나타내고 있다.

퍼지 룰 작성에는 위에서 서술한 전제 조건 (1), (2)에 근거해 제작 하였다. 장애물이 왼쪽 (NB, NS) 방향에 있을 경우 로봇은 오른쪽 방향으로 방향 전환을 하면 되며 이때 조건 (2)에서 의해 왼쪽 전방에 대한 장애물은 우회전을 포함하는 전진을 하면 되고 오른쪽에 나타난 장애물은 반대로 좌회전을 포함한 전진을 하면 된다. 장애물이 정확히 정 중앙에 나타났을 때에는 우회전을 포함한 전진을 이용해 회피하도록 퍼지 룰을 제작 하였다.

3.3 주행 선택 퍼지 제어기

주행 선택 퍼지 제어기는 로봇의 주행 중에 접근 하게 되는 장애물의 정보를 바탕으로 물체 추적 제어기에서 나온 두 바퀴에 대한 각속도 결과 값 w_{Lr} , w_{Rr} 와 장애물 회피 제어기에서 나온 각속도 결과 값 w_{La} , w_{Ra} 을 장애물의 위험도에 따라 조합하여 최종 출력 w_L , w_R 을 만들어 내게

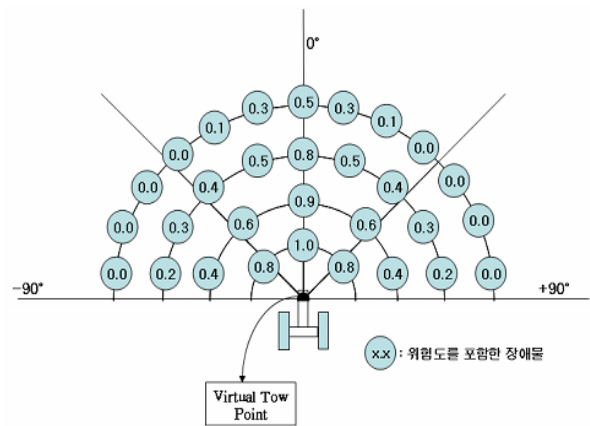


그림 3.8. 장애물의 위치와 거리에 따른 위험도

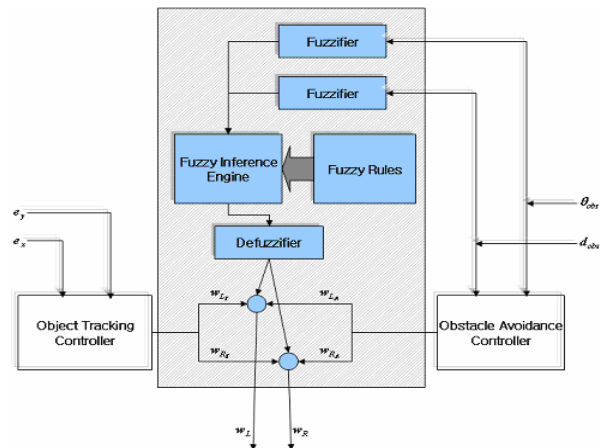


그림 3.9. 추적/회피 제어기가 포함된 전체 구성

된다. 주행 선택 제어기에 의해 생성된 w_L , w_R 값은 최종적으로 바퀴의 각속도 값으로 활용될 수 있는 실질적인 제어 출력 값이 된다.

그림 3.8은 로봇을 기준으로 장애물의 위치와 거리에 따라 그 퍼지 위험지수가 어떻게 분포되는지에 대한 예시를 보여주고 있다. 실제 장애물의 퍼지 위험지수는 퍼지 제어기를 통해 그 값이 0.0~1.0범위의 연속적인 값으로 나타나게 되며 로봇이 추적 주행 중 장애물을 만났을 때 회피 주행제어기의 출력 값을 얼마나 반영할 것인지에 대한 근거를 제시해 준다.

그림 3.9는 전술했던 물체 추적 제어기와 장애물 회피 제어기가 모두 포함된 전체 구성도 이며 중심부 빗금 친 사각형 내부가 주행 선택 제어기이다.

이 주행 선택 제어기는 장애물 회피 제어기와 같은 입력 인 장애물과의 각도 값 θ_{obs} 와 장애물까지의 거리 d_{obs} 를 받게 되며 그 출력은 퍼지 위험지수를 나타내는 값으로 출력된다.

표 3.3. 퍼지 위험지수 출력을 위한 퍼지규칙

d_{obs} \ θ_{obs}	NB	NS	ZE	PS	PB
ZE	PB	PB	PB	PB	PB
PS	PS	PM	PB	PM	PS
PM	ZE	PS	PM	PS	ZE
PB	ZE	ZE	PS	ZE	ZE

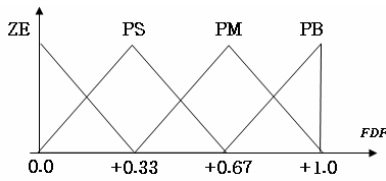


그림 3.10. 퍼지 위험지수 출력 퍼지 소속 함수

기본적인 동작 원리는 그림 3.8과 같이 입력된 장애물의 위치에 따라 그 위험성을 판별하여 장애물과의 충돌 위험이 클 경우 장애물 회피 제어기의 출력 값인 w_{L_A} , w_{R_A} 에 비중을 높게 주며 반대로 장애물과의 충돌 위험이 작을 경우 물체 추적 제어기의 출력 값인 w_{L_T} , w_{R_T} 에 비중을 두어 최종 출력 w_L , w_R 을 만들어 내보내게 된다.

주행 선택 제어기의 입력은 장애물 회피제어기의 입력과 동일하므로 입력 값 d_{obs} 와 θ_{obs} 에 대한 퍼지 소속 함수는 그림 3.6 및 그림 3.7과 같다.

표 3.3은 퍼지 위험지수 출력을 위한 퍼지 룰을 나타내고 있으며 장애물이 로봇에 가까이 있을수록 그리고 측면 보다는 정면 쪽에 있을수록 그 위험도가 크다는 것을 알 수 있다. 이는 장애물 회피 제어기에서 전제했던 (2)항목에 의한 것으로 물체 추적의 주행은 대부분 전진주행이라는 데 기인 한다.

그림 3.10은 주행 선택 제어기의 출력인 퍼지 위험지수의 비-퍼지화를 위한 퍼지 소속 함수 이며 ZE에 가까울수록 장애물의 충돌에 안전하며 PB에 가까울수록 충돌위험이 크다는 뜻이다. 그림에서 알 수 있듯이 그 값은 0~1 사이의 값을 갖는다. 즉 안전할수록 '0'에 가까운 Crisp값이 나오며 '1'에 가까울수록 위험 하다는 의미이다. 이 특성을 이용하여 주행 선택 제어기 에서는 다음과 같은 방식으로 로봇의 바퀴제어를 위한 각속도 값을 최종적으로 산출해 낸다.

$$w_L = w_{L_T} * (1 - FDF) + w_{L_A} * FDF \quad (3)$$

$$w_R = w_{R_T} * (1 - FDF) + w_{R_A} * FDF \quad (4)$$

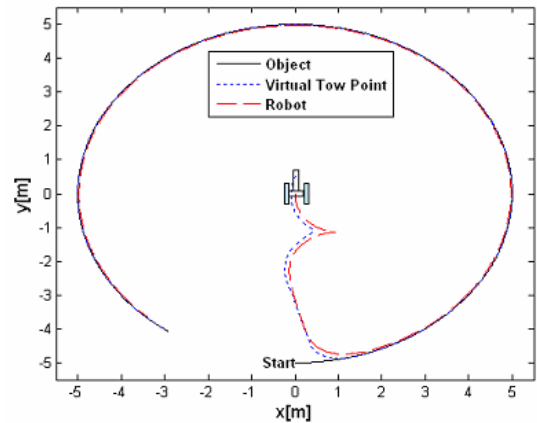


그림 4.1. 원운동을 하는 물체 추적 시뮬레이션

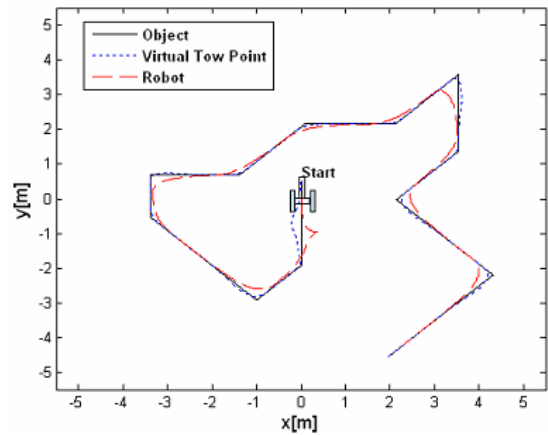


그림 4.2. 무작위 운동을 하는 물체 추적 시뮬레이션

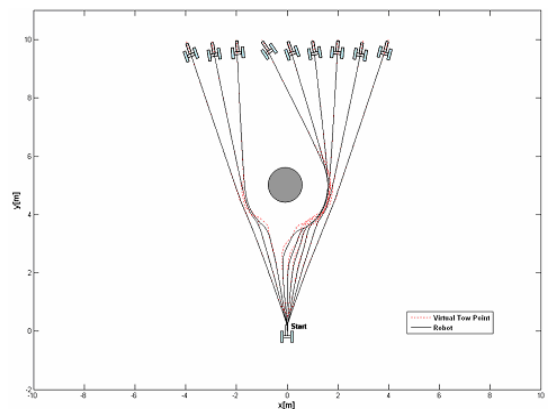


그림 4.3. 장애물 회피/추적 시뮬레이션

4. 시뮬레이션 및 실험 결과

그림 4.1-4.2는 각각 원운동과 무작위 운동을 하는 이동물체에 대한 시뮬레이션 추적 결과 궤적을 나타내고 있으며 그림 4.3은 특정 위치의 물체로 추적 주행시 로봇

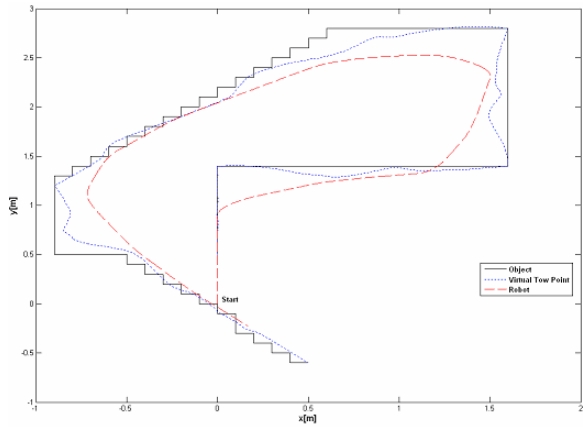


그림 4.4. 물체 추적에 대한 실제 실험 결과

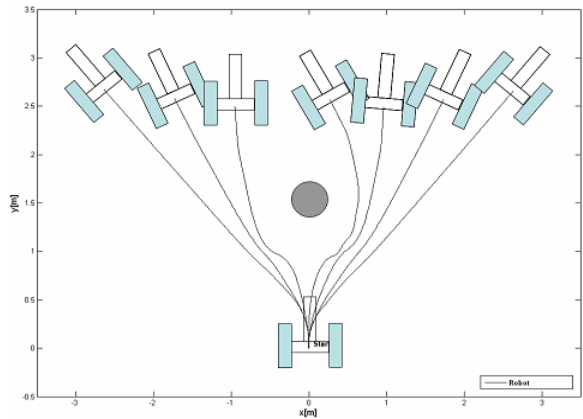


그림 4.5. 장애물 회피/추적 주행에 대한 실제 실험 결과

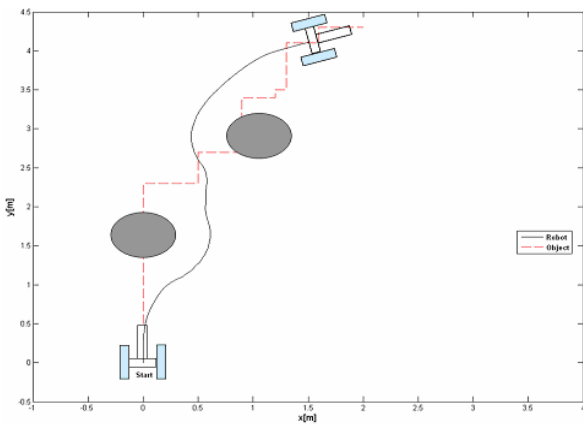


그림 4.6. 2개 장애물이 있는 환경에서의 회피/추적 주행에 대한 실제 실험 결과

전방에 위치한 장애물에 대한 회피 궤적의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다.

그림 4.4은 실제 로봇을 이용해 무작위로 움직이는 물체에 대한 추적 결과를 나타내고 있으며 그림 4.5은

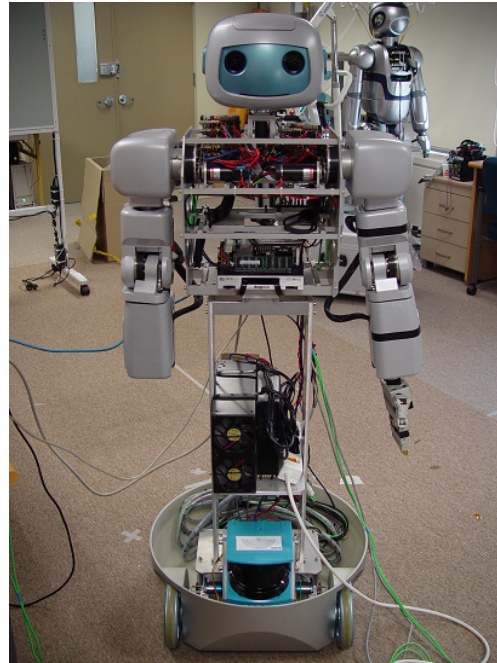


그림 5.1. 실험에 사용된 로봇

시뮬레이션 결과인 그림 4.3과 같은 환경에서의 실제 실험 결과를 보여주고 있다.

그림 4.6은 2개의 장애물이 있는 환경에서의 물체 추적과 장애물 회피에 대한 결과를 보여주며 물체가 장애물을 지나쳐 갈 경우 로봇은 이 장애물들을 피해 계속적으로 물체를 추적 주행하는 것을 볼 수 있다.

5. 결론 및 연구방향

실시간으로 움직이는 이동 물체에 대한 추적 및 장애물에 대한 회피 주행이 가능하도록 하는 퍼지 제어를 제안 하였다. 또한 눈으로 쉽게 확인이 가능한 3D 시뮬레이션 툴을 개발하여 제안된 퍼지 제어기의 동작을 컴퓨터상에서 모의로 실험한 후 실제 로봇에 이식하여 그 결과를 보았으며 장애물 위치와 거리에 따른 퍼지 위험지수를 이용해 성공적으로 추적과 회피 주행의 동시 수행이 가능 하였으며 가상 견인점 방식의 추적 주행 알고리즘을 사용하여 보다 쉽게 추적 경로 생성 및 경로 추종문제를 해결하였다.

그러나 실험과 시뮬레이션 도중 몇 가지 문제점이 발견되었으며 다음과 같다.

- 1) 추적하려는 물체와 장애물이 비슷한 위치에 있을 경우 추적 문제
- 2) 추적 제어기와 장애물 회피 제어기의 출력 값이 정

반대가 되도록 하는 장애물과 추적물체의 위치가 존재하며 우연히 이 위치의 조합이 생길 경우 로봇이 제대로 움직이지 않고 미동만 하는 현상

첫 번째 문제의 경우 장애물과 추적물체가 비슷한 위치에 있으므로 해서 발생하는 문제로 물체 추적제어기와 장애물회피 제어기의 출력이 서로 모순 되는 현상이다. 이런 현상은 장애물과 추적 물체의 거리가 어느 정도 이하로 가까이 있을 경우 추적을 중단하도록 하여 해결이 가능하였다. 두 번째 문제는 물체 추적 제어기와 장애물 회피제어기의 출력이 서로 정 반대의 값을 내고 이때 위험도가 0.5부근의 출력을 내게 만드는 장애물과 추적물체의 위치가 존재 하였다. 이때 추적 물체의 위치의 변동으로 로봇의 정지를 벗어 날 수 있지만 이런 우연한 조합을 피해갈 수 있도록 하는 알고리즘 상의 보완작업이 필요하다.

또한 본 논문에서 제안 하는 방식을 이용한 물체 추적은 이동로봇이 목표물에 최종적으로 접근 했을 때 최종 접근 자세에 대해서는 고려하지 않았기 때문에 추적 물체 접근 시 특정한 로봇의 접근 자세가 필요할 경우 이를 보완해줄 추가적인 장치가 필요하다.

현재 주행선택 퍼지 제어기는 로봇 전방에 감지된 여러 장애물의 거리와 각도에 따른 정보만을 사용하지만 감지된 장애물의 모양과 크기 및 그 장애물이 놓여져 있는 방향 등의 정보를 추출하여 그러한 여러 정보에 따른 퍼지 위험지수를 각각 산출하여 처리 할 경우 좀더 나은 제어기를 제안 할 수 있다고 생각하며 이에 대한 추가적인 연구가 현재 진행 중이다.

참 고 문 헌

- [1] H. Jacob and S. Feder, "Adaptive mobile robot navigation and mapping," *The International Journal of Robotics Research*, vol. 18, no. 7, pp. 650-668, 1999.
- [2] D. Fox, W. Burgard and S. Thrun, "Markov localization for mobile robots in dynamic environments," *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 11, pp. 391-427, 1999.
- [3] K. Konolige and K. Chou, "Markov localization using correlation," in *Proceedings of the 16th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Stockholm, Sweden, 1999.
- [4] S. Laubach and J. Burdick, "RoverBug: an autonomous pathplanner for planetary microrovers," in *6th International Symposium on Experimental Robotics*, Sydney, Australia, 1999.
- [5] M. Snorrasson, J. Norris, and P. Backes, "Vision based obstacle detection and path planning for planetary rovers," in *Proceedings of SPIE. Presented at 13th annual Aero sense*. Orlando, Vol. 3693, 1999.
- [6] Yi Ma, , J. Kořeck´a, S. S. Sastry, "Vision Guided Navigation for a Nonholonomic Mobile Robot," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 15, No. 3, pp. 521, 1999.
- [7] W. E. Dixon, D. M. Dawson, E. Zergeroglu, A. Behal, "Adaptive Tracking Control of a Wheeled Mobile Robot via an Uncalibrated Camera System," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part B: Cybernetics*, Vol. 31, No. 3, pp. 341, 2001.
- [8] D. Schulz, W. Burgard, D. Fox, and A. B. Cremers, "Tracking Multiple Moving Objects with a Mobile Robot," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 1, pp. 1-371, 2001.
- [9] V. Philomin, R. Duraiswami, and L. Davis, "Pedestrian Tracking From a Moving Vehicle," in *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000 Dearborn (MI), USA*, October 3-5, 2000.
- [10] J. Graham and K. Shillcutt, "Robot Tracking of Human Subjects in Field Environments," in *Proceedings of International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics, and Automation in Space*, 2003.
- [11] Chung-Hao Chen, Chang Cheng, David Page, Andreas Koschan and Mongi Abidi, "A Moving Object Tracked by A Mobile Robot with Real-Time Obstacles Avoidance Capacity," *The 18th International Conference on Pattern Recognition*, IEEE, 2006.
- [12] W. J. M. Kickert, and E. H. Mamdani, "Analysis of a fuzzy logic controller," *Fuzzy sets md Systems*, Vol. 1, pp. 29-44, 1978.
- [13] E. H. Mmdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant," in *Proceedings IEEE*, Vol. 121, No. 12, pp. 1585-1588, 1974.
- [14] M. J. Patyra, J. L. Grantner, and K Koster, "Digital fuzzy logic controller: design and implementation," *IEEE Transactions on Fuzzy System*, Vol. 4, No. 4, pp. 439-459, 1996.
- [15] Sheng-Sung Jian, "Implementation of Fuzzy Trajectory Following and Planing Control for CLMR Image Processing," *Master Thesis, Dept. of Electrical Engineering, National Cheng Kung Univ., Tainan, Taiwan, R.O.C.*, 2000.
- [16] Y.Koren and J. Borenstein, "Potential Field Methods and Their Inherent Limitations for Mobile Robot Navigation," *Proceedings of the IEEE Conference on*

Robotics and Automations, Vol. 2, pp. 1398-1404, April, 1991.

- [17] Jing Yuan, Ualou Huang, Fengchi Sun and Yewei Kang, "Path Following Control for Tractor-Trailer Mobile Robot Based on Virtual Desired Path," Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2006.
- [18] Tzoo-Hseng S. Li, Shih-Jie Chang and Wei Tong, "Fuzzy Target Tracking Control of Autonomous Mobile Robots by Using Infrared Sensors," IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 12, No. 4, 2004.



강재구

2004 전북대학교 전기전자공학 전공(공학사)
2004-2005 KEC-메카트로닉스 연구소(연구원)

2005~현재 한국과학기술연합대학원대학교-한국과학기술연구원 인지로봇연구단 HCI 및 로봇응용공학 석사과정

관심분야: Embedded System, 이동/보행로봇



이중재

1999 숭실대학교 컴퓨터학부(공학사)
2001 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과(공학석사)
2005 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과(공학박사)
2005-2006 숭실대학교 정보미디어기술연구소(연구교수)

2006~현재 한국과학기술연구원 인지로봇연구단 Post-Doc.

관심분야: 로봇비저 증강현식 비주연서브잇



지민석

1995 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)
1997 한국항공대학교 항공전장공학과(공학석사)
1997~2000 (주)한국 레이컴
2000~2002 (주)휴니드테크놀로지
2006 한국항공대학교 항공전자공학과(공학박사)

2006~현재 한국과학기술연구원 인지로봇연구단 Post-Doc.

관심분야: 로봇비전, 강인제어



유범재

1985 서울대학교 제어계측공학과(공학사)
1987 KAIST 전기 및 제어공학과(공학석사)
1991 KAIST 전기 및 제어공학과(공학박사)

1994~현재 한국과학기술연구원 인지로봇연구단장(책임연구원)

관심분야: 시각기반 로봇틱스, 지능로봇, 디지털 신호처리/마이크로프로세서 응용