

퍼지 제어기를 이용한 지능형 차량의 이동장애물 회피에 관한 연구

A Study on Moving Obstacle Avoidance for an Intelligent Vehicle Using Fuzzy Controller

김 훈 모
(Hunmo Kim)

Abstract : This paper presents a path planning method of the sensor based intelligent vehicle using fuzzy logic controller for avoidance of moving obstacles in unknown environments. Generally, it is too difficult and complicated to control intelligent vehicle properly by recognizing unknown terrain with sensors because the great amount of imprecise and ambiguous information has to be considered. In this respect, a fuzzy logic can manage such the enormous information in a quite efficient manner. Furthermore, it is necessary to use the relative velocity to consider the mobility of obstacles. In order to avoid moving obstacles, we must deliberate not only vehicle's relative speed toward obstacles, but also self determined acceleration and steering for the satisfaction of avoidance efficiency. In this study, all the primary factors mentioned before are used as the input elements of fuzzy controllers and output signals to control velocity and steering angle of the vehicle. The main purpose of this study is to develop fuzzy controllers for avoiding collision with moving obstacles when they approach the vehicle travelling with straight line, and for returning to original trajectory. The ability and effectiveness of the proposed algorithm are demonstrated by simulations and experiments.

Keywords : path planning, dynamic obstacle avoidance, intelligent vehicle, fuzzy logic controller

I. 서론

공장 자동화 및 의료 분야 등에 사용되고 있는 무인 반송 대차(AGV) 시스템은 전자기 유도선이나 반사 태이프 등의 궤도추종방식으로 운행하여 작업공간의 제약 및 적용범위의 한계가 있어 이의 개선을 위해 환경변화에 유연하게 대처할 수 있는 이동 로봇(mobile robot)의 필요성이 최근 증대되고 있다. 이의 한 형태인 자율주행차량 (autonomous navigation vehicle)의 주행에 관한 연구로서는 크게 주행 목표점을 최적의 경로를 구해서 찾아가는 경로 계획(path planning)에 대한 연구와 경로상에 존재할 수 있는 장애물과의 충돌을 회피하여 원하는 목적지에 도달하는 연구 및 두 방법을 결합하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.

목적지로의 주행을 위한 장애물 회피에 관한 연구에서 정적 장애물 회피는 주어진 환경이 고정되어 장애물의 이동성을 고려할 필요가 없다. 그러나 실제 환경에서는 시간이 변함에 따라 위치를 이동하는 동적 장애물이 존재하므로 이의 회피에 대한 연구가 대두되었다. 이동 장애물을 고려하려면 시변(time variant)요소를 포함하는 많은 변수들을 필요로 한다. 즉 이동 장애물의 이동성에 따른 상대 속도와 이동 로봇이 회피를 하기 위한 조향에 대한 문제등이 존재한다. 이동 로봇의 조향에 대해서는 대부분이 이동 로봇 바퀴의 기구학적 설계에 따라 자유도를 증가시킴으로 극복하려 하였으나 실제 환경에서는 그렇지 못한 경우가 많다. 따라서 이를 극복하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

접수일자 : 1999. 8. 6. , 수정완료 : 1999. 12. 6.
김훈모 : 성균관대학교 기계공학부

Kant등[1]은 이동 장애물과의 충돌을 회피하기 위하여 Geometric Approach를 이용하여 경로를 변경하지 않고 계획된 경로 내에서만 속도를 감속하거나 가속하여서 이동 장애물과의 충돌을 회피하고자 하였다.

Fujimura등[2]은 시간을 침가시킨 Constructive Solid Geometry(CSG) Tree를 Bintree로 바꾸어서 이동로봇이 이동할 수 있는 공간들을 Bintree로 만들어 충돌이 일어나지 않는 공간을 찾아 이동 장애물을 회피하고자 하였다.

Kyriakopoulos등[3,4]은 이동 장애물과의 거리를 추정하여 움직이는 장애물과의 충돌을 예측하는 거리함수를 만들어 충돌을 회피하는 방법을 제시하였다.

Borenstein등[5,6]은 장애물의 간지에 초음파 센서를 사용하기 위해 인공 전위계 방법을 응용한 가상 역장(VFF: Virtual Force Field)과 벡터장 히스토그램(VFII: Vector Field Histogram) 방법을 제안하였다. 이 방법은 계산시간이 오래 걸리고 환경정보를 이미 알고 있다는 가정 하에서 센서데이터를 통해 환경지도를 생성하는 형태의 알고리즘으로 미지의 환경에서의 이동로봇의 실시간 주행을 위한 경로계획 방법으로는 부정확하다.

Fiorini등[7]은 이동장애물과 이동 로봇간의 상대속도를 이용하여 이동 로봇이 충돌이 일어나지 않도록 하는 속도 벡터가 놓일 수 있는 경계를 표시하였다. 이 방법은 이동 장애물과 이동 로봇의 속도가 일정하다고 가정한 상태에서 충돌 회피할 수 있는 이동로봇의 속도벡터의 영역을 제시하여 가장 적절한 이동 로봇의 이동 방향을 제시하지 않았고, 초기 상황에서만 알고리즘을 이용하여 이동장애물의 상황이 변할 때 대응할 수 있는 방법을 고려하지 않았다.

Chohra등[8]은 이동 로봇의 주행환경을 인식하기 위해 학습능력이 뛰어난 인공신경망을 사용하고 인간의 경험적

인 지식을 이용하는 퍼지논리(fuzzy logic)를 사용하여 이동 장애물을 회피하고자 했다.

Futoshi kobayashi 등[9]은 Katayama 등에 의해 제시한 fuzzy 규칙을 사용한 방법중 작업자가 시행착오에 의해 페지규칙을 수정하기에는 너무 많은 시간이 소요되고 최적 페지추론을 할 수 없다는 맹점을 보완하기 위하여 페지 소속함수를 이전의 페지규칙의 단계에서 계산한다. 각종 센서로부터의 입력뿐만 아니라 fuzzy 제어기의 출력을 또다른 입력으로 하여 페지규칙의 소속함수를 계산하고자 하였다. 이 방법들은 모두 제한된 공간에서만 고려하여 이동하는 차량같은 불확실한 환경변수에 대해서는 적용할 수 없다는 단점이 있다..

지금까지의 대부분의 연구에서는 실제 주행과정의 중요한 변수인 장애물의 이동성을 감안한 이동차량 시스템의 조향을 충분히 고려하지 못하고 있다. 본 연구에서는 이동차량의 조향과 더불어 자체 가·감속을 고려한 퍼지제어기를 구축하여 실시간 충돌 회피 문제에 효율적으로 대처하고자 한다. 이를 위해 초음파센서가 부착된 이동차량의 자율주행을 위한 퍼지제어기의 설계 및, 모의 실험(simulation)을 수행하고, 실제 제작한 차량을 통해 동적환경에서의 실험을 검증하여 설계한 제어기의 유효성과 타당성을 평가하고자 한다.

II. 차량의 주행 경로

1. 조향을 고려한 곡선 경로

차량의 조향을 하는 방법은 두 개의 구동륜의 속도차를 이용하는 것으로 한쪽 바퀴의 속도를 가감하거나 양쪽 바퀴의 속도를 가감하는 방법이 있다. 본 연구에서는 전자의 방법을 사용하였다. 이동차량이 최적의 속도 V ,로 주행하고 있다고 가정하고 그림 1에서와 같이 왼쪽 바퀴의 속도를 V_1 , 오른쪽 바퀴의 속도를 V_2 라 할 때 원편 조향을 위해 V_2 를 높이는 것은 모터의 최대 속도 범위를 넘을 수도 있고, 무게중심의 위치에 따라 조향 특성에 영향을 미치는 범위가 크므로 V_1 을 감속시키는 것이 합리적이라 할 수 있다. 조향시에는 초기 감속 후 일정시간 등속 주행 후 다시 가속을 하여 최적의 속도 V ,에 도달하면 다시 등속 주행을 하도록 설정하였고 이를 통해 적절하게 가감속 시간과 등속 시간을 조절하면 기대하는 속도차를 유지하면서 기대하는 각도만큼 조향할 수 있게 된다.

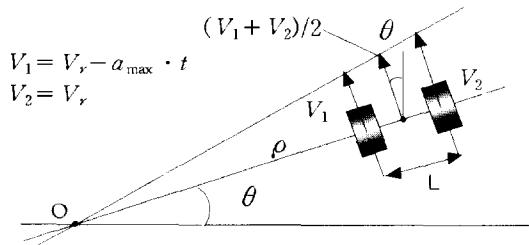


그림 1. 조향각과 구동률 솔도의 관계

Fig. 1. Relation between turning angle and wheel velocity

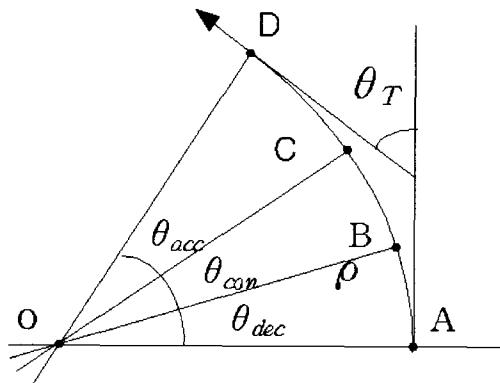


그림 2. 지능형 차량의 조향과정.

Fig. 2. Turning method of intelligent land vehicle.

양 구동률의 상대속도를 고려한 조향각은 그림 1과 같이 나타내어진다. 여기서 바퀴는 미끄러짐이 없다고 가정했고 감속되는 바퀴는 곡률 반경 ρ 으로 선회한다. 이 때의 ρ 는 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho = \frac{L(V_1 + V_2)}{2(V_2 - V_1)} = \frac{L(V_r - a_{\max} t/2)}{a_{\max} t} \quad (1)$$

또한, 차량이 조향 중에 멈 수 있는 최대가속도는 a_{max} , 이 가속도에 의한 한 쪽 바퀴의 속도를 감속시킨 시간은 t_{dec} , 감속 구간에서의 조향각 θ_{dec} 와 각속도는 각각 (2), (3)으로 나타낼 수 있다.

$$\theta_{dec} = \int_0^{t_{dec}} \frac{a_{\max} t}{L} dt = \frac{a_{\max} t_{dec}^2}{2L} \quad (2)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{(V_r - a_{\max} t/2)}{\rho} = \frac{a_{\max} t}{L}, \quad (0 \leq t \leq t_{dec}) \quad (3)$$

감속 후의 속도차를 일정하게 유지하는 구간에서의 조향 각 θ_{con} 과 각속도는 (4), (5)와 같다.

$$\theta_{con} = \int_{t_{con}}^0 \frac{a_{\max} t_{dec}}{L} dt = \frac{a_{\max} t_{dec} t_{con}}{L} \quad (4)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{V_r - \frac{1}{2} a_{\max} t}{\rho} = \frac{a_{\max} t}{L}, \quad (\quad t_{dec} \leq t \leq t_{con} \quad) \quad (5)$$

감속 후의 속도차를 일정하게 유지하는 구간을 지난후, 다시 감속구간과 같은 크기의 가속구간을 가지게 되면 감속시간 t_{dec} 와 가속시간 t_{acc} 가 같아지므로, $\theta_{acc} = \theta_{dec}$ 와 같이 놓을 수 있다. 이 가속구간을 거치면 초기의 최적 속도 V_r 를 가지게 된다. 그림 2에서 보면 A→B는 감속구간, B→C는 등속구간, C→D는 가속구간이고 회전을 통해 얻은 조향각은 θ_T 이며 전 구간에서 얻어진 총 조향각은 다음과 (6)과 같다.

$$\theta_T = \theta_{acc} + \theta_{con} + \theta_{dec} \quad (6)$$

또한, 가속시간과 감속시간이 같으므로 (7)과 같다.

$$\theta_T = 2\theta_{acc} + \theta_{con} = \frac{a_{max} t_{acc} (t_{acc} + t_{con})}{L} \quad (7)$$

2. 상대속도를 고려한 퍼지 회피 경로 생성

이동차량이 장애물을 인식하여 회피를 하는데 있어서 장애물의 이동방향과 이동속도를 고려하지 않으면, 이동차량과 비슷한 속도와 방향을 지닌 장애물은 이동차량의 회피경로에 계속 영향을 미치기 때문에 퍼지제어기의 입력 중 장애물의 속도를 상대속도로 입력하여 능동적으로 회피경로를 생성하여야 한다. 이동차량이 속도 V 로 주행 중 이동장애물을 포착하여 퍼지제어기의 규칙에 의해 충돌 가능성에 있다고 판단하면 그 순간의 이동차량의 위치를 원점으로 하고, 이동차량의 전진방향을 Y축으로 하는 좌표계에서 추정 위치를 $P_o(X_o, Y_o)$ 라고 하여, 이동차량의 현재 주행방향의 연장선상에 있는 목표지점 $P_g(X_g, Y_g)$ 까지 이동차량은 속도 V ,로 주행하고 있다고 가정한다. 이동차량은 처음 초음파 센서에서 입력된 장애물 및 일정한 샘플링 시간 후 입력된 장애물의 위치에서 이동 장애물의 순간 속도를 V_r 로 추정한다. 그림 3에 이를 나타냈다.

이동차량과 이동 장애물과의 상대 속도의 크기와 방향 각은 다음(8), (9), (10)과 같이 나타난다.

$$|\vec{V}_o| = V_o, |\vec{V}_r| = V_r, \angle \vec{V}_o = \theta, \\ \angle \vec{V}_r = \tan^{-1}((Y_g - Y_o)/(X_g - X_o)) = \phi \quad (8)$$

$$|\vec{V}_r - \vec{V}_o| = \sqrt{V_r^2 - V_o^2 - 2V_r V_o \cos(\phi + \theta)} \quad (9)$$

$$\angle(\vec{V}_r - \vec{V}_o) = \tan^{-1}\left(\frac{V_r \sin \phi - V_o \sin \theta}{V_r \cos \phi - V_o \cos \theta}\right) \quad (10)$$

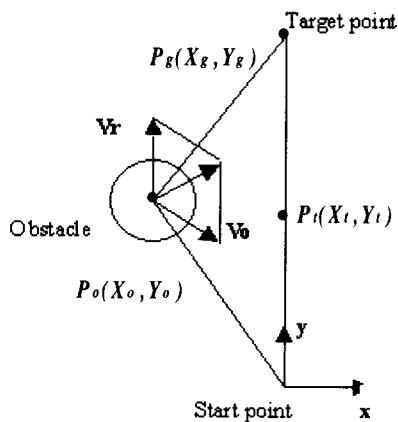


그림 3. 장애물과의 상대속도를 이용한 충돌회피법.

Fig. 3. Collision avoidance using relative velocity.

이러한 장애물의 상대속도는 이동차량이 상대좌표계의 Y축상을 주행하고 있는 과정중 장애물을 인식한 후 장애물과의 상대속도 성분을 사용하여 조향과 출력속도를 조

절한다.

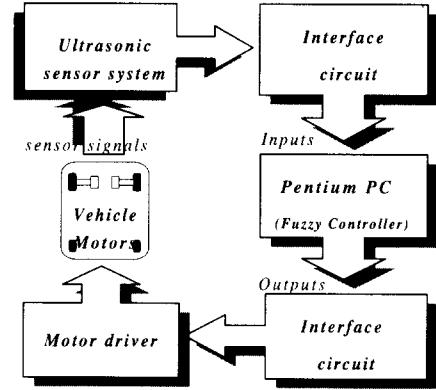


그림 4. 지능형 주행 차량의 전체구성도.

Fig. 4. Schematic diagram of overall ILV system.

III. 실험장치

이동차량과 이동 장애물은 DC 서보 모터에 의해 주행을 하게 되며, 센서 시스템은 이동 장애물과 이동차량 사이의 거리를 측정하기 위해 이동차량의 전면부와 측면부에 설치되고 충돌회피를 위한 연산시스템인 컴퓨터 시스템은 이동차량의 이동성으로 인해 이동차량의 상부에 탑재하여 수행한다. 전체 시스템의 개략도는 Fig. 4와 같다.

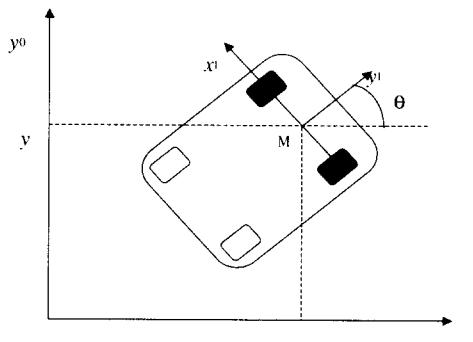


그림 5. 차량의 좌표계.

Fig. 5. Coordinate of the vehicle.

1. 차량주행 시스템

차량주행 시스템은 24V, 50W, 15:1의 기어비를 가진 두 개의 DC 서보모터 및 D/A 컨버터를 포함하는 모터드라이브 회로에 의한 구동장치와 두 개의 캐스터와 몸체로 구성되어 있다. 위치 인식과 속도 측정을 위해서 2048p/r의 엔코더를 사용한다. 그림 5에서 좌표계(x_0, y_0, z_0)는 이동차량의 절대 위치를 지정하는 기준좌표계이며 양 구동륜의 중앙점 M에는 몸체좌표계(x_1, y_1, z_1)를 설정한다. 이동차량의 위치와 방향을 표시하려면 위치변수 x, y와 방향변수 θ 가 필요하다. 추축항법을 사용한 위치 정보는 조향을 고려한 (1)~(7)의 좌, 우 바퀴의 속도에서 유도한다. Δ_1 과 Δ_2 을 샘플주기(t_s) 동안 변화한 각 바퀴의 주행 거리라 하고 Δ_θ 를 샘플주기 동안의 이동차량의 방향 변화라 했을 때 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\Delta_1 = 2\pi\rho \frac{Z_1}{P}, \quad \Delta_2 = 2\pi\rho \frac{Z_2}{P} \quad (11)$$

$$\Delta_\theta = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{L} \quad (12)$$

여기서, P는 인코더의 1회전당 펄스 수, Z_1 , Z_2 는 샘플링 시간 동안 변화된 각 바퀴의 엔코더 펄스 수, W는 이동차량의 폭을 나타낸다.

이로부터 이동차량의 위치에 대한 자세 벡터의 성분을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta = \theta_{old} + \Delta_\theta \quad (13)$$

$$x = x_{old} + \frac{1}{2}(\Delta_1 + \Delta_2) \cos(\theta_{old} + \frac{\Delta_\theta}{2}) \quad (14)$$

$$y = y_{old} + \frac{1}{2}(\Delta_1 + \Delta_2) \sin(\theta_{old} + \frac{\Delta_\theta}{2}) \quad (15)$$

2. 센서 시스템

본 연구에서는 장애물에 대한 환경인식을 하기 위한 센서로 거리측정센서인 초음파센서를 사용하였다.

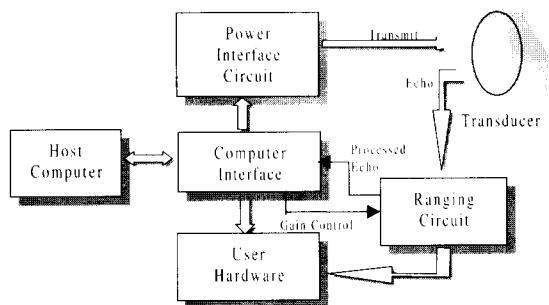


그림 6. 센서 시스템의 구성도.

Fig. 6. Schematic diagram of sensor system.

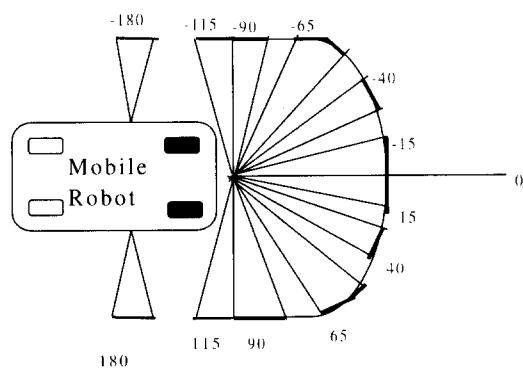


그림 7. 지능형 차량의 감지범위에 대한 모식도.

Fig. 7. Schematic diagram of sensing range for ILV.

음속(340m/sec)으로 진행하는 초음파가 측정대상에 반사되어 돌아올 때 발사시간과 도착시간의 차이를 측정하면 거리측정이 가능하다.

본 연구에서 사용되는 초음파센서는 Polaroid사의 Ultrasonic ranging unit[10,11]으로서 그림 6에 개략도를 나타내었다. 주파수대역은 20~100KHz이고 0.25m~10.7m까지의 거리에 있는 장애물을 측정할 수 있으며 좌우 각 40도 이내의 범위에서 -20dB의 유효측정을 할 수 있다. 본 연구에서는 그림 7에서 보는 바와 같이 인식 범위를 25도로 하도록 정면 및 측면에 부착하였다. 또한 초음파센서에서 들어오는 신호를 장애물과의 거리값으로 바꾸기 위하여 카운터 보드를 설계하였다. 이 보드는 초음파센서에서 장애물로 음파를 보내는 동안 60Hz로 내부발진 펄스를 카운팅하고 있다가 반송파 감지시 보드를 초기화시키고 이 때까지 카운팅한 값을 거리변수로 환산한다.

3. 이동장애물 시스템

이동 장애물 시스템은 이동차량 시스템과 유사하나 센서부가 없다. 2개의 이동 장애물은 스테핑 모터를 사용하여 이동하였고, 최저 0.1m/sec에서 최고 0.4m/sec로 8단계로 가·감속 할 수가 있다. 본 논문에서는 저속인 장애물로 0.1m/sec, 중속인 장애물로 0.2m/sec, 고속인 장애물로 0.3~0.4m/sec로 설정하여 정속주행을 하도록 하였다.

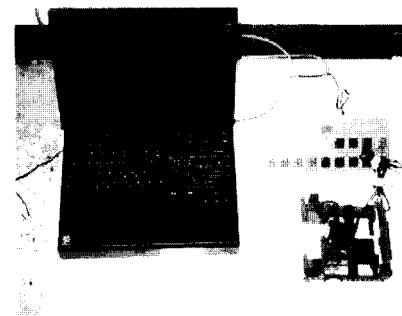


그림 8. 장애물시스템의 실제모습.

Fig. 8. Photo of the obstacle system.

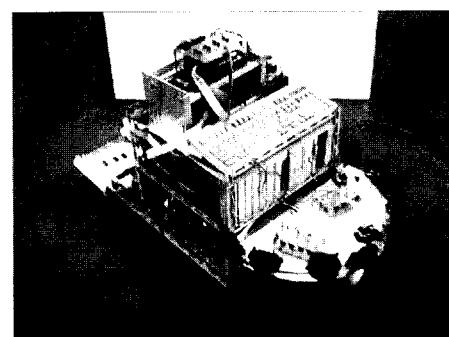


그림 9. 지능형 차량의 실제모습.

Fig. 9. Photo of the intelligent land vehicle.

그림 8은 이동장애물 시스템으로 Lego dacta의 블록 및 응용프로그램을 이용하였다. 노트북 PC와 RS-232 통신을 하여 각 장애물에 대한 속도 출력 지령을 내린다. 차량이 초음파센서로 이동장애물을 인식하도록 폭 20cm, 높이 50cm의 입체박스로 포장하여 주행한다.

4. 컴퓨터 시스템

센서의 정보처리와 모터제어를 위한 상위 제어기로奔 터업 PC를 사용하였다. 컴퓨터 시스템은 센서의 입력 정보를 기초로 하여 Fuzzy 제어기를 통해 실시간으로 이동차량의 조향을 위한 속도와 위치를 결정하기 위해 각각의 모터에 제어 신호를 보낸다. 모터의 출력을 위해 12비트의 분해능을 가진 양방향(bipolar) D/A Converter를 사용하였다. 모터내장 엔코더의 펄스수는 카운터보드(counter board)에서 DIO Card를 통해 컴퓨터로 입력되고 입력된 자료를 계산하여 자기위치를 측정한다. 또한 초음파 센서로부터 들어오는 데이터를 처리하기 위해 장애물에 의한 반사파(echo pulse)가 수신되면 이때까지의 펄스 수를 래치한 후, DIO 버퍼를 통하여 컴퓨터로 입력된다. Fig. 9은 제작된 차량의 외형이다.

IV. 퍼지제어기를 이용한 이동장애물 회피

주어진 경로에서 차량이 이동장애물을 회피하고 원래의 궤적으로 복귀하여 주행하기 위해서 퍼지제어기를 사용하였다. 본 논문에서 제안된 퍼지제어기는 실제 차량의 환경에 근사하도록 조향을 고려하였고 또한, 주행과 장애물 회피의 효율성을 증대시키기 위하여 차량의 속도를 고려하였다. 즉 조향시에 차량의 실제 궤적을 고려하여 장애물 회피를 추구하였고, 장애물의 이동속도를 상대속도로 관측하여 장애물이 같은 속도를 달리고 있더라도, 그 방향의 형태에 따라 각기 다른 차량의 속도를 출력하도록 하였다. 그림 10는 본 연구에서 제안한 퍼지제어기의 입출력관계를 나타낸다.

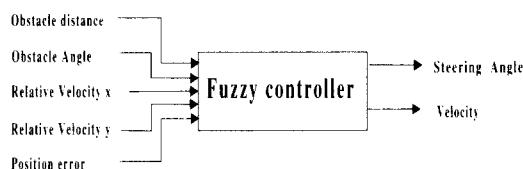


그림 10. 퍼지제어기의 입출력 관계.

Fig. 10. Input Output relations for fuzzy controller.

차량의 주행시 초음파센서로부터 환경인식을 위해 측정된 입력변수의 값은 먼저 언어적인 변수로 나타내기 위해 소속함수를 이용한 퍼지화 과정이 필요하다. 본 논문에서는 주위환경을 잘 고려하기 위하여 삼각형 형태의 함수와 사다리꼴 형태의 함수를 적절히 병행하여 퍼지화를 수행하였다. 퍼지제어기에 사용되는 언어변수는 다음과 같다.

- LB(Left Big), LM(Left Medium), LS(Left Small)
- RB(Right Big), RM(Right Medium), RS(Right Small), ZA(Zero)
- FF(Fast), MM(Medium), SS(Slow)
- NE(Near), MD(Medium), FA(Far)
- OLB(Left Big), OMD(Medium), ORB(Right Big)
- XNF(x Negative Fast), XNS(x Negative Slow)
- XPF(x Positive Fast), XPS(x Positive Slow)
- YNF(y Negative Fast), YMD(y Medium),

YPF(y Positive Fast)

- ENL(Error Positive Large, EMD(Error Medium), EPL(Error Positive Large)

표 1. 조향각의 언어적 표현과 범위.

Table 1. Linguistic expression and range for steering angle.

Steering angle	range
LB	-60 ~ -30
LM	-40 ~ -20
LS	-30 ~ 0
ZA	0
RS	0 ~ 30
RM	20 ~ 40
RB	30 ~ 60

표 2. 차량 속도의 언어적 표현과 범위.

Table 2. Linguistic expression and range for vehicle velocity.

Velocity	range
SS	0 ~ 0.3
MM	0.1 ~ 0.5
FF	0.3 ~ 0.8

표 3. 위치오차의 언어적 표현과 범위.

Table 3. Linguistic expression and range for error position.

Position Error	range
ENL	2.5 ~ 0
EMD	0.5 ~ 0.5
EPL	0. ~ 0.8

표 1은 퍼지제어기의 출력값 중에 하나인 조향각에 관한 언어적인 표현과 범위를 나타내었다. 0.1m/sec로 좌우 구동바퀴의 속도차를 주어 조향을 한다. 가·감속 시간은 미리 일정하게 설정해 두고, 감속된 후 등속시간을 조절하여 적절한 조향값을 얻어 내고자 하였다. 그러나 차량이 한번에 60° 이상을 조향하는 것은 실제 환경을 고려하지 않기 때문에 최대 60°의 조향각으로 조향하도록 하였다.

표 2는 퍼지제어기의 출력값 중의 또 다른 하나인 차량의 속도에 관한 언어적인 표현과 범위를 나타내었다.

표 3은 차량이 회피하는 과정 중 중요한 변수인 궤적과의 오차에 관한 언어적인 표현과 범위를 나타내었다. 장애물과의 거리와 각도, 속도를 고려하는 것 외에도 차량이 궤도에서 계속 멀어져 가는 오차를 고려하여 항상 원궤적으로 복귀할 수 있는 변수가 필요하므로 궤적과의 오차를 퍼지제어기의 입력변수중의 하나로 설정하였다.

위에 주어진 설정된 언어변수로 만들어진 각각의 입출

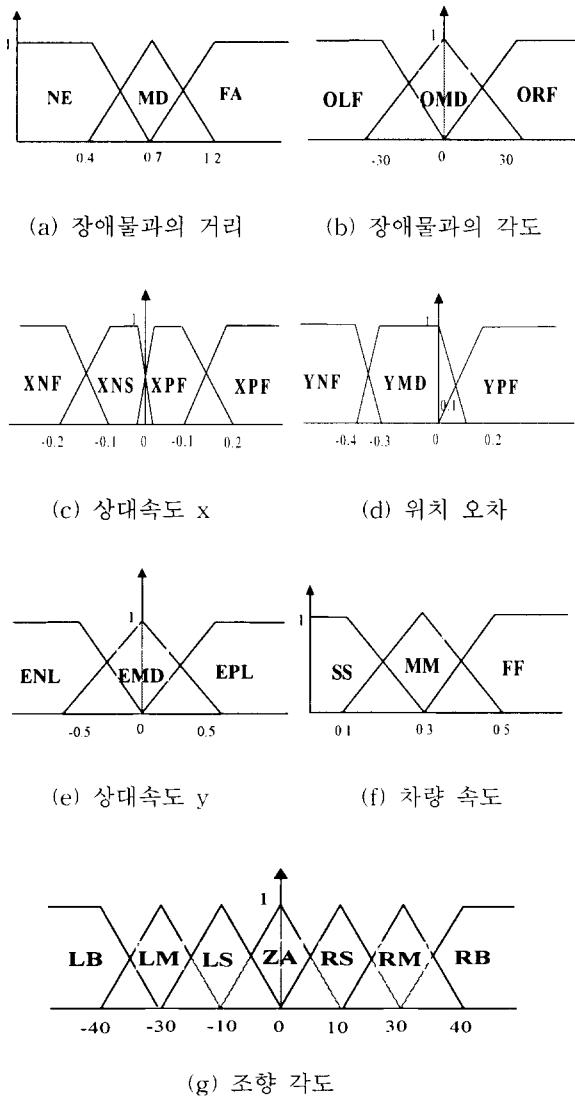


그림 11. 언어변수를 위한 퍼지집합 함수.

Fig. 11. Fuzzy sets for linguistic variable.

력 변수에 대한 소속함수를 그림 11에 나타내었다. 그림 11의 (a)~(e)는 퍼지입력 변수로서 (a)와 (b)는 각각 차량에서 장애물까지의 거리와 각도, (c)와 (e)는 차량의 장애물에 대한 상대속도의 x성분과 y성분, (d)는 차량의 궤도 위치오차이다. (f), (g)는 퍼지출력 변수로 각각 차량의 속도와 조향각을 나타낸다.

주행과정에서 속도와 조향각을 조절하기 위한 퍼지제어기의 규칙은 IF-THEN 형식으로서 다음과 같이 표현된다.

R: IF (Obstacle distance) is FA and (Obstacle angle) is OLF and (Relative velocity x) is XNF and (Relative velocity y) is YNF and (vehicle trajectory error) is ENF THEN (vehicle steer angle) is RS and (Vehicle's velocity) is MM

여기서 FA, OLF, XNF, YNF, ENF, RS, MM은 각각의 입력공간과 출력공간에서 정의한 퍼지변수이다. 본 논문에서 속도와 조향각 제어를 위해 퍼지제어기에 사용된 제어규칙은 총 324이다. 표 4는 퍼지제어기의 출력변수인 차량

의 조향각에 사용된 규칙중 일부를 도시한 것이다.

표 4. 조향각 퍼지제어기를 위한 규칙 베이스.

Table 4. Rule base for steering fuzzy controller
(Case 1 : Relative velocity (XNF,YNF),
error position (ENL)).

Steering angle		Obstacle angle		
		OLB	OMD	ORB
Obstacle distance	FA	RS	RM	LS
	MD	RM	RM	LM
	NE	RM	RB	LS

차량의 장애물 회피와 궤적복귀를 위한 퍼지제어기에 사용된 추론 방법은 Mamdani에 의해 제안되어 여러 시스템에 적용한 결과 신뢰성이 높게 평가된 최대-최소법을 사용하였다. 추론된 값은 실제 제어시스템의 입력으로 사용되기 위해 명확한 값으로 바꾸는 비퍼지화 과정을 거쳐야 한다. 본 논문에서는 무게 중심법을 이용하여 비퍼지화 과정을 수행하였다

V. 시뮬레이션 및 실험

1. 시뮬레이션

본 연구에서 제안된 퍼지 알고리즘의 효율성을 검증하기 위하여 실험에 앞서 차량의 모의 주행 시뮬레이션을 수행하였다. 주행 시뮬레이션을 수행하기 위해 Turbo C++ 3.0을 사용하였고 차량이 주행해야 할 직선 주행거리는 20m로 설정하였다. 장애물은 장애물의 주행속도에 따라 차량에 영향을 미치는 범위와 그렇지 않은 범위에 두어 실험을 하였다. 또, 초음파센서에 주변환경에 의한 잡음이 수신되는 것을 방지하기 위해 센서의 감지범위는 30cm에서 3000cm로 제한하였다. 실제로 25cm 이내에서 초음파센서는 정상적으로 작동하지 않는다. 차량의 한쪽 바퀴는 정상 속도일 때 0.3m/sec로 주행하게 하였고, 최대선속 0.6m/sec로 하였다. 두 구동바퀴는 지면과의 미끄러짐(Slip)이 없고 조향중에도 미끄러짐이 없는 속도차를 가지고 조향을 한다고 가정하였다. 초기에 실제 차량은 약 3초간의 가속시간을 가진 후 정상속도로 주행하도록 하였으나 시뮬레이션 시점은 이미 정상속도에 도달한 직후로 가정하였다. 차량이 정상주행중 장애물을 만나면 장애물까지의 거리와 각도, 장애물의 상대속도를 계산하고, 차량의 현재 위치를 파악하여 궤적으로부터 이탈범위 등을 퍼지제어기로 연산하여 조향또는, 가·감속의 여부를 결정한다. 주행 시뮬레이션에 사용된 퍼지제어기의 제어규칙은 총 324개이다. 그림 11 (a)는 장애물 1을 0.4m/sec, 장애물 2는 0.3m/sec의 고속으로 주행시켰을 때 이에 대한 차량의 회피경로를 시뮬레이션 수행을 통하여 얻은 결과이다. 장애물이 센서가 인식하는 센서반경 안에 진입했을 때 차량은 조향과 서서히 가속을 시키며 선회를 시작하다 장애물이 위험 반경안에 들어왔을 때 가속을 크게 하며 진행함을 알 수 있다. 다음에 인식되는 2번째 장애물은 차량과 비슷한



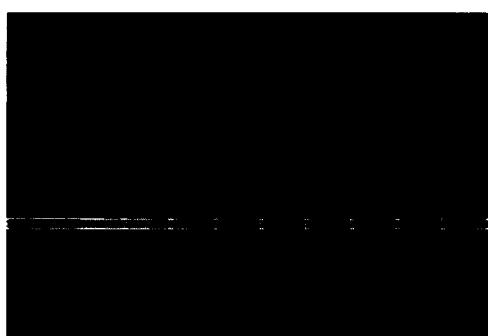
(a) Obstacle 1 = 0.4m/s, Obstacle 2 = 0.3m/s



(b) Obstacle 1 = 0.2m/s, Obstacle 2 = 0.2m/s



(c) Obstacle 1 = 0.1m/s, Obstacle 2 = 0.1m/s



(d) Obstacle 1 = 0.1m/s, Obstacle 2 = 0.2m/s

그림 12. 지능형 차량의 장애물회피 시뮬레이션.
Fig. 12. Simulations for ILV's obstacle avoidance.

속도와 방향으로 진행하고 있어 등속으로 주행하다가 장애물이 차량의 주행궤적을 지나고 나서 좌측으로 선회를 한 후 원래 궤적으로 다시 복귀한다. 장애물이 센서로부터 인식할 수 있는 반경을 벗어나면서 정상 주행한다. 그림 12 (b)는 장애물 1과 2 모두 0.2m/sec의 중속으로 주행하는 경우에 대한 시뮬레이션의 수행결과이다. 그림 12 (c)는 장애물 1, 2 모두 0.1m/sec의 저속으로 주행하는 경우에 대한 시뮬레이션 결과이고, 그림 12 (d)는 장애물 1은 0.1m/sec의 저속으로, 장애물 2는 0.2m/sec의 중속으로 주행하는 경우에 대해 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 각각의 경우에 대해 차량의 속도와 궤도로부터의 이탈한 범위를 그림 13와 그림 14에서 볼 수 있다. 이 결과로부터 상대 속도가 차량의 주행방향과 반대방향인 경우는 빨리 회피하여 궤도에서부터의 이탈범위가 작은 경우에 반해 같은 방향일수록 차량이 조향각이 크다는 것을 알 수 있다. 이는 같은 방향으로 움직이는 장애물이 오래 동안 센서의 검출영역에 있어 계속적으로 회피를 해야하는 경우가 발생해야 하지만 궤적과의 오차를 펴기 입력변수로 사용하여 차량이 지역적 극소에 빠져 궤적을 영원히 이탈하는 것으로부터 방지할 수 있었다.

장애물에 대한 환경은 장애물 1과 2 모두 차량의 원래

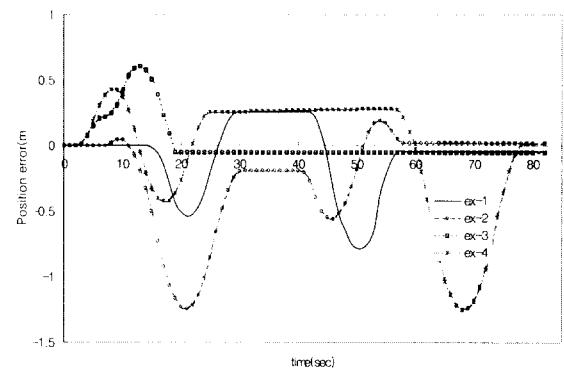


그림 13. 각각의 주행시뮬레이션에서의 속도비교.

Fig. 13. Comparison of ILV's velocity about several cases during navigation.

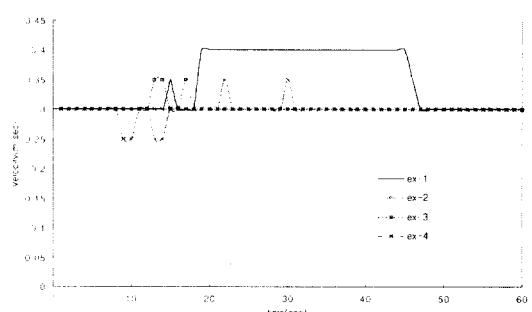


그림 14. 각각의 주행시뮬레이션에서의 위치오차비교.

Fig. 14. Comparison of ILV's position error about several cases during navigation.

궤적과 56.3° 를 이루며 주행하고 있다. 차량이 궤적으로부터 2.5m 이상 벗어나는 경우는 강제로 복귀하도록 하였으나 그림 14의 위치 오차에 대한 결과에 의하면 모든 경우에 대해서 강제 복귀한 경우가 없으므로 입력변수로서 차량의 위치오차의 사용이 적절했다는 것을 알 수 있다.

2. 주행실험 결과

차량의 이동장애물 회피를 위한 퍼지제어기의 성능을 검증하기 위하여 구축된 퍼지제어규칙을 바탕으로 실제 차량 시스템을 제작하여 주행실험을 수행하였다. $8m \times 10m$ 의 공간에서 단일 장애물에 대해서만 주행실험을 하였으며, 주위환경의 제약으로 장애물을 감지반경을 2.2m로 제한하였다. 또한 차량은 $0.15m/s$ 를 최적의 속도로 설정하고 최고속도를 $0.22m/s$ 로 제한하여 주행실험을 수행하였다. 장애물의 경우 이동성을 정확히 파악할 수 있도록 이동속도를 $0.05m/sec$ 로 하였다.

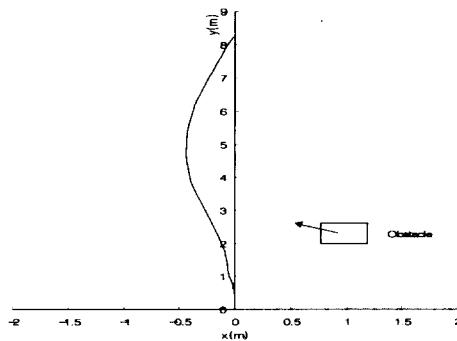


그림 15. 지능형 차량의 장애물회피 실험결과.

Fig. 15. Experiment result for ILV's obstacle avoidance.

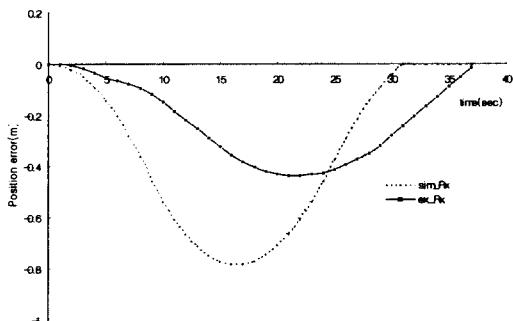


그림 16. 시뮬레이션과 실험결과에서의 위치오차비교.

Fig. 16. Comparison of ILV's position error between simulation and experiment.

그림 15의 실험결과에서 왼쪽으로 이동하는 장애물을 피하기 위해 차량이 왼쪽으로 회피하는 것을 알 수 있었고, 주행속도는 모터의 순시적인 속도를 계측하기 때문에 시뮬레이션보다는 진동이 발생하였다. 또한 그림 16에서 정상궤도와의 이탈정도를 보면 실제실험에서 다소 응답이 늦지만 유사한 경향을 나타내며 이동장애물을 회피한다.

VI. 결론

본 연구에서는 미지의 환경에서 초음파센서를 이용하여 이동하는 장애물을 회피하여 주어진 궤적에 복귀하여 다시 본래의 임무를 수행하는 문제를 퍼지제어기를 사용하여 시뮬레이션 및 실험을 수행하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 자율주행 차량의 이동속도와 조향각 제어를 위해 동적 장애물의 이동 방향 및 차량에 대한 상대속도를 고려한 퍼지 제어기를 적용하여, 이동 장애물로 인한 시변요소가 존재하는 미지환경에서의 자율주행 차량에 대해 효율적인 실시간 제어시스템을 구현하였다.

2) 지역적인 경로계획과정에서 조향과 가·감속 고려시 장애물 회피만을 고려하지 않고 궤도복귀를 위한 궤도와의 오차변수를 포함시켜서 효율적인 회피를 하였다.

3) 대부분의 이동로봇이 자유도가 높고 기구학적으로 복잡한 조향장치를 가지는 것과는 달리 본 논문에서는 실제 차량에 가까운 차동 조향구조를 가지는 모델을 설정하여 제작하였기 때문에 자율운송 차량 등 실제의 경우에 응용이 가능하다.

향후의 연구과제는 다음과 같다.

1) 차동식 차량의 주행과 조향 과정에서 바퀴의 미끄러짐으로 인한 위치 및 방향오차가 크게 존재하므로 이를 보정하기 위한 시스템이 필요하다.

2) 이동장애물의 주변환경을 크게 고려할수록 제어규칙의 수가 기하급수적으로 증가하여 규칙의 제정과 수정이 곤란하고, 실제 장애물의 이동속도는 계속 변할 수 있으므로 이런 환경에 적용할 수 있는 적응제어기법을 사용한다면 복잡한 이동 장애물의 이동성을 효율적으로 계산하여 실시간 적용가능성이 용이하게 될 것이다.

3) 현재의 초음파센서에 의해서만 장애물을 인식하는데는 외부 잡음과 구석면 또는 경사진 부분에서의 반사효과로 그 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 Vision 시스템이나 레이저 센서 등을 함께 사용하는 것이 필요하다.

참고문헌

- [1] K. Kant and S. W. Zuker. "Toward efficient trajectory planning: the path-velocity decomposition.", *The International Journal of Robotic Research*, vol. 5, no. 3, pp. 72- 89, 1986
- [2] K. Fujimura and H. Samet. "A hierachical strategy for path planning among moving obstacles", *IEEE Trans. on Robotics and Automation*. vol. 8, no. 1, pp. 61-69, 1989.
- [3] K. J. Kyriakopoulos and G. N. Saridis. "Distance estimation and collision prediction on-line robotic motion planning", *Automatica*, vol. 28, no. 2, pp. 389-394, 1992
- [4] K. J. Kyriakopoulos and G. N. Saridis. "An integrated collision prediction and avoidance scheme for mobile robots in non-stationary environments", *Automatica*, vol. 29, no. 2, pp. 309-322, 1993.

- [5] J. Borenstein and Y. Koren. "Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots", *IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics*, vol. 19, no. 5, pp. 1179-1187, 1989.
- [6] J. Borenstein and Y. Koren. "The vector field histogram fast obstacle avoidance for mobile robots", *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 7, no. 3, pp. 278-2887, 1991.
- [7] P. Fiorini and Z. Shiller. "Motion planning in dynamic environments using the relative velocity paradigm.", *Proc. IEEE int. conference on Robotics and Automation*, vol. 1, pp. 560-556, 1993.
- [8] A. Chohra and A. Farah, "Hybrid navigation ap-
- proach combining neural networks and fuzzy logic for autonomous mobile robots", *IEEE int. conference on Motion and Vibration Control*, vol. 1, no. 6, 1996.
- [9] F. kobayashi, F. Arai, T. fukuda, K. shimojima, M. onoda, M. marui, "Sensor fusion system using recurrent fuzzy inference", *Journal of Intelligent and Robotic System* 23: 201-216, 1998.
- [10] Polaroid, "Ultrasonic ranging system", 1993.
- [11] Polaroid, "Ultrasonic components", 1995S. Arimoto, "Linear controllable systems," *Nature*, vol. 135, pp. 18-27, July, 1990.



김 훈 모

1984년 성균관대 기계공학과 졸업.
 Univ. of Alabama 기계공학과 석사
 (1989). Univ. of Michigan at Ann Arbor 항공우주공학과 석사(1989).
 Univ. of Alabama 기계공학과 박사
 (1993). 1993년~1995년 삼성 데이터 시스템 선임연구원.
 1995~현재 성균관대학교 기계공학부 부교수. 관심분야는
 인공지능제어, 지능형 차량설계, 분산제어시스템(DCS), 공
 정제어(FA)시스템 .