

적응 퍼지 논리를 이용한 Mobile Vehicle의 Lateral 제어기 설계 및 적용

김명중\*, 임형순\*\*, 이창구\*\*\*, 김성중\*\*\*

\* 전북대학교 공과대학 제어계측공학과, \*\* 전자공학과, \*\*\* 전자·정보공학부

A Lateral Controller for the Mobile Vehicle Using Adaptive Fuzzy Logics

Myoung-Joong Kim\*, Hyung-soon Lim\*\*, Chang-Goo Lee\*\*\*, Sung-Joong Kim\*\*\*

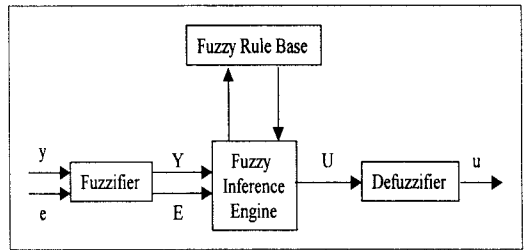
\* Dep. of Control and Instrumentation Engineering, Chonbuk National University

**Abstract** - The main aim of this paper is to investigate the possibility of applying fuzzy control algorithms to a microprocessor-based servomotor controller which requires faster and more accurate response compared with many other industrial processes. In addition, this study deals with the control of the lateral motion of a mobile vehicle. A adaptive fuzzy logic controller(AFLC) is designed and applied to a experimental mobile vehicle in order to achieve control of the lateral motion of the vehicle.

$$-1 = a_{y_r}^0 < a_{y_r}^1 < a_{y_r}^2 < a_{y_r}^3 < a_{y_r}^4 < a_{y_r}^5 < a_{y_r}^6 = 1 \tag{2.2}$$

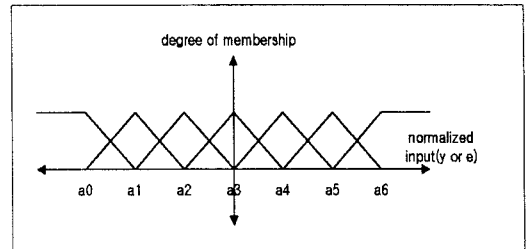
1. 서 론

고속도로 자동화(highway automation)를 위한 차량 제어는 크게 종방향 제어(longitudinal control)와 횡방향 제어(lateral control)로 나눌 수 있다. 종방향 제어는 앞 차량과 떨어진 거리를 측정하여 차량간격을 일정하게 유지하도록 엑셀러레이터와 브레이크를 사용하여 차량의 속력을 조절하는 것이고 횡방향 제어는 차량이 도로의 기준선을 이탈하지 않고 따라가도록 하기 위해 조향각을 제어하는 것을 의미한다. 횡방향 자동 제어는 차량의 횡방향 오차(vehicle lateral error)를 차량으로 부터 얼마나 앞에서 측정하느냐에 따라 성능이 크게 좌우되고 측정 방법으로는 비전에 의한 차선 인식을 하는 look-ahead방식과 도선이나 자석, 또는 반사체에 의한 차선 인식을 하는 look-down방식으로 구분될 수 있다.



<그림 2.1> 퍼지 제어기의 구조

본 논문에서는 look-ahead방식으로 차선을 인식하고 퍼지 논리 학습 기법을 기반으로 하는 적응 퍼지 제어기를 설계, lookup table 화하여 실시간 제어가 가능하도록 하였다. 이를 mobile vehicle에 적용하여 정속 제어와 차선 유지제어에 적용하여 만족할 만한 성과를 얻었다.



<그림 2.2> 언어 변수의 소속함수

2. Fuzzy Lateral Controller

2.1 퍼지 제어기 구조

자동차의 차선유지를 위한 횡 방향 퍼지 제어기의 구조는 <그림 2.1>과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 퍼지 제어 입력으로는 차선으로부터 자동차 중심까지의 거리오차  $y_r$ 과 편요각 오차  $\epsilon - \epsilon_d$ 를 제어 입력으로 하였다.

언어 변수의 소속 함수는 삼각형 구조로 하여 계산 속도를 증가시켰고 복잡성을 피하였다. 그리고, 각 언어 변수의 소속정도는 식 (2.3)에 의해 계산되어진다.

2.2 변수의 언어값

퍼지 입력  $y_r$ 과  $\epsilon - \epsilon_d$ 를 퍼지화하고 이를 7개의 언어값으로 표현한다. 퍼지 제어기내에서  $y_r$ 과  $\epsilon - \epsilon_d$ 에 대한언어변수의 소속함수는 다음식의 꼭지점에 의해 결정되며 각 꼭지점들은 식(2.1)과 식(2.2)를 만족해야 한다.

$$-1 = a_{y_r}^0 < a_{y_r}^1 < a_{y_r}^2 < a_{y_r}^3 < a_{y_r}^4 < a_{y_r}^5 < a_{y_r}^6 = 1 \tag{2.1}$$

$$x = \begin{cases} 1 - \frac{a_j^i - x_j}{a_j^i - a_j^{i-1}}, & a_j^{i-1} < x_j \leq a_j^i \\ 1 - \frac{x_j - a_j^i}{a_j^{i+1} - a_j^i}, & a_j^i < x_j \leq a_j^{i+1} \\ 0, & x_j \leq a_j^{i-1} \text{ or } x_j > a_j^{i+1} \end{cases} \tag{2.3}$$

2.3 수치 데이터로부터 일반화된 퍼지 규칙

입력과 출력 범위를 퍼지 영역으로 나누고 주어진 데이터 쌍으로부터 퍼지 규칙을 다음과 같이 만든다. 전건부와 후건부의 소속값의 product를 하여 각각의 규칙에 소속값을 다음과 같이 부여한다.

$$D(\text{Rule}) = \mu_A(x_1)\mu_B(x_2)\mu_C(y) \tag{2.4}$$

다음 단계로 최종 퍼지 규칙 베이스를 만들고 이를 가지고 lookup table을 결정한다.

$$\mu_{O'}^i = \mu_{I_1^i}(x_1) \mu_{I_2^i}(x_2) \quad (2.5)$$

이때 전전부가 같은 퍼지 규칙중 소속값이 높은 것을 선택한다.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^M \mu_{O'}^i \bar{y}^i}{\sum_{i=0}^M \mu_{O'}^i} \quad (2.6)$$

위와 같은 퍼지출력을 결정하기 위해 center average 비퍼지화 공식을 사용한다. 퍼지 규칙은 차선으로부터 차량 무게 중심까지의 거리와 편요각의 오차에 대하여 모두 21개의 퍼지 규칙을 가지게 된다. 이렇게 생성된 규칙은 전문가의 의사 결정 능력에 퍼지 언어 규칙이 포함되어 <표 2.1>와 같은 최종 규칙이 된다.

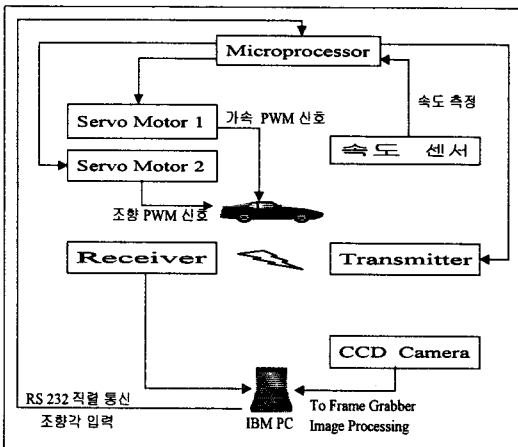
<표 2.1> 최종 퍼지 규칙

e	y	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB							PS	
NM					PS	PS	PS	NS
NS					ZO	ZO		NM
ZO	PM		ZO	ZO	ZO			JM
PS	PM		ZO	ZO				
PM	PS	PS	NS	NS				
PB		NS						

### 3. mobile vehicle의 제어시스템

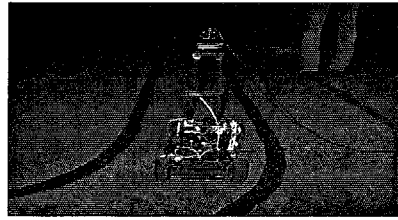
#### 3.1 전체 제어 시스템 구조

mobile vehicle의 정속 제어와 조향각 제어를 위한 전체 시스템 구성도는 <그림 3.1>과 같다.



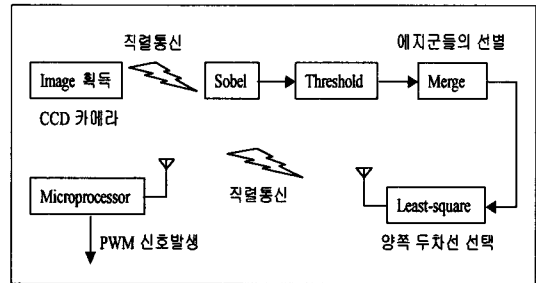
<그림 3.1> 전체 시스템 설계도

본 논문에서 설계한 제어시스템의 기본 개념은 실험용 mobile vehicle에 대해서 원격 조종기에 의하지 않고 차량의 정속 제어와 차선 유지제어를 위한 조향각 제어를 위해 <그림 3.1>과 같이 시스템을 구성하였고 실험에서 사용된 mobile vehicle은 <그림 3.2>와 같다.



<그림 3.2> 실험용 mobile vehicle

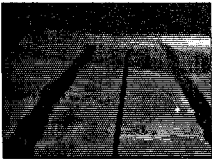
먼저 차량의 바퀴에 부착된 반사체에 의한 속도센서로 사용된 광섬유 센서의 일정 샘플링 시간동안의 회전수를 계산하여 이를 본 논문에서 설계한 적응 퍼지 제어기의 입력으로 하고 기준속도(본 실험에서는 1.5m/sec)에 수렴하게 하였다. 데이터 값은 무선통신 모듈(모델명 : BIM-418-F)을 사용하여 마이크로프로세서측의 송신기에서 PC측 수신기로 데이터를 전송받아 이를 가속 서보모터의 PWM신호의 크기를 조절해 주었다. 조향각 제어를 위해 비전 센서를 사용하여 처리시간 단축을 위해 복잡하지 않은 이미지 프로세싱을 하여 차선의 에지를 추출하였고 최소 상승법에 의해 양쪽 차선을 1차 방정식으로 근사화시켜 양쪽 차선의 중심선을 mobile vehicle의 진행방향으로 결정하였다. 이를 마이크로 프로세서(모델명 : 80c196kc)의 제어입력으로 주어 조향각을 결정하여 조향 서보모터에 PWM신호를 내보내 준다.



<그림 3.3> 이미지 프로세싱 단계

#### 3.2 실험 및 결과

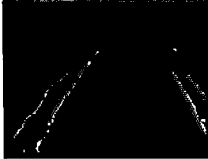
이미지 프로세싱 단계는 <그림 3.3>과 같다. 먼저 CCD 카메라(모델명 : CMD-5V)로 영상이 들어온다. IBM PC에 장착된 영상 캡처보드(모델명 : ICPCI 보드)에 의해 영상을 획득하고 획득된 영상에서 에지를 추출하기 위해 gray값으로 설정해준 값보다 약간 큰 값을 선택한다. 인식된 도로선에서 인접한 점들을 하나의 직선 방정식으로 나타내기 위하여 설정된 값보다 작으면 버린다. 각각의 구해진 방정식에 비슷한 방정식들은 계수평균을 사용하여 새로운 방정식을 만든다. 즉 주변의 복잡한 라인등을 하나의 새로운 직선 방정식으로 근사화시킬 수 있다. 도로영상에서 하단의 중심부는 도로이기 때문에 중심에서 +축으로 가장 가까운 방정식과 -축으로 가장 가까운 방정식을 선택하여 이를 양쪽 차선으로 결정한다. 구해진 양쪽 차선을 근거로 그 중심라인을 주행방향으로 결정하는 데 영상의 하단부분에 한쪽 차선 또는 양쪽 차선 모두 검출되지 않은 경우 위에서 검출된 직선의 방정식을 근거로 라인을 그어주어 전체적인 주행 방향을 결정하였다. 이를 직렬통신을 통해 마이크로 프로세서에 제어입력으로 주어 제어출력으로 조향 서보모터에 PWM 신호를 내보내 준다. 본 실험에서는 폭 50cm의 실험용 도로를 설정하여 검은색 차선을 인식하기 위해 이미지 프로세싱한 결과는 다음과 같다.



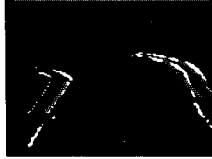
〈그림 3.4〉



〈그림 3.6〉

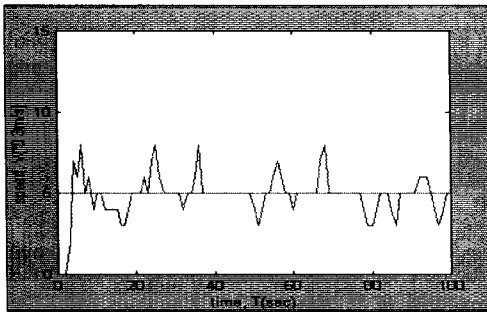


〈그림 3.5〉

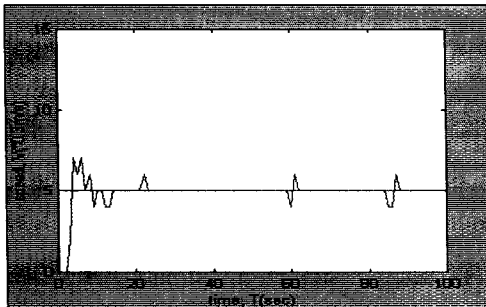


〈그림 3.7〉

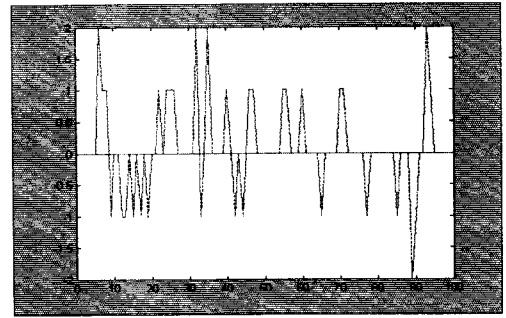
〈그림 3.4〉은 〈그림 3.5〉의 에지검출에 의해 결정된 주행방향이고 〈그림 3.6〉는 〈그림 3.7〉에 의해 결정된 주행방향이다. 다음은 mobile vehicle이 기준속도 (1.5m/s)에 대한 속도의 변화를 나타내는 파형과 위에서 결정된 조향각이 제어입력으로 들어가 직선인 경우 편요각 오차의 결과 파형이다. 결과에서 볼 수 있듯이 퍼지 제어를 사용한 경우가 사용하지 않은 경우보다 제어성능이 우수함을 알 수 있다. 〈그림 3.8〉은 퍼지 제어를 사용하지 않은 경우 기준속도에 수렴하지 않고 진동이 일어나지만 〈그림 3.9〉의 퍼지 제어를 사용한 경우 약간의 오차는 있지만 기준속도에 잘 수렴함을 볼 수 있다. 〈그림 3.10〉의 퍼지 제어를 사용한 경우 편요각 변화는  $\pm 2^\circ$ 로 상당히 안정한 특성을 보임을 알 수 있다.



〈그림 3.8〉 퍼지 제어기 사용하지 않은 경우 속도의 변화



〈그림 3.9〉 퍼지 제어기 사용한 경우 속도의 변화



〈그림 3.10〉 퍼지 제어를 사용한 경우 편요각 변화

#### 4. 결 론

본 논문에서는, 2개의 서보모터로 구동하는 mobile vehicle이 지정된 직선 및 커브를 추종하도록 하기 위하여, 비전 인식에 의한 조향 시스템을 설계한 사례를 보였다. mobile vehicle이 화면에 표시된 검은색의 차선을 CCD 카메라에 의해 관측함으로써 지정된 경로로부터 이탈정도를 인식하도록 설계되었다. 이를 퍼지 제어기에 의해 mobile vehicle의 조향 서보모터의 PWM 신호를 계산해주는 시스템과 바퀴의 회전수를 속도센서로 측정하여 기준속도에 수렴하도록 가속 서보모터의 PWM 신호를 계산해주는 시스템을 구성하였다. 차량의 주행자세는 이탈 거리 및 주행 방향의 두가지 인자에 의하여 표현하였으며, 이 두가지 인자를 추출하기 위한 비전 인식에는 최소 자승법을 이용하였다. 위의 실험결과에서 볼 수 있듯이 조향각을 결정함에 있어서 직선인 경우  $\pm 2^\circ$  범위 내에서 추정하였다. 향후 연구 과제는 이미지 프로세싱을 함에 있어서 그림자 처리나 커브인 경우 등과 같은 여러 문제점의 보완이 필요하다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] Li-Xin Wang, "Adaptive Fuzzy Systems and Control : Design and Stability Analysis", Prentice Hall
- [2] Shumeet Baluja, "Evolution of an artificial neural network based autonomous land vehicle controller", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B : Cybernetics, vol.26, no.3, pp. 450-463, June 1996.
- [3] Charles Thorpe, Martial H. Hebert, Takeo Kanade and S. A. Shafer, "Vision and Navigation for the Carnegie-Mellon Nablab", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.10, no.3, May 1988.
- [4] M. Sugeno and M. Nishida, "Fuzzy Control of Model Car", Fuzzy Sets and Systems, vol.16, pp. 105-113, 1985.
- [5] 임형순, 김명중, 이창구, "IVHS에서의 Fuzzy논리를 이용한 차량의 차선 변경 제어", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, vol.B, pp. 465-467, 1998.7.
- [6] 고현민, 최성구, 노도환, "대응점 결정법을 이용한 주행방향 파라미터 추정 알고리즘에 관한 연구", 한국 자동제어 학술회의 논문집, vol.2, pp. 1232-1235, 1998.10.
- [7] 이성운, 정완권, 염영일, "자동차형 이동로봇의 주차를 위한 제어", 한국 자동제어 학술회의 논문집, vol.1, pp 506-509, 1998.10.