

# 적응퍼지논리를 이용한 Mobile Vehicle의 횡방향 제어기 구현

論 文

49D-5-4

## The Implementation of a Lateral Controller for the Mobile Vehicle using Adaptive Fuzzy Logics

金 明 中\* · 李 昌 求\*\* · 金 聖 中\*\*\*

(Myung-Jung Kim · Chang-Goo Lee · Seong-Jung Kim)

**Abstract** - This paper deals with the control of the lateral motion of a mobile vehicle. A mobile vehicle using in this experiment is able to adapt many unmanned automatic driving system, for example, like a automated product transporting system. This vehicle is consist of the two servomotors. One is used to accelerate this vehicle and the another is used to change this lateral direction. An adaptive fuzzy logic controller(AFLC) is designed and applied to a experimental mobile vehicle in order to achieve the control of the lateral motion of the vehicle. Therefore, the main aim of this paper is to investigate the possibility of applying adaptive fuzzy control algorithms to a microprocessor-based servomotor controller which requires faster and more accurate response compared with many other industrial processes. Fuzzy control rules are derived by modelling an expert's driving actions. Experiments are performed using a mobile vehicle with sensing units, a microprocessor and a host computer.

**Key Words** : lateral motion, mobile vehicle, unmanned automatic driving system, adaptive fuzzy logics

### 1. 서 론

차량 증가에 따른 도로상에서의 교통문제를 해결하기 위하여 지능형 운송시스템(ITS: Intelligent Transport Systems)에 관한 연구가 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 미국의 PATH 연구소를 중심으로 수행중인 차량의 자율주행 시스템은 종방향 제어(longitudinal control)와 횡방향 제어(lateral control)로 나눌 수 있다. 차량의 횡방향 제어는 차선유지 제어와 차선변경 제어를 포괄하며 조향을 자동화함으로써 차량이 도로의 기준선을 이탈하지 않고 주행하도록 하는 일종의 자율 조향 제어이다[1]-[4].

차량의 차선유지 제어에 관한 연구는 PATH 연구소에서 최적제어와 강인제어 방식을 중심으로 많은 연구가 수행되고 실험결과가 발표되었다[5][6]. 이들 연구에서는 차량의 횡방향 거리를 자기센서를 이용하여 도로에 설치된 자성물체로부터 측정하였으나 차선을 변경할 때에는 이를 이용하지 못하는 단점과 함께 차량의 정확한 모델을 요구하는 문제점을 지녔다. 이를 해결하기 위해 Hessburg[7]는 운전자의 경험을 바탕으로 하는 퍼지 제어를 이용한 차선변경 제어기를 제안하였다. 또한, Chee[8]는 사다리꼴의 주행 궤도를 구성하여 추

적 제어로서 슬라이딩 모드 제어를 이용한 차선유지 및 차선변경 제어기의 실험결과를 발표하기도 하였다. 그러나 주행 중인 차량은 주위 환경 변화에 따라 시스템의 특성이 가변하고, 시스템 파라미터 값을 정확히 알 수 없다. 이런 이유 때문에 플랜트의 정확한 수학적 모델을 필요로 하는 기존의 제어 방법들은 실제 적용의 한계가 있었다.

본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하고자 적응 퍼지논리를 이용한 차량의 횡방향 제어기를 설계하였다. 퍼지 규칙 설계에 있어서 기존 퍼지제어기와는 달리 입력력 데이터를 토대로 하여 규칙을 생성하고, 여기에 IF-THEN 형식의 전문가 언어 규칙을 추가하였다. 또한, 시스템의 동특성 변화에 따라 퍼지제어기 변수를 자동 조절하는 온라인 동조기능을 첨가하고, 실시간 제어가 가능하도록 테이블록업화하였다. 한편, 횡방향 제어의 성능은 차량의 횡방향 오차를 차량으로부터 얼마나 앞에서 측정하느냐와 측정 방법에 크게 좌우된다[9][10]. 본 논문에서는 비전시스템을 이용한 전방탐사 방식으로 경로를 인식하고 설계된 적응 퍼지제어기를 실험용 mobile vehicle 에 적용하여 기존 제어기와 성능을 비교한 결과 매우 만족할 만한 성과를 얻을 수 있었다.

### 2. 차량의 동역학적 모델

차량의 횡방향 제어에 대한 연구를 수행하기 위해서는 자동차의 주행 특성에 따른 차량의 동역학적 모델을 개발하여야 한다. 본 연구에서는 아래 식과 같이 표현되는 뉴턴의 운동 제 2법칙을 이용하여 차량의 운동방정식을 간략화시켜 유도한다.

\* 準 會 員 : 全 北 大 工 大 電 氣 工 學 科 碩 師  
\*\* 正 會 員 : 全 北 大 工 大 電 子 情 報 工 學 部 副 教 授 · 工 博  
\*\*\* 正 會 員 : 全 北 大 工 大 電 子 情 報 工 學 部 教 授 · 工 博  
接 受 日 字 : 1999年 12月 9日  
最 終 完 了 : 2000年 4月 18日

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (1)$$

$$\sum \vec{M} = m \cdot \vec{a} \quad (2)$$

여기에서,  $\sum \vec{F}$ 는 외부에서 물체에 작용하는 힘들의 합을 나타내고 있으며  $m$ 은 물체의 질량이고  $\vec{a}$ 는 물체의 질량중심에서의 가속도를 나타낸다.  $\sum \vec{M}$ 는 물체의 질량 중심에 작용하는 모멘트들의 합이고,  $I_z$ 는 물체의 질량중심에 관한 질량관성 모멘트이다.  $\vec{a}$ 는 물체의 질량중심에 관한 각가속도이다. 차량의 동역학적 모델은 사용 목적과 모의실험의 정확성에 따라 모델의 복잡도를 적절히 조절하는 것이 필요하며 이를 실제 시스템에 적용해 봄으로써 그에 따른 문제점 등을 파악할 수 있다. 일반적으로 정상적인 차선 유지 및 변경이나 평상시의 고속도로 운전과 같은 주행 상태에서는 요속도와 횡방향 속도를 고려한 2자유도 모델이면 충분히 차량의 동역학적 거동을 예측할 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는 차선에서 차량의 중심까지의 거리와 차량의 편요각 오차를 상태변수로 하고, 이외의 상태 변수 및 도로 환경에 대하여는 다음과 같은 가정하에 차량 모델을 유도하였다.

- 롤(roll) 및 피치(pitch), 수직 방향으로의 동작은 무시된다.
- 종방향의 속도는 상수이다.
- 편요각 오차와 측면 슬립(slip)각도의 변화는 작다.
- 주행 상태의 도로는 먼지, 빙판, 바람 등이 없는 정상상태이다.

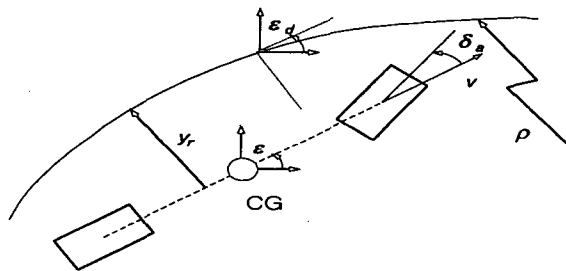


그림 1 2 자유도 자동차 모델  
Fig. 1 2 DOF Vehicle model

그림 1은 해석적인 2자유도 차량 모델을 유도하는데 이용된 도식적인 그림이다. 그림에서와 같이 차량의 동역학과 기하학적 정보로부터 다음과 같은 운동방정식을 유도할 수 있다.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} y_r \\ \dot{y}_r \\ \epsilon - \epsilon_d \\ \dot{\epsilon} - \dot{\epsilon}_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & A_1/v & -A_1 & A_2/v \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & A_3/v & -A_3 & A_4/v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_r \\ \dot{y}_r \\ \epsilon - \epsilon_d \\ \dot{\epsilon} - \dot{\epsilon}_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ B_1 \\ 0 \\ B_2 \end{bmatrix} \delta_a + \begin{bmatrix} 0 \\ A_2 - v^2 \\ 0 \\ A_4 \end{bmatrix} \frac{1}{\rho} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{-2(C_{sf} + C_{sr})}{m} \\ A_2 &= \frac{2(l_2 C_{sr} - l_1 C_{sf})}{m} \\ A_3 &= \frac{2(l_2 C_{sr} - l_1 C_{sf})}{I_z} \\ A_4 &= \frac{-2(l_2^2 C_{sr} - l_1^2 C_{sf})}{I_z} \\ B_1 &= \frac{2C_{sf}}{m}, \quad B_2 = \frac{2l_1 C_{sf}}{I_z} \end{aligned} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)에 사용된 계수의 이름은 다음과 같다.

- $y_r$ : 차선의 중심으로부터 자동차의 무게중심까지의 거리
- $\epsilon - \epsilon_d$ : 자동차의 편요각과 도로에서 구해진 이상적인 편요각의 오차
- $v$ : 차량의 종방향 속도(longitudinal velocity)
- $\delta_a$ : 차량의 조향각의 입력
- $m$ : 차량의 질량
- $I_z$ : 관성 모멘트(inertia moment)
- $l_1, l_2$ : 차량의 무게중심에서 전·후 바퀴까지의 거리
- $C_{sf}, C_{sr}$ : 차량의 전·후 바퀴에 가해지는 회전 강성(cornering stiffness)

### 3. 피지 횡방향 제어기

횡방향 피지제어기의 구조는 그림 2와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 피지 제어입력으로는 차선으로부터 차량 중심까지의 거리오차  $y_r$ 과 편요각 오차  $\epsilon - \epsilon_d$ 를 제어 입력으로 한다.

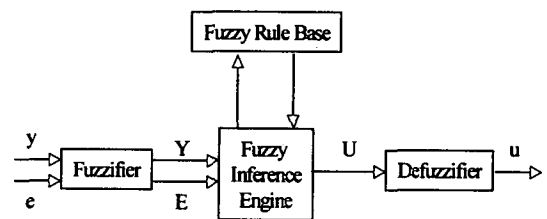


그림 2 피지 제어기의 구조  
Fig. 2 Construction of a fuzzy controller

$y_r$ 과  $\epsilon - \epsilon_d$ 에 대한 언어변수는 7개로 표현하고, 소속함수는 다음식의 꼭지점에 의해 결정되며 각 꼭지점들은 식 (5)과 식 (6)를 만족해야 한다.

$$-1 = a_{y_r}^0 < a_{y_r}^1 < a_{y_r}^2 < a_{y_r}^3 < a_{y_r}^4 < a_{y_r}^5 < a_{y_r}^6 = 1 \quad (5)$$

$$-1 = a_{\epsilon - \epsilon_d}^0 < a_{\epsilon - \epsilon_d}^1 < a_{\epsilon - \epsilon_d}^2 < a_{\epsilon - \epsilon_d}^3 < a_{\epsilon - \epsilon_d}^4 < a_{\epsilon - \epsilon_d}^5 < a_{\epsilon - \epsilon_d}^6 = 1 \quad (6)$$

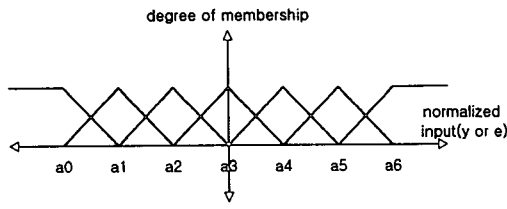


그림 3 언어 변수의 소속함수  
Fig. 3 Membership function of fuzzy set

언어 변수의 소속 함수는 삼각형 구조로 하여 계산 속도를 증가시켰고 복잡성을 피한다. 각 언어 변수의 소속정도는 식 (7)에 의해 계산되어 진다.

$$x = \begin{cases} 1 - \frac{a_j^i - x_j}{a_j^i - a_{j-1}^i}, & a_{j-1}^i < x_j \leq a_j^i \\ 1 - \frac{x_j - a_j^i}{a_{j+1}^i - a_j^i}, & a_j^i < x_j \leq a_{j+1}^i \\ 0, & x_j \leq a_{j-1}^i \text{ or } x_j > a_{j+1}^i \end{cases} \quad (7)$$

본 논문에서는 기존의 퍼지제어기와 달리 입출력 데이터를 토대로 하여 규칙을 생성하고, 여기에 IF-THEN 형식의 전문가 언어 규칙을 추가한다. 식 (8)로 주어진 입출력 데이터를 이용한 퍼지 규칙은 다음과 같은 순서로 생성한다.

$$(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}; y^{(1)}), (x_1^{(2)}, x_2^{(2)}; y^{(2)}), \dots (8)$$

먼저, 입력  $x_1, x_2$ 와 출력  $y$ 의 퍼지영역을 식 (9)와 같이 결정하고 멤버쉽 함수를 그림 4처럼 정한다.

$$[x_1^-, x_1^+], [x_2^-, x_2^+], \dots \text{ and } [y^-, y^+] \quad (9)$$

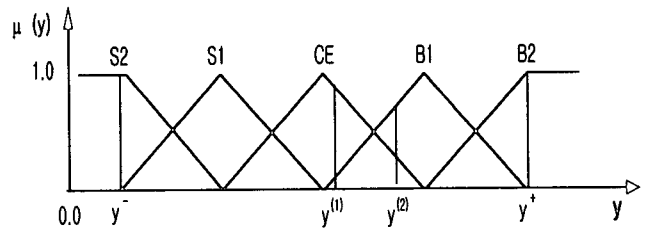
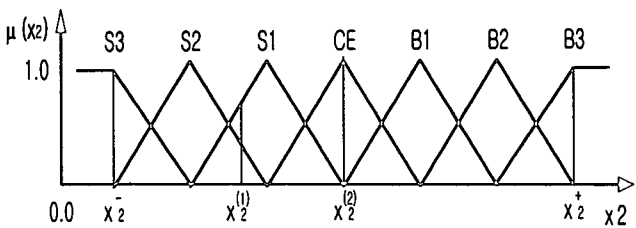
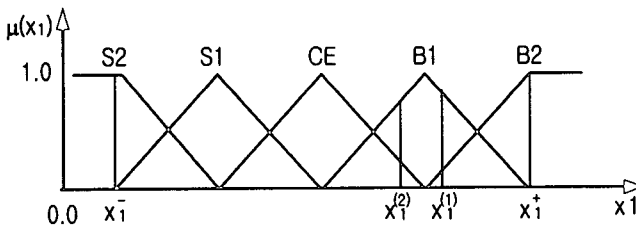


그림 4 입·출력 데이터의 퍼지화 및 해당 소속 함수  
Fig. 4 Divisions of the input and output spaces into fuzzy regions and the corresponding membership functions

주어진  $x_1^{(i)}, x_2^{(i)}$ , and  $y^{(i)}$ 에 대하여 각 영역에서의 크기를 결정하고, 다음으로 크기의 최대값을 각 데이터의 등급으로 선정하여 각 데이터쌍에 대한 규칙을 다음과 같이 생성한다.

$$(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}; y^{(1)}) \Rightarrow [x_1^{(1)}(0.8 \text{ in } B1, \max), x_2^{(1)}(0.7 \text{ in } S1, \max); y^{(1)}(0.9 \text{ in } CE, \max)]$$

$\Rightarrow$ Rule 1: IF  $x_1$  is B1 and  $x_2$  is S1,

THEN  $y$  is CE

$$(x_1^{(2)}, x_2^{(2)}; y^{(2)}) \Rightarrow [x_1^{(2)}(0.6 \text{ in } B1, \max), x_2^{(2)}(1 \text{ in } CE, \max); y^{(2)}(0.7 \text{ in } B1, \max)]$$

$\Rightarrow$ Rule 1: IF  $x_1$  is B1 and  $x_2$  is CE,

THEN  $y$  is B1

입·출력 데이터쌍에 의하여 규칙을 생성한 후에 생성된 규칙의 등급을 전건부와 후건부의 소속값의 논리곱(product)으로 취해 다음과 같이 부여한다.

$$D(\text{Rule}) = \mu_A(x_1)\mu_B(x_2)\mu_C(y) \quad (10)$$

따라서 Rule1과 Rule2의 등급을 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$D(\text{Rule1}) = \mu_{B1}(x_1)\mu_{S1}(x_2)\mu_{CE}(y) = 0.8 \times 0.7 \times 0.9 = 0.504$$

$$D(\text{Rule2}) = \mu_{B1}(x_1)\mu_{CE}(x_2)\mu_{B1}(y) = 0.6 \times 1 \times 0.7 = 0.42$$

만약 다른 결과를 갖는 규칙들이 같은 등급이면 식 (11)과 같이 전문가의 등급 판단에 의하여 최종 규칙을 표1과 같이 생성한다.

$$D(\text{Rule1}) = \mu_{B1}(x_1)\mu_{S1}(x_2)\mu_{CE}(y)\mu^{(1)} \quad (11)$$

이 때에 뒤에서 적용될 자기 동조에 따른 복잡성을 피하기

위하여 규칙 형태는 Sugeno 모델 형태를 채택하였다. Sugeno 모델에서는 퍼지 추론의 결과를 다시 비퍼지화하는 과정이 필요하지 않으므로 조정 방법이 간단하게 된다.

$$\mu_{o'}^i = \mu_{I_1'}(x_1) \mu_{I_2'}(x_2) \quad (12)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^M \mu_{o'}^i y^i}{\sum_{i=1}^M \mu_{o'}^i} \quad (13)$$

최종적으로 입·출력 수치 데이터쌍에 의하여 생성된 퍼지 규칙의 개수는 두 입력, 차선으로부터 차량 무게 중심까지의 거리와 편요각의 오차에 대하여 표 1과 같이 모두 21개의 퍼지 규칙을 가지게 되고 전문가의 의사 결정 능력이 퍼지 언어 규칙에 포함되어 표 2와 같은 최종 규칙을 얻는다.

표 1 입력력 데이터에 기초한 퍼지규칙  
Table 1 Input & output data fuzzy rule base

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					

표 2 최종 퍼지 규칙  
Table 2 Final fuzzy rule base

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

4. 적응 퍼지 제어기

본 논문에서 구현하고자 하는 적응퍼지 제어기(AFLC: Adaptive Fuzzy Logic Controller)의 구조는 그림 5와 같다.

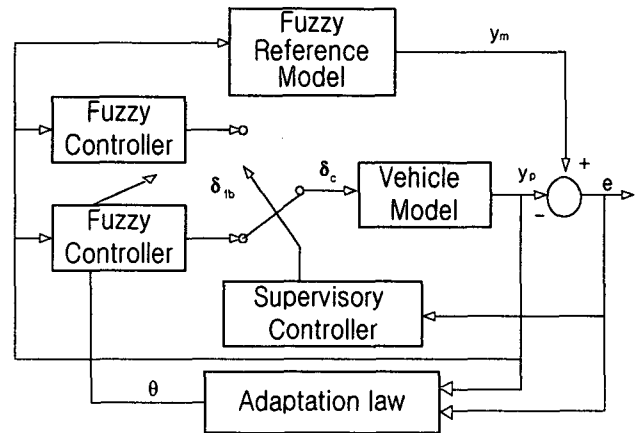


그림 5 적응 퍼지 제어기의 구조  
Fig. 5 Construction of adaptive fuzzy controller

적용 퍼지제어기를 설계하기 위하여 먼저, 차량의 출력을 상대 편요각(relative yaw rate)으로 하여 식 (14)과 같이 차량 모델을 표시한다.

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{b} \delta_c \\ y_p(k) &= \mathbf{c} \bar{\mathbf{x}}(k) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\delta_c(t) = \delta_{fb}(t) + \delta_s(\mathbf{x}(t)) \quad (15)$$

여기에서,  $\mathbf{c} := [0, 0, 0, 1]$ 가 된다. 퍼지 시스템 함수를  $\xi(\bar{\mathbf{x}}(k))$ 라 하면 퍼지 제어기는 식 (15)으로 나타낼 수 있다.  $\bar{\delta}_{fb}(k)$ 는 퍼지 출력  $\delta_{fb}(t)$ 의 샘플링된 값이고  $\theta$ 는 조정이 가능한 퍼지 제어기 변수이다.

$$\bar{\delta}_{fb}(k) = \theta^T(k) \xi(\bar{\mathbf{x}}(k)) \quad (15)$$

$$\theta(k) = \theta(k-1) + \gamma \xi^T(\bar{\mathbf{x}}(k-1)) e(k) \quad (16)$$

$\theta(k)$ 의 조정은 Lyapunov 해석을 이용하여 AFLC에서 출력 오차가 최저 한계치에 수렴하도록 하는 것이다. 퍼지 기준 모델을 식 (17)와 같이 나타낸다.

$$y_m(k) := \eta^T \xi(\bar{\mathbf{x}}(k-1)) \quad (17)$$

먼저, 출력 오차가 없는 즉, 적응 규칙의 동작없이 순수 퍼지 제어신호만을 발생하게 하는 이상적인 제어 신호  $\delta^*(k)$ 는  $\{ \forall t, k \leq t < t_s(k+1), y_p(k+1) = y_m(k+1) \}$  조건하에 식 (18)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} y_p(k+1) &= \mathbf{c} (\mathbf{A} \mathbf{x}(k) + \mathbf{b} \delta^*(k)) \\ &= \eta^T \xi(\bar{\mathbf{x}}(k)) = y_m(k+1) \end{aligned} \quad (18)$$

식 (18)으로 부터 이상적인 제어 신호는 식 (19)과 같다.

$$\delta^*(k) = \frac{\eta^T \xi(\bar{\mathbf{x}}(k)) - \sum_{i=1}^4 \bar{A}_{4i} \bar{x}_i}{\bar{b}_4} \quad (19)$$

퍼지규칙 및 소속 함수는 고정되어 있으므로 제어기의 조정 가능한 변수는  $\theta(k)$ 이다. 따라서 최적의 변수  $\theta$ 를  $\theta^*$ 라 하고 식 (20)로 나타낸다.

$$\theta^* := \arg \min_{\theta \parallel \theta \parallel \leq M_\theta} [\sup_{\bar{\mathbf{x}} \parallel \bar{\mathbf{x}} \parallel \leq M_x} |\theta^T \xi(\bar{\mathbf{x}}) - \delta^*|] \quad (20)$$

여기서,  $M_\theta$ 는 제어 규칙의 강제성(constraint)으로 ( $\|\theta^*\| \leq M_\theta < \infty$ ) 설계자에 의하여 결정된다.

식 (19), 식 (20)을 이용하여 최소 근사오차는 식 (21)와 같이 정의할 수 있고, 최대경계값 개념을 도입하여 식 (22)과 같이 표현할 수 있다.

$$w(k) := (\theta^*)^T \xi(\bar{\mathbf{x}}(k)) - \delta^*(k) \quad (21)$$

$$w^U \geq \sup_{\bar{\mathbf{x}} \parallel \bar{\mathbf{x}} \parallel \geq M_x} |w(k)| \quad (22)$$

최대 경계값  $w^U$ 는 퍼지 제어기(FLC)의 성능이 가장 나쁜 경우이다. 식 (15)을 이용하여 실제 플랜트 출력을 계산하면 식 (23)이 된다.

$$y_p(k+1) = c(\bar{\mathbf{A}} \mathbf{x}(k) + \bar{\mathbf{b}} \theta^T(k) \xi(\bar{\mathbf{x}}(k)) + \int_0^{t_s} e^{-A\sigma} \bar{\mathbf{b}} \delta_s(t_s(k+1) - \sigma) d\sigma) \quad (23)$$

또한, 식 (17)와 식 (23)를 이용하여 출력 오차를 구하면 식 (24)가 된다.

$$e(k+1) = \bar{b}_4 \theta^T(k) \xi(\bar{\mathbf{x}}(k)) - \bar{b}_4 w(k) + c \int_0^{t_s} e^{-A\sigma} \bar{\mathbf{b}} \delta_s(t_s(k+1) - \sigma) d\sigma \quad (24)$$

여기에서 시스템이  $\{At_s k \leq t < t_s(k+1)\}$ 에 대하여  $\|\mathbf{x}(t)\|_2 < M_x$ 를 만족하면 그때  $\{At_s k \leq t < t_s(k+1)\}$ 에 대하여  $\delta_s(\mathbf{x}(t)) = 0$ 이 되므로 출력 오차는 식 (25)과 같이 표현된다.

$$e(k+1) = \bar{b}_4 \theta^T(k) \xi(\bar{\mathbf{x}}(k)) - \bar{b}_4 w(k) \quad (25)$$

앞서 유도한 식에 따른 적응퍼지 제어기의 상세한 블록도는 그림 6과 같다. 그림 6에서 전방 조향 바퀴의 입력각을 발생하는 퍼지 제어기는 식 (26)과 같다.

$$\bar{\delta}_b(k) = \theta^T(k) \xi(\bar{\mathbf{x}}(k)) \quad (26)$$

여기서, 적응 퍼지 제어기는 상대 편요각 오차율,  $\dot{\epsilon}_m(t_s k) - \dot{\epsilon}_d(t_s k)$ 를 최소화하도록 설계된다. 또한, 기준모델은 식 (27)과 같다.

$$\dot{\epsilon}_m(t_s k) - \dot{\epsilon}_d(t_s k) = \eta^T \xi(\bar{\mathbf{x}}(k-1) - \bar{\mathbf{x}}_d(k-1)) \quad (27)$$

따라서 적응 규칙은 식 (28)이 된다.

$$\theta(k) = \theta(k-1) + \gamma \xi(\bar{\mathbf{x}}(k-1) - \bar{\mathbf{x}}_d(k-1)) e(k) \quad (28)$$

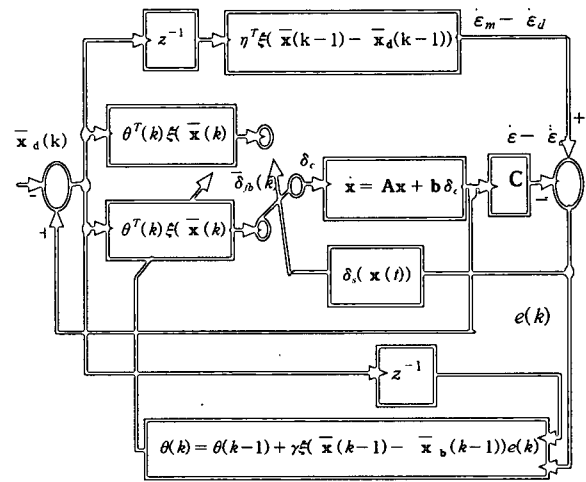


그림 6 적응퍼지 제어기 블록도  
Fig. 6 Blockdiagram of Adaptive Fuzzy Controller

### 5. 횡방향 제어기 구현 및 실험

본 장에서는 앞서 개발한 횡방향 적응 퍼지제어기를 그림 7과 같이 mobile vehicle에 적용하여 실험하였다.

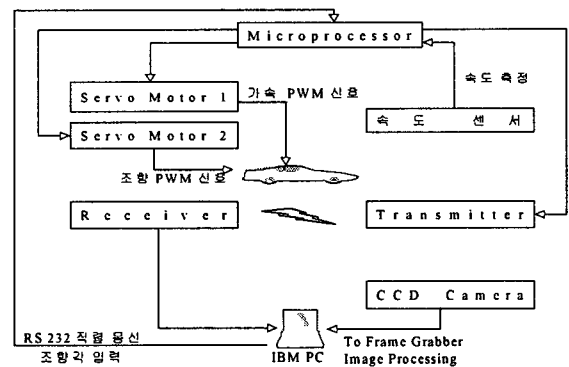


그림 7 전체 시스템 구성도  
Fig. 7 Blockdiagram of the Whole System

실험에서 사용된 mobile vehicle은 GS21R엔진을 탑재한 RC car로 그림 8과 같다.

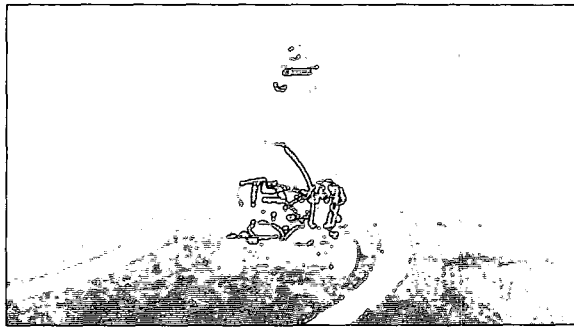


그림 8 실험용 mobile vehicle  
Fig. 8 Experimental mobile vehicle

데이터 값은 무선통신모듈(모델명 : BIM-418-F)을 사용하여 마이크로프로세서측의 송신기에서 PC측 수신기로 데이터를 전송받아 이를 가속 서보모터의 PWM신호의 크기를 조절해 주었다. 조향각 제어를 위해 비전센서 즉, 무선 CCD 카메라를 사용하여 처리시간 단축을 위해 복잡하지 않은 이미지 프로세싱을 하여 차선의 에지를 추출하였고 최소 자승법에 의해 양쪽 차선을 1차 방정식으로 근사화시켜 양쪽 차선의 중심선을 mobile vehicle의 진행방향으로 결정하였다. 이를 마이크로 프로세서(모델명 : 80c196kc)의 퍼지제어입력으로 주어 조향각을 결정하여 조향 서보모터에 PWM신호를 내보내 준다. 이미지 프로세싱 단계에서 처리시간 단축을 위해 정확도는 떨어지지만 Sobel 필터링과 같은 단순한 기법을 사용하였다.

이미지 프로세싱 단계는 그림 9와 같다. 먼저 비전센서로 사용된 무선 CCD 카메라(모델명 : CMD-5V)로 영상이 들어온다. 호스트 컴퓨터인 IBM PC에 장착된 영상 캡처보드(모델명 : ICPCI 보드)에 의해 영상을 획득하고 획득된 영상에서 에지를 추출하기 위해 그레이값으로 설정해준 값보다 약간 큰 값을 선택하여 쓰레시홀딩(Thresholding) 값으로 정한다. 위와 같은 과정을 거쳐 인식된 양쪽 경계선에서 인접한 점들을 하나의 직선 방정식으로 나타내기 위하여 설정된 값보다 작으면 버린다. 각각의 구해진 방정식에 비슷한 방정식들은 계수평균을 사용하여 새로운 방정식을 만든다. 경로영상에서 하단의 중심부는 경로이기 때문에 중심에서 +축으로 가장 가까운 방정식과 -축으로 가장 가까운 방정식을 선택하여 이를 양쪽 경계선으로 결정한다. 구해진 양쪽 경계선을 근거로 그 중심라인을 주행방향으로 결정한다.

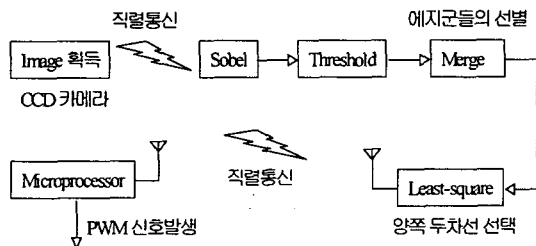


그림 9 이미지 프로세싱 단계  
Fig. 9 Blockdiagram of the Image processing

mobile vehicle이 주행중에 주행방향을 결정하기 위해 사용되는 이미지 프로세싱 기법에 의해 경로의 양쪽 경계선을 결정하여 이를 근거로 주행방향을 결정할 수 있다. 그림 10은 위의 그림 9에서와 같은 순서의 간단한 이미지 프로세싱 과정을 거쳐 그림 11에서 보여주는 바와 같이 경로의 양쪽 경계선 검출에 의해 결정된 주행방향이고 그림 12도 마찬가지로 똑같은 과정을 거쳐 그림 13에 의해 결정된 주행방향을 나타내고 있다.



그림 10 직선인 경우 주행방향 결정  
Fig. 10 Driving Trajectory Decision at direct course

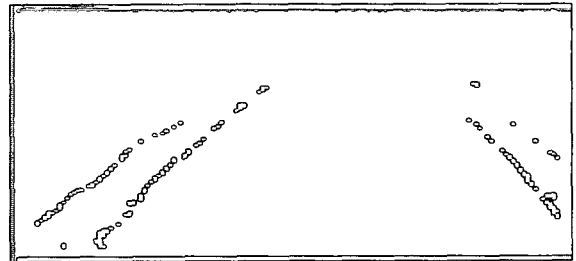


그림 11 직선인 경우 양쪽차선 검출  
Fig. 11 Road line detection at direct course



그림 12 곡선인 경우 주행방향 결정  
Fig. 12 Driving Trajectory Decision at curve

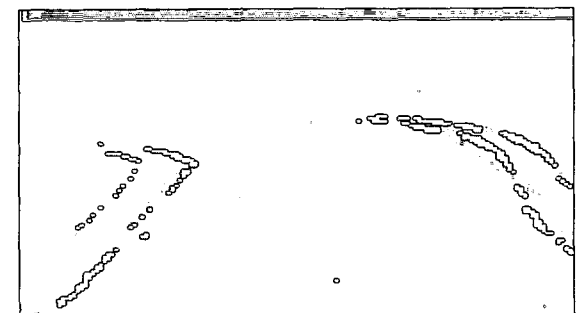


그림 13 곡선인 경우 양쪽차선 결정  
Fig. 13 Road line detection at curve

다음은 mobile vehicle이 기준속도(1.5m/s)에 대한 속도의 변화를 나타내는 파형과 위에서 결정된 조향각이 퍼지제어 입력으로 들어가 직선경로인 경우와 곡선경로인 경우 횡방향 오차의 결과 파형이다. 아래의 결과에서 볼 수 있듯이 적응 퍼지 제어기를 사용한 경우가 일반적인 퍼지 제어기를 사용한 경우보다 횡방향 오차의 측면에서 제어성능이 우수함을 알 수 있다. 본 논문에서 비교대상으로 삼은 그림 14는 일반적인 퍼지 제어기를 사용한 경우 기준속도에 수렴하지 않고 진동이 일어나지만 그림 15의 적응퍼지 제어기를 사용한 경우 약간의 오차는 있지만 기준속도에 잘 수렴함을 볼 수 있다. 그림 16의 일반적인 퍼지 제어기를 사용한 경우 직선경로에서 횡방향 오차의 변화 파형이고 그림 17은 적응퍼지 제어기를 사용한 경우 횡방향 오차의 변화 파형으로  $\pm 2^\circ$  로 상당히 안정한 특성을 보임을 알 수 있다. 또한, 그림 18는 위의 그림 16와 마찬가지로 일반적인 퍼지제어기를 사용한 경우 곡선경로에서 횡방향 오차로 역시 제어오차가 심함을 볼 수 있고 그림 19는 위의 그림 17과 마찬가지로 적응퍼지 제어기를 사용한 경우 곡선경로에서 횡방향 오차가  $\pm 5^\circ$  로 직선경로인 경우보다 횡방향 오차가 크지만 우수한 제어특성을 보임을 볼 수 있다. 실험에서 적용한 곡선경로의 커브가 실제 도로상황을 정확히 반영한 것이 아니므로 단정할 수는 없지만 이상과 같은 실험결과에서 볼 수 있듯이 단지 두가지 유형의 제어기를 예를 들어 비교해 봄으로써 본 논문에서 적용한 적응퍼지 제어기의 유용성을 주장할 수 있다.

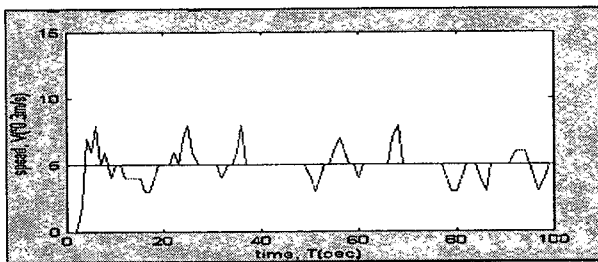


그림 14 일반적인 퍼지제어기 사용한 경우 속도의 변화  
Fig. 14 Speed Variation Using General Fuzzy Controller

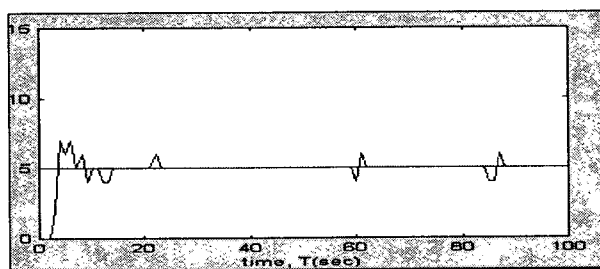


그림 15 적응퍼지제어기 사용한 경우 속도의 변화  
Fig. 15 Speed Variation Using Adaptive Fuzzy Controller

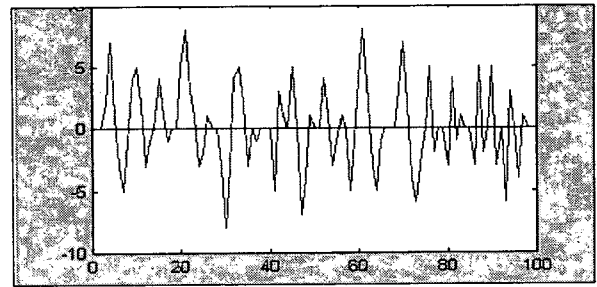


그림 16 일반적인 퍼지제어기를 사용한 경우 횡방향 오차(직선 경로에서)

Fig. 16 Lateral Error Using General Fuzzy Controller (at the direct course)

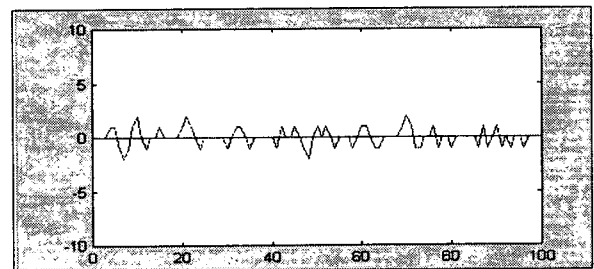


그림 17 적응퍼지 제어기를 사용한 경우 횡방향 오차 (직선 경로에서)

Fig. 17 Lateral Error Using Adaptive Fuzzy Controller (at the direct course)

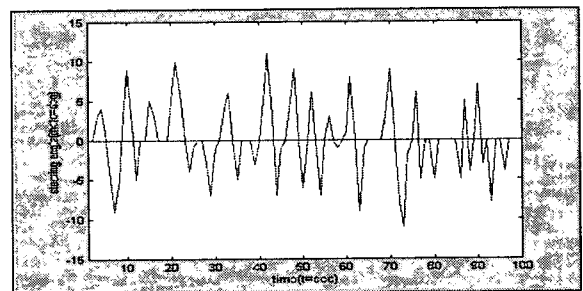


그림 18 일반적인 퍼지제어기를 사용한 경우 횡방향 오차 (곡선경로에서)

Fig. 18 Lateral Error Using General Fuzzy Controller (at curve)

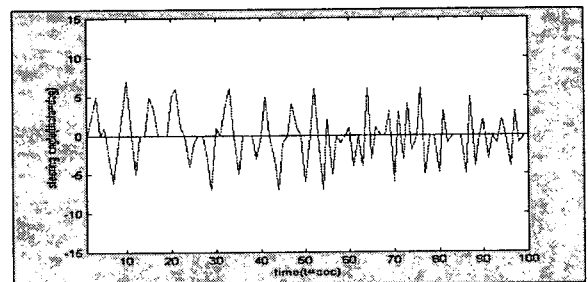


그림 19 적응퍼지 제어기를 사용한 경우 횡방향 오차 (곡선경로에서)

Fig. 19 Lateral Error Using Adaptive Fuzzy Controller (at curve)

## 6. 결 론

본 논문에서는 입출력 데이터쌍을 이용하여 퍼지 규칙을 구성하고, 이에 적용 퍼지 개념을 첨가함으로써 운전환경 변화에도 우수한 횡방향 제어를 할 수 있었다. 실제 개발된 적용 퍼지제어기를 mobile vehicle에 구현하고 실험함으로써 다른 제어기법에 비해 우수성을 확인하였다. 특히, 단순한 이미지 처리 기법을 도입한 비전인식에 의하여 횡방향 제어오차를 인식함으로써 기존의 제어기법들의 단점을 개선할 수 있었다. 다만, 거리오차, 편요각 오차, 횡방향 가속도 특성 등의 외부조건들을 변화에 따른 성능비교를 다양하게 해보지 못한 점이 아쉽다.

향후 연구과제는 이미지 프로세싱을 함에 있어서 그림자 처리나 커브인 경우 등과 같은 여러 문제점의 보완이 필요하며 실제 차량에 적용하여 그 성능을 평가하여야 할 것이다.

### 감사의 글

본 논문은 과기부 전라북도 지정 지역협력연구센터인 메카트로닉스연구센터의 지원하에 이루어 졌습니다

### 참 고 문 헌

[1] Steven E. Shladover, et al. Automatic Vehicle Control Developments in the PATH Program. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 40:114-130, February 1991.

[2] J.C. Whitehead. A Prototype Steering Weave Stabilizer for Automobiles. Journal of Dynamic systems, Measurement, and Control, Transactions of the ASME, 113:138-142, March 1991.

[3] J.K. Hedrick, Control Issues in Automated Highway Systems, IEEE, 1994

[4] Thomas Hessburg, An Adaptation Method for Fuzzy Logic Controllers in Lateral Vehicle Guidance, 1995

[5] Wonshik Chee, Lane Change Maneuver of Automobiles for The Intelligent Vehicle and Highway System(IVHS), ACC, 1996

[6] R. T. O'Brien, Vehicle Lateral Control for Automated Highway Systems, IEEE Transaction On Control System Technology Vol. 4, 1996

[7] Huei Peng, Vehicle Lateral Control for Highway Automation, ACC

[8] Wonshik Chee, Experimental Study of Lane Change Maneuvers for AHS Applications, ACC, 1995

[9] Li-Xin Wang, Adaptive Fuzzy Systems and Control : Design and Stability Analysis, Prentice Hall

[10] M. Sugeno and M. Nishida, Fuzzy Control of Model Car, Fuzzy Sets and Systems, vol.16, pp. 105-113, 1985.

[11] Shinji Ozawa & Azriel Rosenfeld, "Synthesis of a road image as seen from a vehicle", Pattern recognition, vol.19, No.2, pp.123-145, Feb.1986.

[12] 고현민, 최성구, 노도환, 대응점 결정법을 이용한 주행방향 파라미터 추정 알고리즘에 관한 연구, 한국 자동제어 학술회의 논문집, vol.2, pp. 1232- 1235, 1998.

## 저 자 소 개

### 김 명 중 (金 明 中)

1971년 12월 24일생. 1998년 전북대 제어계측공학과 졸업(학사). 2000년 동 대학원 제어계측공학과 졸업.



### 이 창 구 (李 昌 求)

1958년 12월 25일생. 1981년 전북대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1983년~1992년 한국전자통신연구소 선임연구원. 1996년

Alberta대학 방문교수. 현재 전북대 공대 전자정보공학부 부교수

Tel : (0652) 270-2476

E-mail : changgoo@moak.chonbuk.ac.kr



### 김 성 중 (金 聖 中)

1942년 3월 7일생. 1965년 전북대 전기공학과 졸업. 1985년 전남대 전기공학과 졸업(공학박사). 1981년~1982년 미국 Missouri대학 연수. 현재 전북대 전자전공학부 교수 및 메카트로닉스 연구센터 소장

Tel : (0652)270-2393

E-mail : sjkim@moak.chonbuk.ac.kr