

## 자동차의 자동 주행을 위한 Fuzzy 알고리즘의 설계

\*전정우\*, 최정원, 박찬규, 이해영, 이석규, 이달해, 배진호

\*영남대학교 전기공학과

### A design of fuzzy control rules for automatically driving a car

\*J.W. Jeon\*, J.W. Choi, C.K. Park, H.Y. Lee, S.G. Lee, D.H. Lee, J.H. Bae

\*Yeungnam University, Dept. of Electrical Engineering

**Abstract-**This paper presents fuzzy control rules of automatically driving a car. Fuzzy control rules proposed are designed by investigating human experts' experiences and composed of three groups whose functions are different. According to computer simulations which let a model car pass through a curve of S type, we showed validity of fuzzy control rules suggested.

#### 1. 서론

최근 인간 운전자가 없이 컴퓨터에 의해 자동차를 자동으로 운전하기 위한 연구가 관심을 많이 받고 있다[1]~[3]. 자동차의 자동운전을 위한 제어방식은 크게 두 가지로 생각할 수 있는데, 하나는 지정된 도로에 중앙선을 긋고 차의 중심이 도로의 중앙선을 따라가게 하는 방식이며, 주로 공장내의 물류이송 등에 사용되는 AGV(Automatic Guidance Vehicle)에 많이 사용되고 있다. 다른 한 가지 방식은 실제 도로주행상황을 모사하는 것으로서 도로의 외곽선에 대한 정보를 가지고 인간 운전자가 자동차를 운전하는 것과 동일한 방식으로 자동운전을 할 수 있도록 하는 것이다. 현재까지 발표된 대부분의 논문에서는 도로에 중앙선을 그어 차의 중심이 중앙선을 추적할 수 있는 차량의 각도제어방식을 다룬고 있다. 그러나 일반도로 여전에서 자동차의 자동운전문제를 다룬다면 두 번째 방식이 보다 현실적이다. 따라서 본 논문에서는 도로의 외곽선에 대한 정보와 대상으로 하는 자동차에 대한 크기정보를 안다고 할 때 주어진 도로를 인간 운전자와 유사하게 주행할 수 있는 자동주행용 Fuzzy 규칙의 설계 문제를 다룬다.

본 논문에서는 대상 도로로서 S자형 커브를 선정하였고, 차량은 직사각형으로 모델하였다. 다음에 자동 주행용 Fuzzy 규칙의 설계에는 크게 세 가지 요소가 있다[4]. 즉, 관측변수와 그 Term set, 조절변수와 그 Term set 그리고 두 가지 변수를 이용한 Fuzzy 제어규칙의 세 가지 요소이다. 먼저 관측변수로서는 인간 운전자가 사용하는 것과 유사하게 자동차 앞쪽의 양모서리와 현재 자동차 위치보다 조금 앞쪽의 도로 외곽선과의 거리로 정했으며, 조절요소로서는 자동차의 각도로 하였다.

마지막으로 주행용 Fuzzy 규칙은 인간 운전자가 조작하는 것과 유사하게 설계하였다. 이와같이 설계된 Fuzzy 규칙으로 자동차의 초기위치를 여러가지로 변화시켜가며 모의실험을 해 본 결과 설계된 Fuzzy 제어 규칙으로 모의 자동차가 대상도로를 잘 통과함을 확인하였다

#### 2. 문제의 정의

본 논문에서는 S자형 도로를 자동차가 운전자없이 스스로 통과할 수 있는 운전 제어 알고리즘의 설계를 다룬다. 이를 위해 우선 S자형 도로와 이곳을 통과하게 될 차량을 다음과 같이 설계하였다. 그림 1에서와 같이 제시된 도로의 폭을 100 피셀로 하고 차량의 크기는 길이와 폭을 각각 80 피셀과 50 피셀로 하였으며 도로와 차량의 존재 가능한 최대영역을  $480 \times 480$  피셀로 하였다. 차량의 중심을  $G(x_0, y_0)$  라 두고, 이 중심을 지나는 차량의 벡터와 x축이 이루는 각도를  $\theta_0$ 라 하여 차량을 표시하였다. 차량의 이동표시는 이동거리  $l$  과 각도 변화량  $\Delta\theta$ 가 주어질 때 식 (2-1)과 식 (2-2)를 이용하여 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

$$x_1 = x_0 + l \times \cos \theta_1 \quad (2-1)$$

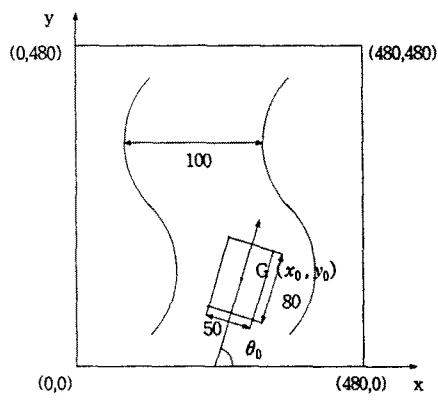


그림 1. 제어할 차량의 구조와 제시된 도로의 구조(단위:pixel)  
 $x_0, y_0$  : 차량의 중심 좌표  
 $\theta_0$  : 차량의 중심벡터와 x축이 이루는 각도

$$y_1 = y_0 + l \times \sin \theta_1 \quad (2-2)$$

$$(\theta_1 = \theta_0 + \Delta\theta)$$

여기서 기준좌표계를 (0), 차량좌표계를 (1)이라 두면 (0)과 (1)사이의 관계를 식 (2-1)과 식 (2-2)를 첨가하여 식 (2-3)과 같이  $4 \times 4$  행렬로 표시할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} {}^0x_1 \\ {}^0y_1 \\ {}^0z_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & \sin \theta_1 & 0 & {}^0x_0 + l \cos \theta_1 \\ -\sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & {}^0y_0 + l \sin \theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & {}^0z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^1x \\ {}^1y \\ {}^1z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

여기서  ${}^0x_1$ 의 경우 윗첨자는 좌표계 (0)임을 표시한다. 즉 식 (2-3)은 좌표계 (1)의 점을 좌표계 (0)의 점으로 변환하는 행렬이다. 이것은 기준좌표계 (0)에 대한 차량의 표시를 쉽게 해주며 프로그래밍에 편의를 도모한다. 그다음으로 도로의 정보를 얻는 방법이 그림 3과 같이 설명되어진다.

그림 3에서와 같이 A점과 B점에서 도로를 관측한 값이 각각  $D_L$ 과  $D_R$ 라 하고, 구하는 식은 식 (2-4)와 식 (2-5)이다.

$$D_L = \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta y_1^2} \quad (2-4)$$

$$D_R = \sqrt{\Delta x_2^2 + \Delta y_2^2} \quad (2-5)$$

식 (2-4)와 식 (2-5)에 사용된  $\Delta x_1$ ,  $\Delta x_2$ 는 이동거리  $l$ 과 거의 같은 값을 가지는 것으로 한다. 이상과 같이 모델링된 도로와 차량에 대해 차량이 도로의 외곽선에 걸리지 않고 S자형 도로를 빠져 나갈 수 있는 Fuzzy 제어 알고리즘을 사람의 운전 경험 지식을 활용하여 설계하고자 한다.

### 3. Fuzzy 제어 알고리즘의 설계

보편적으로 Fuzzy 규칙을 설계하려면 먼저 Fuzzy 규칙의 조건부 및 결론부에서 사용될 변수들을 설정해야한다. 본 논문에서는 조건부 변수와 결론부 변수를 각각 도로의 외곽선 정보를 알아낼 관측변수와 차량의 방향을 결정하는 조절변수라 하여 설정하였다.

#### 3.1. 관측변수의 설계

관측변수의 설계에 있어서 중요한 관점은 현시점에서 양호한 차량의 진행을 위해 필요한 차량의 방향을 추론하는데 있어 어떤 중요한 정보가 필요하다는 것이다. 실제로 운전자는 차와 도로와의 거리를 어렵짐작으로 일정거리를 유지하면서 차량을 진행시키는 것을 알 수 있다. 여기서 차의 진행이 전진이라면 차의 앞쪽부분에서 도로까지의 거리를 파악하며, 차의 진행이 후진이라면 차의 뒷쪽부분에서 도로까지의 거리를 파악한다고 할 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 숙련운전자의 경험적 지식에 가깝도록 Fuzzy 규칙을 설계하는 것으로 하면 관측변수로는 차량의 앞쪽 좌측과 우측에서 측정한 도로와의 거리, 차량의 뒷쪽 좌측과 우측에서 측정한 도로와의 거리로 설정할 수 있다. 하지만 본 논문에서는 차량의 적진만을 고려하였으므로 뒷쪽의 관측변수는 조건부 변수에 포함하지 않았다. 앞쪽의 좌·우 관측변수를 각각  $D_L$ ,  $D_R$ 이라 두면 앞쪽의 관측변수는 식 (3-1)과 같이 좌·우 관측변수의 차를

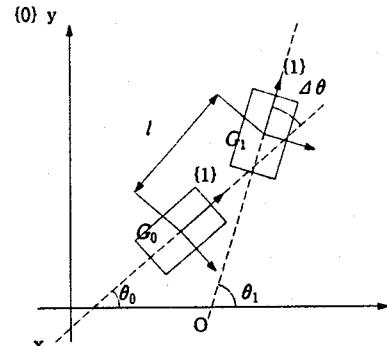


그림 2. 차량의 이동상태표시

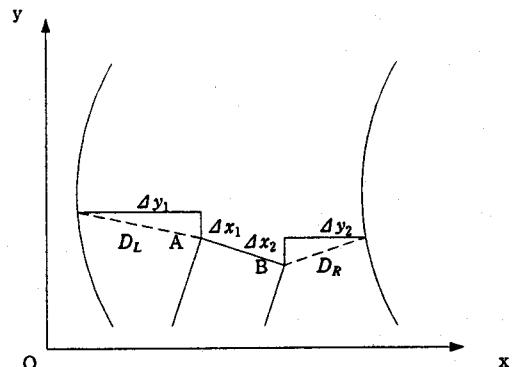


그림 3. 도로의 관측상태표시

$\Delta e$ 라 하여 조건부 변수로 하였다.

$$\Delta e = D_L - D_R \quad (3-1)$$

하지만 차량의 각도가 도로의 방향에 대해 상당히 기울어져 있을 경우 좌·우측으로 거리를 측정하는 방법이 실제 숙련운전자의 경험과 비슷하지 않으므로 이런 경우에도 차량의 방향이 제어되어야만 한다. 그런 이유로 인해 본 논문에서는 차량의 방향에 대한 조건부 변수를 세개의 그룹으로 나누어 설정하였다. 즉, 그룹1은  $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ , 그룹2는  $0^\circ \leq \theta < 60^\circ$ , 그리고 그룹3은  $120^\circ < \theta \leq 180^\circ$  사이로 나누었다. 또한 그룹2와 그룹3의 관측변수는  $\theta$ 에 의해 차량의 방향에 대한 추론을 하도록 하였다. 이제 다음 할 일은 각 변수들에 대한 Term set과 Term set의 각 요소에 대한 소속도 함수를 결정하는 것이다. 소속도 함수의 모양에는 지수형, 사다리형, 삼각형 및 임의형 등 여러가지가 있으나 여러종류의 수식 모델에 대한 모의실험 및 실험 장치에 대한 Test를 통해 대개의 경우 가장 간단한 형태인 삼각형 함수만으로도 원하는 응답특성을 얻을 수 있다는 사실을 알 수 있었다. 따라서 소속도 함수의 모양으로는 삼각형 형태를 선정하였다.

그룹1의 관측변수인 거리오차( $\Delta e$ )는 도로의 폭을 최대 150으로 하였기 때문에 좌·우측의 거리차의 최대값을  $+150$ ,  $-150$ 으로 하였다.  $\Delta e$ 에 대한 Term set=(NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB)이고, 여기서 각 요소들은 NB=Negative Big, NM=Negative Middle, NS=Negative Small, ZE=Zero, PB=Positive Big, PM=Positive Middle, PB=Positive Big의 약

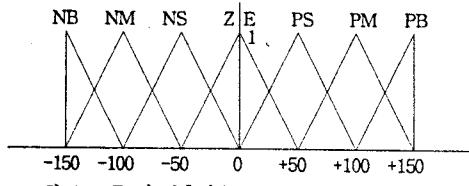


그림 4. 그룹1의 관측변수  $\Delta e$ 에 대한 소속도 함수

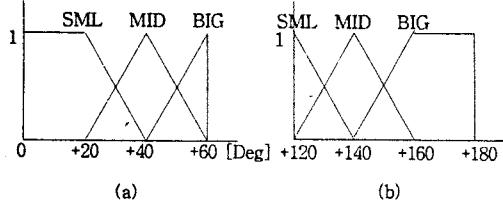


그림 5. (a) 그룹2의 관측변수  $0^\circ \leq \theta < 60^\circ$ 에 대한 소속도 함수 b) 그룹3의 관측변수  $120^\circ < \theta \leq 180^\circ$ 에 대한 소속도 함수

자이다.

그룹2와 그룹3의 관측변수는 모의 자동차의 방향만을 고려한  $\theta$ 이며, 그 Term set = {SML, MID, BIG}이고, 각 요소들은 SML=Small, MID=Middle, BIG=Big의 약자이다.

### 3.2. 조절변수( $\Delta\theta$ )의 설계

조절변수는 자동차의 각도이며, 상식적으로 보았을 때 자동차가 급격한 방향전환없이 움직이도록 하는 것이 바람직함으로, 한 스텝당 변동하는 최대·최소값을 각각  $+30^\circ$ ,  $-30^\circ$ 로 하였고, 그 사이를 6등분하여 조절변수의 Term set이 7개의 요소를 갖도록 설계하였다. 즉,  $\Delta\theta$ 의 Term set = {CWB, CWM, CWB, ZR, CCWS, CCWM, CCWB}, 여기서 CWB=ClockWise Big, CWM=ClockWise Middle, CWS=ClockWise Small, ZR=Zero, CCWS=Counter ClockWise Middle, CCWM=Counter ClockWise Big의 약자이다. 그림6에 Term set내의 각요소에 대한 소속도 함수를 보였다.

### 3.3. Fuzzy 제어 알고리즘

다음으로 본 논문에서 제안한 자동운전용 Fuzzy 규칙을 설명한다. Fuzzy 규칙은 크게 3개의 그룹으로 나뉘어져 있으며, 각 그룹의 규칙들은 서로 담당영역이 구분되어 있다. 첫번째 그룹은 자동차의 중심선이 도로의 방향에서 크게 벗어나지 않는 경우에 대한 것이며 다음과 같다.

#### ① 그룹 1 ( $60^\circ \leq \theta \leq 110^\circ$ )

그룹 1에 대한 퍼지 규칙 :

- if  $\Delta e = NB$  then  $\Delta\theta = CWB$
- if  $\Delta e = NM$  then  $\Delta\theta = CWM$
- if  $\Delta e = NS$  then  $\Delta\theta = CWS$
- if  $\Delta e = ZE$  then  $\Delta\theta = ZR$
- if  $\Delta e = PS$  then  $\Delta\theta = CCWS$
- if  $\Delta e = PM$  then  $\Delta\theta = CCWM$
- if  $\Delta e = PB$  then  $\Delta\theta = CCWB$

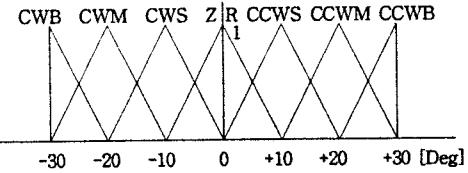


그림 6. 조절변수  $\Delta\theta$ 에 대한 소속도 함수

나머지 두개의 그룹은 각각 원쪽으로 오른쪽으로 지나치게 기울어져 있는 경우를 처리하기 위한 규칙이며 다음과 같이 설계되었다.

#### ② 그룹 2 ( $0^\circ \leq \theta < 60^\circ$ )

그룹 2에 대한 퍼지 규칙 :

- if  $\theta = BIG$  then  $\Delta\theta = CCWS$
- if  $\theta = MID$  then  $\Delta\theta = CCWM$
- if  $\theta = SML$  then  $\Delta\theta = CCWB$

#### ③ 그룹 3 ( $120^\circ < \theta \leq 180^\circ$ )

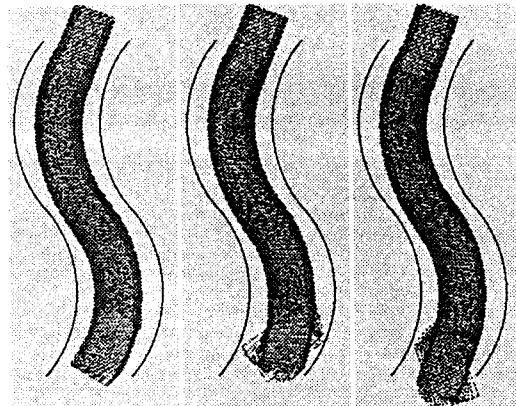
그룹 3에 대한 퍼지 규칙 :

- if  $\theta = BIG$  then  $\Delta\theta = CWB$
- if  $\theta = MID$  then  $\Delta\theta = CWM$
- if  $\theta = SML$  then  $\Delta\theta = CWS$

### 4. 모의 실험과 결과

본 논문에서 제안한 자동운전용 Fuzzy 규칙의 타당성을 확인하기 위해 모의 자동차의 초기위치가 각각 다른 세가지 경우에 대해 모의실험을 해 보았다. 첫번째 경우는 모의 자동차의 초기위치가 도로와 거의 평행한 상태로서 이상적인 경우이며, 두번째 및 세번째 경우는 각각 오른쪽 및 원쪽으로 많이 돌아간 경우로서 바람직하지 못한 경우이다. 이상과 같은 세가지 경우에 대한 모의실험 결과를 그림 7에 보였다. 참고로 그림 8에는 각각의 경우들에 대한 각도오차( $\theta$ )와 거리오차( $\Delta e$ )에 대한 계산결과를 도식적으로 보였다.

결과를 보면 첫번째 경우에는 이상적으로 쉽게 빠져나가고, 두번째 및 세번째 경우에도 우선 모의 자동차의 방향을 도로와 평행에 가깝게 맞춘 후 첫번째와 유사하게 빠져나감을 알



(a) 경우 1 (b) 경우 2 (c) 경우 3

그림 7. 시뮬레이션 결과

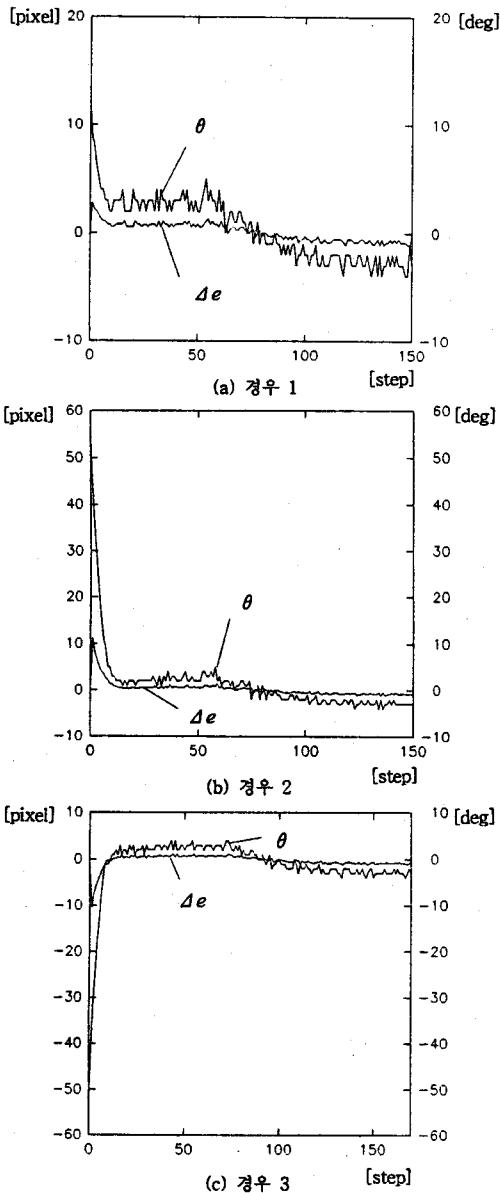


그림 8. 각 경우들에 대한 각도오차( $\theta$ )와 거리오차( $\Delta e$ )  
수 있다. 이상의 결과를 보면 본 논문에서 제안한 자동조정용  
Fuzzy 규칙이 정상적으로 잘 작동하고 있음을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 자동차의 자동 운전을 위한 Fuzzy 제어 규칙의 설계 문제를 다루었다. Fuzzy 제어규칙의 설계 방식은 기본적으로 인간 숙련자가 조작하는 경험적인 지식을 활용하는 것으로 하였다. 설계된 Fuzzy 제어규칙에서 관측변수는 자동차 앞쪽의 양 모서리와 현재 자동차 위치보다 약간 앞쪽에 있는 도로 외곽선과의 거리로 하였으며, 조절변수는 자동차의 각도로 하였다. 그리고 자동운전을 위한 Fuzzy 규칙은 보편적인 운전 경험을 기준으로 설계하였다. 대상 도로로서는 S자형

커브로 하였으며 대상 자동차는 직사각형으로 모델되었다. 자동차의 초기 시작위치를 여러가지로 변화시켜가며 모의실험을 해본 결과 대상 자동차가 대상도로를 잘 통과함을 알 수 있었다. 향후 대상도로를 좀더 다양하게 만들어 어떤 도로조건에도 적용될 수 있는 일반적인 주행 알고리즘을 개발할 계획이다.

## [참고문헌]

- [1] C.J.Harris, C.G.Moore & M.Brown, "Intelligent Control-Aspects of Fuzzy Logic and Neural Nets", World Scientific, pp.254-281, 1993.
- [2] C.J.Harris, C.G.Moore & M.Brown, "Intelligent Control-Aspects of Fuzzy Logic and Neural Nets", World Scientific, pp.135-169, 1993.
- [3] C.J.Harris & C.G.Moore, "Intelligent Identification and Control for AGV's using Adaptive Fuzzy Based Algorithms.", Engr. Applic. AI. Vol.2, pp.267-285, 1989.
- [4] H.J.Zimmerman, "Fuzzy Set Theory and Its Applications", Kluwer-Nijhoff Publishing, 1985.