

퍼지 규칙을 이용한 자동운전에 관한 연구

박 종수*, 이 해영*, 정 경채**, 김 교형***

영남대학교 전기공학과*, 경주전문대 전기공학과**, 영남대학교 기계공학과***

Design of fuzzy rules for automatically driving car

Jong-Su Park*, H.Y. Lee*, K.C. Jeong**, K.H. Kim***

Dept. of Electrical Engineering in Yeungnam Univ*., Kyungju Junior College**,

Dept. of Mechanical Engineering in Yeungnam Univ.***

Abstract - This paper presents a design of fuzzy control rules to driving automobile automatically. three types of road are considered. such types are designated as Z-course, S-course, and Hat-course. Fuzzy control rules are designed for each type by combining human experience and engineering sense. Simulation sre done for a mixed road containg three types mentioned above. Simulation results show the validity of suggested algorithm.

1. 서 론

최근의 모든 상황들은 인간의 편리를 위해서 인 류문화가 발달하고 있다. 특히 인간생활과 밀접한 관계를 맺고있는 과학분야의 발전에서 인간은 더욱 더 인간의 편리를 위해서 노력을 경주하고 있다.

그중 한 분야가 자동차인데 초기의 자동차에서 지금은 인간의 운전으로 하는것이 아닌 컴퓨터와 제어공학의 발달로 인해 인간이 직접 조작하지 않아도 원하는 목적지까지 갈수 있도록 많은 연구를 해오고 있다. 따라서 본 연구도 인간의 편리를 위 해 무인 자동차 운전에 관해서 연구를 하였다.

자동차의 자동운전 방식은 크게 두 종류로 나눌 수 있는데 첫째는 지정된 도로의 중앙에 선을 긋고 센서를 통하여 그 정보를 획득한 모의 차량의 중심 이 도로의 중앙을 따라 가게 하는 방식으로 주로 공장내의 물류이송등에 사용되는 AGV(Automatic Guidance Vehicle)이며 둘째는 도로의 외곽선에 대 한 정보를 가지고 인간 운전자가 자동차를 운전하 는 방식과 동일한 규칙을 가지고 자동운전을 하는 방식이 있다.

지금까지 발표된 대부분의 논문에서는 도로의 중 앙에 선을 그어 차의 중심선이 도로의 중앙선에 일 치되도록 하는 차량의 각도제어문제를 주로 다루고 있다. 그러나 일반 도로에서의 자동운전은 두 번째 방식에 의한 방법이 보다 현실적일 것이다.

본 논문에서는 실시간으로 주위 환경을 관측하여

차량이 주어진 도로를 적절하게 통과할수 있는 퍼 지 제어규칙을 획득하는 하는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 대상 도로와 차량모델의 선정

2.1 모의 차량의 모델

본 논문에서는 모의 차량을 다음과 같이 설계를 하였다. 대상차량의 크기는 길이와 폭을 각각 48픽 셀과 30픽셀로 하였다.

차량의 중심을 $G(x_{k-1}, y_{k-1})$ 라 정의하고, 이 중심을 지나는 차량의 중심선 벡터(\vec{c})와 x축이 이루는 각도를 θ_{k-1} 라 약속하자. 그러면 그림 1에서 보여진바와 같이 모의차량의 중심점 좌표는 중심점 의 이동거리 l 과 각도 변화량 $\Delta\theta$ 가 주어질 때 식 (2-1)과 식(2-2)로 계산되어진다.

$$x_k = x_{k-1} + l \times \cos \theta_k \quad (2-1)$$

$$y_k = y_{k-1} + l \times \sin \theta_k \quad (2-2)$$

$$(\theta_k = \theta_{k-1} + \Delta\theta)$$

또한 모의 차량의 속도는 일정한 것으로 간주한다.

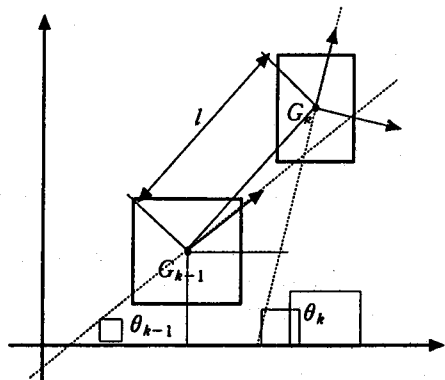


그림 1. 모의 차량 이동에 대한 기하학적 관계

관측센서의 위치는 인간 운전자의 운전경험과 비 슷하게 하기 위해 모의 차량의 앞측 좌,우에 위치

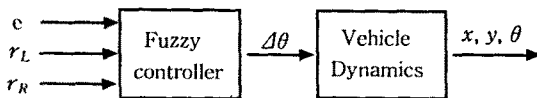
하였으며, 또한 관측방향은 모의 차량의 방향을 중심으로 하여 앞측 좌,우를 각각 θ_{-M} , θ_{+M} 으로 하였다.

2.2 연구 대상 도로의 설정

근사적으로 제시된 모의 차량이 모의 실험적으로 주행할 대상 도로는 실제도로 구조를 대표하는 것 중 Z-course, S-course, ㄱ자-course 형태의 도로를 통합한 도로로 선정하였다.

3. 퍼지 제어기의 설계

3.1 전체 시스템의 구성



- e : 직선 구간에서의 좌,우측 거리의 오차.
- r_R, r_L : 곡선 구간에서의 좌,우 관측거리의 비.
- $\Delta\theta$: 퍼지 제어기에서 출력되는 제어 신호.
(차량 진행시 방향의 변화분)

3.2 퍼지제어 알고리즘의 설계

보편적으로 Fuzzy 규칙을 설계하려면 먼저 Fuzzy 규칙의 조건부 및 결론부에서 사용될 변수들을 설정해야한다. 본 논문에서는 조건부변수를 도로의 외곽선 정보를 알아 낼 관측변수로 결론부 변수로는 차량의 방향을 결정하는 조절변수로 정한다.

3.2.1. 관측변수의 설계

관측변수의 설계에 있어서 중요한 관점은 현위치에서 모델차량이 도로의 중앙부를 통해 통과하는데 필요한 차량의 방향을 추론하는데 어떤 정보가 가장 중요한지를 찾는 것이다. 실제로 운전자는 차와 도로의 외곽선과의 거리를 어렵짐작으로 일정거리를 유지하면서 차량을 진행시키는 것을 알 수 있다. 차의 진행이 전진이라면 차의 앞쪽 양 모서리 부분에서 도로 외곽선까지의 거리를 파악한다고 할 수 있다. 그러므로 숙련운전자의 경험적 지식에 가깝도록 Fuzzy 규칙을 설계하기 위해서는, 관측변수로는 차량의 앞쪽 좌측과 우측에서 측정한 도로와의 거리를 설정할 수 있다.

차량의 앞쪽 좌측 및 우측과 현재 차량의 위치에서 약간 앞쪽에 있는 도로 외곽선상의 관측점과의 거리를 각각 D_L, D_R 이라 하였으므로 모델차량용 도로의 중앙부분으로 위치시키기 위해서는 $D_L,$

D_R 이 같아야 한다. 따라서 관측변수는 D_L, D_R 의 차이를 Δe 라 하여 식(3-1)과 같이 정의하고, Fuzzy 규칙의 조건부 변수로 정의하였다.

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

하지만 위의 경우는 직선 구간에서만 정의 가능하고 곡선구간에서는 측정 센서의 수를 가능한 줄이는 방향으로 하기 위해 좌,우관측거리의 비 r_R, r_L 을 곡선 구간에서의 관측변수로 정하였다.

$$\text{우측곡선주행: } r_R = D_R/D_L \quad (3-2)$$

$$\text{좌측곡선주행: } r_L = D_L/D_R \quad (3-3)$$

본 논문에서는 Z형 도로와 같은 부분을 통과하기 위해서 회전부분을 인간운전자의 운전경험과 비슷하도록 하기 위해서 2개의 구간으로 나누었다. 이때 미리 좌측으로 회전하는 구간을 제 1구간으로 그리고 확보된 회전반경을 이용하여 우측으로 회전하는 것을 제 2구간으로 정하였다. 좌측구간에 대해서도 같은 방법으로 2개의 구간으로 나눌 수 있다.

각 관측변수의 Term set은 각각 {min, min+1, min+2, mid, mid+1, mid+2, max}의 7개의 요소로 정하였으며, 소속도 함수의 모양으로는 삼각형 형태를 선정하였다. 직선구간과 우측 곡선구간에서의 Δe 와 관측변수 r_R 에 대한 소속도 함수를 그림 3, 그림 4, 그림 5에서 보였다.

3.2 조절변수의 설계

조절변수는 자동차의 각도로 가정하였으며, $\Delta\theta$ 로 표시하였으며, 여기서 x축을 중심으로 시계방향을 음의 방향으로 반시계방향을 양의 방향으로 각각 정했을 때 $\Delta\theta$ 의 Term set은 {WB, WM, WS, ZR, CWS, CWM, CWB}로 정했으며, 여기서 WB는 Wise Big, WM은 Wise Middle, WS는 Wise Small, ZR는 Zero, CWS는 ClockWise Small, CWM은 ClockWise Middle, CWB는 ClockWise Big의 약자이다. 그림에서 조절변수 $\Delta\theta$ 의 소속도 함수를 보였다.

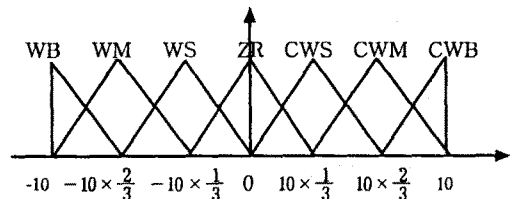


그림 2. 조절 변수 $\Delta\theta$ 에 대한 소속도 함수

4. 퍼지 제어규칙 설계

4.1 직선 구간에서의 퍼지 제어규칙

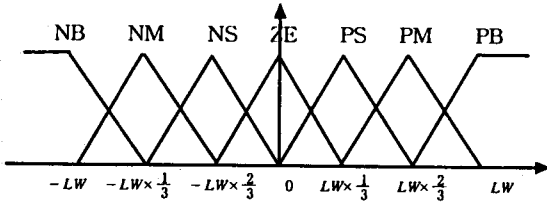


그림 3. 직선구간에서 관측변수 Δe 에 대한 소속도 함수

식 (3-1)에서 구한 관측변수 $\Delta e = D_L - D_R$ 에 대하여 좌,우 관측거리의 상태가 Δe 가 양 ($D_L > D_R$)인 경우 즉 대상차량의 위치가 도로의 중심에서 우측으로 치우쳐 있는 상태이거나 대상 차량의 방향이 중심방향에서 우측으로 향하고 있음을 의미한다. 따라서 차량은 좌측으로 회전해야 하므로 $\Delta\theta$ 는 반시계 방향의 값을 출력하게 된다.

- if $e = NB$ then $\Delta\theta = WB$
- if $e = NM$ then $\Delta\theta = WM$
- if $e = NS$ then $\Delta\theta = WS$
- if $e = ZE$ then $\Delta\theta = ZR$
- if $e = PS$ then $\Delta\theta = CWS$
- if $e = PM$ then $\Delta\theta = CWM$
- if $e = PB$ then $\Delta\theta = CWB$

4.2 우측곡선주행 제 1구간에서의 퍼지 제어규칙

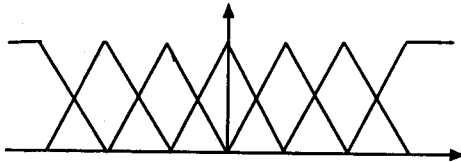


그림 4. 우측곡선 제 1구간에 대한 관측변수 r_{R1} 의 소속도 함수

관측변수 r_{R1} 의 값은식(3-2)에서 구할수 있는데 r_{R1} 의 값이 음의 값을 가진다는 것은 차량의 위치가 도로의 좌측 외곽선에 가깝게 위치하는 것을 나타낸다. 따라서 대상 차량의 방향은 시계방향인 우측으로 회전해야만 한다. 여기서 r_{R1} 은 대상 차량이 좌측 외곽선으로 접근하는 정도를 나타낸다.

우측 곡선주행시 제 1구간의 퍼지 제어규칙은 회전반경을 크게 하여 회전구간을 통과하려는 인간 운전자의 운전경험과 같은 동작을 보여주고 있다. 그리고 우측으로 많이 접근 할수록 조절변수 $\Delta\theta$ 를 크게 해주어야 한다.

- if $r_{R1} = \min$ then $\Delta\theta = WB$

- if $r_{R1} = \min+1$ then $\Delta\theta = WM$
- if $r_{R1} = \min+2$ then $\Delta\theta = WS$
- if $r_{R1} = \text{mid}$ then $\Delta\theta = ZR$
- if $r_{R1} = \text{mid}+1$ then $\Delta\theta = CWS$
- if $r_{R1} = \text{mid}+2$ then $\Delta\theta = CWM$
- if $r_{R1} = \text{max}$ then $\Delta\theta = CWB$

4.3 우측곡선주행 제 2구간에서의 퍼지 제어규칙

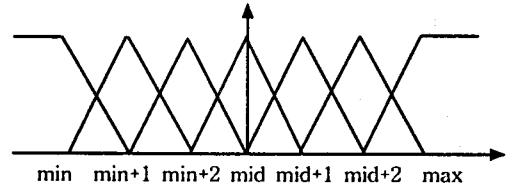


그림 5. 우측곡선 제 2구간에 대한 관측변수 r_{R2} 의 소속도 함수

관측변수 r_{R2} 는 식 (3-2)에서 구할수 있다. r_{R2} 의 값이 음의 값을 가진다는 것은 대상차량의 위치가 좌측 외곽선에 가깝게 위치한다는 것을 나타낸다. 따라서 대상차량은 시계방향인 우측으로 회전 해야만 한다. 여기서 r_{R2} 는 대상 차량이 우측으로 회전 하는 정도를 나타낸다.

- if $r_{R2} = \min$ then $\Delta\theta = CWB$
- if $r_{R2} = \min+1$ then $\Delta\theta = CWM$
- if $r_{R2} = \min+2$ then $\Delta\theta = CWS$
- if $r_{R2} = \text{mid}$ then $\Delta\theta = ZR$
- if $r_{R2} = \text{mid}+1$ then $\Delta\theta = WS$
- if $r_{R2} = \text{mid}+2$ then $\Delta\theta = WM$
- if $r_{R2} = \text{max}$ then $\Delta\theta = WB$

4.4 좌측곡선 주행의 퍼지 제어규칙

좌측곡선 주행 제 1구간과 제 2구간에서의 퍼지 제어규칙은 우측 곡선주행에서의 퍼지제어규칙과 같은 방식으로 설계하였다.

5.모의 실험및 결과

r_{R1} , r_{R2} 의 값에 대하여 여러 경우에 대해서 모의 실험한 결과 $r_{R1}=4.61$, $r_{R2}=6.2$ 의 값을 가질 때 가장 우수한 결과를 보였다.

본 논문에서 설계된 알고리즘은 관측각도가 주어지고 제시된 도로형태에 따른 관측변수와 그 범위를 적절히 조절함으로써 다양한 결과를 보여주고 있다. 또한 측정센서의 개수가 2개일 때, 본 논문에서 설계된 알고리즘을 이용하여 제시된 Z-course,

S-course, 7자-course 형태의 도로를 통합한 도로를 모의차량이 주행하는 것을 시뮬레이션으로 시험해 본 결과, 도로의 각 course를 양호하게 잘 빠져나감을 알 수 있다.

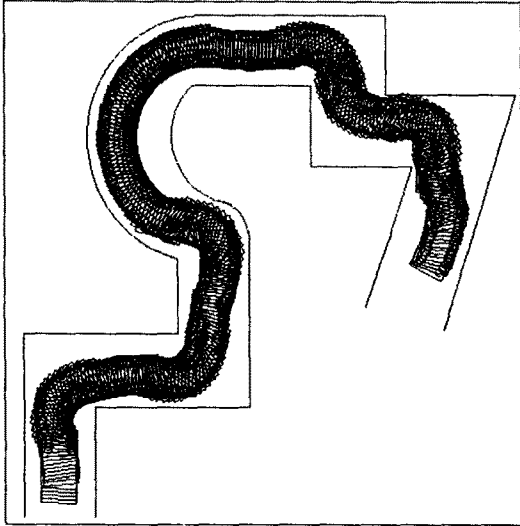


그림 6. $\theta = \pm 34.7^\circ$, $r_{R1} = 4.61$, $r_{R2} = 6.2$ 일때의 모의실험 결과

6. 결론

본 논문에서는 자동차의 자동운전을 위한 퍼지 제어규칙의 설계문제를 다루었다. 퍼지 제어규칙의 설계방식은 기본적으로 인간 숙련자가 조작하는 경험적인 지식을 활용하는 것으로 하였다. 퍼지 제어규칙 설계시 실시간으로 주위환경을 관측할 수 있다는 가정을 하였다. 관측변수로는 자동차의 앞쪽의 양 모서리와 현재 자동차의 위치보다 약간 앞쪽에 있는 도로 외곽선과의 거리로 하였으며, 조절변수는 자동차의 각도로 하였다. 그리고, 자동운전을 위한 퍼지규칙은 보편적인 운전경험에 기초하여 설계하였다. 대상도로로서는 Z-course, S-course, 7자-course 형태의 도로를 통합한 도로로 하였으며 모의차량은 직사각형으로 모델링되었다.

자동차의 초기 시작위치를 여러 가지로 변화시키 가며 모의 실험을 해본 결과 모의 자동차가 제시된 대상도로를 잘 통과함을 알 수 있었다. 여기서는 측정센서의 개수가 다수에서 2개로 줄임에도 불구하고 인간 운전자의 운전경험을 활용한 퍼지 제어규칙으로 연구대상으로 제시된 도로에 대해서 대체로 양호한 주행 결과를 얻을 수 있음을 보였다.

(참고 문헌)

- [1] C.J.Harris, C.G.Moore & M.Brown, "Intelligent Control-Aspects of Fuzzy Logic and Neural Nets", World Scientific, pp.255-248, 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]H.J.Zimmerman, "Fuzzy set Theory and Its Application", Kluwer-Nijhoff Publishing, 1985.
- [4] J.Zhang & Raczkwsky, "Robust Subgoal Planning and Motion Execution for Robots in Fuzzy Environments", 1993 IEEE international Conference on ROBOTICS and AUTOMATION, IEEE Computer Society Press, Vol.1, pp.447-453, may,1993
- [5] Yutaka kanayama & Gary Krahn, "Two Dimensional Transformations and Its Application to Vehicle Motion Control and Anaysis", 1993 IEEE International Conference on ROBOTICS and AUTOMATION, IEEE Computer Society Press, vol.3, pp.13-18, may,1993