

라인 트레이스 차량을 위한 퍼지 제어기의 설계

우영운

동의대학교 멀티미디어공학과

Design of a Fuzzy Controller for a Line Trace Vehicle

Young Woon Woo

Dept. of Multimedia Engineering, Dong-Eui University

E-mail : ywwoo@deu.ac.kr

요 약

이 논문에서는 라인 트레이스 차량의 주행 제어를 위한 퍼지 제어기를 설계하였다. 라인을 감지하는 센서들의 감지 상태에 따라 센서값을 산출하고 이 센서값은 조향각 제어 퍼지 규칙의 입력으로 사용되어 조향각을 제어값으로 산출한다. 또한 산출된 조향각은 다시 모터속력 제어 퍼지 규칙의 입력으로 사용되어 주행 속도 결정을 위한 모터속력을 제어값으로 산출하게 된다. 제안한 퍼지 제어 기법을 이용하여 조향각만을 제어한 경우와 조향각과 모터속력을 함께 제어한 경우를 각각 실험한 결과, 모터속력을 함께 제어한 경우가 트랙을 이탈하지 않으면서 더욱 빠르게 주행함으로써 제안한 기법에 효과적임을 보였다.

키워드

퍼지 제어, 라인 트레이스 차량, 조향각 제어, 모터속력 제어

I. 서 론

최근 퍼지 제어를 활용한 응용 분야들에 대한 연구가 활발하다. 한 예로 안내 로봇 제어를 위하여 퍼지 제어 기법을 활용한 연구[1]가 있으며, 댐 수문을 효과적으로 제어하기 위하여 퍼지 제어 기법을 활용한 연구[2]도 소개되고 있다. 또한 무인 자동차에 대한 연구가 활발해 지면서 다양한 제어 관련 기법들이 연구되며 소개되고 있다. 이와 관련하여 라인 트레이서 차량(line trace vehicle)을 제어하기 위한 퍼지 제어 기법이 발표되었으나 차량 형식이 실험실 수준의 키트 형식이며 실제 자동차 구동 방식과는 차이가 있다[3]. 이 논문에서는 현재 국내의 임베디드 소프트웨어 공모대전의 지능형 자동차 부문[4]에서 사용되고 있는 실제 차량과 같은 메커니즘의 자동차에서 라인 트레이싱을 위한 퍼지 제어 기법을 제안하였다. 제안된 제어 기법을 이용하여 다양한 조건에서 주행 실험을 실시하였으며 그 결과를 분석하였다.

II. 라인 트레이스 차량

이 논문에서 사용한 라인 트레이스 차량은 그림 1과 같은 (주)미니로봇에서 제작된 임베디드 무인자동차(모델 : MR-AICAR)[5]이다.

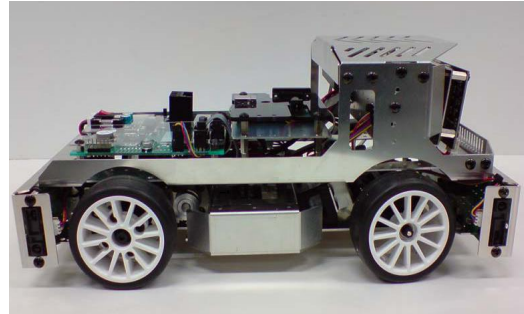


그림 1. 임베디드 무인자동차

이 자동차에는 전방 카메라가 장착되어 있으며 좌우 카메라 틸트 기능과 바닥에 라인을 감지하는 라인 트레이서 기능, 좌측 좌측 앞뒤 적외선 거리센서, 전후방 적외선 거리센서가 탑재되어 있다. 또한 이 자동차는 조향 가능한 방향 전환 시스템에 DC 서보 모터로 가속과 감속, 속도에 대한 파라미터, 원하는 거리를 이동하는 거리인식 기능들이 포함되어 실제 자동차를 무인화하는 플랫폼으로 활용될 수 있다. 이 논문에서는 이 자동차가 제공하는 다양한 기능들 중의 하나인 라인 트레이서 기능을 이용하여 제안한 제어 시스템을 구현하고 실험하였다.

III. 제안 시스템의 구성

이 논문에서 제안한 시스템의 구성은 그림 1과 같다. 라인 트레이싱을 위한 센서값이 입력되면 입력된 센서값에 의해 조향각 제어를 위한 퍼지 규칙이 작동되어 제어해야 할 조향각을 산출하게 된다. 산출된 조향각은 조향 제어에 사용되기도 하지만 모터속력 제어를 위한 입력으로 다시 사용되어 이 입력값과 모터속력 제어를 위한 퍼지 규칙이 작동되어 구동할 모터속력을 산출하게 된다.

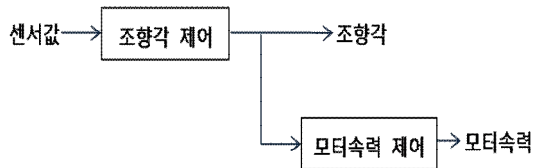


그림 2. 시스템 구성도

정해진 속력에서 조향각만을 제어하여 라인 트레이스 차량을 구동할 수도 있으나, 이럴 경우 곡선에서 이탈을 방지하기 위하여 속도 제한을 두게 될 경우 직선 구간에서의 효율성이 떨어지게 되는 문제점이 발생한다. 따라서 이 논문에서는 전체적으로 주행 속도를 높일 수 있도록 조향각이 작은 직선 구간에서는 속도를 높이고 조향각이 큰 곡선 구간에서는 이탈을 방지하기 위하여 속도를 낮추고자 하는 방식으로 조향각에 의한 속도 제어 시스템을 구현하고자 하였다.

센서들의 감지 상태를 조향각 제어 입력 센서값으로 변환하기 그림 3과 같이 무인자동차의 라인 감지 센서들에 고유 센서 번호를 정의하였다.

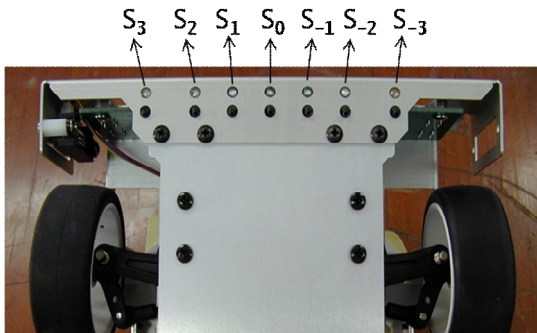


그림 3 라인 감지 센서의 고유번호 할당

무인자동차 경주대회에서 사용되는 라인의 폭이 2.5cm로 규정되어 있어 이 센서들 중 최소 1개, 최대 2개까지 라인을 감지하게 된다. 따라서 표 1, 표 2와 같이 감지된 센서들의 13가지 상태에 따라 센서값을 정의하였다.

표 1. 감지된 센서 상태에 따른 센서값(오른쪽)

감지센서	S_0	S_0, S_1	S_1	S_1, S_2	S_2	S_2, S_3	S_3
센서값	0	1	2	3	4	5	6

표 2. 감지된 센서 상태에 따른 센서값(왼쪽)

감지센서	S_0	S_0, S_{-1}	S_{-1}	S_{-1}, S_{-2}	S_{-2}	S_{-2}, S_{-3}	S_{-3}
센서값	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6

감지된 센서 상태에 따라 표 1, 표 2에 따른 센서값이 조향각 제어 규칙의 입력값으로 사용된다. 조향각 제어를 위한 규칙들은 다음과 같다.

RS1: IF value of sensor is big left side(BL) THEN steering angle is largely changed to the left(SBL)

RS2: IF value of sensor is left side(L) THEN steering angle is changed to the left(SL)

RS3: IF value of sensor is center(C) THEN steering angle is not changed(SC)

RS4: IF value of sensor is right side(R) THEN steering angle is changed to the right(SR)

RS5: IF value of sensor is big right side(BR) THEN steering angle is largely changed to the right(SBR)

이상의 규칙에 따라 센서값을 위한 입력 퍼지 함수는 그림 4와 같이 정의되며 조향각 제어값 산출을 위한 출력 퍼지 함수는 그림 5와 같이 정의되었다. 조향각 제어값을 산출하기 위한 defuzzification 방법으로는 수식 (1)과 같은 center of sums 방법을 사용하였다[6].

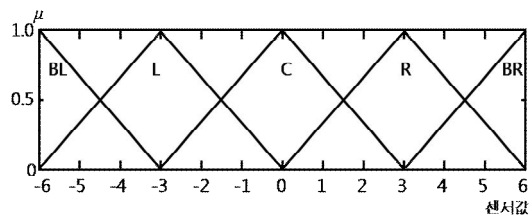


그림 4. 센서값 입력 퍼지 함수

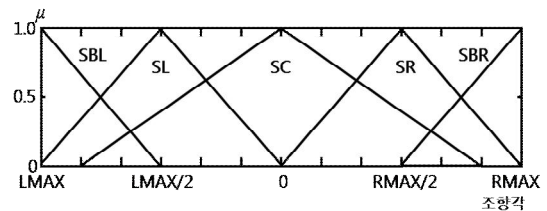


그림 5. 조향각 출력 퍼지 함수

$$Z^* = \frac{\int_Z \sum_{k=1}^n \mu_{\bar{C}_k}(z) dz}{\int_Z \sum_{k=1}^n \mu_{\bar{C}_k}(z) dz} \quad (1)$$

앞 부분의 제어 부분에서 산출된 조향각에 따라 모터출력을 결정하기 위한 규칙들은 다음과 같다.

- RM1:** IF steering angle is large(L)
THEN motor speed is low(LS)
- RM2:** IF steering angle is medium(M)
THEN motor speed is medium(MS)
- RM3:** IF steering angle is small(S)
THEN motor speed is high(HS)

이상의 규칙에 따라 모터출력 제어를 수행하기 위하여 조향각을 입력으로 활용하는 입력 퍼지 함수는 그림 6과 같이 정의되었으며, 모터출력 제어값 산출을 위한 출력 퍼지 함수는 그림 7과 같이 정의되었다. 모터출력 제어값을 산출하기 위한 defuzzification 방법은 동일한 center of sums 방법을 사용하였다.

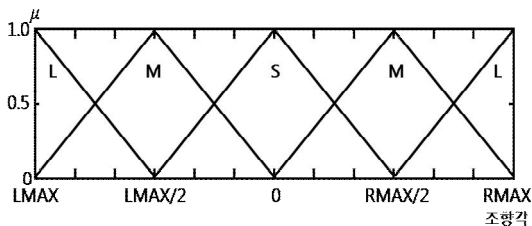


그림 6. 조향각 입력 퍼지 함수

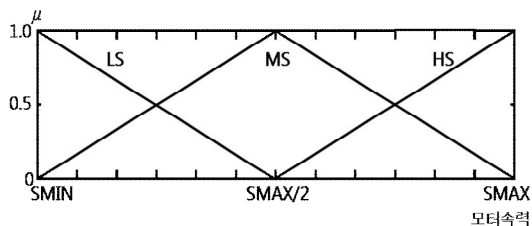


그림 7. 모터속력 출력 퍼지 함수

IV. 실험 및 결과 고찰

주행 실험을 위하여 그림 8과 같은 실험 트랙을 구현하였다. 실험 트랙의 크기는 가로 194cm, 세로 197cm 크기에 네 모서리가 반경 30cm의 곡선으로 이루어져 있다. 실험에 사용된 파라미터들은 표 3과 같다.

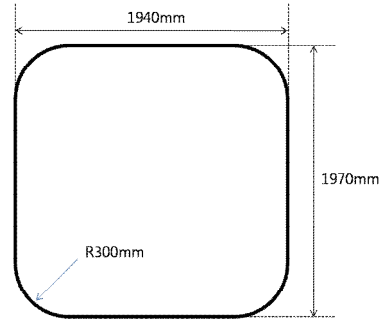


그림 8. 실험 트랙

표 3. 파라미터 설정값

파라미터	LMAX	RMAX	SMIN	SMAX
설정값	2,000	1,000	2,000	2,300

실험 트랙에서 조향각만을 퍼지 제어 기법으로 제어한 실험과 조향각과 모터속력을 함께 제어한 실험을 실시하였으며, 각 경우에 대하여 트랙을 두 바퀴 도는데 걸리는 시간을 측정하였다. 조향각만을 퍼지 제어 기법으로 제어할 경우에는 모터속력을 2,000으로 고정하였고, 모터속력을 함께 제어하는 경우에는 조향각에 따라 SMIN, SMAX 사이의 값을 가변적으로 갖는다.

실험 결과 각 경우의 주행 시간은 표 4와 같이 나타났다. 표 4에서 알 수 있듯이 조향각만을 퍼지 제어에 의해 제어한 경우보다 모터속력을 함께 제어한 경우가 트랙을 이탈하지 않으면서 더욱 빠르게 주행하여 제안 기법이 효과적임을 확인할 수 있었다.

표 4. 실험 결과

제어 기법	주행 시간
조향각 퍼지 제어 기법	29.32초
조향각 + 모터속력 퍼지 제어 기법	25.95초

V. 결론

이 논문에서는 임베디드 무인자동차의 라인 트레이스 주행을 위하여 퍼지 제어를 활용하는 기법을 제안하였다. 임베디드 무인자동차에서 지원되는 라인 감지 센서들의 상태에 대한 센서값을 정의하였으며, 정의된 센서값을 입력으로 하는 조향각 제어 퍼지 규칙을 제안하고 퍼지 함수를 구현하였다. 또한 실제 인간이 자동차를 구동할 때와 같이 직선 주로는 속도를 높이고 곡선에서 속도를 낮추는 방법을 적용하기 위하여 현재의 조향각을 입력으로 하여 무인자동차 모터속력을 제어하는 퍼지 규칙을 제안하고 퍼지 함수를

구현하여 실험하였다. 실험 결과, 트랙을 이탈하지 않는 최대의 고정속력으로 주행한 결과보다 직선 주로에서 속력을 높이고 곡선에서 속력을 낮추는 퍼지 제어 기법을 적용한 경우가 더욱 효과적임을 알 수 있었다.

향후에는 다양한 곡률을 갖는 주행 트랙을 구현하여 임의의 주행 트랙에서도 제안한 기법이 효과적인지를 검증할 필요가 있으며, 조향각 제어가 현재 구현된 기법보다 더욱 부드럽게 이루어질 수 있도록 하는 개선된 기법을 제안할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Mizobuchi, "Control of a guidance robot with distance-type fuzzy reasoning method," Proc. of 17th Fuzzy System Symposium, pp. 257-260, 2001.
- [2] Young Woon Woo, Soowhan Han and Kwang-Baek Kim, "Controlling Spillway Gates of Dams Using Dynamic Fuzzy Control," International Journal of KIMICS, Vol. 6, No.3, pp. 337-342, 2008.
- [3] Hiroshi Takimoto, Yukinobu Hoshino, "Development of Fuzzy controller for the steering angle and the motor power control application to the line trace car," 2009 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp.2072-2076, 2009.
- [4] <http://eswcontest.com/index.asp>
- [5] <http://www.minirobot.co.kr/>
- [6] Timothy J. Ross, Fuzzy Logic With Engineering Applications, Second Edition, 2004.