
라인 트레이스 차량을 위한 퍼지 제어기의 설계

김광백* · 우영운**

Design of a Fuzzy Controller for a Line Trace Vehicle

Kwang-Baek Kim* · Young Woon Woo**

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 추론 규칙의 입력으로 사용되어 조향각을 제어값으로 산출한다. 또한 산출된 조향각은 다시 모터속력 제어 추론 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 주행하여 제안한 기법에 더욱 효과적임을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed a fuzzy controller for racing of a line trace vehicle. Sensor values are computed by statuses of line detecting sensors attached to the line trace vehicle and these sensor values are used for fuzzy inference rules of steering angle control to decide steering angle as output. The decided steering angle is also used for fuzzy inference rules of motor speed control to decide motor speed as output. We experimented and analyzed two proposed methods - one is fuzzy control of steering angle only and the other is fuzzy control of both steering angle and motor speed. In the experiment, we verified that the second proposed method was more efficient in racing speed.

키워드

퍼지 제어, 라인 트레이스 차량, 조향각 제어, 모터속력 제어

Key word

Fuzzy Control, Line Trace Vehicle, Steering Angle Control, Motor Speed Control

I. 서론

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 관심이 증대되고 이에 대한 연구가 활발해지면서 다양한 제어 관련 기법들이 연구되며 소개되고 있다. 이와 관련하여 라인 트레이스 차량(line trace vehicle)을 제어하기 위하여, 평활 알고리즘을 이용한 라인 트레이스 차량의 주행 기법을 제안한 연구가 소개된 바 있다[3]. 그러나 [3]의 연구에서는 정해진 알고리즘에 의하여 미리 설정된 값에 의한 제어 방식을 사용하고 있어 다양한 형태의 트랙을 고속으로 주행하고자 할 경우의 지능적 제어 기법의 접목이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 최근에는 이러한 문제를 해결하고자 라인 트레이스 차량(line trace vehicle)을 제어하기 위한 퍼지 제어 기법이 발표되었으나 차량 형식이 실험실 수준의 키트 형식이어 실제 자동차 구동 방식과는 차이가 있다[4].

따라서 이 논문에서는 현재 국내의 임베디드 소프트웨어 공모대전의 지능형 자동차 부문[5]에서 사용되고 있는 실제 차량과 같은 메커니즘의 자동차에서 라인 트레이스 주행을 위한 퍼지 제어 기법을 제안하였다. 제안된 퍼지 제어 기법을 이용하여 주행 실험을 실시하였으며 그 결과를 분석, 고찰하였다.

II. 라인 트레이스 차량

이 논문에서 사용한 라인 트레이스 차량은 그림 1과 같은 (주)미니로봇에서 제작된 임베디드 무인 자동차(모델 : MR-AICAR)[6]이다.

이 자동차에는 전방 카메라가 장착되어 있으며 좌우 카메라 틸트 기능과 바닥에 라인을 감지하는 라인 트레이싱 기능, 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 거리 인식 기능들이 포함되어 실제 자동차를 무인화하는 플랫폼으로 활용될 수 있다. 이 논문에서는 이 자동차가

제공하는 다양한 기능들 중의 하나인 라인 트레이싱 기능을 이용하여 제안한 제어 시스템을 구현하고 실험하였다.

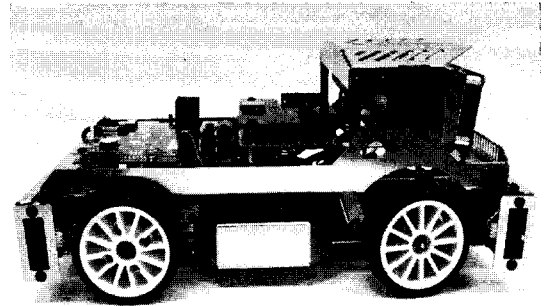


그림 1. 임베디드 무인 자동차
Fig. 1. An embedded and unmaned vehicle

III. 제안 시스템의 구성

이 논문에서 제안한 시스템의 구성은 그림 1과 같다. 라인 트레이스 주행을 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.

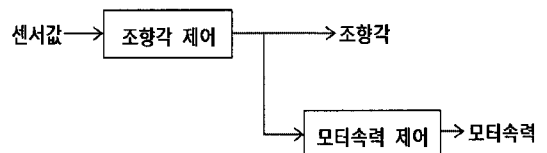


그림 2. 시스템 구성도
Fig. 2. System architecture

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. 따

라서 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 속력 제어 시스템을 구현하였다.

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

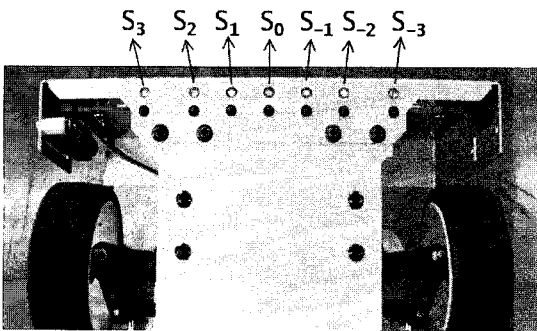


그림 3 라인 감지 센서의 고유번호 할당
Fig. 3. Assignment of unique numbers for line detecting sensors

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

표 1은 가운데 센서를 포함하여 오른쪽에 위치한 센서들의 감지 상태에 따른 센서값을 정의한 결과이고, 표 2는 가운데 센서를 포함하여 왼쪽에 위치한 센서들의 감지 상태에 따른 센서값을 정의한 결과이다.

표 1. 감지된 센서 상태에 따른 센서값(오른쪽)
Table 1. Sensor values for statuses of sensor detection(right side)

감지 센서	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)
Table 2. Sensor values for statuses of sensor detection(left side)

감지 센서	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(SBL)*

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[7].

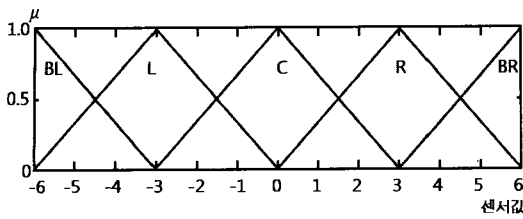


그림 4. 센서값 입력 퍼지 함수

Fig. 4. Fuzzy membership functions for sensor inputs

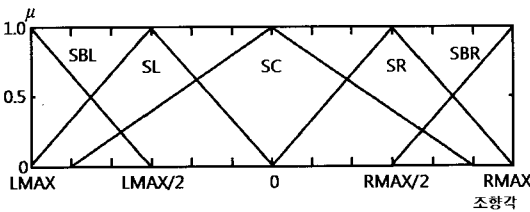


그림 5. 조향각 출력 퍼지 함수

Fig. 5. Fuzzy membership functions for steering angle outputs

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

앞 부분의 제어 부분에서 산출된 조향각에 따라 모터 출력을 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.

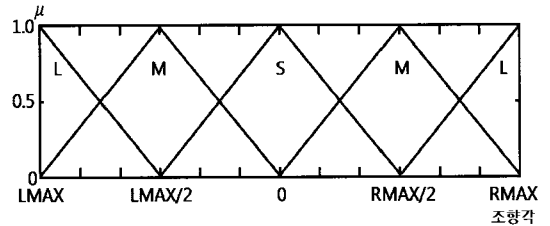


그림 6. 조향각 입력 퍼지 함수

Fig. 6. Fuzzy membership functions for steering angle inputs

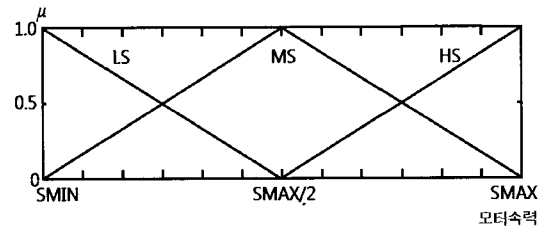


그림 7. 모터속력 출력 퍼지 함수

Fig. 7. Fuzzy membership functions for motor speed outputs

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. 여기에서 LMAX와 RMAX는 조향각의 좌, 우 최대 범위값을 나타내며, 조향각 값이 1500일 경우 직진(조향각 = 0°)을 의미한다. SMIN과 SMAX는 실험에서 설정오던 무인 자동차의 모터 속력의 하한값과 상한값을 의미하며, 반경 300mm의 곡선 주로에서 트랙을 이탈하지 않고 안정적으로 주행하는 범위를 실험적으로 구하여 설정하였다.

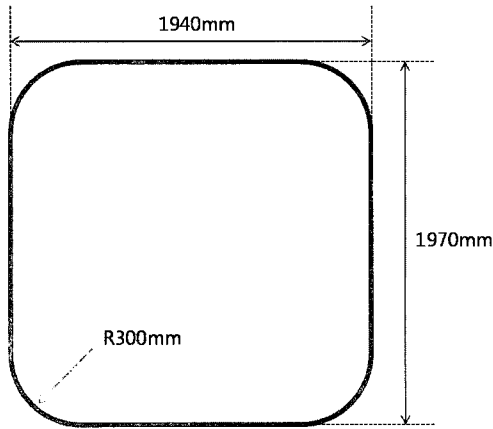


그림 8. 실험용 주행 트랙
Fig. 8. A race track for experiment

표 3. 파라미터 설정값
Table 3. Parameter values

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
Table 4. Experimental results

제어 기법	주행시간
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 현상태의 조향각을 입력으로 하여 무인자동차 모터속력을 제어하는 퍼지 규칙을 제안하고 퍼지 함수를 구현하여 실험하였다. 실험 결과, 트랙을 이탈하지 않는 최대의 고정속력으로 주행한 결과보다 직선 주로에서 속도를 높이고 곡선에서 속도를 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 이루어 질 수 있도록 하는 개선된 기법을 제안할 필요가 있다.

참고문헌

- [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] 조용철, 평활 알고리즘을 이용한 효율적인 라인트레이스의 주행, 석사학위논문, 영남대학교 교육대학원, 2004.
- [4] 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.
- [5] <http://eswcontest.com/index.asp>

[6] <http://www.minirobot.co.kr/>

[7] Timothy J. Ross, *Fuzzy Logic With Engineering Applications*, Second Edition, 2004.

저자소개



김광백(Kwang-Baek Kim)

1999년 : 부산대학교 전자계산학과
(이학박사)

1997년~현재 : 신라대학교
컴퓨터정보공학부 교수

2005년~현재 : 한국멀티미디어학회 이사 및 논문지
편집위원

2005년~현재 : 한국해양정보통신학회 학술상임이사
및 논문지 편집위원

※ 관심분야 : Image Processing, Fuzzy Logic, Neural
Networks, Medical Imaging and Biomedical System,
Support Vector Machines



우영운(Young Woon Woo)

1989년 2월 : 연세대학교 전자공학과
(공학사)

1991년 8월 : 연세대학교 본대학원
전자공학과(공학석사)

1997년 8월 : 연세대학교 본대학원 전자공학과
(공학박사)

1997년 9월~현재 : 동의대학교 멀티미디어공학과 교수

2008년~현재 : 한국해양정보통신학회 학술이사

※ 관심분야 : 지능시스템, 패턴인식, 퍼지이론, 의료
정보