

# 적응적인 퍼지 트럭 제어를 위한 멤버십 함수의 설계

김도현\* · 김광백\*\* · 차의영\*

\*부산대학교

\*\*신라대학교

## Design of Fuzzy Membership Functions for Adaptive Fuzzy Truck Control

Do-Hyeon Kim\* · Kwang-Baek Kim\*\* · Eui-Young Cha\*

\*Pusan National University

\*\*Silla University

E-mail : unlimmit@hanmail.net

### 요 약

많은 제어분야에서 비선형성이 강하고 명확하지 않은 장치를 효과적으로 제어하기 위해 1973년 Mamdani가 퍼지이론을 스팀-엔진제어에 성공적으로 적용한 이후, 퍼지 이론이 이러한 분야에서 효과적으로 응용되고 있다. Nguyen과 Widrow에 의해 최초로 제안된 Fuzzy truck backer-upper problem은 퍼지 제어 이론을 바탕으로 자동차를 제어하는 대표적인 비선형 제어 문제이다. 본 논문에서는 주변 환경에 적응적으로 트럭의 방향과 속도를 제어하기 위해서 방향 제어뿐만 아니라 속도 제어를 포함하는 퍼지 멤버십 함수를 설계하여 실제적으로 적용 가능한 적응적 퍼지 트럭 제어 시스템을 제안하고 Simulation을 통한 실험 및 검증을 수행한다.

### ABSTRACT

Fuzzy theory has been used effectively to control the nonlinear system since Mamdani successively adopted fuzzy theory in the steam-engine control problem in 1973. Truckbacker-upper control problem originally proposed by Nguyen and Widrow become a standard highly nonlinear control problem. In this paper, we designed adaptive fuzzy membership functions for speed control as well as steering control. In other words, an adaptive fuzzy control system for truck backer-upper problem useful for practical adaptation is proposed. Experimental results by simulations prove the effectiveness of the proposed system.

### 키워드

Fuzzy Membership Function, Fuzzy Truck, Fuzzy Control

### 1. 서 론

퍼지 제어 시스템은 해결하고자 하는 제어 모델이 너무 복잡하거나 수학적으로 모델링 할 수 없는 경우에도 좋은 해결책이 될 수 있다. 사용자는 입력에 대한 출력의 상관 관계를 수학적으로 모델링 할 필요 없이 단지 제어 시스템이 어떻게 동작해야 하는가에 대한 일반적인 규칙만 지정해 주면 되며, 이러한 접근 방법은 매우 강인하고 적응적인 것으로 실험을 통해서 증명되고 있다[1]. 이러한 시스템 설계 작업의 단순함은 여러 산업 분야에서 쉽게 적용 가능한 퍼지 시스템의 장점

이라고 할 수 있다.

Nguyen과 Widrow에 의해 최초로 제안된 Fuzzy truck backer-upper problem은 퍼지 제어 이론을 바탕으로 자동차를 제어하는 대표적인 비선형 제어 문제이다[2].

Truck backer-upper problem을 위한 시도는 크게 퍼지 논리에 기반한 퍼지추론 시스템을 설계하는 방법[1][3][4]과 신경회로망 또는 유전자 알고리즘 등을 사용하여 해를 찾는 방법[1][5][6]으로 분류된다. 이와 같은 대부분의 방법들은 신경회로망과 퍼지 시스템의 장점을 결합하여 보다 나은 제어 시스템을 설계하는 방향으로 연구되어

왔다. 그러나 truck backer-upper problem을 위한 실제적인 접근 방법은 여전히 한계가 있다. 즉, 기존의 방법들은 계산의 복잡도를 줄이기 위해서 truck의 현재 위치와 종착 위치 사이의 충분한 거리가 있음을 가정함으로써 truck의 y 좌표를 배제하고 있다. 그러므로 트럭과 종착 위치 사이의 거리가 짧은 경우 올바른 제어가 이루어지지 않으며 종착 지점에 도착할 때까지 고정된 거리로 이동하게 된다. 더구나 기존의 시스템은 빈 공간(zone)상에서 핸들의 조작만을 고려하고 있으며 truck 주위의 장애물에 대한 조건은 고려하고 있지 않다. 환경적인 요소를 고려해 보았을 때, 기존의 대부분의 방법들을 실제에 응용에 적용하기는 어려운 실정이다. 이러한 점을 감안하여 본 논문에서는 핸들 제어뿐만 아니라 속도 제어를 포함하는 적응적인 퍼지 추론 규칙을 설계하여 실제적으로 적용 가능한 적응적 퍼지 트럭 제어 시스템을 제안한다.

## II. 적응적 트럭 제어 시스템

Truck backer-upper control problem은 임의의 방향과 위치에서 지정된 위치로 트럭을 후진 주차시키는 제어 문제로써 전형적인 비선형 제어 시스템의 한 예로 Kong과 Kosko는 퍼지 기법에 의한 제어 시스템을 소개하였다. 본 논문에서는 활동 범위 이내 어떠한 위치에서도 장애물과의 충돌없이 후진 운전하여 연속적인 여러 개의 목표 지점을 도달할 수 있는 적응적인 퍼지 트럭 후진 제어 시스템을 설계하였다. 그림 1은 제안하는 시스템의 기본적인 개념을 나타내고 있다.

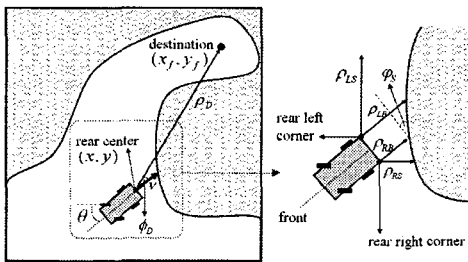


그림 4. 제안하는 제어 시스템 정의

### 2.1 퍼지 제어 시스템 정의

제안하는 퍼지 트럭은 Nguyen- Widrow 시스템의 cab 부분에 해당되며, 좌표 (x,y)는 트럭 후면의 중심 좌표로써 현재 트럭의 위치를 나타낸다. 적응적인 퍼지 제어를 위하여 여덟 개의 상태 변수  $\rho_{LS}$ ,  $\rho_{LB}$ ,  $\rho_{RS}$ ,  $\rho_{RB}$ ,  $\rho_D$ ,  $\phi_S$ ,  $\phi_D^{Coarse}$ ,  $\phi_D^{Fine}$  와 두 개의 제어 변수  $\theta$ ,  $v$ 를 정의한다.  $\rho_{LB}(\rho_{RB})$ 는 트럭 후면의 왼쪽(오른쪽) 모서리와 트럭의 후진 방향에 존재하는 벽과 같은 장애물과의 거리를 나타낸다.  $\rho_{LS}(\rho_{RS})$ 는 트럭 후면의 왼쪽(오른쪽) 모서리와 트럭의 후진 방향에서 45° 대각선 방향

에 존재하는 장애물과의 거리이다.  $\rho_D$ 은 트럭의 중심 위치 (x,y)와 목표 지점 ( $x_f, y_f$ )과의 거리이다.  $\phi_S$ 은 장애물의 표면 각도,  $\phi_D$ 은 트럭의 진행 방향과 목표 지점 사이의 각도를 말한다. 해상도의 관점에서  $\phi_D^{Fine}$ 은  $\phi_D^{Coarse}$ 보다 더욱 세밀하게 표현되는 값이다. 이와 같은 모든 거리 변수는 트럭의 길이에 비례하여 값을 설정한다.

일곱 개의 상태 변수  $\rho_{LS}$ ,  $\rho_{LB}$ ,  $\rho_{RS}$ ,  $\rho_{RB}$ ,  $\phi_S$ ,  $\phi_D^{Fine}$ ,  $\phi_D^{Coarse}$ 는 트럭의 핸들 제어 변수  $\theta$ 의 값을 결정하기 위해 사용되고 다섯 개의 상태 변수인  $\rho_{LS}$ ,  $\rho_{LB}$ ,  $\rho_{RS}$ ,  $\rho_{RB}$ ,  $\rho_D$ 는 트럭의 속도 제어 변수  $v$ 의 값을 결정하기 위해 사용된다. 그림 1은 제안하는 퍼지 제어 시스템의 구조이다.

제안하는 퍼지 핸들 제어기는 장애물과의 거리 및 장애물 표면 각도를 고려하여 어떠한 목표 지점이라고 하더라도 장애물과의 충돌 없이 핸들 조작이 가능하도록 설계하였다. 뿐만 아니라 퍼지 속도 제어기는 퍼지 핸들 제어를 보완하여 결정할 수 없는 어떤 핸들 회전 조건이 발생하거나 트럭이 목표 지점에 가깝게 도달했을 때, 정교한 제어를 위해서 적응적으로 감속시키며 반대로 트럭의 진행 방향에 장애물이 없고 트럭이 목표 지점으로부터 매우 멀리 떨어져 있을 때에는 가속 시킴으로써 효과적인 주행이 가능하도록 설계하였다.

### 2.2 퍼지 멤버십 함수

그림 2~그림 6은 상태 변수에 대한 퍼지 멤버십 함수를, 그림 7, 그림 8는 제어 변수에 대한 퍼지 멤버십 함수를 각각 도시하고 있다.

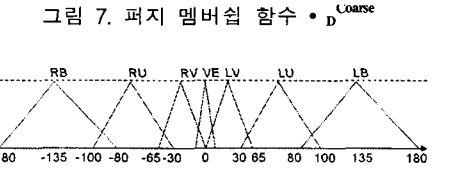
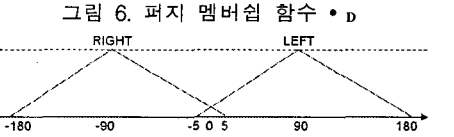
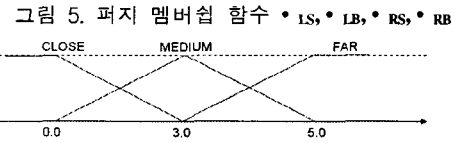
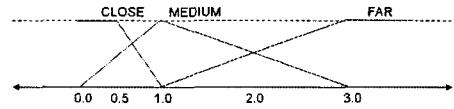


그림 8. 퍼지 멤버십 함수  $\phi_D^{Fine}$

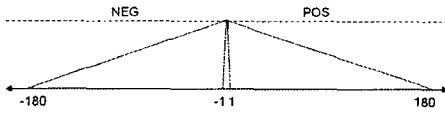


그림 9. 퍼지 멤버십 함수  $\cdot s$

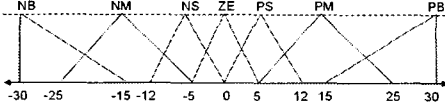


그림 10. 퍼지 멤버십 함수  $\cdot$

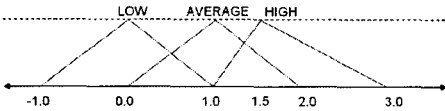


그림 11. 퍼지 멤버십 함수  $\cdot$

퍼지 집합은 전문가가 언어 항(linguistic terms)에 의해 제어 시스템을 설명하는 방식으로 수치화된 값을 표현한다. 상태 변수  $\phi_{LS}$ ,  $\phi_{LB}$ ,  $\phi_{RS}$ ,  $\phi_{RB}$ ,  $\phi_D$  의 퍼지 집합은 'CLOSE', 'MEDIUM', 'FAR' 로 정의하였다. 상태 변수  $\phi_D^{Coarse}$  의 퍼지 집합은 'RIGHT', 'LEFT'로,  $\phi_D^{Fine}$  은 'RB'(right below), 'RU'(right upper), 'RV'(right vertical), 'VE'(vertical), 'LV'(left vertical), 'LU'(left upper), 'LB'(left below)로,  $\phi_S$ 은 'NEG'(negative), 'POS'(positive)로 정의하였다. 제어 변수  $\theta$ 의 퍼지 집합은 'NB'(negative big), 'NM'(negative medium), 'NS'(negative small), 'ZE'(zero), 'PS'(positive small), 'PM'(positive medium), 'PB'(positive big)로,  $v$ 는 'LOW', 'AVERAGE', 'HIGH'로 각각 정의하였다.

이와 같이 설계된 퍼지 집합 및 퍼지 멤버십 함수를 사용하여 트럭의 핸들 제어를 위한 33개의 규칙과 속도 제어를 위한 13개의 규칙을 각각 표 1, 표 2로 정의하였다.

2.3 퍼지 트럭 Emulator

퍼지 트럭 Emulator는 트럭의 위치를  $(x_k, y_k)$ 으로부터  $(x_{k+1}, y_{k+1})$ 로 이동시키도록 다음과 같이 설계한다.

$$\phi_{k+1} = \phi_k + \theta_k^* \quad (1)$$

$$d_{k+1} = r v^* \quad (2)$$

$$x_{k+1} = x_k + d_{k+1} \cos(\phi_{k+1}) \quad (3)$$

$$y_{k+1} = y_k + d_{k+1} \sin(\phi_{k+1}) \quad (4)$$

여기서,  $\phi_k$ 는 트럭의 진행 방향,  $\theta_k^*$ ,  $v_k^*$ 은 각각 트럭의 위치로부터 산출된 핸들 제어값과 속도 제어값,  $r$ 은 한 번의 이동이 이루어지는 고정 거리이며,  $d_k$ 는 적응적으로 제어되는 트럭의 이동 거리이다.

표 2. 핸들 제어를 위한 퍼지 규칙

Rule	Input					Output $\theta$
	$\phi_{LS}$	$\phi_{LB}$	$\phi_{RS}$	$\phi_{RB}$	$\phi_S$	
1		CLOSE	MEDIUM			NB
2		CLOSE	FAR			NM
3		MEDIUM	FAR			NS
4		FAR	MEDIUM			PS
5		FAR	CLOSE			PM
6		MEDIUM	CLOSE			PB
7	CLOSE	CLOSE	CLOSE			NB
8		CLOSE	CLOSE		POS	NB
9		CLOSE	CLOSE		NEG	PB
10		CLOSE	CLOSE	CLOSE		PB
11	CLOSE	MEDIUM	MEDIUM			NB
12		MEDIUM	MEDIUM		POS	NM
13		MEDIUM	MEDIUM		NEG	PM
14		MEDIUM	MEDIUM	CLOSE		PB
15	CLOSE	FAR	FAR		LEFT	NM
16	CLOSE	FAR	FAR		RIGHT	NS
17	MEDIUM	FAR	FAR		LEFT	NS
18	MEDIUM	FAR	FAR		RIGHT	ZE
19		FAR	FAR	MEDIUM	LEFT	ZE
20		FAR	FAR	MEDIUM	RIGHT	PS
21		FAR	FAR	CLOSE	LEFT	PS
22		FAR	FAR	CLOSE	RIGHT	PM
23	CLOSE	FAR	FAR	CLOSE	LEFT	NS
24	CLOSE	FAR	FAR	CLOSE	RIGHT	PS
25	MEDIUM	FAR	FAR	MEDIUM	LEFT	NS
26	MEDIUM	FAR	FAR	MEDIUM	RIGHT	PS
27	FAR	FAR	FAR	FAR		LB NB
28	FAR	FAR	FAR	FAR		LU NM
29	FAR	FAR	FAR	FAR		LV NS
30	FAR	FAR	FAR	FAR		VE ZE
31	FAR	FAR	FAR	FAR		RV PS
32	FAR	FAR	FAR	FAR		RU PM
33	FAR	FAR	FAR	FAR		RB PB

표 3. 속도 제어를 위한 퍼지 규칙

Rule	Input					Output $v$
	$\phi_{LS}$	$\phi_{LB}$	$\phi_{RS}$	$\phi_{RB}$	$\phi_D$	
1		CLOSE	MEDIUM			AVERAGE
2		CLOSE	FAR			AVERAGE
3		MEDIUM	FAR			AVERAGE
4		FAR	MEDIUM			AVERAGE
5		FAR	CLOSE			AVERAGE
6		MEDIUM	CLOSE			AVERAGE
7		CLOSE	CLOSE			LOW
8		MEDIUM	MEDIUM			LOW
9	CLOSE	FAR	FAR	CLOSE		LOW
10	MEDIUM	FAR	FAR	MEDIUM		AVERAGE
11		FAR	FAR		CLOSE	LOW
12		FAR	FAR		MEDIUM	AVERAGE
13		FAR	FAR		FAR	HIGH

III. 실험 및 결과

본 연구에서는 임의의 형태의 로드 맵을 바탕으로 퍼지 트럭의 이동 궤적을 시뮬레이션 하였다. 트럭 후진 제어 문제에서 목표 지점에 도달하는 것도 중요한 성능 지표가 되지만 장애물과 충돌 없이 안전하게 도착하는 것은 실제계의 적용 가능성 여부를 볼 때 더욱 중요한 평가 기준이 될 수 있다. 각 맵에서의 회색 영역은 퍼지 트럭이 이동할 수 없는 영역으로써 벽 또는 장애물을 나타낸다. 따라서 트럭은 흰색 영역만을 이동할 수 있으며 회색 영역에 트럭이 이동하면 이것은 장애물과의 충돌을 의미한다.

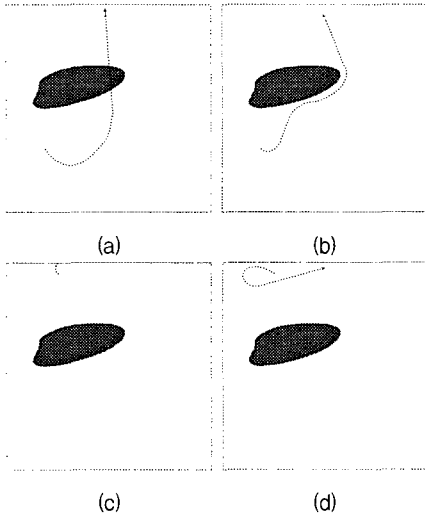


그림 9. 퍼지 트럭 이동 제법 비교  
(a),(c) 기존의 퍼지 제어 방법  
(b),(d) 제안된 퍼지 제어 방법

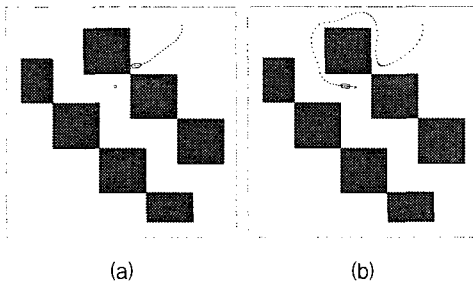


그림 10. 퍼지 트럭 방향 및 속도 제어  
(a) 협소 지역에서의 트럭 이동 실패  
(b) 적응적으로 속도 제어된 성공적인 트럭 제법

그림 9의 (a),(c)는 기존의 퍼지 제어기에 의한 트럭의 이동 제법을 보여주었고 있다. 예상할 수 있듯이 기존의 퍼지 제어기는 장애물에 대한 고려를 하지 않았기 때문에 단순히 목표점만을 향해 이동하는 모습을 볼 수 있다. 또한 (c)와 같이 기존의 퍼지 제어기는 트럭의 초기 y 위치가 벽에 매우 가까운 경우는 목표 지점을 향하여 올바르게 이동하지 못하는데 반해 제안하는 퍼지 제어 시스템에서는 자연스럽게 목표지점을 향해 트럭을 제어하는 모습을 볼 수 있다.

그림 10의 (a)는 트럭이 단순히 목표 지점만을 향해 이동하다가 벽으로 둘러 쌓인 부분을 탈출하지 못하고 벽과 부딪친 경우이다. 이것은 퍼지 트럭 제어 시스템에서 속도 제어는 배제하고 단순히 핸들 제어만 했을 경우에 나타날 수 있는 치명적인 제어 오류 현상이다. 하지만 속도 제어 기법을 도입함으로써 (b)에서 살펴볼 수 있듯이 트럭의 이동 간격이 적응적으로 조정되어 안정적

으로 궁지를 탈출하고 목표 지점으로 정확하게 이동하는 모습을 관찰할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 퍼지 후진 제어 문제를 위한 실용적인 제어 시스템을 제시하였다. 단지 핸들의 조작만을 고려한 기존의 제어 기법과는 달리 제안하는 제어 시스템에서는 핸들 제어와 속도 제어를 퍼지 추론 규칙에 의해 적절히 수행하여 실세계 응용으로의 유용성 및 유연성, 신뢰성을 보여주었다. 뿐만 아니라 시뮬레이션을 통해 살펴본 바와 같이 제안된 퍼지 제어 시스템은 최첨단 자동 주행 시스템으로의 적용에도 손쉽게 응용될 수 있을 것이라 생각된다.

#### 참고문헌

- [1] Kong S. G., Kosko B. "Adaptive Fuzzy Systems for Backing Up a Truck-and-Trailer", IEEE Trans. Neural Networks, Vol.3, No.2, pp.211-223. March 1992.
- [2] Nguyen, D., Widrow, B., "The Truck Backer-Upper: An Example of Self-Learning in Neural Networks", International Joint Conference on Neural Networks, Vol.2, pp.357-363, June 1989.
- [3] Kong, S. G., Kosko, B., "Comparison of Fuzzy and Neural Truck Backer-Upper Control Systems", IJCNN International Joint Conference on Neural Networks, Vol.3, pp.349-358, June 1990.
- [4] Riid, A., Rustern, E. "Fuzzy Logic in Control: Truck Backer-Upper Problem Revisited", The 10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Vol.1, pp.513-516, Dec. 2001
- [5] Ramamoorthy, P.A., Huang, S., "Fuzzy expert systems vs. neural networks-truck backer-upper control revisited", IEEE International Conference on Systems Engineering, pp.221-224, August 1991.
- [6] Mu-Chun Su, Hsiao-Te Chang, "Application of neural networks incorporated with real-valued genetic algorithms in knowledge acquisition", Fuzzy Sets and Systems, Vol.112, Issue 1, pp.85-97, May 2000.
- [7] 김종화, 이원창, 강근택, TSK 퍼지 시스템을 이용한 트럭-트레일러의 후진 제어", 한국퍼지 및 지능시스템학회, pp133-136, 2003년 9월.