

최적 퍼지 제어를 이용한 트럭의 역-주행 제어

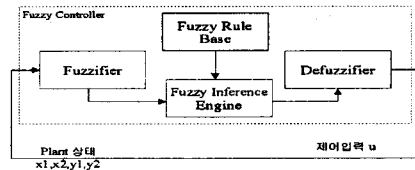
최용길, 배영철, 임화영
 광운대학교 제어계측공학과

Truck Backer - Upper Control Using Optimal Fuzzy Control

Yong-Gil Choi, Yong-Chul Bae, Wha-Yeong Yim
 Dept. of Control and Instrumentation Eng. Kwangwoon Univ.

Abstract - Fuzzy system which are based on membership functions and rules, can control nonlinear, uncertain, complex system well. However, Fuzzy controller has problems: It is difficult to design a stable for amateur. To update the then-part membership functions of the fuzzy controller can be designed using the Optimal fuzzy controller. Then we could be optimized the system choosing a good performance index. The proposed fuzzy controller based on Optimal fuzzy control is an Truck-Backer for demonstration of the robustness of proposed methodology.

Fuzzifier, Inference Engine, Defuzzifier 등에는 여러 가지가 제시되어 있지만, 본 논문에서는 일반적으로 많이 사용되는 Singleton Fuzzifier, Product Inference Engine, Center Average Defuzzifier를 사용하도록 하겠다.



(그림 1) Fuzzy System

1. 서 론

제어 대상이 비 선형성이 강하고 불확실성이 내재되어 있는 경우 제어기를 구성하는데 어려움이 따른다. 퍼지 시스템은 이러한 시스템에 강한 특성을 지니고 있으나 정상 상태에서 잔류 오차가 남을 수 있고 초보자에게는 어려울 수 있다. 하지만 제어 대상이 복잡하더라도 대체적인 동적 경향을 알고 있는 경우 퍼지 논리 제어 기법이 적당하다. 비 선형 제어기로 널리 사용되는 퍼지 시스템은 제어 대상의 구조가 불확실하거나 알려지지 않은 변수가 존재하는 여건에서 변수와 소속함수로 구성되는 IF-THEN 규칙에 따른 추론 시스템으로서 강한 특성을 가진 제어를 한다. 본 연구에서는 비 선형시스템의 모델식으로부터 오차 함수를 선정하고 최적 퍼지 제어기로 퍼지 구성함수를 최적화하여, 초기 근사 구성함수와 최소 퍼지 규칙을 기반으로 한 모든 비 선형적인 입-출력 시스템에 대하여 최적 제어를 수행하며, 이 최적요소는 실제 치와 예상 치에서 발생하는 오차를 순차적으로 분석하여 수행한다.

제어대상으로는 비 선형적인 제어 대상으로 사용되는 Truck Backer를 사용할 것이며, 최적 퍼지 제어기의 우수성을 Simulation과 실험 결과를 통하여 검증한다.

2. 본 론

2.1 퍼지 시스템 (Fuzzy System)

퍼지 시스템은 변수와 소속함수로 구성하여 퍼지 논리 규칙에 따라 적절한 출력을 추론한다. 그림1은 퍼지 시스템의 원리를 나타낸 것으로 실제 값을 퍼지화하는 퍼지화기(Fuzzifier), 퍼지 값을 추론하는 추론 엔진(Inference Engine), 추론 과정에서 이용되는 규칙 기(Rule Base), 규칙 기반을 구성하는 IF THEN 규칙, 지 값을 다시 실제 값으로 바꾸어 주는 비퍼지화기(Defuzzifier)로 구성된다.^{[1][4]}

2.2 최적 퍼지 제어기 (Optimal Fuzzy Control)

최적 제어는 Pontryagin minimum Principal Performance Criterion을 최적화하는 것과 같은 퍼지 제어기 요소를 알아내기 위한 개발 순서와 퍼지 시스템 제어기를 구성한다.

$$J = S[x(T)] + \int_0^T L[x(t), u(t)] dt \quad (1)$$

여기에서, S와 L은 주어진 함수이며, 마지막 시간 T도 정해진 것으로 한다.

최적 퍼지 제어기는 Pontryagin minimum Principal 사용하여 풀 수 있으며, 해밀턴 함수를 정의하면,

$$H(x, u, p) = L[x(t), u(t)] + P^T(t)g[x(t), u(t)] \quad (2)$$

이고, 입력 u 로 $H(x, u, p)$ 를 최소화하는 $u = H(x, u, p)$ 를 발견할 수 있다. 따라서,

$$H^*(x, p) = H[x, h(x, p), p] \quad (3)$$

로 정의되고, 이계 미분 방정식으로 풀 수 있다.

$$\dot{x}(t) = \frac{\partial H^*}{\partial P}, x(0) = x_0 \quad (4)$$

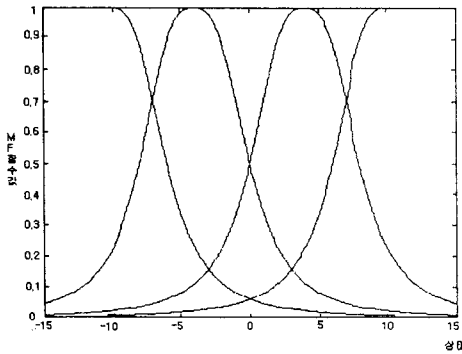
$$\dot{P}(t) = -\frac{\partial H^*}{\partial x}, P(T) = \frac{\partial S}{\partial x} |_{x(T)} \quad (5)$$

따라서 최적 제어기는 다음과 같은 값을 얻는다. [8][9][10]

$$u^*(t) = h[x^*(t), u^*(t)] \quad (6)$$

2.3 제어기 설계

퍼지 소속함수의 초기 설정은 그림 3와 같이 각각 하나의 입력 변수를 4개의 MF로 설정하였다. MF는 비교적 비선형성을 잘 표현할 수 있는 bell 함수를 이용하였고, 퍼지화기는 singleton fuzzifier, 추론 엔진 product engine, 비퍼지화기는 center average defuzzifier를 사용하였다.



〈그림2〉 퍼지 소속함수

$$gbell_mf = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-c}{a}\right)^2 b} \quad (7)$$

a 는 α -cut 0.5 에서 함수의 1/2폭
 b 는 기울기
 c 는 중앙점

소속함수에 대한 M ($M=N_1 \times N_2$) 개에 해당하는 퍼지규칙은 다음과 같은 구조를 갖는다.

$$Ru^{i_2} : IF x_1 \text{ is } A_1^{i_1} \text{ and } x_2 \text{ is } A_2^{i_2} \text{ THEN } y \text{ is } B^{i_2}$$

여기서, $i_1 = 1, 2, \dots, N_1$, $i_2 = 1, 2, \dots, N_2$ 이고, 퍼지집합 B^{i_2} 를 \bar{y}^{i_2} 라고 나타내면 \bar{y}^{i_2} 와 입력측의 소속함수의 파라미터와의 관계는 다음과 같다.

$$\bar{y}^{i_2} = g(e_1^{i_1}, e_2^{i_2}) \quad (8)$$

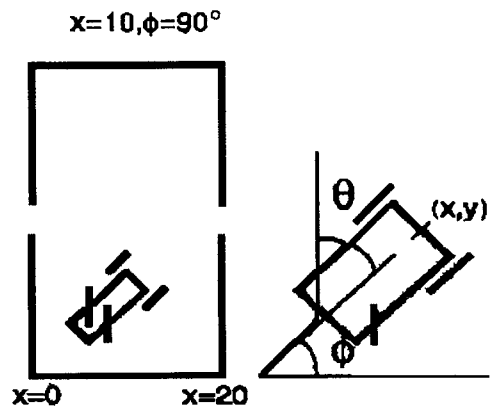
예를 들어 위의 그림 2의 예라면 M ($M=N_1 \times N_2$)개에 해당하는 검은 점에서 어렴한 $g(x)$ 와 B^{i_2} 의 중심값은 동일한 것이다. 그림 2의 퍼지 제어기의 출력값은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$f(x) = \frac{\sum_{i_1=1}^{N_1} \sum_{i_2=1}^{N_2} \bar{y}^{i_2} (\mu_{A_1^{i_1}}(x_1) \mu_{A_2^{i_2}}(x_2))}{\sum_{i_1=1}^{N_1} \sum_{i_2=1}^{N_2} (\mu_{A_1^{i_1}}(x_1) \mu_{A_2^{i_2}}(x_2))} \quad (9)$$

기존의 퍼지제어 설계기법에서는 시스템 전문가적 견지에서 \bar{y}^{i_2} 를 결정하였고, 학습의 과정을 통하여 입력의 소속함수의 파라미터 뿐만 아니라 \bar{y}^{i_2} 값을 오차를 줄이는 방향으로 변경하게 된다. [1]

2.4 Truck Backer - Upper Control

트럭을 뒤로 이동시켜 우리가 원하는 위치로 제어한다는 것은 비선형 제어 문제이다. 이 논문의 기반이 되는 입력, 출력 값들은 운전자가 주어진 상황에서 대응하는 값의 측정값들을 이용하였으며, 시뮬레이션 구간은 그림 〈3〉과 같다.



〈그림3〉 트럭의 거리 및 각도 제어

x 는 거리, ϕ 는 각도 θ 는 출력값을 나타낸다.

트럭의 근사화 된 모델식은 다음과 같다.

$$x(t+1) = x(t) + \cos[\phi(t) + \theta(t)] + \sin[\theta(t)] \sin[\phi(t)]$$

$$y(t+1) = y(t) + \sin[\phi(t) + \theta(t)] - \sin[\theta(t)] \cos[\phi(t)]$$

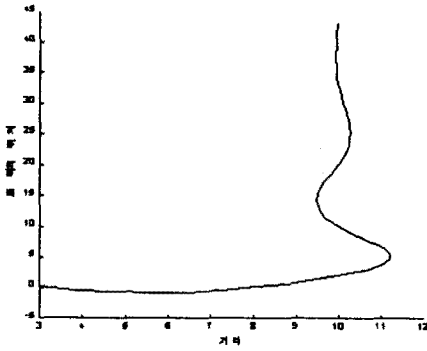
$$\phi(t+1) = \phi(t) - \sin^{-1} \left[\frac{2 \sin(\theta(t))}{b} \right]$$

2.5 Simulation

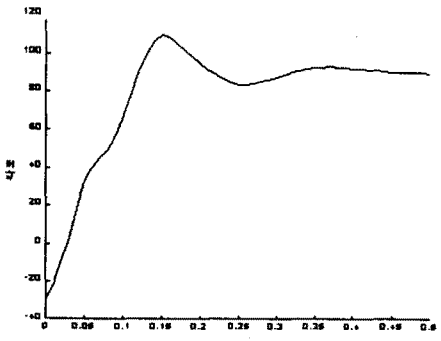
최적 제어기로 제어되는 트럭의 위치, 각도 및 거리는 초기 조건

Truck의 위치 : 거리 3, 각도 -30도

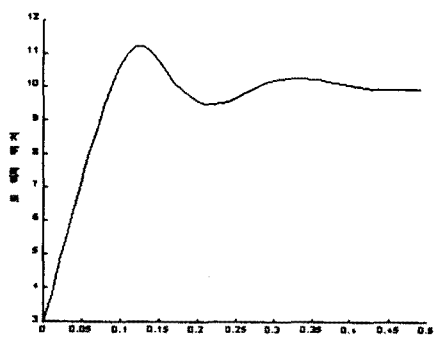
제어목표 위치 : 거리 10, 각도 90도



〈그림 4-1〉 시간에 대한 거리



〈그림 4-2〉 각도 제어



〈그림 4-3〉 트럭의 위치 제어

3. 결 론

최적 제어를 이용한 트럭의 역-주행 제어는 퍼지 제어기보다 빠르게 목표 값에 도달하고 성능이 개선되었지만, 여전히 트래킹 오차와 채터링들이 발생하는 문제점을 가지고 있다. 다음에는 이러한 문제들을 해결할 수 있도록 고려하여 제어기를 구성하면 더 나은 제어가 될 수 있을 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] Li-Xing Wang, "A Course In Fuzzy System Control", Prentice Hall PTR Prntice-Hall Inc., 1
- [2] D. Driankov, H. Hellendoorn, M. Reinfran Introduction To Fuzzy Control". Springer-V Berlin Heidelberg, 1996
- [3] J. J. E. Slotine, Weiping Li, "Applied No Control", Prentice-Hall Inc., 1991
- [4] G. Feng, S. G. Cao, N. W. Rees, "Design of Control Systems with Guranteed Stability", Sets & Systems, no. 85, 1-10, 1997
- [5] Javier Aracil, Anibal Ollero, Al Garcia-Cerezo, "Stability Indices for the G Analysis of Expert Control Systems", IEEE Tran Sys. Man & Cybern., Vol. 19, no. 5, 998-1007.
- [6] Han-Xiong Li, "A Comparative Design and T for conventional Fuzzy Control", IEEE Trans. on Man & Cybern. PART B: Cybern., Vol. 27, 884-889, 1997
- [7] Seong-Gon Kang & Bart Kosko, "Comparison o Fuzzy and Neural Truck Backer-Upper Control Systems," IEEE Control Systems Magazine, 349-358,
- [8] Li-Xin Wang, "Design of Fuzzy Systems Using A Table Look-Up Scheme" A Course in Fuzzy Systems and Control, 153-167, Prentice-Hall, 1997
- [9] Frank L. Lewis & Vassilis L. Syrmos "Optimal Control" John Wiley & Sons, INC., 1995
- [10] K. C. Sio, C. K. Lee, "Stability of Fuzzz Controllers", IEEE Trans. on Sys. Man & Cy PART A: Sys., Vol. 28, no. 4, 490-495, 1998