

연속형 퍼지 입력변수를 사용하는 퍼지 제어기의 환산계수 동조

임영철, 박종건, 위석오*, 정현철
전남대학교 전기공학과

Scale Factor Tuning of the Fuzzy Controller Using Continuous Fuzzy Input Variables

Young-Cheol Lim, Jong-Gun Park, Seog-Oh Wi, Hyun-Cheol Jung
Department of Electrical Engineering, Chonnam National University

ABSTRACT : This paper describes a design of real time fuzzy controller using Minimum fuzzy control Rule Selection Method(MRSM). The control algorithm of dynamic systems needs less computation time and memory. To reduce the computation time of fuzzy logic controller, minimum number of rules are to be selected for the fuzzy input variable. The universe of discourse is divided by the number of linguistic labels to allocate the assigned membership function to the fuzzy input variables. In this case, since fuzzy input variables are continuous, scale factor SU is tuned independently. According to increment of SU control surface is improved to adapt the change of system parameter. At this, crisp control surface is increased. With the increment of crisp control surface, fuzzy control surface is reduced. When error state deviates from desirable error state, crisp control surface is more useful than fuzzy control surface for obtaining fast rising time.

Keywords: Successive-Approximation Method, F.L.C, Fuzzy-Inference, Scale Factor

1. 서론

퍼지제어기는 복잡한 수학적 모델링 보다는 전문가의 지식이나 경험을 바탕으로 제어규칙을 생성하고 퍼지추론에 의해 제어입력값을 도출하는 제어기이다. 이러한 퍼지제어기는 전문가의 지식을 기반으로하며 종래의 고전적 제어기에 비하여 수학적 모델링이 불가능하거나 비선형 특성을 갖는 계통의 제어에서 특히 우수한 특성을 보여 준다.^{1)~7)}

서보시스템과 같이 시정수가 작은 시스템의 경우 퍼지추론시간이 문제가 되기 때문에 추론시간의 단축을 위하여 퍼지 입·출력변수의 양자화나 제어입력값의 룩업테이블(Look-up table)방법이 사용되고있다.^{1),4)~5)} 그러나 이러한 방법들은 정상상태의 오차를 유발시키며 환산계수를 재동조 해야하는 문제점을 갖고 있다.⁶⁾

따라서 본 논문에서는 퍼지추론에 대한 계산시간을 최소화시키기 위하여 다수의 제어규칙중 퍼지추론에 필요한 최소의 제어규칙만을 선택하여 퍼지추론을 행하였으며 연속적인 퍼지입력변수를 사용함으로써 퍼지입력변수의 양자화에 의한 정상상태오차를 해결할 수 있었으며 연속적인

적으로 선택할 수 있게 되어 이상적인 제어평면 하에서 제어를 행할 수 있게 되었다. 즉 크리프한 제어평면을 포함함으로써 제어동작은 강한 제어특성을 나타내게 되었다. 제안한 퍼지제어기는 최소제어규칙 선택법을 사용함으로써 서보시스템의 퍼지제어를 위한 실시간 퍼지추론이 가능하게 되었으며 환산계수 SU만의 독립적인 선택으로 적용력과 강인성이 매우 뛰어난 제어성능을 나타내었다. 제안한 퍼지제어기의 성능을 입증하기 위하여 직류서보 모터의 위치제어에 관한 시뮬레이션을 행하였다.

II. 최소제어규칙 선택법에 의한 퍼지추론

퍼지논리 제어기는 일반적으로 퍼지화부(fuzzification interface)와 비퍼지화부(defuzzification interface) 및 지식기반(knowledge base)을 바탕으로 한 퍼지추론(fuzzy reasoning)의 세 부분으로 이루어 지는데 실제로 퍼지 연산알고리즘의 대부분의 시간을 소요하는 부분은 퍼지추론부이다. 따라서 퍼지추론시간을 최소한으로 하는것은 서보제어의 퍼지제어에 있어 매우 중요한 관건이라 하겠다.

퍼지 변수를 오차 E(KT), 오차의 변동률 CE(KT), 제어입력 U(KT) 라고 할때 이 언어변수(linguistic variable)들을 7가지 용어집합 NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB로 구분할 수 있게 된다.¹⁰⁾ 이때 그림1 과 같이 멤버쉽함수의 퍼지니스(fuzziness)를 일정하게 정하였을때 퍼지입력변수 E(KT), CE(KT)는 매 샘플링 시간마다 이웃하는 2개의 언어라벨에만 소속하기 때문에 표1 과 같은 49개의 규칙 모듈을 퍼지추론에 사용하지 않아도 된다.

만약 입력변수 E가 그림1 에서 NS와ZE를 공유하는 4부분이고 입력변수 CE가 NM과 PB를 공유하는 2부분이면 퍼지추론에 사용될 제어규칙은 표1 의 표시된 PS, PM, PM, PB의 4개의 결론부가 될 것이다.

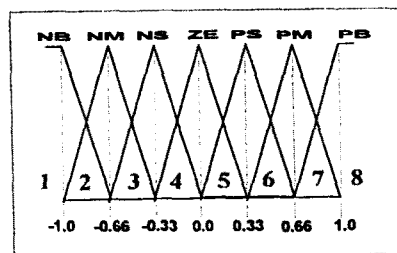


Fig. 1. Membership.

Table 1 Selected Fuzzy Rules

CE	E	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	
PM	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	PS	
PS	NB	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	
NS	NM	NS	ZE	PS	PM	PM	PB	
NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	
NB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB	

따라서 본 논문에서는 퍼지니스를 일정하게한 멤버쉽 수를 정의하고 소속된 언어치의 소속정도만을 측정하는 방법을 사용하고자 한다. 즉 사용하는 49개의 규칙중 최소한의 제어규칙만을 퍼지추론에 이용하고자 한다.

본연구에서는 연산이 빠르고 구현이 쉬운 단순퍼지 추론법을 사용하였다. 추론의 전반부는 삼각형 멤버쉽함수를 사용하였고 후반부는 싱글톤을 사용하였다. 그림 2 는 최소한의 제어규칙만을 선택하고 단순추론법 으로 추론하는 과정을 나타낸 것이다.

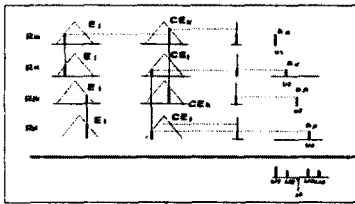


Fig. 2. Compact fuzzy inference using MRSM.

여기서 A(i)는 오차의 퍼지집합, B(i)는 오차의 변동률의 퍼지집합, C_i는 제어입력 U의 퍼지집합으로 정의하며 퍼지 입력변수의 C_i에 대한 E, CE의 적합정도 h_{ij}는 식1 와 같다.

$$h_{ij} = \mu_{A_i}(e) \cdot \mu_{B_j}(ce) \quad (1)$$

적합정도 h_{ij}에 의해서 가중치 평균으로 얻어지는 퍼지집합 결과점 z₀는 식(2)와 같다.

$$z_0 = \frac{h_{ij}C_1 + h_{(i+1)}C_2 + h_{(i+1)}C_3 + h_{(i+1)(i+1)}C_4}{h_{ij} + h_{(i+1)} + h_{(i+1)} + h_{(i+1)(i+1)}} \quad (2)$$

이렇게 최소제어규칙만을 퍼지추론에 사용할 경우 연속적인 퍼지입력변수의 사용에도 불구하고 서보시스템의 위치제어같이 제어주기가 매우 작은 짧은곳에서도 실시간 퍼지추론이 가능하게 된다.

III. 환산계수 SU의 독립적인 동조

퍼지제어기는 제어주기를 짧게하기 위하여 퍼지입력변수를 양자화시켜 퍼지추론을 하거나 퍼지입출력변수 모두를 양자화시키는 룩업테이블 방식을 사용하기 때문에 정상상태에서 오차 또는 진동을 발생시킨다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 연속적인 퍼지입력변수를 사용하는 방법을 사용하였다. 퍼지 입력변수의 양자화에 따른 환산계수의 동조와는 다르게 연속적인 입력변수를 사용할 경우 세 개의 환산계수 모두를 서로 종속적으로 동조하지 않아도 된다. 즉 환산계수 SU만을 독립적으로 조정할 수 있게 되고 플랜트의 파라미터가 심하게 변해도 제어성능은 매우 강인하게 적용하는 성능을 나타내게 된다. 이 때의 제어평면을 관찰하면 퍼지적인 의미를 지니는 제어공간은 줄어들고 크리스프한 제어면은 크게 증가한다는 사실을 알 수 있게된다. 다음 그림3 은 환산계수 SU이

1과 8 일때의 제어평면을 비교한 것이다.

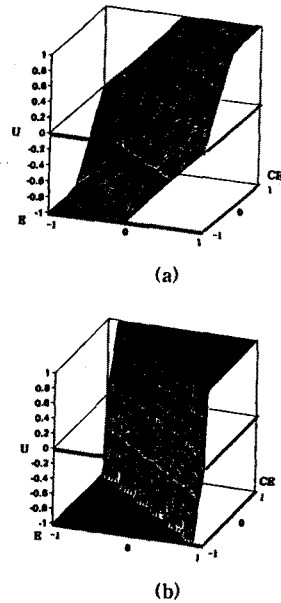


Fig. 3. The comparison of control surface by the change of scale factor. a) SU=1.(b) SU=8.

환산계수 SU만을 변화시켰을 때의 제어평면은 그림3 (b)와 같이 SU의 증가는 퍼지제어평면에 크리스프한 제어평면이 나타나게 한다. 그리고 이 크리스프한 제어평면은 제어성능이 좋지 못한 오차 상태공간에서 나타난다. 즉 제어성능이 좋지 못한 경우가 고찰되면 제어는 크리스프한 영역에서 움직이게 되고 원하는 제어성능을 나타내는 오차 특성공간에 제어상태가 있게되면 제어는 퍼지적인 의미를 갖는 제어평면에서 제어가 이루어지는 가장 이상적인 제어가 이루어 지게된다. 고찰한 결과 다음과 같은 제어평면과 환산계수 SU 와의 관계를 알 수 있었다.

IV. 시뮬레이션

(1) 퍼지 제어기의구성

그림4는 본 연구에서 적용한 최소제어규칙만을 퍼지추론에 사용하는 퍼지제어기의 전체적 블록선도를 나타낸 것이다. 아래의 블록선도에서 R은 설정치이고 S는 피드백값이다. SE, SCE, SU는 각각 오차와 오차변화분 및 제어입력치에 대한 대한 환산계수이다. 관계식은 식(3)으로 표현된다.

$$e(nT) = R(nT) - S(nT) \\ ce = (e_1 - e_2) / T \quad (3)$$

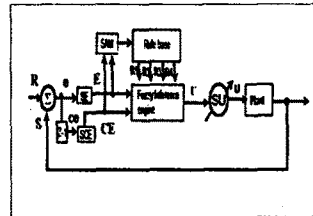


Fig. 4. Proposed fuzzy controller.

여기서 e₁ = e(nT), e₂ = e((n-1)T)를 의미하고 T는 샘플링시간이다. c(t) 와 ce(t)를 퍼지입력변수로 맵핑하기 위하여 환산계수를 사용한다. 즉, 관측된 오차와 오차의 변화분

의 전체집합을 퍼지전체집합 $-1 \sim 1$ 의 범위로 맵핑하여 $E(t)$, $CE(t)$ 를 구한다. 이렇게 퍼지화된 퍼지입력변수는 관련된 최소제어규칙만을 사용하여 $E(t)$, $CE(t)$ 의 소속해 있는 멤버십함수의 소속 정도를 측정한다. 이러한 소속정도를 max-min연산법을 이용하여 퍼지량을 측정하고 이를 비퍼지화시켜 선정된 환산계수를 곱하여 제어출력을 얻는다.

(2) 환산계수의 증가에 따른 플랜트 응답특성

본 연구에서는 최대제어량의 10%를 데드구간(dead zone)으로 하였을 때 DC서보모터의 주요 파라미터인 기계적시정수 τ 를 각각 10, 20, 30msec로 변화시켰을 때의 시스템의 응답특성을 관찰하였다. 환산계수 SU를 1로 하였을 때의 응답특성은 그림5와 같고 7로 하였을 때의 응답특성은 그림6과 같다.

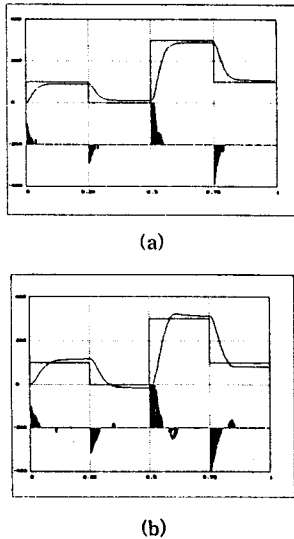


Fig. 5. Step response of fuzzy controller at SU=1 and if(fabs(U)<0.1) U=0. (a) $\tau = 10$ ms. (b) $\tau = 20$ ms.

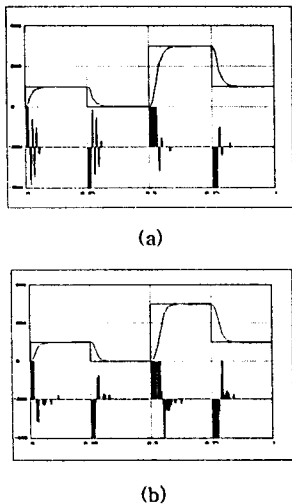


Fig. 6. Step response of fuzzy controller at SU=7 and if(fabs(U)<0.1) U=0. (a) $\tau = 10$ ms. (b) $\tau = 20$ ms.

시뮬레이션 결과 SU가 어느 정도 커지면 DC모터의 파

라미터의 변동에 무관하게 강한 제어성능을 보였으며 너무 커지면 기계적시정수 때문에 시스템 응답특성은 진동하게 된다. 고찰 결과 다음 표2와 같은 양호한 응답특성을 보이는 SU의 범위를 알게 되었다.

Table 2 Optimal Range of SU

τ	Optimal range of SU
10ms	2~7
20ms	3~9
30ms	4~12

V. 결 론

본 연구에서는 DC서보모터와 같이 매우 빠른 제어주기를 요하는 시스템의 경우의 퍼지추론을 위하여 실시간퍼지제어를 설계하였다. 실시간 퍼지추론을 위하여 최소제어규칙의 선택법을 제안 하였으며 사용된 퍼지제어기는 연속적인 퍼지입력변수를 사용하기 위한 삼각형 멤버십함수를 사용할 수 있는 퍼지추론이 가능하였다.

DC서보모터의 위치제어에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션한 결과 제안한 최소제어규칙 선택법은 기존의 모든 제어규칙을 이용한 퍼지추론보다 매우 빠른 추론시간을 보여 주었으며 실시간 퍼지제어가 가능하였다. 또한 연속적인 퍼지입력변수를 사용할 수 있게 됨에 따라 환산계수 SU만을 독립적으로 변화시킬 수 있었다. SU의 변화에 따른 응답특성을 관찰한 결과 SU는 DC서보모터의 기계적시정수에 따라 일정범위의 양호한 제어특성을 보이는 범위를 갖으며 환산계수 SU를 증가시키에 따라 플랜트의 파라미터의 극심한 변화에도 강한 응답특성을 보임을 알게 되었다.

VI 참고 문헌

- [1] Y. F. Li and C. C. Lau, "Development of fuzzy algorithms for servo systems," *IEEE Control Systems Magazine*, pp. 65~71, 1989.
- [2] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems:fuzzy logic controller - Part I," *IEEE. Trans. Syst. Man. Cybern.* vol. 20, pp. 404~418, 1995.
- [3] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems:fuzzy logic controller - Part II," *IEEE. Trans. Syst. Man. Cybern.* vol. 20, pp. 418~435, 1995.
- [4] E. H. Mamdani, "Applications of fuzzy algorithm for simple dynamic plant," *Proc. IEE*, vol. 121, no. 12, pp. 1585~1588, 1974.
- [5] T. J. Procyk and E. H. Mamdani, "The application of fuzzy control systems to industrial processes," *Automatica*, vol.13, pp. 235~242, 1977.
- [6] T. J. Procyk and E. H. Mamdani, "A linguistic self-organizing process controller," *Automatica*, vol.15, pp.15~30, 1979.
- [7] E. H. Mamdani and Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *Int. J. Man-Machine Studies*, vol.7, no.1, pp.1~13, 1975.
- [8] Mikio Maeda et all, " Design of the self tuning fuzzy controller", *Proc. inter. confer. FLC. and NN, IEEE., Control systems*, pp.393~396, 1990
- [9] C. J. Harris, C. G. Moore and M. Brown, *Intelligent Control*, Singapore: World Scientific Publishing, 1993.