

위치형퍼지제어기와 속도형퍼지제어기로 구성된
퍼지 가중치 제어기

Weighted Fuzzy Controller composed of Position Type Fuzzy Controller and
Velocity Type Fuzzy Controller

°김 병 수*, 박 준 열**

*홍익대학교 전자공학과 (Tel: 320-1123; Fax: 320-1119)

**홍익대학교 전자공학과(Tel: 320-1636; Fax: 320-1119; E-mail: parkjy@www.hongik.ac.kr)

Abstracts Generally, While position type fuzzy controller has good performance in transient period, it has uniform steady state error of response. While velocity type fuzzy controller is capable of reducing steady state error of response, it is hard to develop the performance in transient period. In order to have both good performance in transient period and ability to reduce the steady state error of response, weighting fuzzy controller, which is composed of these two fuzzy controllers, is proposed. For the descision of weight to each fuzzy controller, Weighting fuzzy set is established according to the system state variables and applied to each fuzzy controller.

The proposed weighted fuzzy controller has the merits of both position type fuzzy controller and velocity type fuzzy controller simultaneously.

Keywords Position type fuzzy controller, Velocity type fuzzy controller, Weighting fuzzy set, Weighted fuzzy controller

1. 서론

일반제어이론을 이용해서 시스템을 제어할 경우에는 그 시스템에 대한 수학적 모델을 구해내야 한다. 단순한 시스템일 경우에는 어렵지 않으나, 복잡해지면 수학적 모델을 구하기가 힘들고, 실제 제어대상과의 모델링 오차는 생기기 마련이어서 수학적 모델로 설계한 제어기가 실제 환경에서 설계성능을 만족하지 못하는 경우가 많다.

이에 반해, 퍼지 이론은 시스템이 비선형이고 복잡한 시스템 일지라도 수학적 해석이 반드시 필요한 것은 아니며, 제어기 구성시 인간의 사고를 모방한 알고리즘을 사용하므로써 외부 변화에 따라 종합적 판단으로 기존의 해결하기 어려운 문제점을 개선할 수 있다[1].

시스템 상태변수(system state variable)에따라 위치형 퍼지제어기(Position type fuzzy controller)는 시스템의 제어입력 자체를 출력시키는 반면에, 속도형 퍼지제어기(Velocity type fuzzy controller)는 현재의 제어기 출력과 이전의 제어기 출력의 차를 시스템의 제어입력으로 출력시킨다.

위치형 퍼지제어기는 파라미터(parameter)의 튜닝(tuning)이 쉽고 과도응답특성(performance in transient period)이 좋지만, 어떤 종류의 시스템에 대해서는 일정한 정상상태오차(steady state error)를 극복하지 못하는 단점이 있으며, 속도형 퍼지제어기는 정상상태 오차를 줄이는 능력을 가지고 있지만 과도응답특성을 개선하기가 2차이상의 시스템인 경우에는 매우 어렵다.

따라서, 위치형 퍼지제어기와 속도형 퍼지제어기의 장점을 가지는 제어기를 구성하기 위해서 가변구조 제어이론(Variable Structure Control Theory)의 개념을 이용한 방법이 제시되었다 [2].

본 논문에서는 위치형 퍼지제어기와 속도형 퍼지제어기의 장

점을 가지는 제어기를 구성하기 위해서 시스템의 상태변수에 대한 가중치 퍼지함수(Weighting fuzzy set)를 도입한 퍼지 가중치 제어기 (Weighted fuzzy controller)를 제안하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 이 논문을 이해하는데 필요한 위치형 퍼지제어기와 속도형 퍼지제어기의 구성도와 장·단점에대해 간략히 설명한다. 3장에서는 이 논문의 핵심인 가중치 퍼지 함수에 대해서 입력의 예와 함께 설명을 한다. 4장에서는 퍼지 가중치 제어기에 대해서 전체적인 설명을 한다. 5장에서는 간단한 시스템에 대해서 시뮬레이션을 보여준다. 6장에서는 결론을 맺고, 향후 연구과제를 논의한다.

2. 위치형 퍼지제어기와 속도형 퍼지제어기

2.1 위치형 퍼지제어기(Position type fuzzy controller)

위치형 퍼지제어기는 그림 1과 같은 구조로 되어 있다.

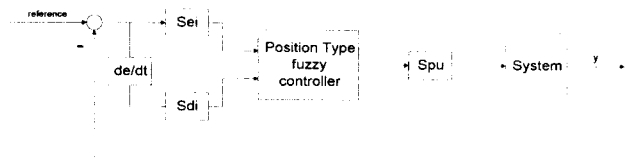


그림 1. 위치형 퍼지제어기

Fig. 1. Position type fuzzy controller

이 위치형 퍼지제어기는 순간적인 기울기를 측정하고 미리 큰

오버슈트(overshoot)을 예측하여 실제로 오버슈트가 생기기 전에 적절하게 보정을 하여 과도응답부분 즉, 상승시간(rising time), 오버슈트 그리고 수렴시간(settling time)을 적절하게 하는 것이 가능하지만, 일정한 정상상태오차(steady state error)가 발생하는 단점을 가지고 있다.

그림에서 Sei, Sdi, Spu등은 스케일링 계수이며, 제어기의 출력을 그대로 시스템의 제어입력으로 사용하고 있다.

2.2 속도형 퍼지제어기(Velocity type fuzzy controller)

속도형 퍼지제어기는 그림 2와 같은 구조로 되어 있다.

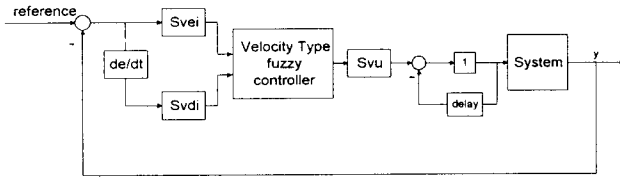


그림 2. 속도형 퍼지제어기
Fig. 2. Velocity type fuzzy controller

이 속도형 퍼지제어기는 정상상태오차(steady state error)를 줄이는 능력은 뛰어나지만, 적절한 상승시간과 오버슈트를 개선하기가 매우 어렵다.

그림에서 Svei, Svdi, Svu는 스케일링 계수이며, 현재 제어기의 출력과 이전의 제어기 출력과의 차를 시스템의 제어입력으로 하고 있다.

3. 가중치 퍼지 함수(Weighting Fuzzy Set)

위의 두가지 퍼지제어기의 장점을 모두 가진 제어기를 만들기 위해서, 과도상태에서는 속도형 퍼지제어기의 가중치를 낮추고 위치형 퍼지제어기의 가중치를 높여 빠른 상승시간과 적절한 오버슈트특성을 가지게 하고, 시스템 상태변수(system state variable) e와 de/dt의 절대값이 작아질수록 속도형 퍼지제어기의 가중치를 높이고 위치형 퍼지제어기의 가중치를 낮추어주면 될 것이다.

따라서, 가중치 퍼지 함수를 제안한다.

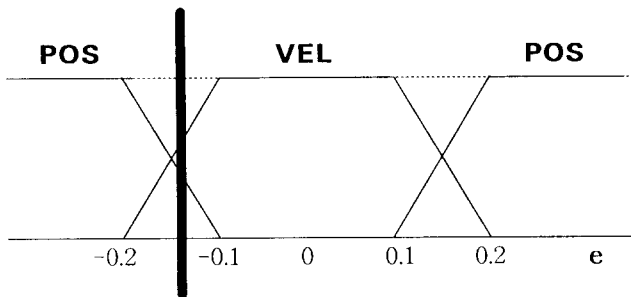


그림 3. e에 대한 가중치 퍼지 함수와 입력의 예.
Fig. 3. Weighting Fuzzy Set and input example for e.

그림 3과 같이 입력 e가 $-0.2 < e < -0.1$ 의 값인 경우, 퍼지변수(fuzzy variable) POS와 VEL에 대해 각각 '0'과 '1' 사이의 소속

도 함수(membership function)값을 가지게 된다.

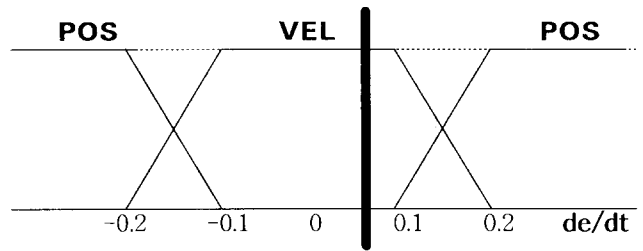


그림 4. de/dt에 대한 가중치 퍼지 함수와 입력의 예.
Fig. 4. Weighting Fuzzy Set and input example for de/dt.

de/dt에 대해서는 그림 4와 같이 입력 de/dt가 $0 < de/dt < 0.1$ 인 경우 퍼지변수 VEL은 소속도함수 '1'의 값을 가지고, POS는 '0'의 값을 가지게 된다.

그림 3과 4가 본 논문의 핵심이 되며 그림 5에서 Weighter에 포함된다.

4. 퍼지 가중치 제어기 (Weighted Fuzzy Controller)

퍼지 가중치 제어기의 전체적인 개략도는 그림 4와 같다.

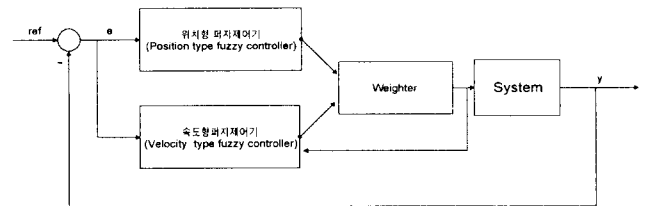


그림 5. 퍼지 가중치 제어기
Fig. 5. Weighted Fuzzy Controller

그림1과 2에 있는 de/dt와 스케일(scale)상수 블록(block)들은 각 제어기 블록에 포함되어 있다. 또한, 속도형 퍼지제어기 블록 내에 delay 블록도 포함되어 있다.

Weighter는 가중치 퍼지 함수에 의해서 소속도 함수값을 이용하여 제어입력을 구해낸다. 각 퍼지제어기는 시스템변수 e와 de/dt에 의해 각각 두 개씩의 소속도 함수가 구해지므로 평균(mean)값을 취해서 이를 시스템 제어입력으로 구한다.

$$U_e = P \cdot POS_e + V \cdot VEL_e$$

$$U_{de/dt} = P \cdot POS_{de/dt} + V \cdot VEL_{de/dt}$$

$$U = (U_e + U_{de/dt}) / 2$$

U_e : 시스템 상태변수 e에서 구해진 제어입력

$U_{de/dt}$: 시스템 상태변수 de/dt에서 구해진 제어입력

U : 가중치 퍼지제어기의 출력(실제 시스템의 제어입력)

P : 위치형 퍼지제어기의 출력

V : 속도형 퍼지제어기의 출력

POS_e, VEL_e : 시스템 상태변수 e 에 대한 퍼지변수인 POS 와 VEL 의 소속도 함수값
 $POS_{de/dt}, VEL_{de/dt}$: 시스템 상태변수 de/dt 에 대한 퍼지변수인 POS 와 VEL 의 소속도 함수값

5. 시뮬레이션

전달함수가 $T(s)=1/s(s+1)$ 인 시스템에 대해서 위치형 퍼지제어기와 가변구조 퍼지제어기[2]와 본 논문에서 제안한 가중치 퍼지 제어기에 대해서 시뮬레이션을 하였다. 모든 스케일(scale) 조건과 기본적인 퍼지함수(fuzzy set)와 퍼지 룰(fuzzy rule)은 동일하다. 비퍼지화는 간략화된 COG(Center of Gravity)를 이용하였다[3].

그림 6과 7과 8에 각 제어기의 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

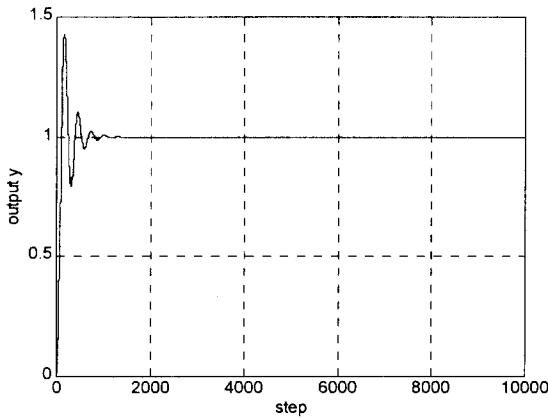


그림 6. 위치형 퍼지제어기의 시뮬레이션 결과
 Fig. 6. Simulation of Position type fuzzy controller

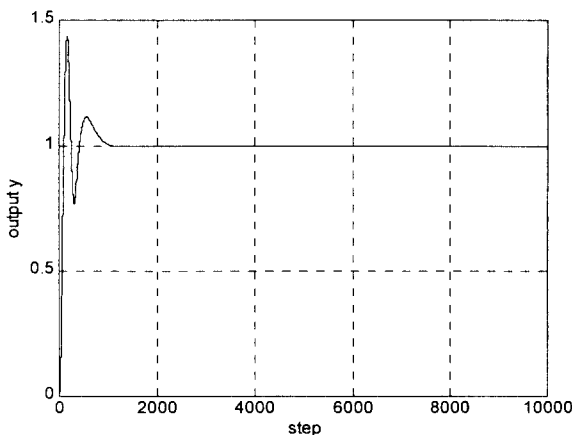


그림 7. 가변구조 퍼지제어기의 시뮬레이션 결과
 Fig. 7. Simulation of Fuzzy Variable Structure Controller

표 1에 보였듯이, 퍼지 가중치 제어기는 위치형 퍼지제어기와 가변구조 퍼지제어기보다 rising time은 느리지만, %OS가 현저하게 줄어들고 진동도 훨씬 적다. settling time은 위치형 퍼지제어기 보다는 약간 늦기는 하지만 가변구조 퍼지제어기와는 비슷

하다. 시뮬레이션은 Matlab을 이용하여 수행했다.

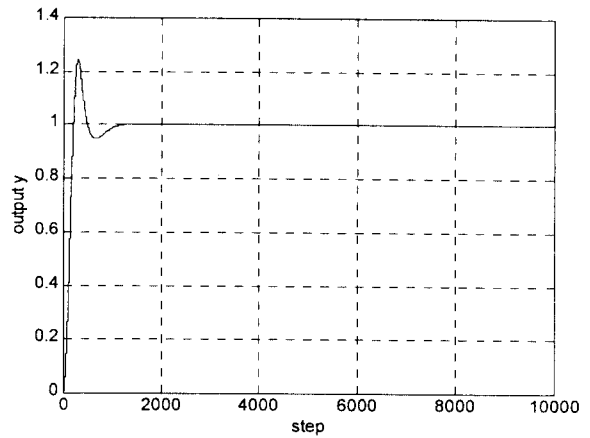


그림 8. 가중치 퍼지 제어기의 시뮬레이션 결과
 Fig. 8. Simulation of Weighted fuzzy controller

표 1. 시뮬레이션 결과

	위치형 퍼지제어기	가변구조 퍼지제어기	가중치 퍼지제어기
%OS	42.8	43.7	24.4
settling time	757 [step]	900 [step]	927 [step]
rising time	65 [step]	65[step]	130 [step]

Table 1. result of the simulation

6. 결론

위치형 퍼지제어기의 장점과 속도형 퍼지제어기의 장점을 모두 가지는 퍼지 가중치 제어기를 제안 했으며, 이에 대해서 시뮬레이션을 하고, 그 결과를 위치형 퍼지제어기, 가변구조 퍼지제어기와 비교했다.

각각의 시스템 상태변수에 대해서 정해진 가중치 퍼지 함수에 의해서 구해진 소속도 함수값을 이용해서 위치형 퍼지제어기와 속도형 퍼지제어기에 각각 가중치를 주어 제어입력을 구하므로써 기존의 위치형 퍼지제어기보다는 오버슈트, 진동, 수렴시간등이 월등히 작아짐을 볼 수있다. 또한, 수렴시간은 거의 비슷하지만 가변구조 퍼지제어기보다도 오버슈트와 진동이 현저하게 작아짐을 볼 수 있다.

다른 퍼지제어기와와의 비교를 위해서 일단은 선형 시스템에 적용을 해보았다. 앞으로의 과제는 비선형 시스템에 적용이다.

참고문헌

[1] 유창범, "퍼지이론을 이용한 역추 균형제어에 관한 연구", 홍익대학교 전자공학과, 1991.
 [2] 박현수, 이지홍, 채석, "위치형과 속도형 제어규칙을 갖는 가변구조 퍼지제어기", 한국퍼지시스템학회 논문지, 제 3권, pp. 56-67, 1993.
 [3] 이지홍, 채석, 오영석, "퍼지제어기의 멤버십함수의 튜닝 방법", 전자공학회논문지, 제 30권, pp. 138-146, 1993