

퍼지-슬라이딩모드 제어를 이용한 위치제어에 관한 연구

한경욱, 임영도
동아대학교 공과대학 전기전자컴퓨터공학부

Position Control of Fuzzy-Sliding Mode Controller

Kyung-Wook Han, Young-Do Lim
School of Electrical, Electronic and Computer Eng., Dong-A Univ.
E-mail : han5816@hanmail.net

ABSTRACT

We consider one of robust controller, fuzzy-sliding mode controller dealing with model uncertainty, simplified representation of nonlinear system, changed parameters of plant. We propose fuzzy-sliding mode algorithm which provides control input that has system states approaching the choosed sliding surface. This fuzzy controller has a rule base to get initial states converged on sliding surface.

This algorithm is applied to a transfer function of DC motor to be modeled simply and do position control of DC motor due to system parameters. We compare fuzzy-sliding mode controller to both sliding mode controller and fuzzy controller to identify roust control.

I. 서론

가변구조 시스템 이론에 기초를 둔 슬라이딩모드 제어는 제어 특성상 시스템 변수의 변동, 플랜트 모델링의 오차, 플랜트의 비선형 요소 및 외란에 대하여 강인한 제어 특성을 가지고 있는 제어기이다. 하지만 시스템의 파라미터가 변동할 경우 설계인자를 잘 설정해야 그 안정성을 보장 받을 수 있다. 그렇지 못할 경우 추종하는 설정치에 수렴하지 못하거나 정상상태 오차를 유발할 수 있다는 단점이 있다. 여기서 퍼지 제어기의

강인성을 접목하여 퍼지 제어기의 입력으로서 슬라이딩평면을 나타내는 S와 S의 미분값을 선택하고 슬라이딩모드 동작을 할 수 있도록 퍼지규칙과 입출력 소속함수를 적절히 선택하여 정상상태 오차의 유발을 방지하고 보다 강인한 제어를 하고자 한다. 퍼지-슬라이딩모드 제어기의 특성을 살펴보기 위해서 dc 모터를 플랜트로 설정하고 모델링하여 모터의 파라메타 변동시에 퍼지제어기, 슬라이딩모드 제어기, 퍼지-슬라이딩모드 제어기의 제어 입력값과 출력값인 위치, 속도성분을 비교하고자 한다. 따라서 본 논문에서는 기존의 슬라이딩 모드를 갖는 스위칭 동태 방정식을 도입한 방법의 슬라이딩 모드 알고리즘에 퍼지 알고리즘을 부가한 퍼지-슬라이딩모드 알고리즘과 기존의 슬라이딩모드 알고리즘과 비교하여 더 뛰어난 강인성을 보장하고자 한다

II. 본론

1. 슬라이딩모드 알고리즘

슬라이딩모드 제어는 제어 특성상 시스템 변수의 변동, 플랜트 모델링의 오차, 플랜트의 비선형 요소 및 외란에 대하여 강인한 제어 특성을 가지고 있는 제어기이다. 다음과 같은 2차 시스템을 생각하자.

$$\dot{X}(t) = [A_0 + \Delta A(t)]X(t) + [B_0 + \Delta B(t)]U(t)$$

여기서, $X \in R^n$, $U \in R^m$ 은 각각 상태 및 입력 벡터를 나타낸다. 그리고 ΔA 는 플랜트 파라미

터 변동을 나타내고 ΔB 는 플랜트와 제어기 사이의 파라미터 변동을 나타낸다. 슬라이딩 평면 S 는 다음과 같이 나타낸다.

$$S_j = \{ X \mid C_j X_j = 0 \} \quad (j=1, 2, \dots, m)$$

여기서, $C_j \in R^{1 \times n}$ 는 행벡터이다. 슬라이딩 모드 동작을 하기 위해서는 스위칭 평면 근방에 있는 모든 상태계적들은 이 평면으로 향해야 한다. 따라서 슬라이딩 모드가 일어날 조건은 다음과 같다.

$$\lim_{s \rightarrow 0} S_j \dot{S}_j < 0$$

따라서 상태가 초기위치로부터 스위칭 평면까지 도달하게 제적을 다음과 같이 정의한다.

$$\dot{S} = -\alpha S, \quad (\alpha = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m, \alpha_i > 0)$$

상태가 초기 위치로부터 슬라이딩 평면에 도달하게 하는 입력은 다음과 같다.

$$U = U_{eq} + \Delta U$$

$$U_{eq} = -KX = -(CB_0)^{-1} CA_0 X$$

$$\Delta U = -\Delta KX = -(CB_0)^{-1} \alpha CX$$

2. 퍼지-슬라이딩모드 알고리즘

슬라이딩모드 제어기는 시스템의 변화에 대해서 강인한 특성을 가지고 있다. 하지만 초기의 상태 값으로부터 슬라이딩 평면까지 도달하도록 하는 적절한 제어입력 값이 설정되어야 하는데 그 값을 설정하는데 있어서 설계인자를 잘 고려해야 하고 시스템의 파라미터가 변동할 경우 시스템의 안정성을 보장할 수 있도록 설계해야 한다. 여기서 퍼지 제어를 이용하여 초기의 상태 값으로부터 슬라이딩 평면까지 초기 상태값을 유도하도록 하는 퍼지-슬라이딩모드 제어를 구성한다. 상태가 초기위치로부터 슬라이딩 모드 동작을 하도록 하는 제어 입력은 다음과 같다.

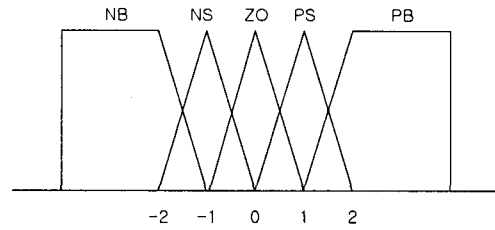
$$U = U_{eq} + \Delta U$$

$$U_{eq} = -KX = -(CB_0)^{-1} CA_0 X$$

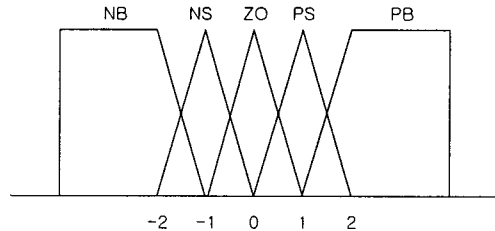
$$\Delta U = -\Delta KX = -(CB_0)^{-1} \alpha \cdot F(S, dS/dt)$$

$F(S, dS/dt)$ 의 퍼지 제어기 출력값은 상태값이 슬라이딩 평면에 도달하도록 하는 퍼지 규칙에 의해서 적당한 값으로 추론되어진다. 즉, 초기 상태에서 슬라이딩 평면까지의 경로를 퍼지 제어기에 의해서 결정하게 된다. 제안된 퍼지 슬라이딩 모드 제어기의 입출력 변수의 소속 함수는 다음

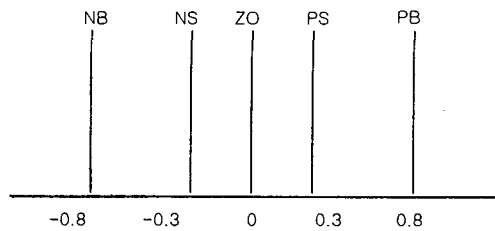
과 같다.



a) Membership function of s



b) Membership function of ds/dt



(c) Membership function of $F(s, ds)$

Fig. 1. Schematic of input and out membership function

그림1의 (a)와 (b)로부터 각 입력 s 와 ds 의 퍼지값이 결정되고 입력변수의 퍼지값을 이용하여 상태 값이 슬라이딩 평면에 도달할 수 있도록 하는 퍼지규칙으로부터 추론된 퍼지값을 얻을 수 있다. 추론을 위한 퍼지규칙을 표로 나타내면 다음과 같다.

	s					
ds		NB	NS	ZO	PS	PB
	NB	NB	NB	NB	NS	ZO
	NS	NB	NS	NS	ZO	PS
	ZO	NB	NS	ZO	PS	PB
	PS	NS	ZO	PS	PS	PB
	PB	ZO	PS	PB	PB	PB

Table. 1. Control rule of fuzzy-sliding mode

3. 퍼지-슬라이딩모드 제어기 구성

각 상태값은 아래와 같이 정의하고 시스템의 상태방정식은 다음과 같다.

$$x_1 = \theta - \theta_{ref}$$

$$x_2 = \omega$$

$$\dot{x}_1 = \dot{\theta} = \omega = x_2$$

$$\dot{x}_2 = \dot{\omega} = -\frac{1}{\tau_m} x_2 + \frac{K_m}{\tau_m} u$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{1}{\tau_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_m}{\tau_m} \end{bmatrix} u$$

그림2는 위치제어를 위한 퍼지-슬라이딩모드 제어기의 전체 블록도이다.

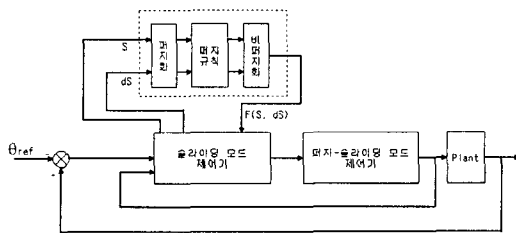


Fig. 2. Block diagram of fuzzy-sliding mode controller

4. 시뮬레이션 및 결과

시스템의 파라미터를 10%변동했을 때 슬라이딩 모드 제어기와 퍼지슬라이딩모드 제어기의 입출력 값은 다음과 같다. 슬라이딩모드 제어기의 제어입력과 위치는 각각 언더슈트와 오버슈트가 발생하였지만 퍼지-슬라이딩모드 제어기는 레퍼런스를 잘 추종함을 볼 수 있다.

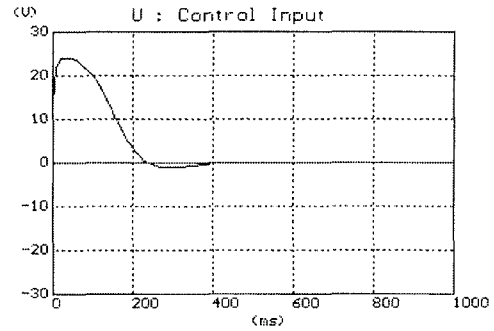


Fig. 3. Control input waveform of SMC (10% parameter change)

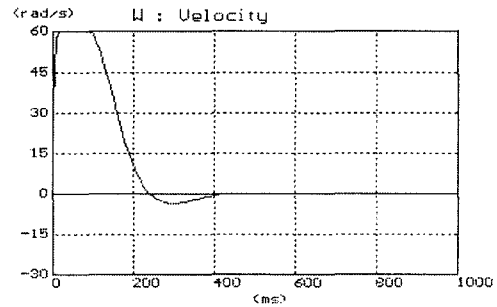


Fig. 4. Velocity waveform of SMC (10% parameter change)

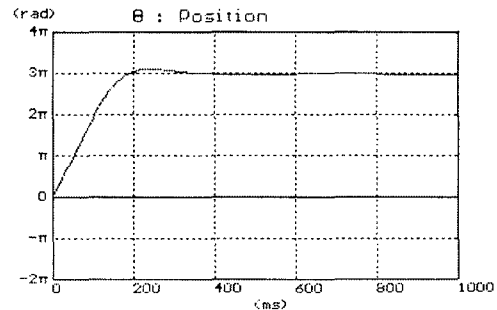


Fig. 5. Position waveform of SMC (10% parameter change)

III. 참고문헌

- [1] 변중남, Fuzzy-Logic Control, 홍릉과학출판사, 1997
- [2] Jean-Jacques E. Slotine, Applied Nonlinear Control, 1980
- [3] V. I. Utkin, Sliding Modes and Their Application in Variable Structure System, 1970
- [4] H.T.Nguyen, C.-W. Tao, W.E. Thompson, "An Empirical Study of Robustness of Fuzzy System", Proc. of 2nd I.E.E.E Int 1. Conf. on Fuzzy System

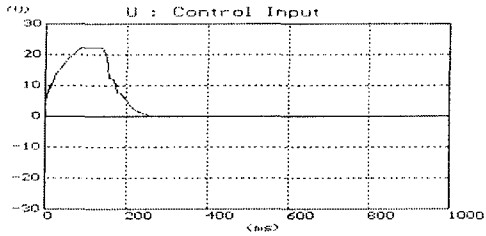


Fig. 6. Control input waveform of F-SMC(10% parameter change)

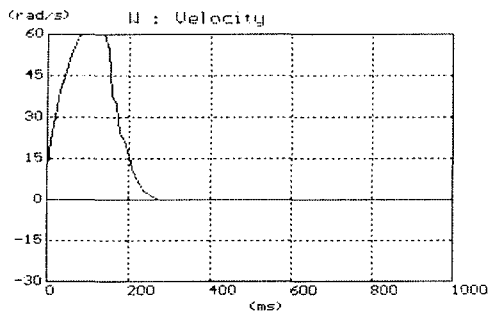


Fig. 7. Velocity waveform of F-SMC (10% parameter change)

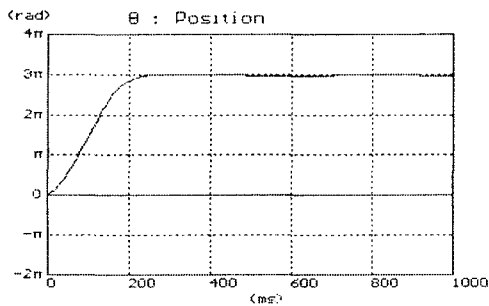


Fig. 8. Position waveform of F-SMC (10% parameter change)