

최부귀, 이형기, 권세현  
동아대 부산공업대 동아대

Improvement of response in model reference adaptive control system using sliding-mode control method

Choi Bu Gui Lee Hyoung Ki Kwon Se Hyun  
Dong-A Univ. Pusan National Insiti- Dong-A Univ.  
tude of Technology

Abstract

The sliding mode control in an effective method to establish robustness against parameter variation and disturbance. But, In sliding mode strategy, the control function is discontinuous on the hyperplane.

However the discontinuous change in control structure caves the controller input to chaffer and gives non-zero steady state error.

Consequently, a multiloop feedback control system supplemented by a complelimentary controller is used to improved the drive performance of a DC servo motor and reduce sensitivity to parameter variation, nonlinear effects, and other disturbances.

I. 서론

직류 servo moter는 산업용 로보트 조작을 위해서 광범위하게 이용되어 왔다. 그러나 파라메타 변동에 기인하는 동적변화를 갖기 때문에 시스템의 파라메타 변동, 비선형 효과, 부하의 변동, 외란에 강인한 제어기의 설계가 요구하고 있다.

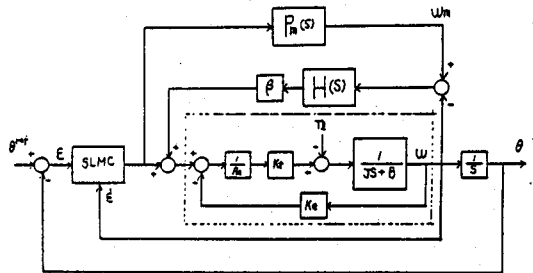
가변구조 제어시스템으로 알려진 슬라이딩 모드 제어는 상태변수가 미리 정해진 불연속면을 통과할때마다 시스템의 구조를 전환(switching)하여 불연속면을 따라 빠르게 미끄러지도록(slide) 함으로써 새로운 특성을 갖는 방법이다.(1-2)

그러나 제어구조의 불연속적인 가변으로 인하여 제어기의 입력이 진동하게 되어 손실증가의 원인이 되며, 원점부근의 무한진동은 정상상태 오차가 있게 된다.(3-4)

따라서 본 연구에서는 MARC 시스템에 슬라이딩 모드 제어기를 첨가하여 파라메타 변동, 부하의 변동, 외란에 대하여 매우 강인한 제어기를 구성하였으며, 정상상태 오차도 최소한 줄였다.

II. 제어기의 구성

본 연구에서 제안한 시스템은 그림(1)과 같으며, SLMC는 슬라이딩 모드 제어기이며, P(s)는 제어대상, Pm(s)는 reference model, H(s)는 보상제어기이다.(4)



그림(1). 시스템의 구성도

Fig. 1 The block diagram of control system

그림(1)에서 슬라이딩 모드 시스템은 오차신호와 오차신호의 미분값에 따라 제어구조가 미리 정해진 궤도를 따라 불연속적으로 변화함으로써 파라메타 변동과 부하의 변동, 외란에 강인한 성질을 나타낸다. 슬라이딩 모드드의 불연속적인 제어입력 \$V\$는 다음과 같다.

$$V = \phi_1 \cdot P_1 \cdot e + \phi_2 \cdot P_2 \cdot \dot{e} + d \cdot \text{sgn}(s) \quad (1)$$

여기서

$$P_1 = \begin{cases} 1, & \text{If } e \cdot s > 0 \\ -1, & \text{If } e \cdot s < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$P_2 = \begin{cases} 1, & \text{If } \dot{e} \cdot s > 0 \\ -1, & \text{If } \dot{e} \cdot s < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{sgn}(s) = \begin{cases} 1, & \text{If } s > 0 \\ -1, & \text{If } s < 0 \end{cases} \quad (4)$$

이며, phase-plane상에서 \$s\$의 부호에 따라 \$P\_1, P\_2\$의 값이 전환(switching)됨으로써 제어입력 \$V\$가 변화되어 위치오차가 위치오차의 각속도는 기준선으로 추종하게 된다. 스위칭(switching)함수는 다음과 같이 정의된다.

$$S = e \cdot T_c + \dot{e} \quad (5)$$

여기서 \$T\_c\$는 시스템의 응답특성에 따라 결정되는 슬라이딩 모드드의 기울기이다.

Sliding line의 궤도는 그림(2)와 같다.

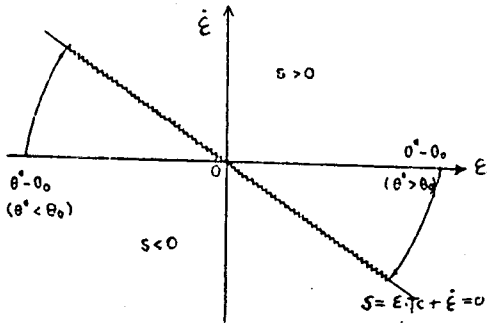


그림 (2). 슬라이딩 모우드의 위상평면 궤적  
Fig.2 Phase-plane trajectory of Sliding-mode

그림 (2)에서 각구조의 궤적이 반대방향으로 sliding line을 cross하기 때문에 cross over criteria를 정의하면 다음과 같다.

$$\lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{ds}{dt} < 0 \quad (6)$$

식 (6)은 sliding line의 존재조건식으로 식 (2), (3)의 개인을 결정하는데 매우 유용하다.

SLMC는 시스템의 응답속도, 정상상태 오차를 결정하며, 보상제어기는 파라메타 변동, 부하의 변동, 외란에 대한 감도를 감소시키는 역할을 한다.

그림 (1)에서 제어대상 P(s)와 reference model Pm(s), 보상제어기 H(s)에 대하여 나타내면 직류 servo motor는 전기적인 시정수를 무시하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & a \\ 0 & -a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ K \cdot K_p \end{bmatrix} V + \begin{bmatrix} 0 \\ -(1/J) \end{bmatrix} T_d \quad (7)$$

여기서 X<sub>1</sub>은 위치오차, X<sub>2</sub>는 위치오차의 각속도이며

$$a = (Ra \cdot B + Kt \cdot Ke) / (J \cdot Ra),$$

$$K = Kt / (Ra \cdot B + Kt \cdot Ke)$$

로서 주어진다.

Reference model Pm(s)는 전기적인 시정수를 무시하면 다음과 같이 1차 시스템으로 표현된다.

$$P_m(s) = \frac{K_m}{T_m s + 1} \quad (8)$$

여기서 K<sub>m</sub>=1/Ke\*, T<sub>m</sub>=J\*·Ra\*/Kt\*·Ke\*이며, 첫부분에 나타낸 asterisks(\*)는 파라메타의 nominal 값이다.

보상제어기 H(s)는 식 (8)의 역시스템에 이득 β를 곱한 것으로 미분기 형태로 주어지기 때문에 Pole-zero 전달함수 형태로 설계해야 한다.

$$H(s) = \frac{\beta \cdot (T_m s + 1)}{K_m \cdot (\tau s + 1)} = \frac{\beta}{K_m} \left[ \tau s - \frac{(T_m/\tau) - 1}{\tau s + 1} \right] \quad (9)$$

여기서 시정수 τ는 임의의로 선택되어 지나 잠음주파수 대역에서 제한된다.

그러나 시정수 τ는 discrete 시스템의 안정함을 위해서 충분히 커야 하며, sampling time T는 감도를 감소시키기 위해서 충분히 작아야 한다.

### III. 시뮬레이션

본 연구에서 설계한 제어시스템을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 응답특성을 고찰하였다.

시뮬레이션 프로그램의 전체흐름선도는 그림 (3)과 같다.

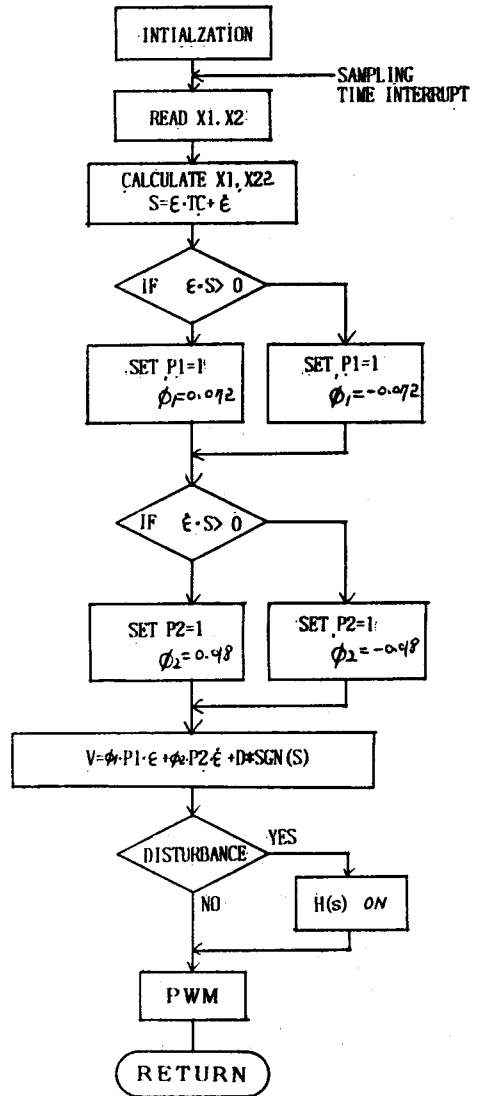
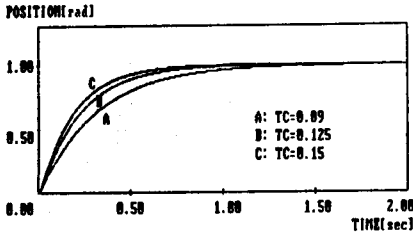


그림 (3). 제어시스템의 흐름선도  
Fig. 3 The Flowchart of control system

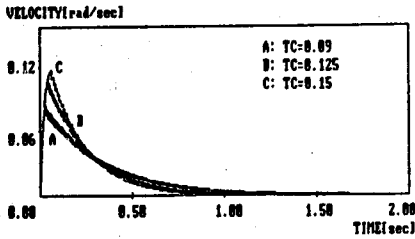
여기서 식 (1)로서 제어입력 V를 계산하고 슬라이딩 모우드 조건식 식 (5)에 따라 위치제어 특성이 되도록 하였다. 또한 슬라이딩 모우드 범위를 벗어나지 않도록 식 (6)을 만족하도록 프로그램 하였다.

슬라이딩 모우드 제어기와 보상기의 sampling time 1[msec]로 하였으며, 시정수 τ는 100[msec]로 하였다.

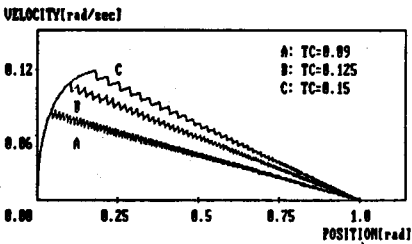
그림 (4)의 a, b, c는 sliding line의 기울기 Tc를 변화하였을 경우에 위치응답, 속도응답, 위상평면 궤적을 나타내었다.



(a)



(b)

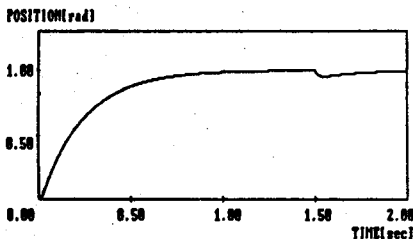


(c)

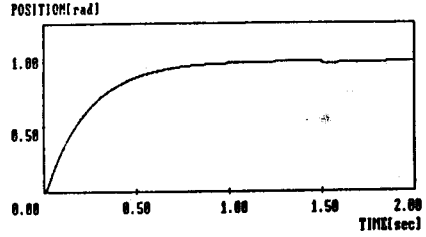
그림 (4). (a) 위치응답 특성, (b) 속도응답 특성, (c) 위상평면 궤적

Fig. 4. (a) Characteristic of position response  
(b) Characteristic of velocity response  
(c) Phase-plane trajectory

그림 (4), (a)에서 위치응답은 슬라이딩 모우드 제어에서 식 (5)의 특성에 따라 위치응답 특성을 얻을 수 있다.



(a)



(b)

그림 (5). (a) 적응제어가 없을 경우  
부하변동 특성곡선  
(b) 적응제어기와 슬라이딩 모우드 제어기일  
경우 부하변동 특성곡선

Fig. 5 Experimental examples of position response to the change of load torque disturbance  
(a)-without complementary controller  
(b)-with complementary controller

그림 (5), (a)는 부하토크  $T_L = 0.5$ 를 인가했을 경우 적응제어 시스템이 없이 슬라이딩 모우드 제어만을 행하였을 때의 위치응답 특성이다.

그림 (5), (b)는 부하토크  $T_L = 0.5$ 일 때 적응제어 시스템과 슬라이딩 모우드 제어를 동시에 실행하였을 경우의 위치응답 특성이다.

여기서 설정위치 변동에 대해서는 슬라이딩 모우드에 의하여 시스템이 동작하기 때문에 슬라이딩 모우드 제어와 적응제어를 동시에 실행한 것은 위치응답이 거의 같았다.

그러나 부하변동시는 적응제어기와 슬라이딩 모우드를 동시에 실행한 것은 정상상태 편차가 매우 감소함을 알 수 있다.

따라서 파라메타 변동에 대하여 적응제어 시스템에 슬라이딩 모우드를 동시에 실행했을 경우 견실성이 매우 증대됨을 알 수 있다.

그림 (6)은 토크 특성을 나타낸 것이다.

$T=0.001$   
 $\mu=0.072$   $\delta=0.010$   
 $\beta=0.00135$   $TC=0.125$

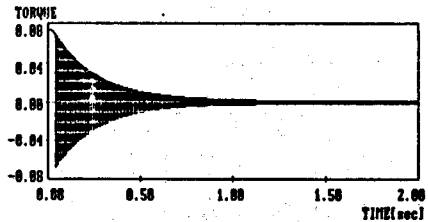


그림 (6). 위치제어 시스템의 토크 특성곡선  
Fig. 6 Characteristic curve of torque in position control system

#### IV. 결 론

본 연구에서 적응제어기에 슬라이딩 모드 제어를 참가했을 경우 위치제어의 실시간(real time) 제어가 가능하였으며, 적응제어기 혹은 슬라이딩 모드 제어를 썼을 경우의 파라메타 변동에 의한 건실성보다 적응제어와 슬라이딩 모드 제어를 동시에 실행한 것이 더욱 더 파라메타 변동에 대한 건실성이 크다는 것을 알 수 있었다.

따라서 적응제어 시스템에 슬라이딩 모드 제어를 실행한 경우 슬라이딩 모드에서의 슬라이딩 존재 조건을 결정하는 문제와 안정도에 대한 연구가 더욱 더 필요하리라 생각된다.

#### 참 고 문 헌

1. Y.Dote etc, "Microprocessor based sliding mode controller for DC motor drives", IEEE p641-645, 1980
2. Y.ITKIS, "Dynamic switching of Type-I/Type-II structures in Tracking servosystems", IEEE Trans. Cont, vol.AC-28, no.4, p531-534, 1983
3. Fumio Harashima.etc, "MOS FET Converter-Fed position servo system with sliding mode control", IEEE Trans. IND. ELEC., vol. IE-32, no.3, p238-244, 1985
4. Shin-Chang Lin.etc, "A Microprocessor-Based Incremental servo system with Variable structure", IEEE Trans. IND. ELEC., vol. IE-31, no.4, p313-316, 1984
5. Vengi Tamaki, etc, "Microprocessor-Based Robust control of a DC Servo Motor", IEEE Trans. IND. ELEC., p30-36, 1986