

비선형 시스템의 슬라이딩 모드 제어에 관한 연구

(A Study on the Sliding Mode Control of Nonlinear Systems)

李泰奉*, 朴俊烈*, 韓上洙*

(Tae Bong Lee, Joon Yeal Park and Sang Soo Han)

要約

본 논문에서는 정합조건을 만족하며 그 크기를 알고 있는 불확실성을 갖는 비선형 시스템을 대상으로 강인한 제어에 관한 연구를 수행하였다. 제안된 알고리즘은 가변구조 이론에 근거하고 있으며 강인한 특성을 갖는 슬라이딩 모드를 얻기 위하여 슬라이딩 평면을 설정하고 평면의 동특성을 특정하게 놓아 이로부터 제어입력을 구하였다. 제안된 알고리즘은 위상공간에서 상태벡터의 최소 도달속도를 임의로 설정하여 도달시간을 줄임으로써 구성된 제어 시스템의 강인성을 향상시킬 수 있는 특징을 가지고 있다. 수치예를 통해 제안된 알고리즘의 타당성을 제시하였다.

Abstract

In this paper, a robust control scheme of a nonlinear system with norm bounded uncertainty is studied. The proposed algorithm is based on variable structure systems (VSS) theory. The sliding mode which is robust to plant uncertainty and disturbances is obtained by regulating a sliding surface equation. This VSS control law can improve the robustness of control systems by adjusting the minimum reaching velocity in a reaching phase. A numerical example is given to verify the effectiveness of the control law.

1. 서론

최근 불확실성 및 외란이 존재하는 비선형 시스템을 대상으로 강인한(robust) 제어기 구성에 관한 연구가 활발히 진행되어 많은 이론적 발전을 하고 있다.^[1-4] 그 중 1950년대 소련에서 시작된 가변 구조 시스템(variable structure system) 이론^[5,6]에 근

거한 슬라이딩 모드(sliding mode) 제어기는 이론의 간략성과 구성된 제어 시스템이 갖는 슬라이딩 모드라는 강인한 특성 때문에 많은 학자들에 의하여 연구의 대상이 되고 있다.^[9-14]

가변구조 제어이론은 먼저 시스템의 위상공간에 제어목적에 맞는 임의의 평면 - 슬라이딩 평면 혹은 스위칭 평면이라 함 - 을 설정하고 시스템의 상태궤적이 설정된 평면에 도달하도록 하여 이후 입력의 고속 스위칭을 통하여 시스템의 상태궤적이 설정된 평면을 따라 움직이도록 이를 슬라이딩 모드라 함 - 하는 것이다. 이러한 구조적인 특성으로 인하여 단일 입력

* 正會員, 弘益大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng. HongIk Univ.)
接受日字 : 1993年 4月 1日

시스템의 경우 하나의 시스템에 궁극적으로 두개의 구조가 존재하게 되고 시스템의 운동 특성 또한 크게 임의의 초기치로부터 설정된 평면에 도달하기까지의 도달구간(reaching phase)과 평면에 도달한 후 평면을 따라 움직이는 슬라이딩 모드의 두 구간으로 나뉘어져 있다. 한편 가변구조 제어기는 비 슬라이딩 모드 구간인 도달구간에서는 시스템의 강인성이 보장되지 않으며 슬라이딩 모드에서는 시스템이 갖는 보호성, 시간지연 요소 혹은 히스테리시스 등에 의한 고주파 떨림현상(chattering)이 존재하여 시스템의 모델화되지 않은 고주파 특성을 여기 시키는 등 바람직하지 않은 특성을 가지고 있다. 따라서 기존의 가변구조 제어기에 관한 많은 연구가 이들 구간에서의 문제점 즉, 도달시간을 줄이고 슬라이딩 모드에서의 떨림현상을 줄이고자 하는 것에 집중되고 있다.^{[11][14][15]}

본 논문에서는 선형 상태궤환 제어와 동등한 구조를 갖게 되는 설정된 슬라이딩 평면의 동특성을 특정하게 설정하는 방법을 이용하여 슬라이딩 모드를 갖는 새로운 가변 구조 제어기 구성 방법을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 도달구간에서 평면에 이르는 최소속도의 설정이 가능하여 도달시간을 줄임으로써 구성된 전체 시스템의 강인성을 향상시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 1장 서론에 이어 2장에서 기존의 가변 구조 이론을 설명하고 3장에서 제안 알고리즘을, 4장에서는 수치예를 통해 제안된 알고리즘의 타당성을 제시하였다.

II. 가변 구조 제어 이론

1. 시스템 표현

다음 식과 같이 표현되는 단일 입력 비선형 시스템을 생각하자.

$$\dot{x}_n = f(x, t) + g(x, t)u(t) + d(t) \tag{1}$$

상기 식에서 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \equiv (x_1, \dot{x}_2, \dots, x_1^{(n-1)})^T \in R^n$ 은 시스템의 상태벡터, $u(t) \in R$ 은 제어입력이고 $f: R^n \times R \rightarrow R$, $g: R^n \times R \rightarrow R$ 은 연속 함수이며 $d: R \rightarrow R$ 는 외란이다. 함수 $f(x, t)$ 와 $g(x, t)$ 는 불확실성을 포함하고 있으며 이들은 각각 공칭값(nominal value) $f^0(x, t)$ 와 $g^0(x, t)$, 불확실성 $\Delta f(x, t)$ 와 $\Delta g(x, t)$ 로써 다음과 같이 표현된다고 하자.

$$\begin{aligned} f(x, t) &= f^0(x, t) + \Delta f(x, t) \\ g(x, t) &= g^0(x, t) + \Delta g(x, t) \end{aligned} \tag{2}$$

따라서 불확실성과 외란이 없는 경우 (1)의 공칭 시스템(nominal system)은 다음과 같다.

$$\dot{x} = f^0(x, t) + g^0(x, t)u_n(t) \tag{3}$$

(3)식에서 $u_n(t)$ 는 공칭 시스템의 입력을 뜻한다. 한편 (1)식과 같은 시스템은 구조적으로 정합조건(matching condition)^[2]을 만족하므로 불확실성 및 외란은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta f(x, t) + \Delta g(x, t)u_n(t) + d(t) = g^0(X, t) [\tilde{f}(X, t) + \tilde{g}(X, t) + \tilde{d}(t)]$$

따라서 (1)식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\dot{x}_n = f^0(x, t) + g^0(X, t) [u(t) + e(x, t)] \tag{4}$$

여기서 $g^0(x, t)e(x, t) = \Delta f(x, t) + \Delta g(x, t)u(t) + d(t)$ 이다.

슬라이딩 모드 제어를 구성하기 위해 먼저 (1), (4) 식에 대해 다음을 가정한다.

- 가정 1) 불확실성 $\Delta f(x, t)$, $\Delta g(x, t)$ 및 외란 $d(t)$ 는 각각의 인자에 대하여 연속이다.
- 가정 2) $g(x, t) \neq 0, \forall (x, t) \in R^n \times R$
- 가정 3) $|e(x, t)| \leq \rho$ 이며 $\rho > 0$ 는 알고 있는 값이다.

이후 표기상의 혼란이 없는 경우 각 함수의 인자를 생략하기로 한다.

2. 슬라이딩 평면 및 제어입력

가변 구조 제어시스템의 구성은 먼저 슬라이딩 모드를 위한 슬라이딩 평면 혹은 스위칭 평면의 설정으로부터 시작되며 이는 등가 제어방법(equivalent control method)^[8]으로 비선형의 동특성을 갖도록 하는 것이 가능하지만 그 특성의 분석과 안정도 해석이 문제가 되므로 대부분의 경우 다음과 같이 선형함수를 택하게 된다.

$$\begin{aligned} s(x) &= Cx \\ &= \sum_{i=1}^n c_i x_i, \quad c_n = 1 \\ &= 0 \end{aligned} \tag{5}$$

여기서 $C = [c_1, c_2, \dots, c_{n-1}, 1]$ 이며 계수 c_i 는 (5)식의 평면상에서 시스템의 운동 방정식 $s(x) = 0$ 가 안정하도록 설정하면 된다.^[7] 한편 설정된 평면 (5)식에서 슬라이딩 모드를 얻기 위하여 제어입력 $u(t)$ 는 다음의 조건을 만족해야 한다.^[5]

$$\lim_{s \rightarrow 0^+} \dot{s}(x) < 0, \quad \lim_{s \rightarrow 0^-} \dot{s}(x) > 0, \quad (6)$$

이를 하나의 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$s \cdot \dot{s} < 0 \quad (7)$$

상기조건을 만족하는 제어입력 $u(t)$ 는 $s=0$ 를 경계로 다음과 같은 불연속적인 형태를 갖게 된다.

$$u(t) = \begin{cases} u^+(t) & \text{if } s(x) > 0 \\ u^-(t) & \text{if } s(x) < 0 \end{cases} \quad (8)$$

이상으로 가변구조 제어 알고리즘을 간략하게 살펴 보았으며 이하에서는 이를 이용하여 새로운 제어방법을 제안하고자 한다.

III. 제안 알고리즘

먼저 (5)식의 평면 방정식을 이용하여 다음식과 같은 동 방정식을 정의하자.

$$\dot{s} + zs = 0, \quad z \in R > 0 \quad (9)$$

위 식은 s 에 관한 1차 상 미분 방정식으로 그 해를 구해보면 다음과 같다.

$$s(t) = s(0)e^{-zt} \quad (10)$$

여기서 $s(0) = Cx(0)$ 이며 $x(0)$ 는 시스템의 초기치이다. 한편 (9)식을 슬라이딩 모드 존재 조건식 (6)에 대입하면 다음과 같다.

$$s \cdot \dot{s} = -zs^2 < 0, \quad \forall s \neq 0 \quad (11)$$

(10)식과 (11)식으로부터 (9)식에 의하여 결정되는 제어입력은 슬라이딩 모드 존재 조건을 점근적으로 만족하며 z 는 그 수렴속도를 나타내고 있음을 알 수 있다.

이제 (9)식에 의한 제어입력이 공칭 시스템 (3)을 안정화시키는 상태회환 제어법칙의 일종임을 보이고 이를 이용하여 (4)식의 불확실한 시스템을 대상으로 강인한 제어를 구성하기로 한다. 이를 위해 먼저 (9)식에 (5)식을 대입하면 다음과 같다.

$$\dot{x}_n = -\sum_{i=0}^{n-1} (c_i + zc_{i+1})x_{i+1}, \quad c_0 = 0 \quad (12)$$

상기 식에 공칭 시스템 (3)식을 대입하면 다음과 같다.

$$f^0(x, t) + g^0(x, t)u_n(t) = -\sum_{i=0}^{n-1} (c_i + zc_{i+1})x_{i+1} \quad (13)$$

(13)식에서 입력 $u_n(t)$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$u_n(t) = -g^0(x, t)^{-1} \left[f^0(x, t) + \sum_{i=0}^{n-1} (c_i + zc_{i+1})x_{i+1} \right] \quad (14)$$

(14)식의 제어입력을 (3)식에 대입하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_n &= f^0(x, t) + g^0(x, t)u_n \\ &= f^0(x, t) - \left[f^0(x, t) + \sum_{i=0}^{n-1} (c_i + zc_{i+1})x_{i+1} \right] \\ &= -\sum_{i=0}^{n-1} (c_i + zc_{i+1})x_{i+1} \end{aligned} \quad (15)$$

따라서 (14)식에 의해 구성된 제어 시스템의 동 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= x_{i+1}, \quad (i = 1, \dots, n-1) \\ \dot{x}_n &= -\sum_{i=0}^{n-1} (c_i + zc_{i+1})x_{i+1} \end{aligned} \quad (16)$$

한편 (16)식의 특성 방정식을 구해보면 다음과 같다.

$$(p+z)(p^{n-1} + c_{n-1}p^{n-2} + \dots + c_1) = 0 \quad (17)$$

여기서 $p = \frac{d}{dt}$ 인 미분 연산자를 나타낸다. 따라서 (17)식은 (5)식의 조건과 $z > 0$ 인 조건으로 부터 안정한 특성 방정식을 갖고 있으며 그 근은 c_i 와 z 에 의해 결정됨을 알 수 있다. 따라서 (9)식에 의한 제어법칙은 공칭 시스템 (3)식에 대하여 상태회환에 의한 극배치 제어의 경우와 동일하다. 이제 지금까지의 결과를 이용하여 (9)식으로부터 불확실한 시스템을 대상으로 강인한 제어를 구성하기로 한다. 이를 위해 먼저 (4)식의 시스템에 대하여 입력 $u(t)$ 를 다음과 같이 정의하자.

$$u(t) = -g^0(x, t)^{-1} (f^0 + kX) - h \cdot \text{sgn}(sg^0) \quad (18)$$

여기서 $k, h, \text{sgn}(sg^0)$ 는 각각 다음과 같다.

$$\text{sgn}(sg^0) = \begin{cases} 1, & \text{if } sg^0 > 0 \\ -1, & \text{if } sg^0 < 0 \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} kX &= \sum_{i=0}^{n-1} k_{i+1}x_{i+1} \\ h &\in R > 0 \end{aligned}$$

한편 (9)식에 (5)식을 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\dot{s} = -zs + \dot{x}_n + \sum_{i=0}^{n-1} (c_i + zc_{i+1})x_{i+1} \quad (20)$$

(20)식을 슬라이딩 모드 존재 조건식 (7)에 대입하면

$$s \cdot \dot{s} = -zs^2 + s \left[\dot{x}_n + \sum_{i=0}^{n-1} (c_i + zc_{i+1})x_{i+1} \right] < 0 \quad (21)$$

이 된다. (21)식의 조건은 시스템 (4)가 슬라이딩 모드를 갖기 위한 입력의 조건이므로 (21)식에 (4)식을 대입하면 입력 $u(t)$ 는 다음의 조건을 만족해야 한다.

$$s \cdot \dot{s} = -zs^2 + s \left[f^0(x, t) + g(x, t)(u(t) + e(x, t) + \sum_{i=0}^{n-1} (c_i + zc_{i+1})x_{i+1}) \right] < 0 \quad (22)$$

(22)식에서 우변 첫째 항은 항상 $-zs^2 < 0$ 을 만족하므로 슬라이딩 모드를 위한 입력의 조건은 다음과 동일하다.

$$s \left[f^0(x, t) + g^0(x, t)(u(t) + e(x, t) + \sum_{i=0}^{n-1} (c_i + zc_{i+1})x_{i+1}) \right] < 0 \quad (23)$$

(23)식에 (18)식을 대입하여 정리하면 다음 식과 같다.

$$s \left[-kX + g^0(x, t)(e(x, t) - h \cdot \text{sgn}(sg^0)) + \sum_{i=0}^{n-1} (c_i + zc_{i+1})x_{i+1} \right] < 0 \quad (24)$$

(24)식에 (19)식을 대입하면 다음과 같이 표현 된다.

$$sg^0(x, t) \left[-e(x, t) - h \cdot \text{sgn}(sg^0) \right] + s \left[\sum_{i=0}^{n-1} (c_i + zc_{i+1} - k_{i+1})x_{i+1} \right] < 0 \quad (25)$$

따라서 슬라이딩 모드를 위한 입력 $u(t)$ 의 제어이득은 다음을 만족하도록 결정되어야 함을 알 수 있다.

$$\begin{cases} k_i > c_i + zc_{i+1}, & \text{if } sx_{i+1} > 0 \\ k_i < c_i + zc_{i+1}, & \text{if } sx_{i+1} < 0, \quad (i = 0, \dots, n-1) \\ h > p \end{cases} \quad (26)$$

한편 제어이득이 (26)식을 만족하도록 입력을 결정하게 되면 결정된 입력 $u(t)$ 는 (22)식으로부터 슬라이딩 모드 조건식에 대해 항상 다음을 만족하게 됨을

알 수 있다.

$$s \cdot \dot{s} < -zs^2 < 0 \quad (27)$$

따라서 (23)식에 의한 제어입력은 $s \neq 0$ 인 모든 x 에 대하여 슬라이딩 모드 존재 조건을 만족하며 (27)식은 도달구간에서 슬라이딩 평면으로 향하는 속도의 최소치를 나타내고 있다. 따라서 z 의 선택은 도달구간에서의 최소속도를 결정하는 설계인자이며 z 를 크게 하면 도달시간은 줄어들게 됨을 알 수 있다.

IV. 수치예

본 장에서는 제안된 알고리즘의 타당성을 입증하기 위하여 단진자에 대하여 제안한 제어법칙을 적용하여 그 타당성을 입증하기로 한다.

그림 1은 길이 l , 질량 m 을 갖는 단진자이다. 수직축과의 변위가 $\theta(t)$ 일 때 단진자의 운동 방정식은 다음과 같다.

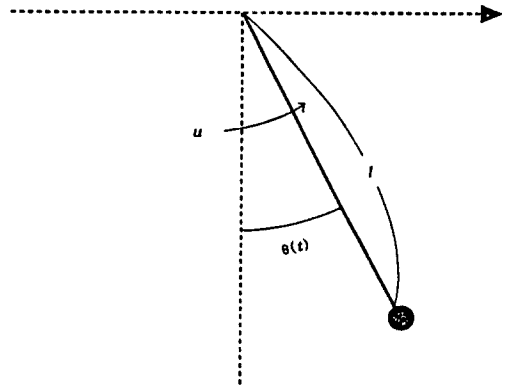


그림 1. 단진자

Fig. 1. Simple pendulum.

$$\ddot{\theta}(t) = -\frac{g}{l} \sin \theta(t) + u(t) - v(t) \cos \theta(t) \quad (28)$$

여기서 $u(t)$ 는 단위 질량당 제어 모우멘트이고 $v(t)$ 는 외란이다. 상기식을 상태방정식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -a \sin x_1 + u(t) - \frac{v(t)}{l} \cos x_1 \end{aligned} \quad (29)$$

여기서 $x_1 = \theta(t)$, $\dot{x}_1 = x_2 = \dot{\theta}(t)$ 이며 $a = \frac{g}{l} = 0$ 이다. $v(t) = \cos(t)$, $a=1$, $l=1$ 일때 (22)식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -\sin x_1 + u(t) - \cos(t)\cos x_1 \end{aligned} \quad (30)$$

(24)식은 (4)식에서 $n=2$, $f^0(x,t) = -\sin x_1$, $g^0(x,t) = 1$, $e(x,t) = -\cos(t)\cos x_1$ 이고 $\rho=1$ 이므로 제어입력 $u(t)$ 는 (23)식에서 다음을 만족해야 한다.

$$s(X) \left[-\sin x_1 + u - \cos x_1 \cos t + \sum_{i=0}^1 (c_i + zc_{i+1}x_{i+1}) \right] < 0, \quad c_0 = 0 \quad (31)$$

여기서 $s(X) = c_1x_1 + c_2x_2$ 이다. 따라서 입력 $u(t)$ 는 (14), (26) 식으로부터 다음과 같이 결정된다.

$$u = -g^0(x,t)^{-1}(k_1x_1 + k_2x_2) - (1 + \rho_0)sgn(s) \quad (32)$$

여기서 k_1 , k_2 및 ρ_0 는 다음과 같다.

$$\begin{cases} k_1 = zc_1 + k_{01}, & \text{if } sx_1 > 0 \\ k_1 = zc_1 - k_{01}, & \text{if } sx_1 < 0 \end{cases}, \quad k_{01} > 0$$

$$\begin{cases} k_2 = c_1 + zc_1 + k_{02}, & \text{if } sx_2 > 0 \\ k_2 = c_1 + zc_2 - k_{02}, & \text{if } sx_2 < 0 \end{cases}, \quad k_{02} > 0$$

$$\rho_0 > 0$$

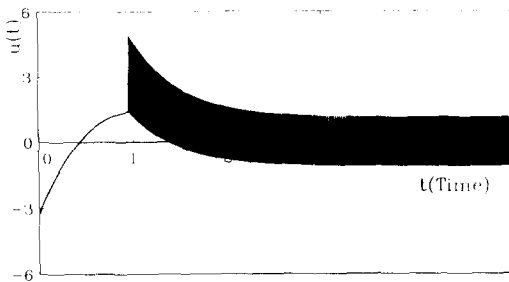


그림 2. $z=1$ 일때 제어입력 $u(t)$
Fig. 2. Control input $u(t)$ for $z=1$.

수치 연산을 위하여 평면 방정식의 계수는 $c_1=2$, $c_2=1$ 로 설정하였으며 $z=1$ 과 $z=2$ 의 결과를 서로 비교하였다. k_{01}, k_{02} 는 각각 0, 0.5로 선택하고 $\rho_0=0.1$ 을 사용하였다. 그림 2는 $z=1$ 일때 제어입력을 나타내고 그림 3은 $z=2$ 일때 제어입력을 나타낸다. 그림 4는 시스템의 상태 x_1 을, 그림 5는 위상공간에서 두 경우에 대한 상태궤적을 비교한 결과이다. 두 그림 모두

도달속도가 빠른 $z=2$ 인 경우가 시스템의 응답속도가 빠르다는 것을 알 수 있다.

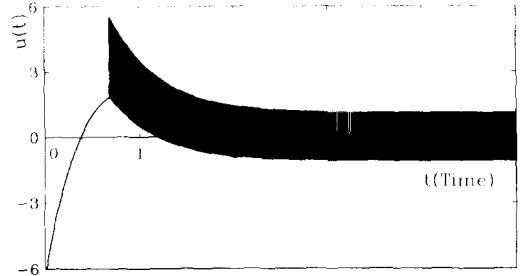


그림 3. $z=2$ 일때 제어입력 $u(t)$
Fig. 3. Control input $u(t)$ for $z=2$.

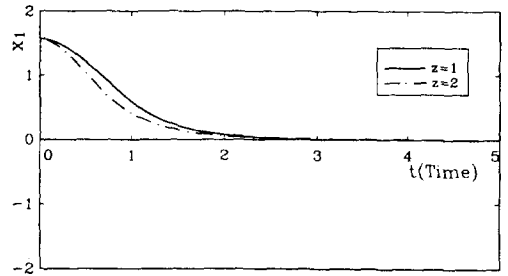


그림 4. 시간에 따른 x_1 의 변화
Fig. 4. x_1 vs. t.

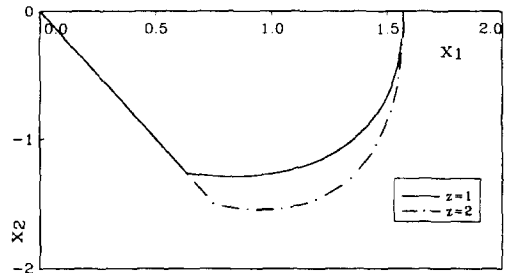


그림 5. 위상 공간에서의 상태 궤적
Fig. 5. State trajectory in phase space.

V. 결론 및 검토

본 논문에서는 정합조건을 만족하는 불확실성을 갖는 비선형 시스템을 대상으로 새로운 방식의 슬라이딩 모드 제어기법을 제안하였다. 먼저 설정된 슬라이딩 평면 방정식을 이용하여 점근적으로 슬라이딩 모드 존재조건을 만족하며 공칭 시스템을 안정화 시키

는 상태 제환 제어를 설정하고 이 결과를 불확실한 시스템에 적용하여 새로운 슬라이딩 모드 제어를 설계하였다. 제안된 제어기는 도달구간에서 평면에 이르는 도달속도의 최소값을 임의로 설정할 수 있어 도달시간을 줄임으로써 구성된 전체 제어 시스템의 강인성을 향상시킬 수 있음을 보여 주었다. 끝으로 단진자 시스템에 새로운 법칙을 적용하여 그 타당성을 입증하였다.

參 考 文 獻

- [1] S. Gutman, "Uncertain dynamical systems-Lyapunov min-max approach," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 24, pp. 437-443 1979.
- [2] M. J. Corless and G. Leitman, "Continuous state feedback guraranting uniform ultimate boundeness for uncertain dynamic systems," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. AC-26, no. 5, pp. 1139-1144 1981.
- [3] I. J. Ha and E. G. Gilbert, "Robust tracking in nonlinear systems," *IEEE Trans. on Automat. Contr.*, vol. AC-32, no. 9, pp. 763-771. 1987.
- [4] Y. H. Chen, "Design of robust controllers for uncertain dynamical systems," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 33, no. 5 pp. 487-491, 1988.
- [5] U. Itkis, Control systems of variable structure, J. Wiley and Sons Inc., New York, 1976.
- [6] V. I. Utkin, Sliding modes and their application in variable structure systems, Mir Publishers, Moscow, 1978.
- [7] V. I. Utkin, "Variable structure systems with sliding modes," *IEEE Trans Automat. Contr.*, vol. AC-22, no. 2, pp. 212-222, 1977.
- [8] R. A. DeCarlo, S. H. Zac and G. P. Mathews, "Variable structure control of nonlinear multivariable systems: A tutorial," *IEEE Proc.*, vol. 76, pp. 212-232, 1988.
- [9] S. H. Zac, "An eclectic approach to the state feedbsck control of nonlinear dynamical systems," *ASME J. Dynamic Syst. Measurement Control*, vol. 111, pp. 631-640, 1989.
- [10] E. P. Ryan, "A variable structure approach to feedback regulation of uncertain dynamical systems," *Int. J. Contr.*, vol. 38, no. 6, pp. 1121-1134, 1988.
- [11] J. J. Slotin and S. S. Sastry, "Tracking control of non-linear systems using sliding surface, with application to robot manipulator," *Int. J. Contr.*, vol. 38, no. 2, pp. 465-492, 1983.
- [12] J. J. Slotin, "Sliding controller design for non-linear systems," *Int. J. Contr.*, vol. 40, no. 2, pp. 421-434. 1984.
- [13] B. L. Walcott and S. H. Zak, "Combined observer-controller synthesis for uncertain dynamical systems with application," *IEEE Trans. Syst., Man., Cybern.*, vol. 18, no. 1, pp. 88-104, 1988.
- [14] R. G. Morgan and U. Ozguner, "Decentralized variable structure control algorithm for robot manipulators," *IEEE Trans. Robot. Automat.*, no. RA-1, pp. 57-65, 1985
- [15] J. Y. Park, T. B. Lee and H. K. Choi, "Robot Manipulator Control using Variable Structure System Theory," *KITE J. of Electronics Eng.* Vol. 2, No. 2, 1991.

著者紹介



李泰奉(正會員)

1961年 6月 26日生. 1986年 2月
홍익대학교 전자공학과 졸업(공학
사). 1989年 2月 홍익대학교 대학
원 전자공학과 졸업(공학석사).
1994年 2月 동 대학원 전자공학과
졸업(공학박사). 1992年 ~ 현재
안양전문대학 전자통신과 전임. 주관심 분야는 가변
구조 제어, 적응제어 및 Robust Control, 퍼지이론
등임.



朴俊烈(正會員)

1950年 3月 23日生. 1974年 2月
서울대학교 응용수학과 졸업(이학
사). 1977年 2月 서울대학교 대학
원 전자공학과 졸업(공학석사).
1987年 2月 동 대학원 전자공학
과 졸업(공학박사). 1977年 ~
1979年 명지대학교 전자공학과 전임. 1980年 ~ 현
재 홍익대학교 전자공학과 교수. 1988年 ~ 1989年
영국 런던의 City 대학교 객원교수. 주관심 분야는
적응제어, 가변구조 제어이론, 퍼지 및 신경망 이론
등임.

韓上洙(正會員) 第 27卷 第 6號 參照

현대 홍익대학교 전자공학과 박사
과정 재학중