

가상의 상태를 이용한 새로운 슬라이딩 모드 제어기

Novel Sliding Mode Controller with Virtual State

박 승 규, 안 호 균

(Seung Kyu Park, and Ho Kyun Ahn)

Abstract : In this paper, a novel sliding surface is proposed by defining a novel virtual state. This sliding surface has nominal dynamics of an original system and makes it possible that the Sliding Mode Control(SMC) technique is used with the various types of controllers. Its design is based on the augmented system whose dynamics have a higher order than that of the original system. The reaching phase is removed by using an initial virtual state which makes the initial sliding function equal to zero.

Keywords : sliding mode control, robust, optimal control

I. 서론

슬라이딩 모드제어(sliding mode control)는 강인 제어 기법으로서 많은 연구결과와 실제 적용 예를 가지고 있지만 근본적으로 도달기간(reaching phase)문제와 입력 떨림(chattering)현상을 가지고 있다[1]-[3]. 이러한 문제들 외에 SMC(Sliding Mode Control)계통의 상태 궤적은 제어되는 계통보다 낮은 차수를 가지는 슬라이딩 평면의 동특성에 의해서 결정되기 때문에 SMC와의 다른 제어기법과 함께 결합되어 사용되어질 수 없는 특성을 가지고 있다. 이에 도달기간문제를 없애고 슬라이딩 궤적이 최적제어 궤적을 따르도록 하는 방법이 제안되었으나[4] 슬라이딩평면을 비선형함수로 나타내야하기 때문에 수식전개가 복잡하며 3차이상의 계통에 대해서 그 결과를 확장하는 것이 어렵다. 이에 본 연구에서는 상태궤적이 임의의 제어기로 제어되는 상태특성을 따르도록 함과 동시에 도달기간 문제를 해결하기 위하여 새로운 가상의 상태를 정의한다. 가상의 상태는 다른 제어기법에 의해 제어되는 공칭계통의 가제어표준형을 기초로 구성되며 가상상태가 더해진 차수가 증가된 시스템을 구성하고 그 계통에 대해서 새로운 슬라이딩 평면을 제안한다. 이렇게 구성된 새로운 슬라이딩 평면은 공칭제어기에 의해서 제어되는 공칭계통의 동특성을 가질 수 있다는 것이 증명되며 다양한 형태의 제어기와 SMC가 결합된 제어기의 구성이 가능해 지도록 한다. 또한 가상 상태의 초기치를 스위칭함수의 초기값이 영으로 되도록 결정하여 줌으로써 도달기간도 제거할 수 있다. 본 논문에서는 최적제어기와 SMC가 결합된 형태의 제어기를 구성함으로써 강인한 최적제어기를 설계하기로 한다.

II. 문제 설정

아래와 같은 n 차 시스템을 고려하기로 한다.

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= (A + \Delta A)x(t) \\ &+ (B + \Delta B)u(t) + Df(t) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $x \in R^n$, $u \in R$, $f \in R^r$ 이고 노음 유계를 가지는 불확실한 행렬 ΔA , ΔB 와 외란 행렬 D 는 다음의 정합 조건을 만족한다.

$$\text{rank}([B : \Delta A : \Delta B : D]) = \text{rank} B \quad (2)$$

기존의 슬라이딩 평면은 일반적으로 다음과 같은 형태로 표현될 수 있다[5].

$$\begin{aligned} s(x) &= c_n x_n + c_{(n-1)} x_{(n-1)} \\ &+ \dots + c_1 x_1 + c_0 = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 c_0, c_1, \dots, c_n 은 슬라이딩 모드의 동특성이 안정하도록 주어진다.

슬라이딩 모드가 일어나도록 하는 조건은 다음과 같다[1].

$$s(x) \dot{s}(x) < 0 \quad (4)$$

위의 조건은 $s(x, t)$ 에 의해서 정의되는 평면상에서 불연속이 일어나는 다음과 같은 궤환입력 $u^+(\cdot)$, $u^-(\cdot)$ 에 의해서 만족될 수 있다[2].

$$u(\cdot) = \begin{cases} u^+(\cdot), & \text{for } s > 0 \\ u^-(\cdot), & \text{for } s < 0 \end{cases} \quad (5)$$

(3)과 같은 형태의 슬라이딩 평면은 $(n-1)$ 차 동특성을 가지며 제어계통의 차수보다 낮은 차수를 가지기 때문에 여러 가지 형태의 제어기에 의해 제어되는 계통의 동특성을 가질 수 없으며 이것은 SMC가 다른 제어기법과 결합되어 사용될 수 없다는 것을 의미한다. 도달기간은 $s(x, t)$ 의 초기치가 영이 아닌 경우에 발생한다.

본 논문에서 해결하고자 하는 문제는 다음과 같다.

- 가상 상태를 도입하여 슬라이딩 평면을 구성함으로써 슬라이딩 모드가 공칭계통의 동특성을 가지도록 하여 다양한 형태의 제어기와 SMC의 결합형태의 제어기 구성을 가능하게 한다.

- 도달기간을 제거하는 것이다.

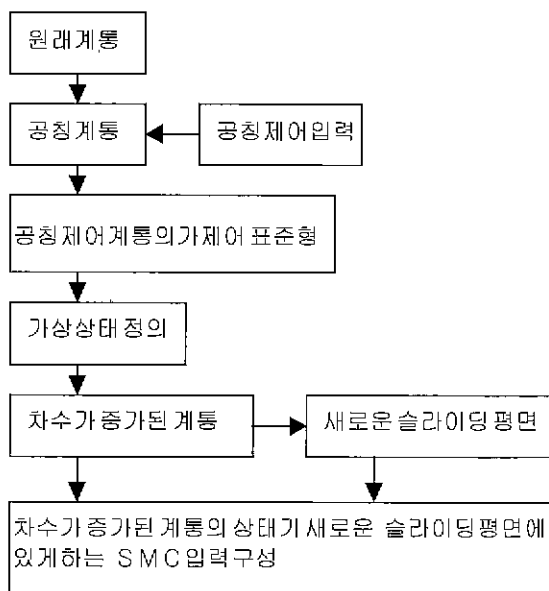


그림 1. 가상상태와 SMC입력을 구하는 과정.
Fig. 1. The procedure of obtaining the novel SMC

III. 새로운 슬라이딩 평면을 가지는 SMC.

본 장에서는 새로운 슬라이딩 평면을 제안하고 그것을 사용하여 SMC입력을 구하고자 한다. 이과정에 대한 블록선도를 살펴보면 그림 1과 같다.

다음과 같은 (1)의 실제시스템에 대한 공칭 계통을 고려하자.

$$\dot{x}_o(t) = Ax_o(t) + Bu_o(x_o, t) \tag{6}$$

여기서 $u_o(x_o, t)$ 는 미분가능한 공칭 조정(regulating)제어 입력이다.

새로운 가상상태를 정의하기 위하여 앞에서 언급했듯이 (6)의 공칭계통을 다음과 같은 가제어표준형으로 변환한다.

$$\dot{z}_o(t) = A_c z_o(t) + B_c u_o(t) \tag{7}$$

여기서

$$A_c = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & & & \ddots & \\ -\alpha_1 & -\alpha_2 & \dots & -\alpha_n \end{bmatrix}, B_c = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}$$

z_o 의 n번째 상태 z_{on} 을 미분한 공칭 가상상태 z_{ov} 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$z_{ov}(t) = -\alpha_n z_{ov}(t) \dots - \alpha_2 z_{o2}(t) - \alpha_1 z_{o2}(t) + \dot{u}_o(x_o, t) \tag{8}$$

새로운 가상상태 z_v 는 (8)에서 공칭 상태

$z_{o1}, z_{o2}, \dots, z_{on}$ 들을 비공칭 상태인 z_1, z_2, \dots, z_n 들로 대치함으로써 다음과 같이 정의된다.

$$\dot{z}_v(t) = -\alpha_n z_v(t) \dots - \alpha_2 z_3(t) - \alpha_1 z_2(t) + \dot{u}_o(x, t) \tag{9}$$

여기서 $\dot{u}_o(x, t)$ 는 $u_o(x, t)$ 를 미분해서 얻으면 x 를 미분하게 됨으로써 불확실성이 개입되기 때문에 반드시 $\dot{u}_o(x_o, t)$ 로부터 공칭상태인 x_o 를 원래상태인 x 로 대치함으로써 얻어야만 한다. 가상상태를 포함하는 차수가 증가된 시스템은 다음과 같이 구성된다.

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= (A + \Delta A)x(t) \\ &+ (B + \Delta B)u(t) + Df(t) \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned} \dot{z}_v(t) &= -\alpha_n z_v(t) \dots - \alpha_2 z_3(t) \\ &- \alpha_1 z_2(t) + \dot{u}_o(x, t) \end{aligned}$$

여기서 $u(t)$ 는 슬라이딩 평면 위에서 슬라이딩 모드를 보장하는 SMC입력이다

위의 차수가 증가된 계통에 대해 새로운 슬라이딩 평면을 다음과 같이 결정한다.

$$\begin{aligned} s_n &= z_n(t) + \alpha_n z_n(t) \dots \\ &+ \alpha_1 z_1(t) - u_o(x, t) = 0 \end{aligned} \tag{11}$$

가상 상태의 초기치를 다음과 같이 선택하면 s_n 의 초기치가 영이 되므로 도달기간이 제거된다.

$$\begin{aligned} z_v(t_0) &= -\alpha_n z_n(t_0) \dots - \alpha_1 z_1(t_0) \\ &+ u_o(x(t_0), t_0) \end{aligned} \tag{12}$$

여기서 다음과 같은 정리를 얻을 수 있다.

정리 1 : 계통 (10)의 상태가 제안된 슬라이딩 평면 (11)위에 존재할 때 계통 (1)의 상태는 공칭제어입력에 의해서 제어되는 공칭 계통(6)과 같은 동특성을 갖는다.

증명 : $z_1, z_2, \dots, z_n, z_v$ 들이 슬라이딩 평면 위에 존재한다고 가정하면 다음 방정식이 만족된다.

$$\begin{aligned} z_v(t) + \alpha_n z_n(t) \dots \\ + \alpha_1 z_1(t) - u_o(x, t) = 0 \end{aligned} \tag{13}$$

정합조건을 만족함으로써 다음과 같은 식이 성립한다.

$$z_2 = \dot{z}_1, \dots, z_n = \dot{z}_{n-1} \tag{14}$$

(13)을 미분하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{z}_v(t) + \alpha_n \dot{z}_n(t) + \alpha_{n-1} \dot{z}_{n-1}(t) \\ \dots + \alpha_1 \dot{z}_1(t) - \dot{u}_o(x, t) \\ = \dot{z}_v(t) + \alpha_n \dot{z}_n(t) + \alpha_{n-1} z_n(t) \\ \dots + \alpha_1 z_2(t) - \dot{u}_o(x, t) = 0 \end{aligned} \tag{15}$$

(10)에 의해서 z_v 는 다음과 같은 동특성을 가진다.

$$\begin{aligned} z_v(t) &= -\alpha_n z_v(t) \dots - \alpha_2 z_3(t) \\ &- \alpha_1 z_2(t) + \dot{u}_o(x, t) \end{aligned} \tag{16}$$

(15)과 (16)을 비교하면 다음 식이 성립됨을 알 수 있다.

$$z_v = \dot{z}_n \quad (17)$$

위식을 이용하여 (13)으로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$z_n(t) = -\alpha_n z_n(t) \cdots - \alpha_2 z_2(t) - \alpha_1 z_1(t) + u_0(x, t) \quad (18)$$

(18)과 (14)은 공칭시스템의 가제어표준형이며 이것은 변환 $x(t) = P^{-1}z(t)$ 를 이용하여 (6) 계통으로 변환할 수 있다. 그러므로 새로운 슬라이딩 모드 평면 $s(x, z_v)$ 는 공칭계통과 같은 동특성을 갖는다. ■

정리 1과 SMC이론으로부터 SMC 입력 $u(t)$ 가 슬라이딩 모드 평면 $s(z, z_v)$ 상에 상태들이 있도록 하면 상태 $x(t)$ 는 $u_0(x, t)$ 에 의해서 제어되는 공칭 시스템의 궤적을 따른다는 것을 알 수 있다. 공칭 제어입력 $u_0(x, t)$ 는 어떠한 제어입력의 형태라도 가능하기 때문에 SMC가 다양한 형태의 제어기와 같이 사용되어질 수 있도록 한다.

계통 (10)의 상태들을 슬라이딩 평면으로 가도록 하기 위해서 다음조건을 만족하는 SMC입력이 구해져야 한다.

$$s_n(z, z_v) \dot{s}_n(z, z_v) < 0 \quad (19)$$

$\dot{s}_n(z, z_v)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \dot{s}_n(z, z_v) &= \dot{z}_v + C_1 P \dot{x} - \frac{\partial u_0(z, t)}{\partial z} P x \\ &= \alpha_n z_n - C_0 P x + C_2 P((A + \Delta A)x(t) \\ &\quad (B + \Delta B)u(t) + Df(t)) \end{aligned} \quad (20)$$

여기서

$$C_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_{n-1} \end{bmatrix}^T, \quad C_1 = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_n \end{bmatrix}^T$$

$$C_2 = C_1 - \frac{\partial u_0(z, t)}{\partial z}$$

불확실성들의 크기가 제한되어 있기 때문에 다음식을 만족하는 상수들 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 가 존재한다.

$$\begin{aligned} C_2 P \Delta A x(t) &< \beta_1 \|x(t)\| \\ C_2 P \Delta B u(t) &< \beta_2 |u(t)| \\ C_2 P D f(t) &< \beta_3 \end{aligned} \quad (21)$$

그러므로 SMC입력은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} u(t) &= -(C_2 P B)^{-1}(-\alpha_n z_v - C_0 P x \\ &\quad + \dot{u}_0(x, t) + C_2 P A x(t) \\ &\quad - (C_2 P B)^{-1}(\beta_1 \|x(t)\| + \beta_2 |u(t)| + \beta_3) \text{sgn}(s_n)) \end{aligned} \quad (22)$$

IV. 새로운 슬라이딩 모드 평면을 이용한 강인한 최적제어

본 논문에서 제안된 새로운 슬라이딩 평면에서 공칭 제어입력 $u_0(x, t)$ 를 최적제어입력으로 설계하면 파라메터 불확실성이 존재하더라도 상태들이 최적궤적을 따르도록 하는 강인한 최적제어기를 설계할 수 있다. (1)과 같은 n차 계통을 고려한다.

공칭계통 (6)에 대한 평가함수는 다음과 같이 주어진다.

$$J = \int_{t_0}^{\infty} \frac{1}{2} (x_0^T Q x_0 + r u_0^2) dt \quad (23)$$

이 평가함수를 최소화시키는 최적의 제어입력은 다음과 같다[5].

$$u_0(x_0) = -\frac{1}{r} B^T S x_0(t) = -K x_0(t) \quad (24)$$

여기서 S 는 아래의 리카티방정식을 만족하는 해이다.

$$-SA - A^T S - Q + \frac{1}{r} S B^T B S = 0 \quad (25)$$

위의 최적제어입력을 가지는 공칭계통은 다음과 같이 표현된다.

$\dot{u}_0(x_0)$ 의 값은 다음과 같이 계산되어진다.

$$\begin{aligned} \dot{u}_0 &= K(Ax + B u_0^*(t)) \\ &= K(Ax - BKx) = Lx \end{aligned} \quad (26)$$

여기서 $L = -K(A - BK)$

(9)에 의해서 가상상태 z_v 는 다음과 같이 정의된다.

$$\dot{z}_v(t) = -\alpha_1 z_2(t) \cdots - \alpha_{n-1} z_n(t) + Lx(t) \quad (27)$$

비공칭 가상상태를 포함한 차수가 증가된 계통은 다음과 같이 구성된다.

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= (A + \Delta A)x(t) + (B + \Delta B)u(t) + Df(t) \\ \dot{z}_v(t) &= -\alpha_1 z_2(t) \cdots - \alpha_{n-1} z_n(t) - \alpha_n z_n(t) + Lx(t) \end{aligned} \quad (28)$$

위의 계통에 대한 새로운 슬라이딩 평면은 다음과 같다.

$$s_n = z_v + \alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 \cdots \alpha_n z_n + Kx = 0 \quad (29)$$

\dot{s}_n 는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \dot{s}_n &= \dot{z}_v(t) + C_1 P \dot{x}(t) + K \dot{x}(t) \\ &= -\alpha_n z_n(t) - C_0 P x(t) + Lx(t) \\ &\quad + (C_1 P + K)((A + \Delta A)x(t) \\ &\quad + (B + \Delta B)u(t) + Df(t)) \end{aligned} \quad (30)$$

불확실성의 크기가 제한되어 있기 때문에 다음식을 만족하는 상수들 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ 이 존재한다.

$$(C_1 P + K) \Delta A x(t) < \gamma_1 \|x(t)\|$$

$$\begin{aligned} (C_1P+K)ABu(t) < \gamma_2 |u(t)| \\ (C_1P+K)Df(t) < \gamma_3 \end{aligned} \tag{31}$$

SMC입력을 다음과 같이 구성하면 $s_n \dot{s}_n < 0$ 을 만족하게 된다.

$$\begin{aligned} u(t) = -((C_1P+K)B)^{-1}(-\alpha_n z_n - C_0Px \\ + Lx + (C_1P+K)Ax(t)) ((C_1P+K)B)^{-1} \tag{32} \\ (\gamma_1 \|x(t)\| + \gamma_2 |u(t)| + \gamma_3 \text{sgn}(s_n)) \end{aligned}$$

V. 예제 및 시뮬레이션 결과
아래와 같은 3차 계통을 고려하자.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= (-1 + \Delta a_1)x_1(t) + u(t) + f(t) \\ \dot{x}_2(t) &= \Delta a_1 x_1(t) - 2x_2(t) + u(t) + f(t) \\ \dot{x}_3(t) &= \Delta a_1 x_1(t) - 3x_3(t) + u(t) + f(t) \end{aligned}$$

여기서 $|\Delta a_1| < 3$, $f(t) < 0.5$ 이다.

시뮬레이션상에서 $\Delta a_1, f(t)$ 는 각각 2.5와 0.4로 두었다. 상태의 초기치는 각각 $x_1(0)=3$, $x_2(0)=2$, $x_3(0)=1$ 이다.

위의 시스템에 대한 평가함수는 아래와 같다고 하자

$$J = \int_{t_0}^{\infty} \frac{1}{2} (x_o^T \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x_o + u_o^2) dt$$

최적 상태이득은 다음과 같다.

$$K = [2.2671 \ 0.1381 \ 0.1034]$$

가제어 표준형으로의 변환행렬은 다음과 같다

$$P = \begin{bmatrix} 6 & 5 & 1 \\ 3 & 4 & 1 \\ 2 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

SMC제어기 구성에 필요한 계산들은 다음과 같다.

$$C_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 6 \\ 11 \end{bmatrix}^T, \quad C_1 = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 6 \\ 11 \\ 6 \end{bmatrix}^T$$

$$C_1P+K = [2.7671 \ -7.8619 \ 13.6034],$$

$$(C_1P+K)B = 8.5086,$$

$$L = -K(A - BK) = [7.9544 \ 0.6224 \ 0.5697],$$

$$(C_1P+K)DAx(t) < 25.5258|x_1| (\gamma_1 = 25.5258)$$

$$(C_1P+K)Df(t) < 4.2543 = \gamma_3$$

가상 상태 z_o 의 동특성은 (27)로부터 다음과 같이 정의된다.

$$\dot{z}_o(t) = [5.4544 \ 32.6224 \ -39.9303] x(t) - 6z_o(t)$$

가상상태의 초기치는 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned} z_o(0) &= -[2.7671 \ -7.8619 \ 13.6034]x(0) \\ &= -6.1812 \end{aligned}$$

(29)로부터 슬라이딩 평면은 다음과 같이 결정된다.

$$s_n = z_o(t) + [2.7671 \ -7.8619 \ 13.6034]x(t)$$

SMC 입력은 (32)로부터 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} u(t) &= -0.1175((-6z_o(t) \\ &+ [2.6873 \ 48.3463 \ -80.7406]x(t)) \\ &+ (22.2715|x_1| + 4.2543)\text{sgn}(s_n)) \end{aligned}$$

아래의 그림들은 위의 수치 예에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 2는 새로운 슬라이딩 모드 궤적을 나타낸 것으로 도달시간이 제거되었음을 보여주고 있다. 그림 3은 불확실성이 존재하지 않는 경우의 최적궤적이고 불확실성이 존재하는 경우 그림 4와 같이 최적제어입력은 더 이상 최적입력이 될 수 없음을 보여주고 있다. 그림 5에서 제안된 슬라이딩모드 제어기를 사용하는 경우 파라미터 불확실성이 존재하는 경우에 최적제어된 공칭시스템의 궤적을 따른다는 것을 알 수 있다. 그림 6은 가상상태의 궤적을 그림 7은 SMC제어입력을 나타내고 있으며 그림 8은 슬라이딩함수값을 보여주고 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 슬라이딩 모드 평면의 새로운 설계방법이 제시되었다. 이 슬라이딩평면에 의해 설계되는 새로운 SMC계통의 상태는 공칭제어기에 의해 제어되는 공칭 계통의 동특성을 가지게 된다. 어떤 타입의 제어기이든 미분 가능하다면 공칭제어기가 될 수 있으며 이 사

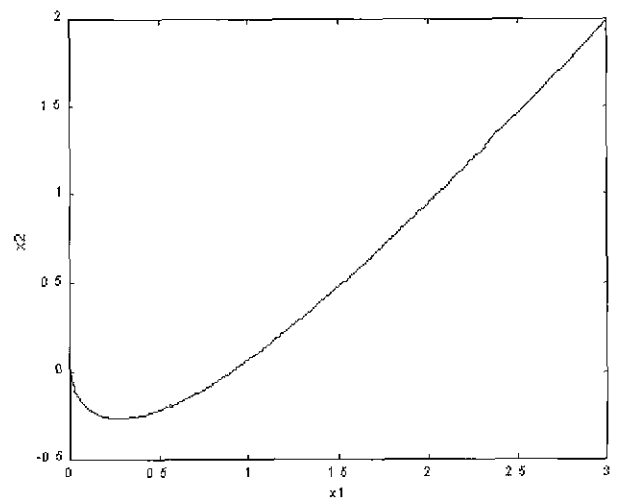


그림 2. 새로운 슬라이딩평면을 사용한 경우의 x_1, x_2 평면에서의 상궤적.

Fig. 2. Phase trajectory of sliding mode design using the novel sliding surface.

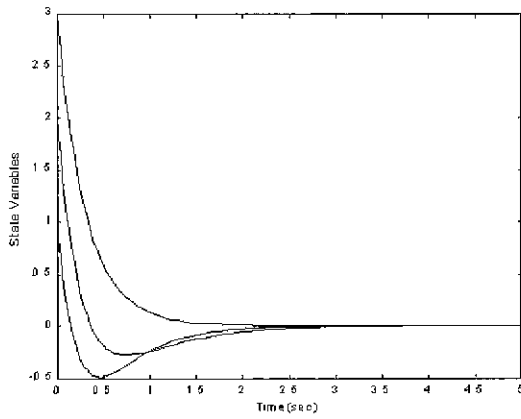


그림 3. 불확실성이 없는 경우 x_1, x_2, x_3 의 최적궤적.
Fig. 3. The optimal trajectories of x_1, x_2, x_3 without uncertainties.

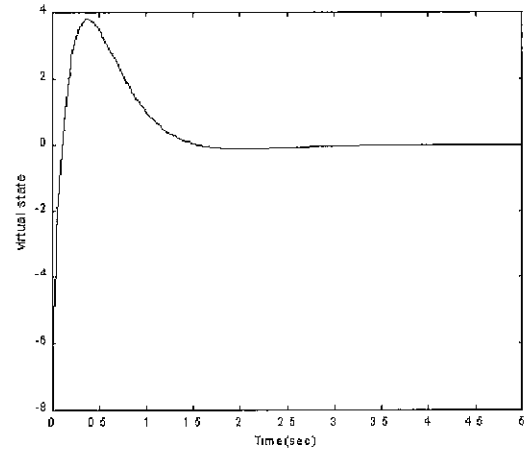


그림 6. 가상상태 z_v 의 궤적.
Fig. 6. The trajectories of the virtual state z_v .

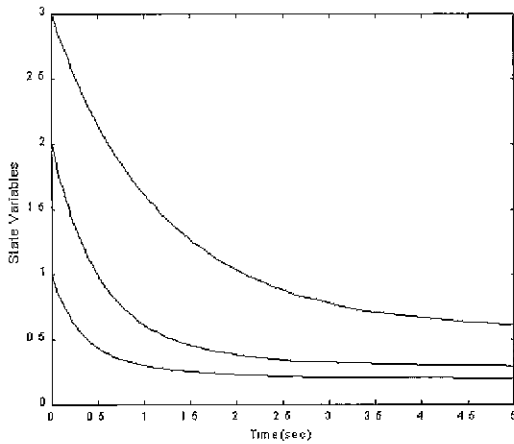


그림 4. 불확실성이 존재하고 최적제어기 사용
경우의 x_1, x_2, x_3 의 궤적.
Fig. 4. The state trajectories of x_1, x_2, x_3
controlled by the optimal controller with
uncertainties.

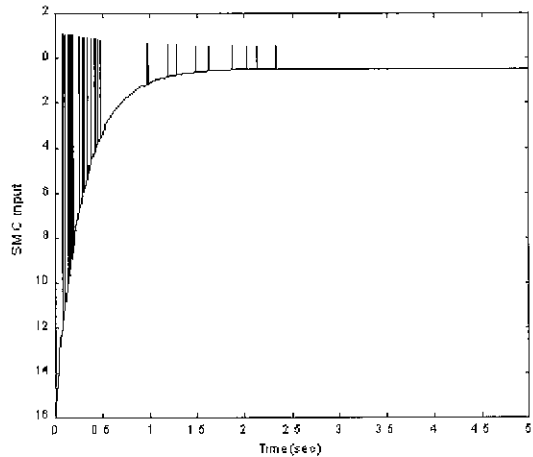


그림 7. SMC 입력 $u(t)$.
Fig. 7. The SMC input $u(t)$.

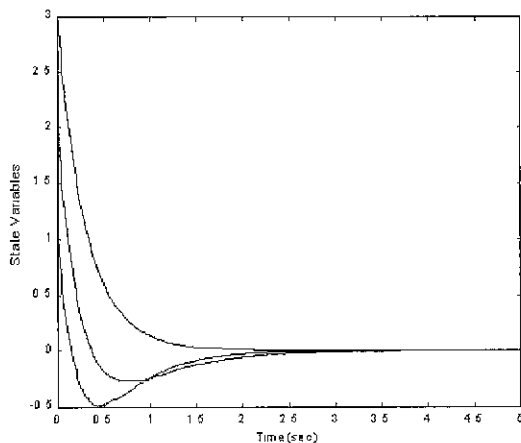


그림 5. 불확실성이 존재하고 새로운 SMC를 사용
한 경우의 x_1, x_2, x_3 의 궤적.
Fig. 5. The state trajectories of x_1, x_2, x_3
controlled by the new SMC with uncertain-
ties.

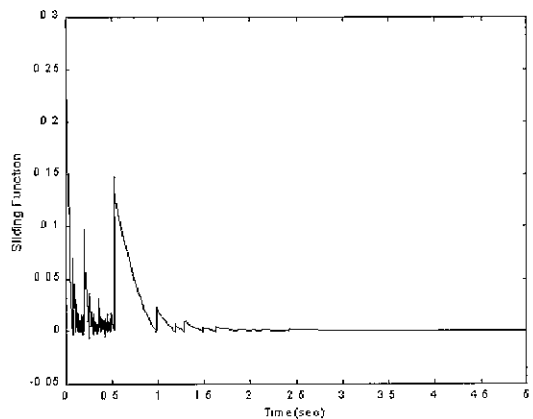


그림 8. 슬라이딩 함수 $s_n(x, x_v)$ 의 값.
Fig. 8. The value of the sliding function $s_n(x, x_v)$.

실은 SMC가 여러 가지 형태의 제어기와 결합되어 강인한 특성을 갖도록 할 수 있다는 것을 의미한다. 본 논문에서는 최적제어기를 공칭제어기로 사용함으로써 파라미터 불확실성이 존재하는 계통에 대해서도 공칭계통의 최적궤적을 따라갈 수 있는 강인한 최적 제어기를 설계하

였으며, 가상상태의 초기치를 적절하게 선택함으로써 도달시간을 쉽게 제거할 수 있었다. 본 논문은 여러 형태의 제어를 SMC와 결합하여 사용함으로써 강인성을 향상시키는 것을 가능하도록 하였다는데 큰 의의가 있다.

참고문헌

- [1] J. Y. Hung, W. Gao, J. C. Hung, "Variable structure control : A survey," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 40, no. 1, pp. 2-22, 1993.
- [2] V. I Utkin, *Sliding Modes and Their Application in Variable Structure Systems*, Mir Publishers, Moscow, 1978.
- [3] U. Itkis, *Control Systems of Variable Structure*, Johnwilly & Sons, New York, 1976.
- [4] 김성태, 한종길, 임규만, 함운철, "비선형 스윙칭 평면을 이용한 슬라이딩모드 제어기 설계," 1997년 도대한전기학회 제어계측·지동화·로보틱스 연구회 합동 학술 발표회 논문집, pp 36-40, 3월 1997
- [5] R. G. Roy, N. Olgac, "Robust nonlinear control via moving sliding surfaces- n-th order case," *CDC'97*, December, 1997.
- [6] D. E. Kirk, *Optimal Controltheory*, Prentice-Hall, 1970.



박 승 규

1960년 4월 15일생. 1984년 고려대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1995년-1996년 영국 Strathclyde대 visiting scholar. 1990년-현재 창원대 전기공학과 부교수. 관심분야는 강인제어 및 적응제어.

기공학과 부교수. 관심분야는 강인제어 및 적응제어.



안 호 균

1958년 1월 4일생. 1981년 고려대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1992년-현재 창원대학교 전기공학과 부교수. 관심분야는 전력전자 및 제어 응용.

어 응용.