

可變 構造 適應 모델 追從 制御器의 設計

(Design of a Variable Structure Adaptive Model Following Controller)

李 康 熊*, 崔 桂 根*

(Kang Woong Lee and Keh Kun Choi)

要 約

可變 構造 시스템 理論을 適用한 適應 모델 追從 制御器를 設計하였다. 變形된 슬라이딩 모드 條件을 滿足시키는 提案된 制御器는 狀態 軌跡의 슬라이딩 平面 到達 速度를 改善하고 슬라이딩 모드에서 채터링의 크기를 줄이도록 한다. 슬라이딩 平面 近處의 領域에서 制御入力を 바꿈으로써 채터링을 줄이고 이 結果를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 立證하였다.

Abstract

An adaptive model following controller is designed using the theory of variable structure systems. The proposed method based on the modified condition for the sliding mode allows the designer to satisfy the requirements to speed up the reaching phase and for the magnitude of the chattering to be reduced in the sliding mode. Chattering reduction is obtained by the replacement of control input in the neighborhood of the sliding plane. The results of computer simulation show that state trajectories reach switching plane fast and chattering is reduced.

I. 序 論

適應 모델 追從 制御는 工程의 파라메터가 변하거나 外亂이 있는 경우에 工程이 制御 目的을 나타내는 모델을 따르도록함으로써 最適 制御 理論을 適用하여 制御할 때 直面하는 性能 指數 選擇의 어려움을 피할 수 있다.

工程의 狀態가 모델의 상태를 따르도록 하여 狀態 誤差가 最小이 되도록 하는 制御器 設計는 超安定度 理論에 의한 方法,^[1] Lyapunov 安定度 理論에 의한 方法,^[2] 및 可變 構造 시스템 理論에 의한 方法^[3~6]이 提示되었다. 이 중 可變 構造 시스템 理論에 의한 方法은 狀態 誤差의 過度期 狀態를 원하는 狀態가 되도록 規定지을 수 있는 장점이 있다.

可變 構造 시스템은 시스템의 狀態 軌跡이 스위칭 平面에 到達하면 시스템의 構造를 變更시키는 不連續 制御 入力에 의해 狀態 軌跡이 스위칭 平面 위에서 슬라이딩 運動을 하는 特性을 갖는다.^[7~9] 슬라이

*正會員, 서울大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Seoul Nat'l Univ.)
接受日字: 1988年 11月 14日

딩 모드에서 시스템은 시스템 파라미터變動이나外亂에鈍感하게 되고 시스템動特性은 스위칭平面的選擇에左右된다. 따라서可變構造 시스템制御는 스위칭平面的選定과 슬라이딩 모드가存在하도록 하는不連續制御入力の選擇이다. 그러나狀態軌跡이 스위칭平面에到達하기까지의到達位相(reaching phase) 동안에 시스템은 파라미터變動이나外亂에影響을받게 되고, 시스템 모델링誤差 및時間遲延 등으로因하여 슬라이딩運動時 채터링(chattering)이 일어나게 되는데, 이 채터링의 크기는制御入力の 크기에比例하게 된다. 따라서狀態軌跡이初期狀態로부터 짧은時間內에 스위칭平面에到達하여 슬라이딩運動을 함으로써 파라미터變動이나外亂에鈍感하도록 하고 슬라이딩 모드에서 채터링 및 채터링의 크기를 줄이는 것이制御目的이 된다.¹⁾

本論文에서는誤差狀態軌跡이 스위칭平面으로부터 멀리 있을 때는制御入력이 커져서 스위칭平面에 빨리到達하도록 하고 스위칭平面上에서는制御入력이 작아져서 채터링의 크기를 줄이도록 하기 위하여變形된 슬라이딩 모드存在條件을提示하고 이條件을 만족시키도록 하는制御器를設計하였다. 또한 슬라이딩平面에 인접한領域에서制御入力を等價制御入력으로代置시킴으로써 채터링이 줄어들도록 하고 그結果를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여立證하였다.

II. 모델 追從 制御 시스템

모델 追從 制御 시스템은 工程의 出力과 모델의出力 誤差가 0이 되도록 하는 制御 利得을 定하여 工程의 動特性이 모델을 따르도록 하는 것이다.

單一 入力の 工程과 모델의 狀態 方程式을 各各 다음과 같이 定한다.

$$\dot{X}_p(t) = A_p(t) X_p(t) + B_p u(t) + h(t) \quad (1)$$

여기서,

$$X_p = [x_{p1} \dots x_{pn}]^T$$

$$A_p = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ & & 1 & \vdots & \\ & & & & 1 \\ -a_1 - a_2 & & & \dots & -a_n \end{bmatrix} \quad B_p = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ b \end{bmatrix}$$

단, $a_i - \delta a_i < a_i < a_i + \delta a_i, b^0 - \delta b < b < b^0 + \delta b$ 이고 $b > 0$ 으로 假定한다.

$$\dot{X}_m(t) = A_m X_m(t) + B_m r(t) \quad (2)$$

여기서,

$$X_m = [x_{m1} \dots x_{mn}]^T$$

$$A_m = \begin{bmatrix} 0 & 1 \dots & 0 \\ & & 1 \\ & & \vdots \\ -\hat{a}_1 & -\hat{a}_2 \dots & -\hat{a}_n \end{bmatrix} \quad B_m = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ \hat{b} \end{bmatrix}$$

X_p 와 X_m 은 工程과 모델의 狀態 變數, u 는 工程의 制御 入力이고 r 은 모델의 入力이다. $h(t)$ 는 外亂으로 次數와 變化 範圍를 안다고 假定한다.

誤差 벡터 e 를 다음과 같이 定義하면

$$e(t) = X_m(t) - X_p(t) \quad (3)$$

誤差 狀態 方程式은

$$\dot{e}(t) = A_m e(t) + \tilde{A} X_p(t) + B_m r(t) - B_p u(t) - h(t) \quad (4)$$

여기서, $\tilde{A} = A_m - A_p$ 이고 工程의 狀態 X_p 와 모델의 狀態 X_m 이 $X_p = X_m$ 이 되는 다음의 整合 條件¹⁾이 成立된다고 假定한다.

$$(I - B_p B_p^+) B_m = 0; (I - B_p B_p^+) \tilde{A} = 0; (I - B_p B_p^+) h = 0 \quad (5)$$

여기서 $B_p^+ = (B_p^T B_p)^{-1} B_p^T$

III. 可變 構造 시스템

可變 構造 시스템은 狀態 軌跡이 스위칭平面에到達하면 시스템의 構造를 바꾸도록 하는 不連續 制御 入力を 갖는 것이 特徵이며 이 不連續 制御 入力は 다음과 같이 定義된다.

$$u = \begin{cases} u^+ ; s(e) > 0 \\ u^- ; s(e) < 0 \end{cases} \quad (6)$$

여기서, $s(e) = 0$ 는 誤差 狀態 空間에서

$$s(e) = C e = 0$$

$$C = [c_1 \dots c_{n-1} \quad 1] \quad (7)$$

으로 定義되는 스위칭平面이다.

스위칭平面 近處에서 狀態 軌跡의 運動 方向이 恒常 스위칭平面을 向하면 이 시스템은 슬라이딩 모드에 있다고 하고 슬라이딩 모드에서 시스템은 파라미터變動이나外亂에鈍感한 特徵을 가지며 시스템動特性은 스위칭平面을 決定하는 벡터C의 選擇에 의해 左右된다. 스위칭平面上에서 슬라이딩 運動이 일어날 條件¹⁷⁾은 $s(e) = 0$ 近處에서

$$\lim_{s \rightarrow 0^+} \dot{s} < 0 \text{ 와 } \lim_{s \rightarrow 0^-} \dot{s} > 0 \quad (8)$$

이다. 슬라이딩 모드에서 시스템動特性은 다음 式을 滿足한다.

$$s(e) = Ce = 0 \text{ 와 } \dot{s}(e) = C\dot{e} = 0 \quad (9)$$

誤差 시스템 動特性을 나타내는 方程式은 본래의 制御 入力 u 대신 等價 制御 入力 ueq를 代入함으로써 얻어진다. (4)式과 (9)式으로 부터 等價 制御 入力 ueq는

$$ueq = (CBp)^{-1} C[Am e(t) + \tilde{A}Xp(t) + Bm r(t) - h(t)] \quad (10)$$

단, CBp ≠ 0 이라 假定한다. 整合 條件이 成立되고 (10)식을 (4)식에 代入하면

$$\dot{e}(t) = [I - Bp(CBp)^{-1} C]Am e(t) \quad (11)$$

(11)式으로부터 誤差 動特性이 원하는 特性을 갖도록 벡터 C를 選定할 수 있으며 그 方法은 極 配置 方法, 性能 指數 最小化 方法,⁽¹⁰⁾ 및 投影法⁽¹¹⁾ 등이 提示되었다.

IV. 制御器 設計

스위칭 平面으로부터 멀리 떨어진 誤差 狀態 軌跡이 빠른 時間內에 스위칭 平面에 到達하여 슬라이딩 運動을 하도록 하는 制御 入力이 要求된다. 스위칭 函數 s의 時間 變化率 이 스위칭 平面으로부터 멀리 있을 때는 커서 큰 制御 入力を 갖고 가까이 있을 때는 작아서 작은 制御 入력을 갖도록 하기 위한 슬라이딩 모드 存在 條件을 다음과 같이 定한다.

$$\dot{s}(e) \operatorname{sgn}[s(e)] < -\eta f[|s(e)|] \quad (12)$$

여기서, η는 임의의 陽數이고 f[|s(e)|]는 |s(e)|의 크기에 比例하는 函數로서 狀態 軌跡의 初期 狀態가 스위칭 平面으로부터 멀리 떨어져 있어도 스위칭 平面으로 到達하도록 하기 위한 項이다. 따라서 (12)식은 스위칭 平面으로의 到達 可能 領域을 擴張하는 總體의 슬라이딩 모드 存在 條件이다. 스위칭 平面으로의 到達 速度를 改善하고 슬라이딩 運動을 하여 e(t) → 0으로 되도록 하는 制御 入力 u(t)는

$$u(t) = -\{Ke e(t) + Kx Xp(t) + Kr r(t) + K_r f[|s(e)|] \operatorname{sgn}[s(e)] + \delta\} \quad (13)$$

로 定하고 (12)식의 슬라이딩 모드의 存在 條件으로부터 制御 利得의 範圍는

$$Ke_i < \min\{-b^{-1}(c_{i-1} - \hat{a}_i)\} : e_i(t)s(e) > 0$$

$$Ke_i > \max\{-b^{-1}(c_{i-1} - \hat{a}_i)\} : e_i(t)s(e) < 0$$

단, co = 0, i = 1, …, n

$$Kxi < \min\{-b^{-1}\hat{a}_i\} : x_{pi}(t)s(e) > 0$$

$$Kxi > \max\{-b^{-1}\hat{a}_i\} : x_{pi}(t)s(e) < 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (14)$$

$$Kr < \min\{-b^{-1}\hat{b}\} : r(t)s(e) > 0$$

$$Kr > \max\{-b^{-1}\hat{b}\} : r(t)s(e) < 0$$

$$K_r < \min\{-b^{-1}\eta\}$$

$$\delta < \min\{-b^{-1}[Ch]\} : s(e) > 0$$

$$\delta > \max\{b^{-1}[Ch]\} : s(e) < 0$$

으로 된다. (13)식의 制御 入力 u(t)에서 K_r f[|s(e)|] sgn[s(e)] 項은 狀態 軌跡이 스위칭 平面에 到達하는 速度를 改善시키기 위한 項으로 本論文에서는 f[|s(e)|]를 exp[-1/|s(e)|]로 하여 스위칭 平面에서의 슬라이딩 運動에는 影響을 주지 않도록 하며 나머지 項들은 스위칭 平面에서 슬라이딩 運動을 하도록 하는 項으로서 채터링의 크기를 줄이고 利得 選擇의 複雜性을 피하기 위해 Ke_i, Kxi, Kr, 및 δ는

$$Ke_i = \begin{cases} Ke_i^+ = \min\{-b^{-1}(c_{i-1} - \hat{a}_i)\} & : e_i(t)s(e) > 0 \\ Ke_i^- = \max\{-b^{-1}(c_{i-1} - \hat{a}_i)\} & : e_i(t)s(e) < 0 \end{cases}$$

$$Kxi = \begin{cases} Kxi^+ = \min\{-b^{-1}\hat{a}_i\} & : x_{pi}(t)s(e) > 0 \\ Kxi^- = \max\{-b^{-1}\hat{a}_i\} & : x_{pi}(t)s(e) < 0 \end{cases}$$

$$Kr = \begin{cases} Kr^+ = \min\{-b^{-1}\hat{b}\} & : r(t)s(e) > 0 \\ Kr^- = \max\{-b^{-1}\hat{b}\} & : r(t)s(e) < 0 \end{cases}$$

$$\delta = \begin{cases} \delta^+ = \min\{b^{-1}[Ch]\} & : s(e) > 0 \\ \delta^- = \max\{b^{-1}[Ch]\} & : s(e) < 0 \end{cases} \quad i = 1, \dots, n \quad (15)$$

으로 定할 때 制御 入力 u(t)는

$$u(t) = -\{Ke e(t) + Kx Xp(t) + Kr r(t) + [K_r \exp[-1/|s(e)|] \operatorname{sgn}[s(e)]] + \delta\} \quad (16)$$

여기서,

$$Ke = [Ke_1 \ Ke_2 \ \dots \ Ke_n]$$

$$Kx = [Kx_1 \ Kx_2 \ \dots \ Kx_n]$$

이고 K_r는 (14)의 條件을 滿足시키는 큰 값으로 定한다.

그러나 (16)식의 制御 入力에도 불구하고 슬라이딩 運動時에 생기는 채터링을 줄이기 위해 스위칭 平面 近處에서는 制御 入力이 等價 制御 入力으로 代置되도록 한다. 이는 等價 制御 入力이 狀態 速度 벡터가 스위칭 平面에서 스위칭 平面에 平行 하도록 하는 連續 制御 入力이 되므로 채터링이 줄어들게 된다. 즉, 스위칭 平面 近處의 Δ領域에서 制御 入力

u(t)를

$$u(t) = ueq^*(t) \quad |s(e)| < \Delta \quad (17)$$

로 한다. 여기서, Δ는 임의의 양수이고 ueq*(t)는 (10)식으로부터

$$ueq^*(t) = (CBp^*)^{-1} C[Am e(t) + \tilde{A}^* Xp(t) + Bm r(t)] \quad (18)$$

$$Bp^* = [0 \ \dots \ 0 \ b]^T$$

$$\tilde{A}^* = \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \dots \dots \\ -(\hat{a}_1 \ -\hat{a}_1^*) \dots \dots -(\hat{a}_n \ -\hat{a}_n^*) \end{bmatrix}$$

그러나 最適의 Δ를 選定하기 위한 定해진 方法이 없기 때문에 反復 施行에 의해 Δ를 적절히 定한다.

V. 컴퓨터 시뮬레이션

2 차의 工程과 모델이 각각 다음과 같은 경우에 대해 시뮬레이션 하였다.

$$\dot{X}_p(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -a_1 & -a_2 \end{bmatrix} X_p(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ b \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix}$$

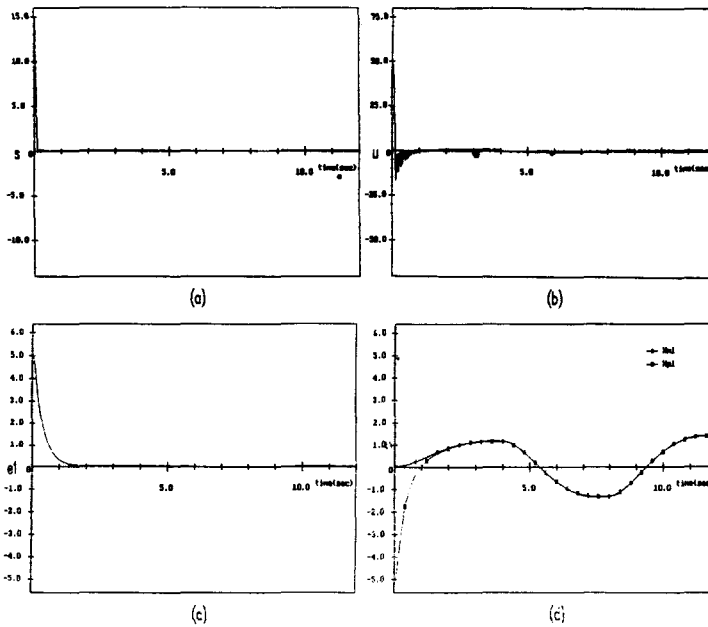


그림 1. 提案된 방식에 의한 시뮬레이션 結果

(a) 스위칭 函數 (b) 制御 入力 (c) 誤 差 (d) 出 力

Fig. 1. Simulation results by the proposed method.

(a) switching function. (b) control input. (c) error. (d) output.

$$\dot{X}_m(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} X_m(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} r(t)$$

여기서 Xp와 Xm은 각각 工程과 모델의 狀態 變數, r은 基準 入力, u는 制御 入力이고 工程과 모델의 出力을 각각 Xp1과 Xm1으로 하고 出力의 誤差를 e1으로 하였다. 工程의 파라메터들은

$$1.0 < a_1 < 2.0, \ 0.8 < a_2 < 1.4, \ 2 < b < 4$$

의 範圍內에서 變化한다. 스위칭 平面은 $s=3e_1+e_2=0$ 으로 定하고, 初期値는 $X_m(0)=[0 \ 0]^T$, $X_p(0)=[-5 \ 0]^T$ 으로 하였다. 外亂이 없는 경우 提案된 制御器의 入力 利得은 (15)식으로부터 $Ke_1^+=.25$, $Ke_1^- = .5$, $Ke_2^+=-2$, $Ke_2^-=-1$, $Kx_1^+=0$, $Kx_1^- = .5$, $Kx_2^+=-.1$, $Kx_2^- = .2$, $Kr^+=-.5$, $Kr^- = -.25$, $Kr = -50$, 와 $\delta = 0$ 으로 하고 既存 방식에서의 制御器의

入力 利得을 각각 $Ke_1^+ = -3$, $Ke_1^- = 3.75$, $Ke_2^+ = -4$, $Ke_2^- = 2.5$, $Kx_1^+ = -3$, $Kx_1^- = 3.5$, $Kx_2^+ = -3$, $Kx_2^- = 3$, $Kr^+ = -3$, $Kr^- = 3$ 으로 하고 샘플링 간격을 0.01초로 하여 시뮬레이션한 결과를 그림 1 과 그림

2에 나타내었다. 그림의 (a), (b), (c)와 (d)는 각 스위칭函数 s , 制御入力 u , 出力誤差 e_1 와 모델과 工程의 出力 X_{m1} , X_{p1} 을 나타낸다. 이 결과로부터 약 0.2초 후에 狀態 軌跡이 스위칭 平面에 到達하여 슬

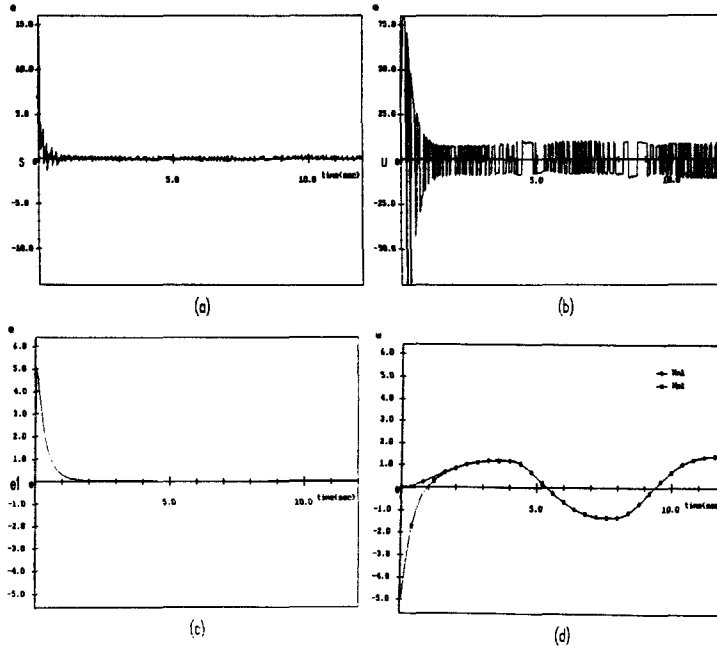


그림 2. 既存 방식에 의한 시뮬레이션 결과

(a) 스위칭 函數 (b) 制御 入力 (c) 誤 差 (d) 出 力

Fig. 2. Simulation results by the conventional method.

(a) switching function, (b) control input, (c) error, (d) output.

라이딩 運動을 함으로써 파라미터 變動에도 불구하고 工程이 모델을 잘 追從하고 既存 방식과 比較할 때 슬라이딩 모드에서 채터링의 크기가 顯著하게 줄어들게 됨을 알 수 있다. 그림 3과 그림 4는 $\Delta = 0.1$ 로 하였을 때의 提案된 방식과 既存 방식에 대한 시뮬레이션 결과이다. 이 결과로부터 두 경우 모두 채터링이 顯著하게 줄어들으나 提案된 방식이 훨씬 優秀함을 알 수 있다. 外亂 h_1 과 h_2 가 $h_1 = 0$, $|h_2| < 0.05$ 의 範圍內에서 變化할 때 制御 入力を 앞의 경우와 같이 정하고 $\delta^+ = -0.025$, $\delta^- = 0.025$, $\Delta = 0.1$ 로 하여 提案된 방식 및 既存 방식에서의 시뮬레이션한 결과를 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 이 결과로부터 파라미터 變動 및 外亂이 있는 경우에도 工程이 모델을 잘 追從하고 채터링이 크게 줄어들게 됨

을 알 수 있다. 既存의 방식에서는 狀態 軌跡이 스위칭 平面에 빨리 到達하도록 하기 위해서 制御 利得을 크게 정하고 이 결과로 슬라이딩 모드에서 채터링의 크기가 커지게 되는데 提案된 방식에서는 到達 速度를 改善시키는 役割을 $K_r \exp(-1/1s(e))$ 項이 하고 슬라이딩 모드에서는 무시가 되어 制御 入력이 적어짐으로써 채터링이 줄어들게 된다. 또한 슬라이딩 平面 近處의 領域內에서 制御 入력을 非線型項이 없는 等價 制御 入력으로 代置시킴으로써 채터링이 줄어들도록 하였다. Δ 를 크게 選定하면 오프셋이 생겨 VSS의 장점이 상실되고 작게 選定하면 外亂이 있는 경우 채터링이 줄어들지 않으므로 外亂의 절대치 보다 크게 選定하는 것이 바람직 하다.

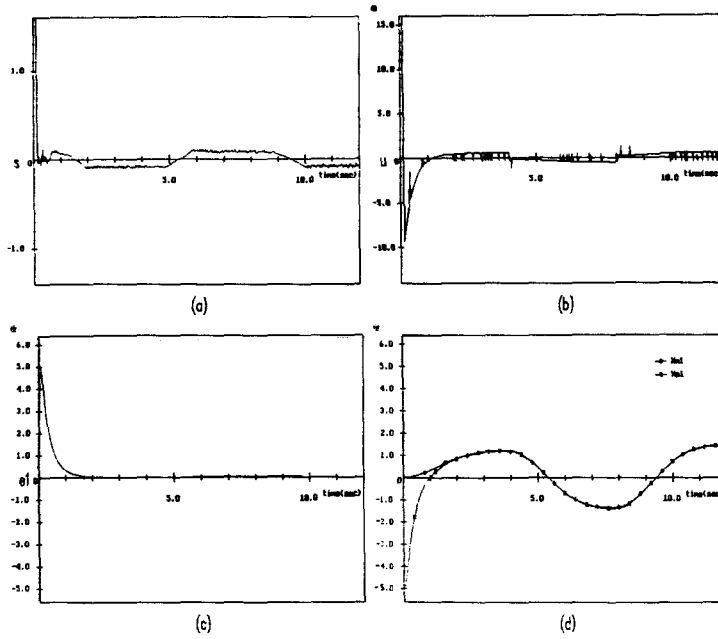


그림 3. $\Delta=0.1$ 일 때 提案된 방식에 의한 시뮬레이션 결과
 (a) 스위칭 函數 (b) 制御 入力 (c) 誤 差 (d) 出力

Fig. 3. Simulation results by the proposed method as $\Delta=0.1$.
 (a) switching function. (b) control input. (c) error. (d) output

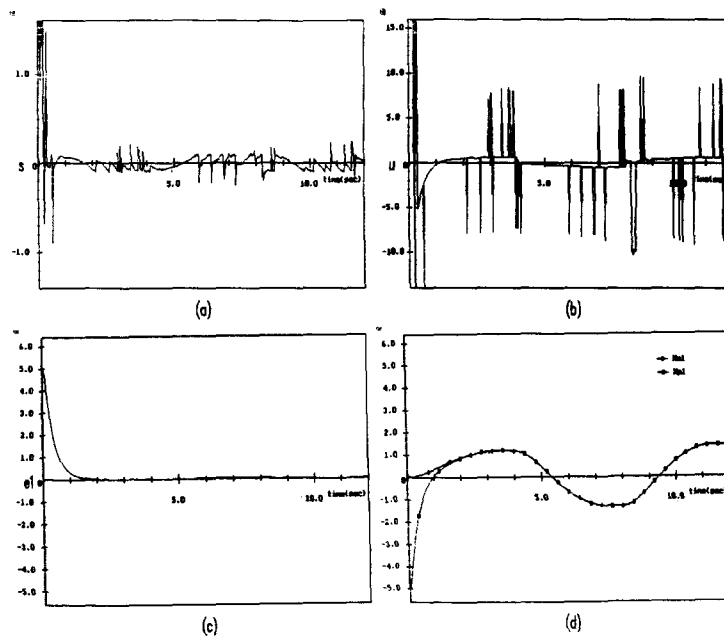


그림 4. $\Delta=0.1$ 일 때 既存 방식에 의한 시뮬레이션 결과
 (a) 스위칭 函數 (b) 制御 入力 (c) 誤 差 (d) 出力

Fig. 4. Simulation results by the conventional method as $\Delta=0.1$.
 (a) switching function. (b) control input. (c) error. (d) output

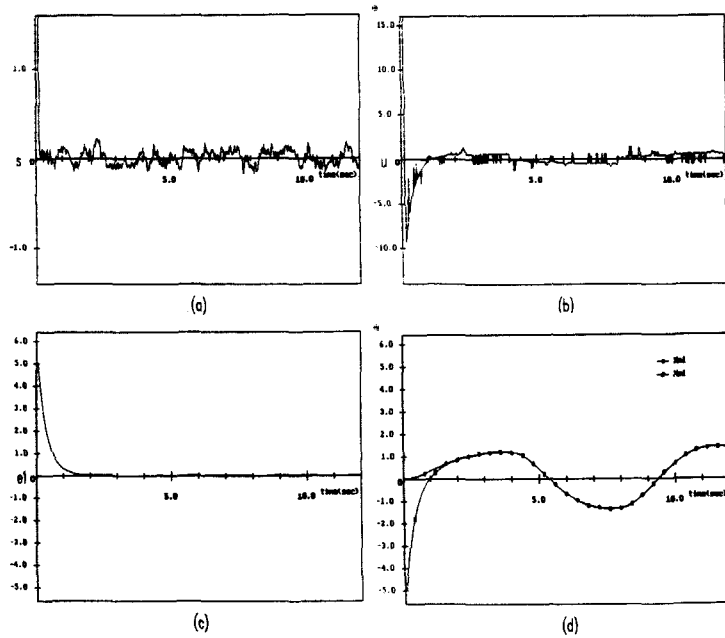


그림 5. 外亂이 있는 경우 $\Delta=0.1$ 일 때 提案된 방식에 의한 시뮬레이션 結果
 (a) 스위칭 函數 (b) 制御 入力 (c) 誤 差 (d) 出 力

Fig. 5. Simulation results by the proposed method as $\Delta=0.1$ with disturbances.
 (a) switching function. (b) control input. (c) error. (d) output.

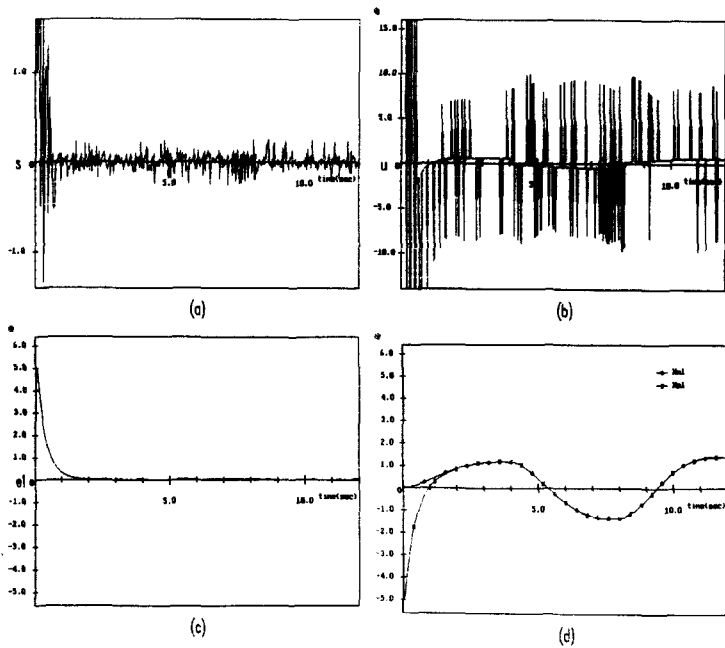


그림 6. 外亂이 있는 경우 $\Delta=0.1$ 일 때 既存 방식에 의한 시뮬레이션 結果
 (a) 스위칭 函數 (b) 制御 入力 (c) 誤 差 (d) 出 力

Fig. 6. Simulation results by the conventional method as $\Delta=0.1$ with disturbances.
 (a) switching function. (b) control input. (c) error. (d) output.

VI. 結 論

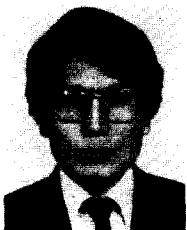
可變構造 모델 追從 制御 시스템에서 狀態 軌跡의 스위칭 平面 到達 速度를 改善시키기 위한 制御 入力の 設計를 위해서 슬라이딩 모드 存在 條件을 變形시키고 이 條件을 滿足시키도록 하는 制御器를 提示하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 狀態 軌跡이 빠른 시간내에 스위칭 平面에 到達하여 슬라이딩 모드에 들게 되므로 外亂이나 파라메터 變動에도 불구하고 工程이 모델을 잘 따르고 슬라이딩 運動時에 채터링의 크기가 줄어들게 됨을 알 수 있다. 또한 슬라이딩 平面 近處의 領域에서 制御 入力を 代置시킴으로써 채터링이 줄어들게 됨을 알 수 있다.

參 考 文 獻

- [1] I.D. Landau and B. Courtiol, "Design of multivariable adaptive model following control systems," *Automatica*, vol. 10, 1974.
- [2] D.P. Lindorff and R.L. Carroll, "Survey of adaptive control using Liapunov design," *Int. J. Control*, vol. 18, no. 5, 1973.
- [3] K.K.D. Young, "Design of variable structure model following control system," *IEEE Trans. on Automat. Contr.*, vol. AC-23, no. 6, Dec. 1978.
- [4] A.S.I. Zinober, O.M.E. El-Ghezawi, and S.A. Billings, "Multivariable variable structure adaptive model following control systems," *IEE PROC.*, vol. vol. 129, Pt. D. no. 1, Jan. 1982.

- [5] A. Balestrino, G. De Maria, and A.S.I. Zinober, "Nonlinear adaptive model following control," *Automatica*, vol. 20, no. 5, 1984.
- [6] G. Ambrosino, G. Celentano, and F. Garofalo, "Variable structure model reference adaptive control systems," *Int. J. Control*, vol. 39, no. 6, 1984.
- [7] V.I. Utkin, "Variable structure systems with sliding modes," *IEEE Trans. on Automat. Contr.*, vol. AC-22, no. 2, Apr. 1977.
- [8] V.I. Utkin, *Sliding modes and their application in variable structure systems*, Mir Publishers, Moscow (English translation, 1978).
- [9] M.D. Espana, R.S. Ortega, and J.J. Espino, "Variable structure systems with chattering reduction," *Automatica*, vol. 20, no. 1, 1984.
- [10] V.I. Utkin and K.D. Yang, "Methods for constructing discontinuity plane in multidimensional variable structure systems," *Automat. Remote Contr.*, vol. 39, no. 10, 1978.
- [11] O.M.E. El-Ghezawi, A.S.I. Zinober, and S.A. Billings, "Analysis and design of variable structure systems using a geometric approach," *Int. J. Control*, vol. 38, no. 3, 1983.
- [12] J.J. Slotine and J.A. Coetsee, "Adaptive sliding controller synthesis for nonlinear systems," *Int. J. Control*, vol. 43, no. 6, 1986. *

參 考 文 獻



李康熊(正會員)

1957年 7月 7日生. 1980年 2月
한국항공대학 전자공학과 졸업.
1982年 2月 서울대학교 대학원 전
자공학과 졸업 공학석사학위 취득.
1984年 3月~현재 서울대학교 대
학원 전자공학과 박사과정 재학중.

1984年 9月~현재 동양공업전문대학 통신과 조교수.
주관심분야는 적응모델추종제어 시스템 및 가변구조
시스템 제어 등임.

崔桂根(正會員) 第25卷 第8號 參照

현재 서울대학교 전자공학과
교수