第12卷第6期
1995年12月

控制理论与应用
CONTROL THEORY AND APPLICATIONS

Vol. 12, No. 6
Dec., 1995

变结构局部模型跟踪控制研究*

周 军 周凤岐 陈新海
(西北工业大学航天工程学院·西安,710072)

吴宏鑫
(北京控制工程研究所,100080)

摘要: 本文针对线性失配不确定性系统,提出了一种新的模型跟踪概念——局部模型跟踪. 基于变结构控制理论,研究了实现此跟踪的系统特定结构和设计方法,并证明了设计中的分离定理以及变结构局部模型跟踪控制系统的最大跟踪能力. 本文突破了变结构不变性条件的苛刻限制,大大提高了系统的稳态跟踪特性.

关键词: 局部模型跟踪; 变结构控制; 失配不确定性; 参考模型; 稳态误差

1 引 言

在模型跟踪控制中,人们要求被控对象复现参考模型,并通过赋予参考模型理想动态特性和稳态品质来获得期望的闭环系统性能. 这一控制形式已在变结构控制理论中得到较深入的研究. Young 首先提出了变结构模型跟踪控制系统,针对参数不确定的线性对象推导了控制律[1]; Zinober 等人将变结构自适应模型跟踪控制与比例控制相比较表明[2],前者优越得多; Bartolini 等研究了非最小相位系统的输出反馈控制问题[3]; Hsu 和 Costa 则考虑了对象仅输入输出可测量的控制系统设计方法[4]……

分析大量文献可知,现有变结构控制系统的研究大都基于 Drazenovic 提出的不变性条件[5]. 然而由于参数和扰动等各种复杂不确定性因素的普遍存在,该条件显得十分苛刻,实际中绝大多数被控对象难以满足[6]. 这不仅会危及闭环系统的稳定性和动态特性,而且会产生很大的稳态偏差,因此必须研究不变性条件失效时的变结构模型跟踪控制问题. 目前的成果均集中在如何保证稳定性方面[1,2,6],如何消除大稳态偏差仍是一个国内外尚未解决的关键而棘手的课题,也是任何模型跟踪控制系统共同面临的困难.

为此,本文将提出局部模型跟踪这一新概念和消除大稳态偏差的基本思想及系统特定结构,并据此研究变结构局部模型跟踪控制系统的设计方法,证明滑动模态等之间的独立设计关系即分离定理,确定系统的最大跟踪能力.

2 变结构不变性条件

考虑具有参数和扰动不确定性的系统

$$\dot{X} = (A + \Delta A)X + BU + Df. \tag{1}$$

其中, $X \in \mathrm{R}^n, U \in \mathrm{R}^m$, 有界扰动 $f \in \mathrm{R}^k$, A, B 和 D 标称已知, ΔA 为 A 的有界摄动矩阵;

(A, B) 完全可控, B 列满秩. 总可以设计参考模型

$$\dot{X}_m = A_m X_m + B_m U_m. \tag{2}$$

* 博士后科学基金和航天科学基金资助.

本文于1994年6月6日收到,1995年3月29日收到修改稿.

式中 $X_m \in \mathrm{R}^n, U_m \in \mathrm{R}^{m_1}, A_m$ 满秩，B_m 列满秩，$m_1 \leqslant m$；且满足完全模型匹配条件[7]：

$$\operatorname{rank}[B \quad A_m - A \quad B_m] = \operatorname{rank}[B]. \tag{3}$$

定义状态误差向量 $e = [e_1, e_2, \cdots, e_n]^{\mathrm{T}} = X_m - X$，变结构模型跟踪控制系统的滑动超平面为

$$S = [s_1, s_2, \cdots, s_m]^{\mathrm{T}} = Ge = \{g_{ij}\}_{m\times n} e = 0. \tag{4}$$

这里滑动模态矩阵 G 满足 $\det(GB) = 0$. 则误差方程(5)和变结构等价系统方程(6)就分别为

$$\dot{e} = A_m e + (A_m - A)X + B_m U_m - \Delta AX - Df - BU, \tag{5}$$

$$\dot{e} = [I - B(GB)^{-1}G][A_m e + (A_m - A)X + B_m U_m - \Delta AX - Df]. \tag{6}$$

由不变性条件[5]知，要实现模型跟踪设计目的 $\lim\limits_{t\to\infty} \| e \| = 0$，被控对象必须满足：

$$\operatorname{rank}[B \ \Delta A \ D] = \operatorname{rank}[B] \tag{7}$$

然而，绝大多数实际对象都是失配不确定性系统，即不满足上式，且有

$$\Delta A = BH + \delta A, \quad D = BE + \delta D. \tag{8}$$

式中 $H \in \mathrm{R}^{m\times n}, E \in \mathrm{R}^{m\times k}$；$\delta A, \delta D \neq 0$ 为失配不确定性部分. 将式(8)代入等价系统方程(6)得

$$\dot{e} = [I - B(GB)^{-1}G][A_m e - \delta AX - \delta Df). \tag{9}$$

显然 δA 影响闭环系统特征结构配置，而 δA 和 δD 共同导致控制系统的大稳态跟踪偏差：

$$\lim_{t\to\infty} e_i \neq 0, \quad \forall\, i = 1, 2 \cdots\cdots, n, \tag{10}$$

并且因 δA 和 δD 不能由 B 的各列线性表示，现有任何模型跟踪控制律均只能使 e 相对减小，却不能使其任一分量收敛于零. 即不变性条件失效时，式(10) 有不可消除性.

另外，对一个实际控制系统，人们强调其鲁棒性所真正注重的是其输出等若干关键状态变量在各种不确定性因素作用下的动态和稳态变化情况，而对系统内部其它状态并不十分关心. 所以在模型跟踪控制系统中，期望达到完全模型跟踪，即

$$\lim_{t\to\infty} \| e \| = 0, \quad \text{或} \quad \lim_{t\to\infty} e_i = 0, \quad \forall\, i = 1, 2 \cdots\cdots, n, \tag{11}$$

不仅因条件式(7) 过于苛刻而在工程中难以实现，并且也不是非常必要的.

根据以上原因，要突破变结构不变性条件的严格限制，就必须研究变结构模型跟踪控制系统新的设计思想和特定结构.

3 局部模型跟踪原理

定义 1 在不确定性对象(1) 和参考模型(2) 组成的模型跟踪控制系统中，$e = X_m - X$，集合 $\lambda \triangleq \{e_1, e_2, \cdots, e_n\}$，存在子集 $\lambda_1、\lambda_2 \neq \Phi$ 且 $\lambda = \lambda_1 \oplus \lambda_2$. 若 $\forall\, U_m \in \mathrm{R}^{m_1}$ 且 $\lim\limits_{t\to\infty} \dot{U}_m = 0$，$\forall\, f \in R^k$ 且 $\lim\limits_{t\to\infty} \dot{f} = 0$，有

$$\begin{cases} \lim\limits_{t\to\infty} e_i = 0, & e_i \in \lambda_1, \\ \lim\limits_{t\to\infty} |e_i| < \infty, & e_i \in \lambda_2, \end{cases} \tag{12}$$

$i = 1, 2, \cdots\cdots, n$. 则称该控制系统实现了局部模型跟踪，为局部模型跟踪控制系统.

定义 2 在定义 1 中，若 λ_1 包含了 λ 的 n 个元素中的 l 个，则称 $\tau = l/n$ 为局部模型跟踪控制系统的匹配度，且该系统是 τ- 模型跟踪的.

可见，τ 是衡量控制系统强制被控对象跟踪参考模型的能力大小的度量；式(12) 则是局部模型跟踪控制系统的设计目的，它较式(11) 弱且更符合工程实际.

考虑到对于失配不确定性系统，式(10) 不可消除，所以我们提出保证式(12) 成立的新的基本设计原理：在同一控制系统中同时引入两个参考模型，产生两个参考状态向量 X_m 和 $\overline{X}_m \in \mathrm{R}^n$. 在迫使被控对象状态 X 跟踪其中一个参考模型的状态 $\overline{X}_m$ 并产生不可消除的稳态偏差 $\bar{e} \in \mathrm{R}^n$

$$\bar{e} = [\bar{e}_1 \cdots \bar{e}_n]^{\mathrm{T}} = \overline{X}_m - X \quad 且 \quad \lim_{t\to\infty} \bar{e}_i \neq 0, \quad i = 1,2,\cdots,n \tag{13}$$

的同时，保证 X 中的若干关键分量对另一参考模型的状态 X_m 的相应分量实现稳态无误差地跟踪，即式(12) 成立.

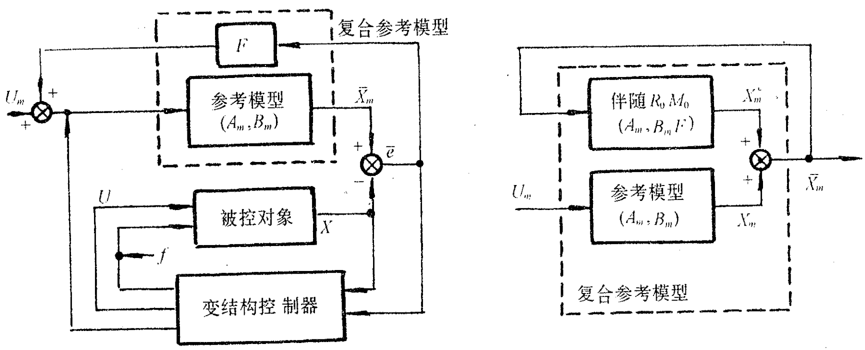

图 1　变结构局部模型跟踪控制系统结构

据此，本文提出图 1 所示的变结构局部模型跟踪控制系统结构. 它的最大特点是：存在由误差 $\bar{e}$ 至 U_m 的反馈，将参考输入同被控对象的运动紧密相联，不再独立无关. 这是目前其它模型跟踪控制系统所不具有的. 图中$(A_m, B_m F)$ 为伴随参考模型，与(A_m, B_m) 结合构成复合参考模型(见虚线框内结构). 它们的状态方程分别为：

$$\dot{X}_m^c = A_m X_m^c + B_m F \bar{e}, \tag{14}$$

$$\dot{\overline{X}}_m = A_m \overline{X}_m + B_m (U_m + F\bar{e}), \quad \overline{X}_m = X_m + X_m^c. \tag{15}$$

这里 $F \in \mathrm{R}^{m_1 \times n}$ 为复合参考模型的误差反馈矩阵，$\bar{e}$ 为式(13) 定义的复合状态误差向量.

定义行满秩状态选择矩阵 $Q \in \mathrm{R}^{l \times n}$，$Q$ 使得 $QA_m^{-1}B_m$ 行满秩，则

$$X_k \triangleq QX, \quad X_{mk} \triangleq QX_m, \quad X_{mk}^c \triangleq QX_m^c. \tag{16}$$

式中 $X_k \in R^l$ 由 X 中的 l 个关键状态变量组成，X_{mk} 和 X_{mk}^c 与 X_k 相对应，$0 < l \leqslant m_1$. 进而

$$\overline{X}_{mk} = X_{mk} + X_{mk}^c, \quad e_k = Qe = X_{mk} - X_k, \quad \bar{e}_k = Q\bar{e} = \overline{X}_{mk} - X_k. \tag{17}$$

定理 1　对于稳定的局部模型跟踪控制系统，其关键状态向量 X_k 稳态时满足

$$\lim_{t\to\infty} e_k = \lim_{t\to\infty} (X_{mk} - X_k) = 0 \tag{18}$$

的充要条件为 $F = -(QA_m^{-1}B_m)^+ Q$. (19)

证　充分性. 将式(19) 代入伴随参考模型状态方程(14). 因稳态时 $\lim_{t\to\infty} \dot{X}_m^c = 0$,

$$\therefore \quad \lim_{t\to\infty} X_{mk}^c = \lim_{t\to\infty} QX_m^c = \lim_{t\to\infty} QA_m^{-1}B_m (QA_m^{-1}B_m)^+ \bar{e}_k.$$

又知 A_m 满秩，$\mathrm{rank}[Q] = l \leqslant m_1 = \mathrm{rank}[B_m]$，故有

$$QA_m^{-1}B_m(QA_m^{-1}B_m)^+ = I_{l\times l}, \tag{20}$$

所以得 $\lim\limits_{t\to\infty}X_{mk}^c = \lim\limits_{t\to\infty}\bar{e}_k$. 加之式(17) 成立,则

$$\begin{aligned}\lim_{t\to\infty}e_k &= \lim_{t\to\infty}X_{mk} - \lim_{t\to\infty}X_k \\ &= \lim_{t\to\infty}X_{mk} - (\lim_{t\to\infty}\overline{X}_{mk} - \lim_{t\to\infty}X_{mk}^c) = 0.\end{aligned}$$

必要性. 对式(17) 分别取极限,并由$\lim\limits_{t\to\infty}e_k = 0$ 综合可得:

$$Q\lim_{t\to\infty}X_m^c = \lim_{t\to\infty}X_{mk}^c = \lim_{t\to\infty}\bar{e}_k = Q\lim_{t\to\infty}\bar{e}.$$

因稳态时$\lim\limits_{t\to\infty}\dot{X}_m^c = 0$,则将式(14) 代入上式就可推出

$$Q\lim_{t\to\infty}\bar{e} = -QA_m^{-1}B_mF\lim_{t\to\infty}\bar{e}.$$

考虑到$\lim\limits_{t\to\infty}\bar{e}$ 具有任意性,$QA_m^{-1}B_m \in \mathrm{R}^{l\times m_1}$ 行满秩,故由上式可得到相容性矩阵方程:

$$Q = -QA_m^{-1}B_mF, \tag{21}$$

解之得 $F = -(QA_m^{-1}B_m)^+Q$. 证毕.

事实上,参考模型(2) 和复合参考模型(15) 便是本文在一个控制系统中同时引入的两个参考模型. 其中式(2) 按一般方法构造,具有理想特征结构以保证闭环系统的动态特性;式(15) 由定理 1 完全确定,从结构上保证系统的稳态品质.

定理 2 对于 n 阶 m 变量失配不确定性被控对象(1),其局部模型跟踪控制系统的最大匹配度为 $\tau_{max} = m/n$.

证 由定义式(16) 知,$\mathrm{rank}[Q] = l \leqslant m_1$. 反之,若$\mathrm{rank}[Q] > m_1$,首先式(20) 不成立,表明含式(19) 结构的控制系统不能保证$\lim\limits_{t\to\infty}e_k = 0$;其次矩阵方程(21) 不相容,表明$\lim\limits_{t\to\infty}e_k = 0$ 所需的反馈阵 F 无解. 故局部模型跟踪控制系统允许的 e_k 的最大维数不超过 m_1,即 $l \leqslant m_1$.

又因为参考模型(2) 的设计满足条件式(3),

$$\therefore \qquad \mathrm{rank}[B_m] = m_1 \leqslant m = \mathrm{rank}[B].$$

于是 $\tau = \dfrac{l}{n} \leqslant \dfrac{m_1}{n} \leqslant \dfrac{m}{n} = \tau_{\max}$. 证毕.

可见,局部模型跟踪控制系统的最大跟踪能力与控制向量的维数密切相关. 控制维数越高,系统的稳态无误差跟踪能力就越强. 显然,定理 2 规定了解的范围.

4 变结构局部模型跟踪控制

根据图 1 所示结构,由式(1),(13) 和(15) 可得局部模型跟踪控制系统的误差方程为

$$\dot{\bar{e}} = A_m\bar{e} + (A_m - A)X + B_m(U_m + F\bar{e}) - BU - \Delta AX - Df \tag{22}$$

控制系统的设计目的也由式(11) 转化为保证上式有界稳定.

与式(4) 相同,定义 m 个滑动超平面:

$$S = [s_1 \quad \cdots \quad s_m]^{\mathrm{T}} = G\bar{e} = [G_1\bar{e} \quad \cdots \quad G_m\bar{e}]^{\mathrm{T}} = \{g_{ij}\}_{m\times n}\bar{e} = 0. \tag{23}$$

则由等价控制方法可解出变结构控制系统进入滑动模态后的等效控制 $U_{eq} \in \mathrm{R}^m$ 为

$$U_{eq} = (GB)^{-1}G[A_m\bar{e} + (A_m - A)X + B_mU_m + B_mF\bar{e} - \Delta AX - Df].$$

$$又 \because \qquad \mathrm{rank}[B_mF\ B] = \mathrm{rank}[B_m\ B] = \mathrm{rank}[B],$$

且式(3)和(7)成立,故将 U_{eq} 代入式(22) 即可推出变结构局部模型跟踪控制系统的等价系统(即闭环系统) 方程:

$$\bar{e} = [I - B(GB)^{-1}G](A_m\bar{e} - \delta AX - \delta Df). \tag{24}$$

很明显，系统(24)与(9)完全等价，其稳定性和动态特性仅取决于滑动模态矩阵 G，而与复合参考模型的反馈结构 F 无关. 由此得出结论：

定理 3(分离定理)　失配不确定性对象(1)的变结构局部模型跟踪控制系统，其动态特性和稳定性对定理 1 确定的复合参考模型结构具有不变性. 而且复合参考模型的设计与滑动模态的构造相互独立，可以分别进行.

分离定理对于变结构局部模型跟踪控制系统的设计有两个方面的重要意义：

首先，复合参考模型消除稳态偏差，而滑动模态决定系统动态特性，故分离定理保证在改善系统稳态品质的同时不影响其动态特性和稳定性，这给设计带来很大方便.

其次，分离定理使得以往所有针对被控对象(1)的变结构模型跟踪控制系统设计方法均能直接应用，只需将以往控制律中的 U_m 改为 $U_m + F\bar{e}$ 即可. 这不仅为变结构局部模型跟踪控制系统的设计方法奠定了基础，而且为其推广和应用开辟了捷径.

设对象(1)中，$\Delta A = \{\Delta a_{ij}\}_{n\times n}$，$D = \{D_{ij}\}_{n\times k}$，$f = [f_1 \ \cdots \ f_k]^{\mathrm{T}}$，且已知不确定性因素的上下界：

$$\Delta a_{ij\min} \leqslant \Delta a_{ij} \leqslant \Delta a_{ij\max}, \quad f_{i\min} \leqslant f_i \leqslant f_{i\max}.$$

为了保证在 ΔA 和 f 的作用下系统滑动模态存在，控制律 U 也须满足滑动模态存在条件

$$S^{\mathrm{T}}\dot{S} = \sum_{i=1}^{m} s_i\dot{s}_i \leqslant 0. \tag{25}$$

$$\because \quad \begin{aligned}\dot{S} &= [\dot{s}_1 \ \cdots \ \dot{s}_m]^{\mathrm{T}} \\ &= G\dot{\bar{e}} = G(\dot{\bar{X}}_m - \dot{X}) \\ &= G[A_m\bar{X}_m + B_m(U_m + F\bar{e}) - AX] - G\Delta AX - GDf - GBU,\end{aligned}$$

$$\therefore \quad \dot{s}_i = G_i[A_m\bar{X}_m + B_m(U_m + F\bar{e}) - AX] - G_i\Delta AX - G_iDf - G_iBU.$$

引入逻辑极值函数 $\varphi(\alpha,\beta) = \begin{cases}\alpha_{\min}, & \beta < 0, \\ \alpha_{\max}, & \beta > 0,\end{cases}$ 并定义 $G_i\Delta AX$ 和 G_iDf 的上下界分别为

$$\inf(s_i, A) \leqslant G_i\Delta AX \leqslant \sup(s_i, A),$$
$$\inf(s_i, D) \leqslant G_iDf \leqslant \sup(s_i, D).$$

则

$$\inf(s_i, A) = \sum_{l=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} g_{ij} \cdot \varphi(\Delta a_{jl}, -g_{ij}x_l) \cdot x_l,$$

$$\sup(s_i, A) = \sum_{l=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} g_{ij} \cdot \varphi(\Delta a_{jl}, g_{ij}x_l) \cdot x_l,$$

$$\inf(s_i, D) = \sum_{l=1}^{k}\Big(\sum_{j=1}^{n} g_{ij}d_{jl}\Big) \cdot \varphi\Big(f_l, -\sum_{j=1}^{n} g_{ij}d_{jl}\Big),$$

$$\sup(s_i, D) = \sum_{l=1}^{k}\Big(\sum_{j=1}^{n} g_{ij}d_{jl}\Big) \cdot \varphi\Big(f_l, \sum_{j=1}^{n} g_{ij}d_{jl}\Big).$$

据此，在满足条件式(25)的前提下可以推导出变结构局部模型跟踪控制律为：

$$U = (GB)^{-1}R, \quad R = [r_1 \ r_2 \ \cdots \ r_m]^{\mathrm{T}}, \tag{26}$$

$$r_i = \begin{cases} G_i[A_m\bar{X}_m + B_m(U_m + F\bar{e})] - \inf(s_i, A) - \inf(s_i, D), & s_i < 0, \\ G_i[A_m\bar{X}_m + B_m(U_m + F\bar{e})] - \sup(s_i, A) - \sup(s_i, D), & s_i > 0. \end{cases} \tag{27}$$

为了消除系统的固有颤振，本文对式(27)在 $s_i = 0$ 附近进行平滑修正，得

$$r_i = G_i[A_m\overline{X}_m + B_m(U_m + F\bar{e}] - Q_i - \Delta Q_i\mathrm{sat}(s_i/\delta_i). \tag{28}$$

式中 $\delta_i > 0$ 为消颤因子. 并且 $\forall_i = 1,2,\cdots,m$,

$$\Delta Q_i \triangleq [\sup(s_i,A) + \sup(s_i,D) - \inf(s_i,A) - \inf(s_i,D)]/2,$$

$$Q_i \triangleq [\sup(s_i,A) + \sup(s_i,D) + \inf(s_i,A) + \inf(s_i,D)]/2,$$

$$\mathrm{sat}(s_i/\delta_i) = \begin{cases} sgn(s_i/\delta_i), & |s_i/\delta_i| \leqslant 1, \\ s_i/\delta_i, & |s_i/\delta_i| > 1. \end{cases}$$

分析可知，该控制律完全基于被控对象的标称参数和不确定性因素的上下界. 由于这些信息工程中最易获得，所以该控制律实现较为简便，降低了对参数辨识和扰动估计的要求，同时对给定上下界范围内的各种不确定性因素具有很强的鲁棒性.

5 算例与仿真

考虑失配不确定性被控对象(1)：

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad \Delta A = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1.5 & 0 \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} 1.6 \\ 2 \end{bmatrix}, \quad f = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

其中已知 A, B 和 $D = I_2$，且已知 $|\Delta a_{ij}| \leqslant 2$, $|f_i| \leqslant 2$. 控制目的要求系统输出 $y = x_1$ 跟踪参考输入信号 U_m: $(a)U_m = 5.0, t \geqslant 0$; $(b)U_m = t, t \geqslant 0$.

设计满足条件式(3) 的参考模型(2)，其中

$$A_m = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -4 & -3 \end{bmatrix}, \quad B_m = \begin{bmatrix} 0 \\ -4 \end{bmatrix}.$$

确定状态选择矩阵 $Q = [1 \quad 0]$，则 $l = 1$，系统的匹配度 $\tau = \tau_{max} = 0.5$. 根据式(19) 计算得 $F = [1 \quad 0]$.

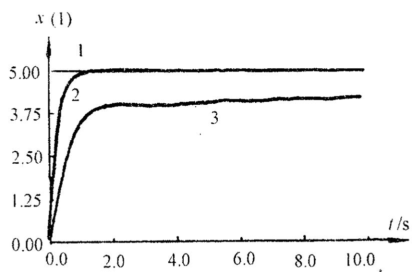

图 2 阶跃响应

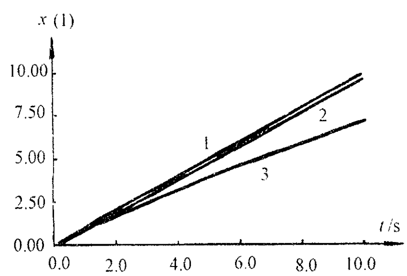

图 3 斜坡响应

针对两种典型参考输入信号 U_m 的仿真结果如图 2 和图 3 所示. 在各图中，曲线 1 为参考输入信号 U_m，曲线 2 为变结构局部模型跟踪控制系统输出，曲线 3 为一般变结构模型跟踪控制系统输出.

结果表明，对一般模型跟踪控制系统，失配不确定性因素不仅会造成很大的稳态偏差，而且危及系统的跟踪特性，关系到设计的成败. 然而基于同样的控制律，变结构局部模型跟踪控制系统不仅完全消除了阶跃响应中的大偏差，而且大大提高了斜坡响应的跟踪特性. 相

比可见该控制系统设计的优越性和正确性.

6 结 论

研究表明,本文提出的变结构局部模型跟踪控制系统的概念、设计方法和设计思想突破了不变性条件的苛刻限制,大大提高了系统对失配不确定性因素的鲁棒性和适应性,为模型跟踪控制系统的设计和应用开辟了一条新途径,具有显著优越性和重要的意义.

参 考 文 献

[1] Young K. K. D.. Design of Variable Structure Model-Following Control Systems. IEEE Automat. Contr. ,1978,AC-23(6):1079－1085

[2] Zinober A. S. I,El－Ghezawi O. M. E & Billings S. A. Multivariable Variable Structure Adaptive Model Following Control Systems. IEE Proc. D. ,1982,129(1):6－12

[3] Bartolini G. & Zolezzi T.. The V. S. S. Approach to the Model Reference Control of Nonminimum Phase Linear Plants. IEEE Automat. COntr. ,1988,AC-33(9):859－862

[4] Hsu L. & Costa R. R.. Variable Structure Model Reference Adaptive Control Using Only Input and Output Measurements. Int. J. Control,1989,49(2):399－416

[5] Drazenovic B.. The Invariance Condition in Variable Structure Systems. Automatica,1969,5:287－294

[6] Stalford H. L.. Robust Control of Uncertain System in the Absence of Matching Conditions:Scalar Input. Proc. of CDC,1987,1298－1307

[7] Erzberger,H. & Field,M.. Analysis and Design of Model Following Control System by State Space Techniques. Proc. of ACC,1968,572－581

The Study on Variable Structure Partial Model Following Control

ZHOU Jun, ZHOU Fengqi and CHEN Xinhai

(College of Astronautics,Northwestern Polytechnical University • Xi'an,710072,PRC)

WU Hongxin

(Beijing Institute of Control Engineering 100080,PRC)

Abstract: In this paper,the new concept of partial model following control(PMFC)is proposed for multivariable linear mismatched uncertain systems. Based on the variable structure control theory,a specific structure and a design method of the variable structure PMFC systems are studied. Moreover,an independent design theorem between the sliding mode and the specific structure is proved,the maximum following ability of a PMFC system is also determined. So that the strict confinements of the invariance conditions are broken through,and the system steady-state following performances are greatly improved.

Key words: partial model following control; variable structure control; uncertain system; steady state error

本文作者简介

周 军 1966 年出生. 1993 年毕业于西北工业大学航天工程学院飞行器控制、制导与仿真学科,获工学博士学位. 现于中国空间技术研究院北京控制工程研究所进行博士后研究. 现为西北工业大学,航天工程学院副教授. 主要从事变

结构自适应控制理论及应用、柔性结构主动控制理论及实验等方面的研究.

周凤岐 1935年出生. 1959年毕业于西北工业大学飞机系,现为西北工业大学航天工程学院教授、博士生导师. 主要从事变结构自适应控制、神经元网络、最优估计、系统辨识及它们在航空航天飞行器控制、制导和仿真中的应用研究.

陈新海 1929年出生. 1953年毕业于浙江大学电机系,1963年获原苏联茹可夫斯基空军工程学院博士学位. 现为西北工业大学航天工程学院教授、博士生导师. 主要从事自适应控制理论、最优估计、系统辨识及它们在航空航天飞行器控制、制导和仿真中的应用研究.

吴宏鑫 1939年出生. 1965年毕业于清华大学自动控制系. 现为中国空间技术研究院北京控制工程研究所研究员、博士生导师. 从事自适应控制理论和智能控制理论研究,以及它们在航天控制和工业过程控制领域中的应用.

'95 中国控制会议纪要

'95中国控制会议于1995年10月15日至21日在安徽省黄山市中国人民大学学术交流中心举行. 到会的专家、学者、工程技术人员和研究生170余人,其中35岁以下的青年代表占60%以上. 他们分别来自全国科研院所、大专院校、工业、企业部门和公司等50多个单位,以及香港、印度、美国、加拿大等海外地区. 代表们在学术会议上做了学术报告,交流了控制理论研究及其在生产实际中成功应用的经验,相互切磋了今后的设想和展望.

会议开幕式由中国自动化学会控制理论专业委员会副主任郑应平研究员主持. 印度工程院院士G. P. Rao教授、香港科技大学曹希仁教授、清华大学方崇智教授、黄山区汪振清副区长、中国自动化学会控制理论专业委员会主任秦化淑研究员等参加了开幕式. 秦化教授代表中国自动化学会控制理论专业委员会致开幕词,她说,'95中国控制会议由控制理论专业委员会主办、IEEE北京分部协办、中国科学技术大学承办,并指出这次大学在参加人数、海外人士投稿和出席等方面都在向着与国际接轨方向前进. G. P. Rao教授、曹希仁教授等外宾在开幕式上发表了热情洋溢的讲话,认为经过中国同行的努力,中国的控制理论和技术在不远的将来一定能在国际上做出重要贡献.

本届中国控制会议特别邀请了中国科学院院士杨嘉墀研究员、印度工程院院士G. P. Rao教授、香港科技大学曹希仁教授、清化大学金以慧教授、北京大学黄琳教授、中国科学院自动化研究所郑应平研究员、中国科技大学孙德敏教授做了大会报告. 他们的报告引起了与会代表的浓厚兴趣,受到了代表们的普遍欢迎.

会议分五个分会场进行学术活动,分别就线性系统、非线性系统、分布参数系统、离散事件动态系统、专家系统、H_∞控制、鲁棒控制、最优估计与预测控制、自适应控制、智能控制、模糊控制、机器人控制、系统建模与辨识、系统理论、系统分析、控制算法研究、神经网络在控制中的应用、可靠性与容错控制等理论研究成果,以及控制理论在机器人、航空航天、工业生产、过程控制和社会经济系统等领域的应用研究成果等多个专题和多方面的成果进行学术交流,进行了热烈讨论和切磋.

(下转第693页)