



多模型 MIMO 系统的模糊加权控制策略

皮道映 孙优贤

(浙江大学工业控制技术研究所 杭州 310027)

摘要 讨论了常规控制策略对多模型系统控制的局限性,通过研究人的决策思路,提出了多模型 MIMO 系统的模糊加权控制策略. 仿真结果表明,这种控制策略使系统具有良好的静、动态特性.

关键词 多模型系统,模糊决策,控制策略.

1 引言

对工业过程中常见的模型参数随工况变化而变化的多模型对象实施控制时,一般是设计同时镇定的控制器,这在参数变化范围较大时很难设计,并且会牺牲系统的动态性能^[1]. 研究人在实际工作中的决策过程,可以发现:人往往是在多个不同方面给出的决策预案中作权衡折衷的,取舍的标准是根据各方面表现出的可信度. 本文将这种思想溶入到控制中,针对多模型 MIMO 系统提出了一种模糊加权控制策略.

2 多模型系统模糊加权控制策略的原理

系统原理框图如图1所示. 首先为描述对象不确定性的每个模型设计满足性能要求的控制器,其实际控制作用是各控制器输出的加权和. 权重取决于各模型与实际对象模型的匹配程

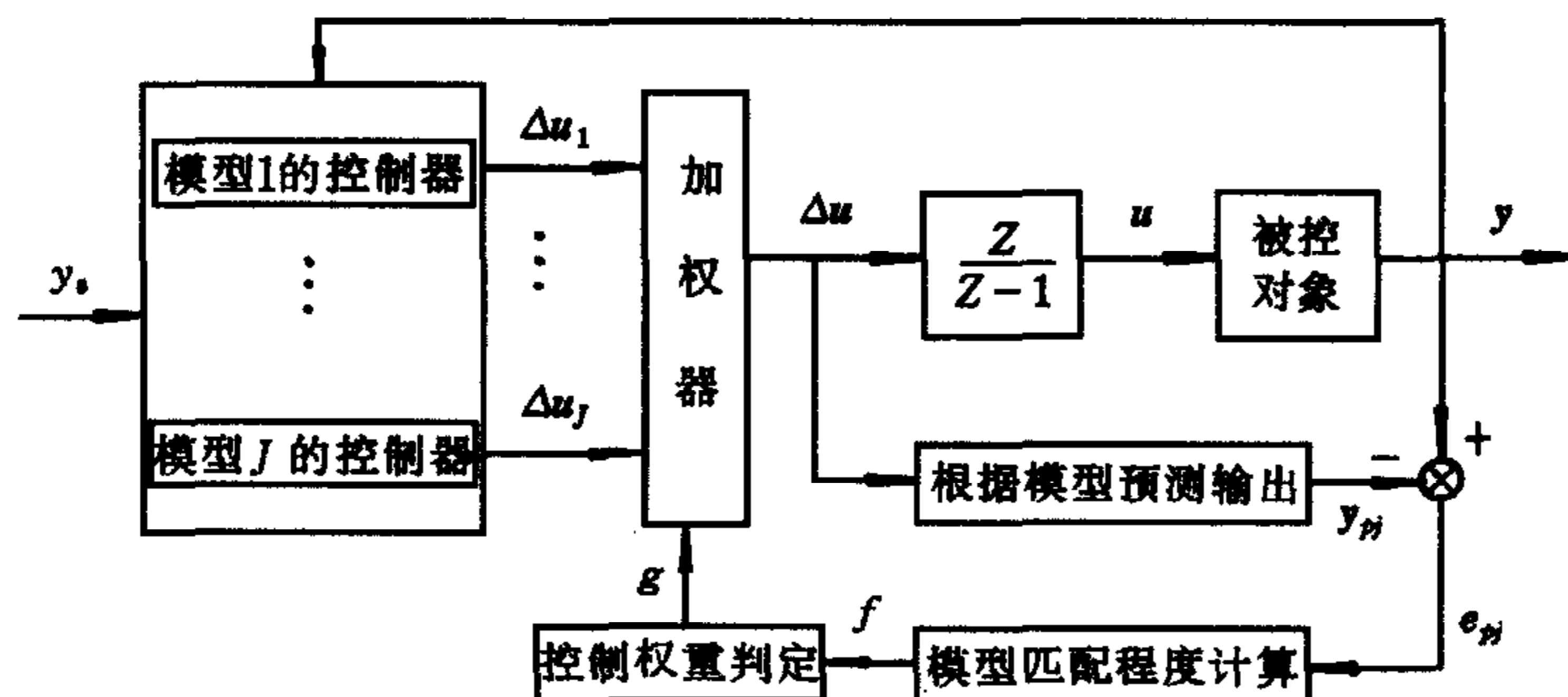


图1 多模型系统模型加权控制原理图

度,可根据各模型的预测输出与实际输出的偏差,经在线识别而得到.显然,其关键在于模型匹配程度和控制权重的计算,下面给出一种新的计算方法.

3 模型匹配程度与控制权重计算

分析人对他人可信度的判断过程发现:人总是在考虑他人过去和最近的表现后进行综合模糊评判的.本文模仿这一过程判定各模型的匹配程度.设有 J 个模型.对模型 j ,其与实际模型的匹配程度 f_j 由两个参数判定:1) 最近几个采样周期相对预测误差的绝对平均值的相对指标 e_j ;2) 滚动有限时域长度内相对预测误差的绝对累计值的相对指标 ea_j .显然,系统将以 e_j 的值反映模型 j 最近预测的准确情况,以 ea_j 的值反映模型 j 过去预测的准确情况,再由 e_j, ea_j 的值综合评判得到模型 j 的匹配程度 f_j .

e_j, ea_j 的计算公式为

$$e_{pj}(m) = y(m) - y_{pj}(m), \quad (1a)$$

$$ee_{pj}(m)[h] = |e_{pj}(m)[h]/y(m)[h]|, \quad (1b)$$

$$\overline{ee}_{pj}(m) = \mathbf{w}_y^T * ee_{pj}(m) / \text{sum}(\mathbf{w}_y), \quad (1c)$$

$$a_j(n) = \sum_{i=0}^{k-1} \overline{ee}_{pj}(n-i) / k, \quad (1d)$$

$$s_j(n) = \sum_{i=0}^{l-1} \overline{ee}_{pj}(n-i), \quad (1e)$$

$$e_j(n) = a_j(n) / \max_{1 \leq i \leq J} (a_i(n)), \quad (1f)$$

$$ea_j(n) = s_j(n) / \max_{1 \leq i \leq J} (s_i(n)). \quad (1g)$$

式中 k 为取平均的周期数 ($k \geq 1$); l 为有限时域长度 ($l > k$); n 为当前采样时刻; $y(m)$ 为系统在采样时刻 m 的实际输出值; $y_{pj}(m), e_{pj}(m), ee_{pj}(m)$ 和 $\overline{ee}_{pj}(m)$ 分别为模型 j 在采样时刻 m 的输出预测值、预测误差、相对预测误差的绝对值(最大值限为1)和加权后的相对预测误差绝对值; $a_j(n)$ 和 $s_j(n)$ 分别为模型 j 在采样时刻 n 之前的 k 个相对预测误差绝对平均值和 l 个相对预测误差绝对累计值; \mathbf{w}_y 是由各输出量的权重构成的列向量,权重代表系统对该输出量的重视程度; h 为列向量的元素序号.其中参数 k 用于平滑近期预测误差,因此选取大于1的值对克服输出端噪声的影响有利,但将使系统对实际模型突变的反应迟钝,一般取1或2;对参数 l ,为了真实反应模型过去的预测情况,可取为已建模型的最大建模长度.

由 e_j, ea_j 可综合评判得到模型 j 的匹配程度 f_j 和控制权重 g_j ,具体方法参见文[2].

4 控制算法

设系统投运前对每个模型均已设计好相应的控制器,则实际运行时的控制算法如下:

1) 控制量赋初值 $\mathbf{u} = \mathbf{u}_0$,置各模型的初始控制权重 $g_j = 1$ ($j = 1 \sim J$),检测系统初始输出 y_0 ,置各模型的预测初值 $y_{pj} = y_0$ ($j = 1 \sim J$);

2) 根据控制器参数和运行数据计算各匹配模型的控制增量 $\Delta \mathbf{u}_j$ ($j = 1 \sim J$);

- 3) 计算实际控制增量 $\Delta u = \sum_{j=1}^J g_j \Delta u_j / \sum_{j=1}^J g_j \quad | \quad g_j > 0;$
- 4) 计算输出实际控制量 $u = u + \Delta u;$
- 5) 计算各模型对输出的预测值 $y_{pj} (j=1-J);$
- 6) 检测系统实际输出 y , 计算各模型的预测误差 $e_{pj} = y - y_{pj} (j=1-J);$
- 7) 计算各模型的匹配程度 f_j , 得到对应的控制权重 $g_j (j=1-J);$
- 8) 重复步骤2)~7), 直到控制结束.

算法中, $u, \Delta u, \Delta u_j$ 是与控制量 u 同维的列向量; y_0, y_{pj}, e_{pj} 是与输出量 y 同维的列向量.

为增强系统适应性, 实际运行中, 可不断以某种指标来评价所建立的模型是否足够, 如果不够则保存此刻前后一段时间内的运行数据, 待控制结束后分析这些数据, 建立新的模型并设计对应的控制器, 加入到系统中参加下一次的控制, 这样就可以不断地完善系统. 我们设想, 该指标可以是事先规定的一个最小权重值 g_{\min} , 若实际运行中连续多次计算出的 $g_j (j=1-J)$ 均小于 g_{\min} , 则可认为需要建立新模型.

5 仿真研究与结论

为切合实际, 取文[1]的纸机多模型系统为例. 某纸厂生产 $80\text{g}/\text{m}^2, 100\text{g}/\text{m}^2$ 和 $120\text{g}/\text{m}^2$ 三种不同定量书写纸的纸机, 要求严格控制成纸定量 (y_1) 和水份 (y_2), 通过机理分析与实验, 分别得到其数学模型为

$$G_{80}(s) = \begin{bmatrix} \frac{1.5e^{-s}}{5s+1} & \frac{1.4}{10s+1} \\ \frac{2.0e^{-s}}{5s+1} & \frac{4}{10s+1} \end{bmatrix}, G_{100}(s) = \begin{bmatrix} \frac{2.0e^{-s}}{4s+1} & \frac{1.05}{10s+1} \\ \frac{1.5e^{-s}}{4s+1} & \frac{3}{10s+1} \end{bmatrix}, G_{120}(s) = \begin{bmatrix} \frac{2.5e^{-s}}{3s+1} & \frac{0.7}{10s+1} \\ \frac{1.0e^{-s}}{3s+1} & \frac{2}{10s+1} \end{bmatrix}.$$

取控制和采样周期为 $T=1$ 分, 要求系统跟踪幅值1、周期 $40T$ 的方波, 系统初态为零. 这里对各模型均采用多变量 GDMC 策略^[3], 并简单地取误差权矩阵元素为1, 控制权矩阵元素为0.1, 误差校正系数为0.6, 建模长度为40, 优化时域长度为20, 控制时域长度为10.

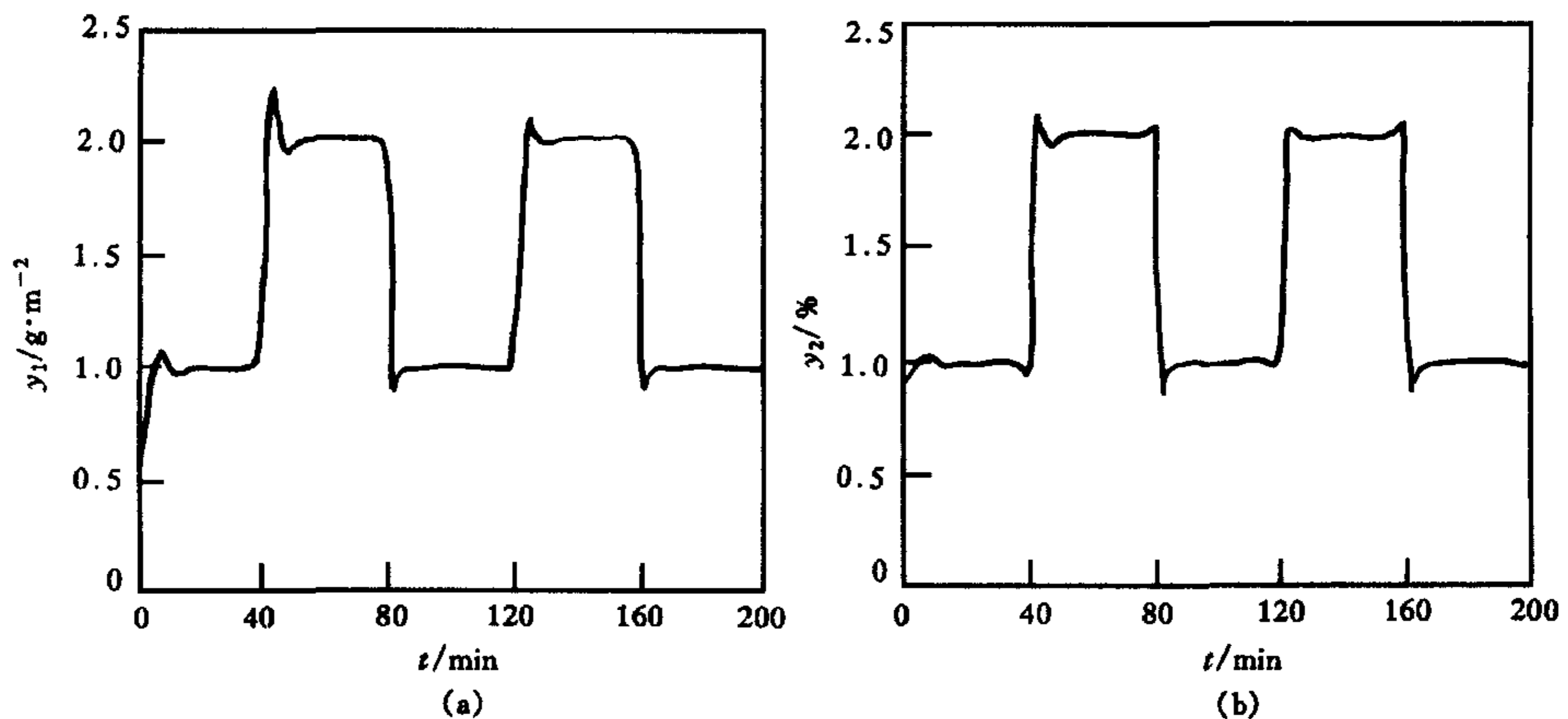


图2 实际模型为 $G_{90}(s)$ 时定量水份跟踪控制曲线

令 $\alpha=0.5, k=1, w_y=[0.5 \quad 0.5]^T, \beta=0.9$ (β 的含义见文[2]). 采用本文算法进行控制,

不论实际模型为哪一个模型,控制效果均是十分令人满意的(仿真结果略).现在假设要生产 $90\text{g}/\text{m}^2$ 和 $110\text{g}/\text{m}^2$ 定量纸,根据前述模型参数的变化情况,不妨设对应的纸机模型为

$$G_{90}(s) = \begin{bmatrix} \frac{1.75e^{-s}}{4.5s+1} & \frac{1.225}{10s+1} \\ \frac{1.75e^{-s}}{4.5s+1} & \frac{3.5}{10s+1} \end{bmatrix}, \quad G_{110}(s) = \begin{bmatrix} \frac{2.25e^{-s}}{3.5s+1} & \frac{0.875}{10s+1} \\ \frac{1.25e^{-s}}{3.5s+1} & \frac{2.5}{10s+1} \end{bmatrix}.$$

在系统中只有对应前三个模型的控制器的情况下,采用本文算法控制,当实际模型分别为 $G_{90}(s)$ (仿真结果见图2)和 $G_{110}(s)$ (仿真结果略)时,系统在给定值同时阶跃变化时,最大有约25%的超调.因此,总的来说控制品质优良.

上述结果以及作者所进行的大量仿真研究表明,本文给出的多模型模糊加权控制算法对被控对象模型的变化具有较强的鲁棒性,并且跟踪迅速,具有较强的实用性.

参 考 文 献

- 1 孙优贤. 造纸过程建模与控制. 杭州:浙江大学出版社,1993. 105—180
- 2 皮道映,孙优贤. 一种新的多模型模糊自适应控制算法. 控制与决策. 1996,11(1):77—80
- 3 谢剑英. 微型计算机控制技术(修订版). 北京:国防工业出版社,1991. 189—212

A FUZZY-WEIGHTED CONTROL SCHEME FOR MULTI-MODEL MIMO SYSTEMS

PI DAOYING SUN YOUXIAN

(*Institute of Industrial Process Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027*)

Abstract In light of the limitation of ordinary schemes for control of multi-model MIMO systems, the paper develops a fuzzy-weighted control scheme for those systems after studying the way of men's decision-making. Simulation results show that the control scheme improves both static and dynamic characteristics of the system.

Key words Multi-model system, fuzzy decision-making, control scheme.