第9卷第5期
1992年10月
控制理论与应用
CONTROL THEORY AND APPLICATIONS
Vol. 9, No. 5
Oct., 1992

一类结构时变SISO系统的自适应控制

韩志刚 汤兵勇 闫江
(黑龙江大学应用数学研究所·哈尔滨, 150080)

摘要: 本文考虑了一类结构时变SISO系统的自适应控制问题,讨论了模型结构状态逗留时间的确定方法,在此基础上给出结构时变系统的自适应控制律.

关键词: 时变结构模型; 结构状态逗留时间; 自适应控制律

1 引言

自适应控制系统是一种较特殊形式的非线性控制系统,其系统本身的特性,环境及干扰存在某种不确定性. 其中系统模型结构和参数的不确定性在某一类系统中表现得尤其突出,具有相当的普遍性,讨论这类系统的自适应控制问题是十分有益的.

我们所说的模型结构是指模型的函数形式,对单一方程模型,若以 $y(k)$ 表示系统的输出, $u(k)$ 表示系统的输入,以 θ 表示参数向量, k 为离散时间变量, $e(k)$ 为零均值的白噪声,通常,模型可写成预报误差形式

$$y(k) = G(Y_{k-1}, U_{k-1}, \theta, k) + e(k). \tag{1}$$

其中

$$Y_{k-1} = \{y(0), \cdots, y(k-1)\}, \quad U_{k-1} = \{u(0), \cdots, u(k-1)\}.$$

这里我们考虑可能有多种模型结构的系统,我们将每一种结构称为一种结构状态,设系统有 n 种不同的结构,每种结构的数学模型的框架是已知的,用 $\{1, 2, \cdots, n\}$ 表示结构状态集合,则结构时变模型为

$$\begin{cases} y(k) = G_1(Y_{k-1}, U_{k-1}, \theta_1, k), & k \in [\tau_{k_1}, \tau_{k_1+1}], \\ y(k) = G_2(Y_{k-1}, U_{k-1}, \theta_2, k), & k \in [\tau_{k_2}, \tau_{k_2+1}], \\ \qquad \vdots \\ y(k) = G_n(Y_{k-1}, U_{k-1}, \theta_n, k), & k \in [\tau_{k_n}, \tau_{k_n+1}]. \end{cases} \tag{2}$$

此处 $\tau_{k_i}(i=1,2,\cdots,n)$ 表示系统结构第 k_i 次改变的时间,区间 $[\tau_{k_i}, \tau_{k_i+1}](i=1,2,\cdots,n)$ 互不重叠,但可有共同的端点,每个 $[\tau_{k_i}, \tau_{k_i+1}]$ 可重复表示不同的区间. 假定 τ_{k_i} 以后系统结构已进入状态 i,置

$$\tau(k_i, i) = \tau_{k_i+1} - \tau_{k_i}, \quad (i = 1, 2, \cdots, n), \tag{3}$$

则 $\tau(k_i, i)$ 即为系统在 τ_{k_i} 以后在结构状态之中的逗留时间. 其依赖于 k_i 和 i,本文仅考虑与 k_i 和 i 皆无关的最简单情形,把 $\tau(k_i, i)$ 简记为 τ,称 τ 为系统在每个结构状态中的逗留时间,由于系统结构随机变化,故 τ 是一个随机变量,在文献[1]中已给出了 τ 的概率分布.

本文于1990年10月18日收到. 1991年6月8日收到修改稿.

考虑时变结构 SISO 系统的自适应控制问题,需要在不同时段内选择不同的模型结构,这关键在于确定各模型结构状态的逗留时间,基于这个观点,本文首先讨论模型结构状态逗留时间的确定方法,然后介绍时变参数情形的自适应控制律.

2 模型结构状态逗留时间的确定

对于系统 S,依据一组足够多的、在不同时段对应不同结构的历史观测数据,利用系统辨识的方法得到时段与不同模型结构的对应关系,从而确定结构状态逗留时间是我们的目的.

选择适当的参数估计方法,利用上述的历史数据,同时对上述的几个模型中的未知参数辨识,得出一系列估值

$$\hat{\theta}_i(1),\hat{\theta}_i(2),\cdots,\hat{\theta}_i(m), \quad i=1,2,\cdots,n,$$

其中 m 是观测的终止时刻.

利用模型结构辨识的模型拟合度判别法可得出结构状态逗留时间的样本值和样本均值,具体方法如下:

令 $\hat{\theta}_i(k+1/k)$表示参数 $\theta_i(k+1)$依据 k 时刻以前的估值$\{\hat{\theta}_i(1),\cdots,\hat{\theta}_i(k-1),\hat{\theta}_i(k)\}$所得出的预报值,再令

$$\varepsilon_i(k+1)=y(k+1)-G_i(Y_k,U_k,\hat{\theta}_i(k+1/k),k+1), \tag{4}$$

显然 $\varepsilon_i(k+1)$是第 i 个模型结构作为 S 系统的模型所产生的输出误差,一般情况下这种误差的大小取决于模型结构的选择是否正确. 我们用 $\eta_i(k+1)$表示 $k+1$ 时刻以前的模型误差的平方平均值,即

$$\eta_i(k+1)=\frac{1}{k+1}\sum_{l=1}^{k+1}\varepsilon_i^2(l), \quad i=1,2,\cdots,n, \tag{5}$$

可写成

$$\eta_i(k+1)=\frac{k}{k+1}\eta_i(k)+\frac{1}{k+1}\varepsilon_i^2(k+1), \quad i=1,2,\cdots,n. \tag{6}$$

称 $\eta_i(k+1)$为模型 i 对系统 S 的拟合度. 考虑系统结构是时变的,过去较长时间的数据对系统目前所处的结构状态已不能提供有价值的信息,这里将$\frac{k}{k+1}$换成一般的遗忘因子 a $(0<a<1)$,即采用如下递推形式

$$\eta_i(k+1)=a\eta_i(k)+(1-a)\varepsilon_i^2(k+1), \quad i=1,2,\cdots,n. \tag{7}$$

如果在时刻 k 有

$$\eta_{i_0}(k+1)=\min\{\eta_i(k+1);\ i=1,2,\cdots,n\}, \tag{8}$$

就认为系统 S 在 k 时刻处于第 i_0 个结构状态. 应用这一判据 $\eta_i(k)$对历史数据的分析,可得出结构逗留时间的一系列观测值 $\hat{\tau}(1),\hat{\tau}(2),\cdots,\hat{\tau}(l)$,以及样本均值 $\bar{\tau}=\frac{1}{l}\sum_{j=1}^{l}\hat{\tau}(j)$,假设已确定目前时刻 N 系统结构所处的状态为 i_0,求出系统在结构状态 i_0 中已逗留的时间 τ_{i_0},进一步即可得出系统结构状态继续逗留在 i_0 中的期望时间为 $\bar{\tau}-\tau_{i_0}$.

3 结构时变模型动态系统的自适应控制

经上一节的离线分析我们可以确定目前系统的结构状态,并且可估计出系统结构状态继续逗留的期望时间,这样对我们来讲在期望时间内的数学模型是确定的,所以对在期

望时间内的系统自适应控制律为[7]中的递推形式

$$u(k)=u(k-1)+\frac{\delta_k}{\|\nabla_{u(k-1)}G_{i_0}[Y_k,u(k-1),U_{k-1},\hat{\theta}_{i_0}(k+1),k+1]\|^2}$$
$$\cdot\nabla_{u(k-1)}G_{i_0}[Y_k,u(k-1),U_{k-1},\hat{\theta}_{i_0}(k+1),k+1]$$
$$\cdot\{y^*(k+1)-G_{i_0}[Y_k,u(k-1),U_{k-1},\hat{\theta}_{i_0}(k+1),k+1]\}. \tag{9}$$

其中 $\hat{\theta}_{i_0}(k+1)$是利用算法

$$\hat{\theta}_{i_0}(k)=\hat{\theta}_{i_0}(k-1)+\frac{\delta}{\|\nabla_{\theta_i(k-1)}G_{i_0}(Y_{k-1},U_{k-1},\hat{\theta}_{i_0}(k-1),k)\|^2}$$
$$\cdot\nabla_{\theta_{i_0}(k-1)}G_{i_0}(Y_{k-1},U_{k-1},\hat{\theta}_{i_0}(k-1),k)$$
$$\cdot\{y(k)-G_{i_0}(Y_{k-1},U_{k-1},\hat{\theta}_{i_0}(k-1),k)\} \tag{10}$$

得出一系列值 $\hat{\theta}_{i_0}(m),\hat{\theta}_{i_0}(m+1),\cdots,\hat{\theta}_{i_0}(k)$后，寻找其规律作出的预报 $\hat{\theta}_{i_0}(k+1)$.

4 仿真说明

设系统有两种结构

$$\begin{cases} y(k)=\alpha_1 y(k-1)u(k)^{\alpha_2}+e(k), & (1)\ \text{结构} \\ y(k)=\beta_1 y(k-1)+\beta_2 u(k)^2+e(k). & (2)\ \text{结构}\end{cases}$$

依据给出的一组历史数据，利用拟合度判据，$\eta_1(k)-\eta_2(k)>0$ 接受模型(2)，$\eta_1(k)-\eta_2(k)<0$ 接受模型(1)，$\eta_1(k)-\eta_2(k)=0$ 继续．这样我们可以给出两种结构状态在“历史上”的逗留时间的分布规律.

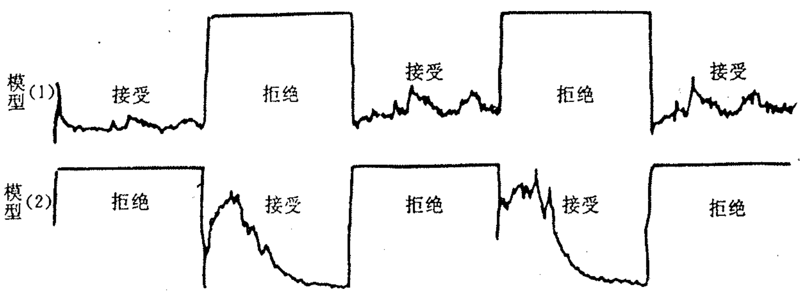

图1　模型结构动态变化示意图

5 结　　论

对于系统模型结构时变的复杂问题，要想解决其预报和自适应控制问题是很困难的，本文给出的方法为解决上述困难提供了有益的途径，有一定的实用价值.

参考文献

[1] 韩志刚. 结构随机变化系统的多层递阶预报. 自动化学报，1990，16(5)：423—428

[2] 韩志刚. 多层递阶方法及其应用. 北京：科学出版社，1989

[3] 韩志刚. 动态系统时变参数的辨识. 自动化学报，1984，10(4)：330—337

[4] 韩志刚，汤兵勇. 参数预报的自适应控制方法及其在农业中的应用. 控制理论与应用，1985，2(4)：44—52

[5] 韩志刚. 稳定的参数自适应控制系统及其应用. 控制理论与应用，1987，4(4)：76—81

[6] 汤兵勇. 关于动态系统时变参数的预报算法. 黑龙江大学自然科学学报，1983，(1)：18—25

[7] 韩志刚. 非线性自适应控制系统设计的一种方法. 控制与决策, 1990, 5(6): 39—45

A Kind of Adaptive Control of SISO System with Time-Varying Structure

HAN Zhigang, TANG Bingyong and YAN Jiang

(Institute of Applied Mathematics, Heilongjiang University · Haerbin, 150080, PRC)

Abstract: In this paper, adaptive control problem of SISO system with time-varying structure are considered. The method of determining the system structure state staying-time is discussed. The algorithm of adaptive controller is given. Finally a simulation example indicates that the method is effective.

Key words: time-varying structure; adaptive control; system structure state staying-time

本文作者简介

韩志刚　见本刊1992年第1期第49页.

汤兵勇　1951年生. 1982年1月至5月, 在呼兰师范专科学校数学系执教. 1982年5月至今, 在黑龙江大学应用数学研究所工作, 现为副教授. 主要研究工作为系统辨识与自适应控制; 目前研究领域为智能系统与复杂大系统的辨识和控制.

闫　江　1961年生. 1984年9月至1989年9月为黑龙江大学物理系助教; 1989年9月至今为黑龙江大学应用数学研究所讲师. 主要研究系统辨识与自适应控制. 目前研究领域为工业生产过程控制.

更　正

本刊1992年第3期因排印错误, 特作如下更正:

页	行	误	正
312	倒13	数学图象处理	数字图象处理
313	15	数学定理方法	数学定量方法
	16	人工智能	人机智能
	19	模型式识别	模式识别
	26	计算机认真	计算机仿真

谨此向作者和读者表示歉意!

本刊编辑部