文章编号：1003-7837(2006)02-0147-03

系统辨识对象的有限拍内模控制

严　奎

（四川大学电气信息学院，四川 成都　610065）

摘　要：应用系统辨识的方法对对象进行在线辨识，得出未知的控制对象. 利用内模控制设计简便、直观的优势，针对具体的控制对象，设计有限拍内模控制器；从而得到满足现场条件限制下的最优内模控制.

关键词：系统辨识；内模控制；最小能量；M序列激励；有限拍控制

中图分类号：TF15　　　**文献标识码**：A

内模控制（Internal Model Control，简称IMC）是一种基于过程数学模型进行控制器设计的控制策略. 内模控制不仅在工业过程控制中获得了成功的应用，而且在控制系统稳定性和鲁棒性理论分析方面也表现出优势[1]. 由于有限拍控制器是根据工业过程控制要求设计的有效控制器，所以将有限拍控制引入内模控制中具有更广的应用领域.

本文所研究的是在控制对象未知的情况下，采用最小二乘法进行参数辨识，将系统辨识方法与有限拍控制器设计结合起来，得到一种新的控制方法. 分析研究并通过实验仿真与自校正跟踪控制器，比较其稳定性、鲁棒性和有效性.

1　基本理论

1.1　最小二乘法辨识原理[2]

不妨设对象为：

$$z(k)=h^T(k)\theta+e(k), \tag{1}$$

式(1)中：$z(k)$和$h(k)$都是可观测数据；θ是待估计数据参数；$e(k)$是均值为0的随机噪声. 取得准则函数：

$$\begin{aligned}J(\theta)&=\sum_{k=1}^{L}[z(k)-h^T(k)\theta]^2\\&=(z_L-H_L\theta)^T(z_L-H_L\theta).\end{aligned} \tag{2}$$

将$J(\theta)$极小化，求得θ的估计值：

$$\left.\frac{\partial J(\theta)}{\partial\theta}\right|_{\theta_{LS}}=\frac{\partial}{\partial\theta}(z_L-H_L)^T(z_L-H_L)=0, \tag{3}$$

$$\theta_{LS}=(H_L^TH_L)^{-1}H_Lz_L. \tag{4}$$

从式(4)可以看出，$(H_L^TH_L)$必须是可逆的，且

$$\left.\frac{\partial J^2(\theta)}{\partial\theta^2}\right|_{\theta_{LS}}=2(H_L^TH_L)\geqslant 0, \tag{5}$$

于是θ_{LS}使得$J(\theta)|_{\theta_{LS}}$为最小，并且唯一.

由于上面的算法在使用时，占有内存大、离线辨识及耗时多等[3]，因此，在实际应用中把上面算法转换成递推算法. 递推算法是取上一次的结果进行修正，得到下一次的估计值. 具体算法如下：

$$\theta_{k+1}=\theta_k+S_{k+1}(z_{k+1}-H_{k+1}^T\theta_k), \tag{6}$$

$$S_{k+1}=\frac{P_kH_{k+1}}{1+H_{k+1}^TP_kH_{k+1}}, \tag{7}$$

$$P_{k+1}=[I-S_{k+1}H_{k+1}^T]P_k. \tag{8}$$

1.2　基于内模控制的有限拍最小能量的控制器Q设计原理[4-5]

设　$r=\dfrac{1}{1-\lambda}$（阶跃输入），

$$e(\lambda)=r-y=r-P_mu. \tag{9}$$

有限拍控制是在有限个采样周期内使$e(k)\to 0$，

$$e(\lambda)=\frac{1-P_m[(1-\lambda)u_a+u_s\lambda^{k+1}]}{1-\lambda}. \tag{10}$$

只要$(1-\lambda)u_a+u_s\lambda^{k+1}$中含有$P_m$的分母，则$e(\lambda)$就

收稿日期：2006－03－28

作者简介：严奎（1976－），男，四川成都人，硕士.

是有限多项式.

如果出现重极点，则对 $(1-\lambda_i)u_a(\lambda_i)+u_s\lambda_i^{k+1}$ 求导，如 λ_i 为 N 重极点，则

$$\left.\frac{d^n[(1-\lambda)u_a(\lambda)+u_s\lambda}{d\lambda^n}\right|_{\lambda=\lambda_i}=0,$$

可以组成线性方程组，即：

$$\underbrace{\begin{bmatrix}1 & \lambda_1 & \cdots & \lambda_1^k\\ 1 & \lambda_2 & \cdots & \lambda_2^k\\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots\\ 1 & \lambda_p & \cdots & \lambda_p^k\end{bmatrix}}_{A}\underbrace{\begin{bmatrix}u_0\\ u_1\\ \cdots\\ u_k\end{bmatrix}}_{U_k}=\underbrace{\begin{bmatrix}\frac{u_s\lambda_1^{k+1}}{\lambda_1-1}\\ \cdots\\ \frac{u_s\lambda_p^{k+1}}{\lambda_p-1}\end{bmatrix}}_{B} \tag{11}$$

当 $k>P-1$ 时，方程有无穷解. 为此在该基础上优化，定义性能指标函数为能量最小.

设　$J=U_k^TWU_k$　(12)

式(12)中：W 为加权矩阵，则优化问题为在约束条件 $AU_k=B$ 下，求 U_k，$J_{\min}$ 最优解为：

$$U_k=W^{-1}A^T(AW^{-1}A^T)^{-1}B, \tag{13}$$

$$J_{\min}=B^T(AW^{-1}A^T)^{-1}B. \tag{14}$$

2　对象控制与仿真研究

实际物理模型

$$G_P(S)=\frac{K_Pe^{-\tau S}}{T_PS+1}=\frac{4.2e^{-40S}}{180S+1}. \tag{15}$$

带零阶保持器的广义对象的传递函数为

$$G_P(Z^{-1})=Z\left(\frac{1-e^{-\tau S}}{S}\cdot\frac{K_Pe^{-\tau S}}{T_PS+1}\right)=\frac{b_0z^{-d}}{1+a_1z^{-1}}. \tag{16}$$

式(16)中：$b_0=K_P(1-e^{-T/T_P})$，$a_1=-e^{-T/T_P}$. 当 $T_P=\tau=40$时，可以解得：

$$(1-0.8007z^{-1})y(t)=0.8639z^{-2}u(t)+c(z^{-1})v(t), \tag{17}$$

式(17)中 $v(t)$为均值为零的不相关随机噪声.

采用增广最小二乘法进行参数估计，与最小二乘法相比只是增加了对 $c(z^{-1})$的估计. 将对象转化为：

$$\begin{cases}A(q^{-1})y(k)=q^{-d}B(q^{-1})u(k)+C(q^{-1})v(t);\\ A(q^{-1})=1+a_1q^{-1}+a_2q^{-2}+\cdots;\\ B(q^{-1})=1+b_1q^{-1}+b_2q^{-2}+\cdots;\\ C(q^{-1})=1+c_1q^{-1}+c_2q^{-2}+\cdots.\end{cases} \tag{18}$$

因为对象阶次 $d=2$，故 $n_a=1$，$n_b=0$. 不妨设 $n_c=2$，用 M 序列激励[3]，内模控制的辨识结构如图1所示.

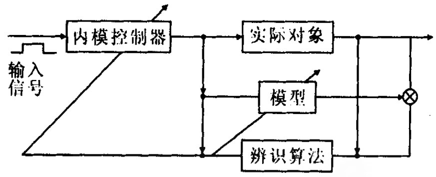

图 1　有限拍内模控制的辨识结构图

Fig. 1　Structure of deadbeat inner model control

通过在线辨识可以得出系统对象的系数：$a_1=-0.8007$，$b_1=0$，$c_1=-1$；$a_2=0$，$b_2=0.8639$，$c_2=0.2$；$c_0=2$. 将系数带入辨识对象得：

$$(1-0.8007z^{-1})y(t)=0.8639z^{-2}u(t)+(2-z^{-1}+0.2z^{-2})v(t). \tag{19}$$

采用有限拍最小能量的控制：

$k=0$ 时，控制器 $Q=1.1576-0.9269\lambda$，$J_{\min}=1.34$；　(20)

$k=2$ 时，控制器 $Q=0.3616-0.09\lambda+0.1125\lambda^2-0.3334\lambda^3$，$J_{\min}=0.6529$.　(21)

仿真结果如图 2 所示.

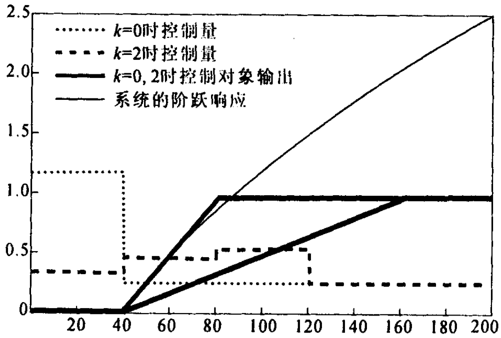

图 2　有限拍内模控制的仿真结果

Fig. 2　The imitating result of deadbeat inner model control

对加入干扰后的控制方法进行比较. 将控制对象式(19)从第 20 个时间单位开始变为：

$$(1-0.8007z^{-1})y(t)=5\times0.8639z^{-2}u(t)+(2-z^{-1}+0.2z^{-2})v(t). \tag{22}$$

把该控制方法与最小方差自校正跟踪控制法比较并仿真，输出结果如图 3 所示.

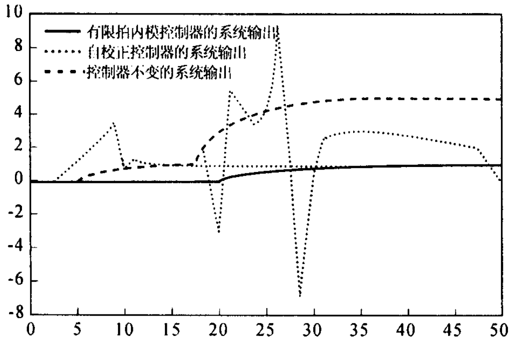

图 3　加上干扰后的控制方法比较

Fig. 3　The comparison of controlling method after disturble signal input

3　结　　论

在控制对象模型未知的情况下，系统辨识对象的有限拍内模控制法能快速有效的捕捉被控对象，而且又能利用内模控制的优点，在实际条件下得到期望的控制；当系统控制对象改变或出现干扰时，该方法通过在线辨识，又能重新捕捉对象设计出控制器. 该法对对象的控制明显优于最小方差自校正跟踪控制.

参考文献：

[1] 高东杰，谭杰，林红权. 应用先进控制技术[M]. 北京：国防工业出版社，2003.

[2] 杨承志，孙棣华，张长胜. 系统辨识与自适应控制[M]. 重庆：重庆大学出版社，2003.

[3] 侯媛彬，汪梅，王立琦. 系统辨识及其 MTLAB 其仿真[M]. 北京：科学出版社，2004.

[4] 赵曜. 内模控制的鲁棒无差跟踪条件[C]//中国控制与决策学术年会论文集. 沈阳：东北大学出版社，1999：252－254.

[5] 赵曜. 基于内模结构的鲁棒有限拍控制及其与预测控制的比较[C]//95 中国控制会议论文集. 沈阳：东北大学出版社，1995：663.

Identification system deadbeat internal model control

YAN Kui

(*SEEI of Sichuan University*, *Chengdu* 610065, *China*)

Abstract: Using the method of system identification, to get the uncertain plants is proposed. With advantages of the internal model control such as convenience and visualty in designing and applying, it is possible for the controler to achieve a desired level of performance in the face of specifical control plants. So the optimal control in the limit of local condition can be got.

Key words: system identify; internal model control; minimum energy; M serial signals; deadbeat control