第10卷 第2期　　自 动 化 学 报　　Vol. 10, No. 2
1984 年 4 月　　ACTA AUTOMATICA SINICA　　Apr., 1984

奇次 Hammerstein 系统自适应算法的自校正性和稳定性

陈 树 中
（上海华东师范大学）

摘　　要

本文将 Goodwin 推导的自适应控制器推广到 Hammerstein 模型，在一定条件下，由 Goodwin 推导的算法和H模型形成的系统有总体收敛性，即输入输出在某种意义下有界，输出渐近跟踪规定的有界信号.

一、H模型及其自校正算法

最近几年，自适应控制有很大发展，提出了各种自校正控制器[1-3]. 不少文献研究了由此产生的闭环系统的自校正性和稳定性[1,4-7]. 但上述研究仅限于线性系统. 最近文献[8]将文献[1]的思想推广到广义H模型（Hammerstein）的极值控制. 该模型在输入中含非线性部件，其方块图如图1所示.

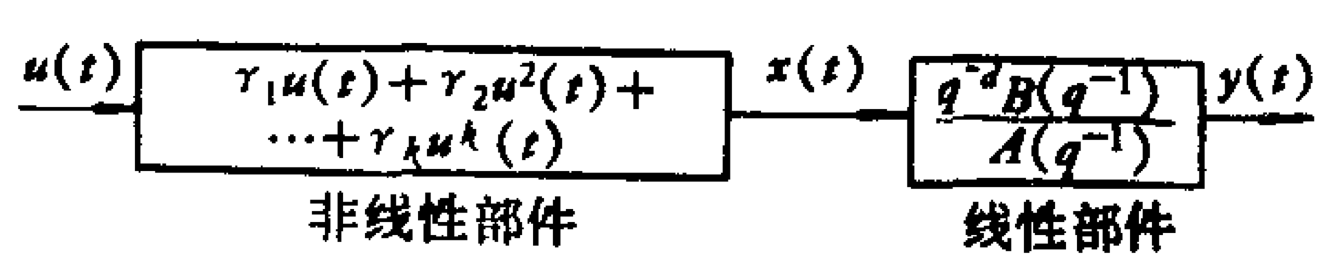

图 1

本文考虑H模型的广义形式，非线性部件的 k 是奇数. 为书写简单，取 $k=3$，广义H模型的差分方程形式是

确定模型
$$A(q^{-1})y(t+d)=\sum_{i=1}^{3}B_i(q^{-1})u^i(t), \tag{1}$$

随机模型
$$A(q^{-1})y(t+d)=\sum_{i=1}^{3}B_i(q^{-1})u^i(t)+C(q^{-1})w(t+d). \tag{2}$$

$$A(q^{-1})=1+\sum_{i=1}^{n}a_iq^{-i},\quad C(q^{-1})=1+\sum_{i=1}^{m}c_iq^{-i},$$

$$B_i(q^{-1})=\sum_{j=0}^{n_i}b_{ij}q^{-j},\quad i=1,2,3.$$

其中 q^{-1} 是后向位移算子，$w(t)$ 是均值为零的白噪音.

本文于1981年9月4日收到.

设 $y^*(t)$ 是已知有界参考输入，a_i，c_i，b_{ij} 未知，目的是构造一控制器，使系统在某种意义下有界且 $y(t)$ 跟踪 $y^*(t)$. 本文通过线性有界条件证明，文献 [6,7] 的算法适用于奇次 H 模型.

存在 $d-1$ 阶多项式 $P(q^{-1})$，用 $P(q^{-1})$ 乘 (1) 式两边可得

$$y(t+d)=\alpha(q^{-1})y(t)+\sum_{i=1}^{3}\beta_i(q^{-1})u^i(t)=\boldsymbol{\phi}^T(t)\boldsymbol{\theta}_0, \tag{3}$$

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\phi}^T(t)=\{&y(t),\cdots,y(t-n+1),u^3(t),\cdots,u^3(t-n_3-d+1),\\&u^2(t),\cdots,u^2(t-n_2-d+1),u(t),\cdots,u(t-n_1-d+1)\}.\end{aligned} \tag{4}$$

其中 $\boldsymbol{\theta}_0$ 是 $\alpha(q^{-1})$，$\beta_i(q^{-1})$ 中系数构成的向量. 记 $\hat{\boldsymbol{\theta}}(t)$ 为 $\boldsymbol{\theta}_0$ 在时刻 t 的估值. 由 (3) 的形式可引出如下确定模型自校正算法:

参数估计
$$\begin{aligned}\hat{\boldsymbol{\theta}}(t)=\hat{\boldsymbol{\theta}}(t-1)+a(t)\boldsymbol{\phi}(t-d)[1+\boldsymbol{\phi}^T(t-d)\boldsymbol{\phi}(t-d)]^{-1}\\ \times[y(t)-\boldsymbol{\phi}^T(t-d)\hat{\boldsymbol{\theta}}(t-1)],\end{aligned} \tag{5}$$

控制规律
$$\boldsymbol{\phi}^T(t-d)\hat{\boldsymbol{\theta}}(t-d)=y^*(t), \tag{6}$$

$$a(t)=\begin{cases}1, & \text{若 (6) 式关于 } u(t-d) \text{ 的三次方程有解},\\ \gamma, & \varepsilon<\gamma<2-\varepsilon,\ \gamma\neq 1,\ 0<\varepsilon<1,\ \text{其余情形}.\end{cases}$$

将 $C(q^{-1})$ 分解成 $C(q^{-1})=A(q^{-1})F(q^{-1})+q^{-d}\,G(q^{-1})$，$F(q^{-1})$ 是 $d-1$ 阶多项式，代入(2)式，作某些代数运算后可得

$$C(q^{-1})[y(t+d)-F(q^{-1})w(t+d)]=G(q^{-1})y(t)+\sum_{i=1}^{3}B_i(q^{-1})F(q^{-1})u^i(t).$$

两边同时减去 $C(q^{-1})y^*(t)$，记 $v(t+d)=F(q^{-1})w(t+d)$，系数构成的向量为 $\boldsymbol{\theta}_0$，则有

$$C(q^{-1})[y(t+d)-y^*(t+d)-v(t+d)]=\boldsymbol{\phi}^T(t)\boldsymbol{\theta}_0-y^*(t+d), \tag{7}$$

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\phi}^T(t)=\{&y(t),\cdots,y(t-n+1),u^3(t),\cdots,u^3(t-n_3-d+1),u^2(t),\cdots,\\&u^2(t-n_2-d+1),u(t),\cdots,u(t-n_1-d+1),\\&y^*(t+d-1),\cdots,y^*(t+d-m)\}.\end{aligned} \tag{8}$$

$d=1$ 时随机模型自校正算法:

参数估计
$$\hat{\boldsymbol{\theta}}(t)=\hat{\boldsymbol{\theta}}(t-1)+\frac{\bar{a}}{\gamma(t-1)}\boldsymbol{\phi}(t-1)[y(t)-\boldsymbol{\phi}^T(t-1)\hat{\boldsymbol{\theta}}(t-1)],\quad \bar{a}>0, \tag{9}$$

$$\gamma(t-1)=\gamma(t-2)+\boldsymbol{\phi}^T(t-1)\boldsymbol{\phi}(t-1),\qquad \gamma(0)=1, \tag{10}$$

控制规律
$$\boldsymbol{\phi}^T(t-1)\hat{\boldsymbol{\theta}}(t-1)=y^*(t). \tag{11}$$

二、收　敛　性

对系统 (1)(2) 作如下假定:

1) d 已知. 2) n, m, $n_i(i=1,2,3)$ 上界已知. 3) $B_3(q^{-1})$，$C(q^{-1})$ 的全部零点在单位圆外.

根据假定 2)，下面分析中认为 n, m, n_i 不小于系统中各多项式的实际阶.

1. 确定模型

引理 1. 设 $b_1(t)$, $b_2(t)$, $s(t)$ 是实标量序列，$\boldsymbol{\sigma}(t)$ 是实向量序列，满足条件 1) $0 < b_1(t) < K < \infty$, $0 \leqslant b_2(t) < K < \infty$, $t \geqslant 0$. 2) $\|\boldsymbol{\sigma}(t)\| \leqslant C_1 + C_2 \max\limits_{0\leqslant\tau\leqslant t} |s(\tau)|$, $0 \leqslant C_1 < \infty, 0 \leqslant C_2 < \infty$.

若

$$\lim_{t\to\infty} \frac{s^2(t)}{b_1(t) + b_2(t)\boldsymbol{\sigma}^T(t)\boldsymbol{\sigma}(t)} = 0, \tag{12}$$

则有 1) $\lim\limits_{t\to\infty} s(t) = 0$, 2) $\|\boldsymbol{\sigma}(t)\|$ 有界. 证明见文献[6].

引理 2. 系统 $B_3(q^{-1})u^3(t) = A(q^{-1})y(t+d) + B_2(q^{-1})u^2(t) + B_1(q^{-1})u(t)$, (13)

若 $B_3(q^{-1})$ 的零点全在单位圆外,则

$$|u^3(t)| \leqslant C_1 + C_2 \max_{0\leqslant\tau\leqslant t+d} \{|y(\tau)|\},\ 0 \leqslant C_1 < \infty,\ 0 \leqslant C_2 < \infty.$$

证明见附录.

引理 3. 使用算法 (5), (6) 有

1) $\|\tilde{\boldsymbol{\theta}}(t)\|^2 - \|\tilde{\boldsymbol{\theta}}(t-1)\|^2 \leqslant 0$, $\tilde{\boldsymbol{\theta}}(t) \triangleq \hat{\boldsymbol{\theta}}(t) - \boldsymbol{\theta}_0$.

2) $\lim\limits_{t\to\infty} \dfrac{\boldsymbol{\phi}^T(t-d)\tilde{\boldsymbol{\theta}}(t-d)}{[1 + \boldsymbol{\phi}^T(t-d)\boldsymbol{\phi}(t-d)]^{\frac{1}{2}}} = 0$.

证明. 除 $\boldsymbol{\phi}(t)$ 各分量有变化外,完全类似文献[6]的引理 5).

定理 1. 若假定成立,则由 (1), (5), (6) 式形成的闭环系统满足

1) $\lim\limits_{t\to\infty}(y(t) - y^*(t)) = 0$. 2) $y(t), u(t)$ 有界.

证明. 让 $e(t) = y(t) - y^*(t)$,由 (3), (6) 式, $e(t) = -\boldsymbol{\phi}^T(t-d)\tilde{\boldsymbol{\theta}}(t-d)$. 由引理 3,

$$\lim_{t\to\infty} \frac{e(t)}{[1 + \boldsymbol{\phi}^T(t-d)\boldsymbol{\phi}(t-d)]^{\frac{1}{2}}} = 0.$$

根据 $\boldsymbol{\phi}(t)$ 定义,

$$\|\phi(t-d)\|^2 \leqslant p \max\left\{ \begin{array}{cccc} y^2(i-d), & u^6(i-d), & u^4(i-d), & u^2(i-d) \\ i \in [t-n+1, t] & i \in [t-n_3-d+1, t] & i \in [t-n_2-d+1, t] & i \in [t-n_1-d+1, t] \end{array} \right\}.$$

其中 p 是 $\boldsymbol{\theta}_0$ 的维数. 在引理 2 中取 $C_1 \geqslant 1$, $C_2 \geqslant 1$, 则

$$\|\boldsymbol{\phi}(t-d)\| \leqslant \sqrt{p}(C_1 + C_2\max\{|y(\tau)|, \tau \leqslant t\}),$$

而 $$|y(t)| \leqslant |e(t)| + |y^*(t)| \leqslant |e(t)| + m_1.$$

其中 m_1 是 $|y^*(t)|$ 的上界. 因而可得

$$\|\boldsymbol{\phi}(t-d)\| \leqslant \sqrt{p}(C_1 + C_2 m_1 + C_2\max\{|e(\tau)|, \tau \leqslant t\}.$$

引理 1 的条件成立,所以定理成立.

注 1. 文献[6]中最小二乘法自适应控制算法用于系统 (1) 的证明完全类似.

2. 随机模型

引理 4. 系统

$$B_3(q^{-1})u^3(t) = A(q^{-1})y(t+d) + B_2(q^{-1})u^2(t) + B_1(q^{-1})u(t) + v(t), \tag{14}$$

若 $B_3(q^{-1})$ 的根全在单位圆外，且

$$\sup_N \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N} v^2(t) < C < \infty,$$

则有

$$\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N} u^6(t) \leqslant \frac{K}{N}\sum_{t=0}^{N} y^2(t+d) + M.$$

其中K与M是不依赖于N的常数．证明见附录．

定理 2. 若假定成立，$C(q^{-1}) - \frac{\bar{a}}{2}$ 严格正实，则算法 (9), (10), (11) 以概率 1 有

1) $$\lim_{N\to\infty}\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N} E\{(y(t)-y^*(t))^2/\mathfrak{F}_{t-1}\} = \sigma^2,$$

2) $$\sup_N \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N} y^2(t) < \infty, \quad \sup_N \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N} u^2(t) < \infty.$$

其中 $\mathfrak{F}_{t-1}$ 是 $\{y(t-1), y(t-2), \cdots u(t-1), u(t-2)\cdots\}$ 生成的 σ-代数，$\sigma^2 = Ew^2(t+1)$．

证明．第一步：定义 $\phi(t) = \tilde{\theta}^T(t)\tilde{\theta}(t), b(t-1) = -\tilde{\theta}^T(t-1)\boldsymbol{\phi}(t-1)$,

$$e(t) = y(t) - y^*(t),\ z(t-1) = e(t) - v(t),$$

$$h(t-1) = b(t-1) - \frac{\bar{a}+\rho}{2} z(t-1).$$

其中 $v(t)$ 是 (7) 式中的最优跟踪误差．因 $d=1$，所以 $v(t) = w(t)$，利用鞅收敛定理和 Kronecker 引理，类似文献[7]可证，

$$\lim_{N\to\infty}\frac{N}{\gamma(N)}\cdot\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N} z^2(t) = 0. \quad a\cdot s \tag{15}$$

第二步：由 $\gamma(i)$ 和 $\phi(i)$ 的定义可得

$$\frac{\gamma(N)}{N} \leqslant \frac{n}{N}\sum_{i=1}^{N} y^2(i) + \frac{(n_3+1)}{N}\sum_{i=1}^{N} u^6(i) + \frac{(n_2+1)}{N}\sum_{i=1}^{N} u^4(i)$$
$$+ \frac{(n_1+1)}{N}\sum_{i=1}^{N} u^2(i) + M_1.$$

由引理 4，取 $d=1$ 可得

$$\frac{\gamma(N)}{N} \leqslant \frac{L}{N}\sum_{i=1}^{N} y^2(i+1) + T. \tag{16}$$

其中 L, T 是适当大的正数．

由于 $y(i) = z(i-1) + y^*(i) + v(i)$，由 $y^*(i)$ 的有界性和 $v(i)$ 的定义得

$$\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} y^2(i+1) \leqslant \frac{3}{N}\sum_{i=1}^{N} z^2(i) + M_2, \quad a\cdot s$$

由 (16)

$$1 \leqslant \frac{N}{\gamma(N)}\cdot\frac{L_1}{N}\sum_{i=1}^{N} z^2(i) + \frac{N}{\gamma(N)} M_3. \quad a\cdot s$$

根据 (15)
$$\lim_{N\to\infty}\frac{N}{\gamma(N)}M_3\geqslant 1,\quad a\cdot s \tag{17}$$
因此
$$\sup_N\frac{\gamma(N)}{N}\leqslant M.\quad a\cdot s$$
这表明定理 2 的结论 2) 成立. 再从式 (15),(17) 可知
$$\lim_{N\to\infty}\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}z^2(i)=0.\quad a\cdot s \tag{18}$$
但　$E\{(y(i)-y^*(i))^2/\mathfrak{F}_{i-1}\}=E\{(z(i-1)+v(i))^2/\mathfrak{F}_{i-1}\}=z^2(i-1)+\sigma^2.$(19)
此处利用 $z(i-1)$ 是 $\mathfrak{F}_{i-1}$ 可测函数. 累加式 (19), 由式 (18) 得结论 1).

注 2. 对 $d>1$, $C(q^{-1})\equiv 1$, 文献[7]的多步递推算法适用于系统 (2).

注 3. 在系统 (1), (2) 中, $u(t)$ 的最高次幂为 $2k+1$ 时 ($k>1$), 只要将 $B_3(q^{-1})$ 稳定改成 $B_{2k+1}(q^{-1})$ 稳定,定理1,2仍然成立.

注 4. (9) 式中 $\bar{a}$ 可以是任一非负实数, 只要 $C(q^{-1})-\frac{\bar{a}}{2}$严格正实,可以证明,(11) 式中关于控制量 $u(t-1)$ 以概率 1 有实解[7]. 在式 (6) 中, 由 $a(t)$ 的取法, $u(t-d)$ 必有实解. 若H模型中关于 $u(t)$ 的最高次幂为偶数,得到的代数方程是偶次, 不一定有实解,这是本文仅考虑奇次H系统的理由.

注 5. 定理 1, 2 中 1) 的极限值是系统系数已知时能达到的设计值. 性质 1) 称为自校正性, 2) 称为稳定性.

三、模　拟

例 1. 系统方程
$$y(t)=y(t-1)+2y(t-2)+u^3(t-2)+0.2u^3(t-3)+0.03u^3(t-4)$$
$$+3u^2(t-2)+2u^2(t-3)+2u^2(t-4)+u(t-3)+u(t-4),$$
参考输入　$y^*(t)=1+5t/(1+t)$.
计算结果见图 2 .

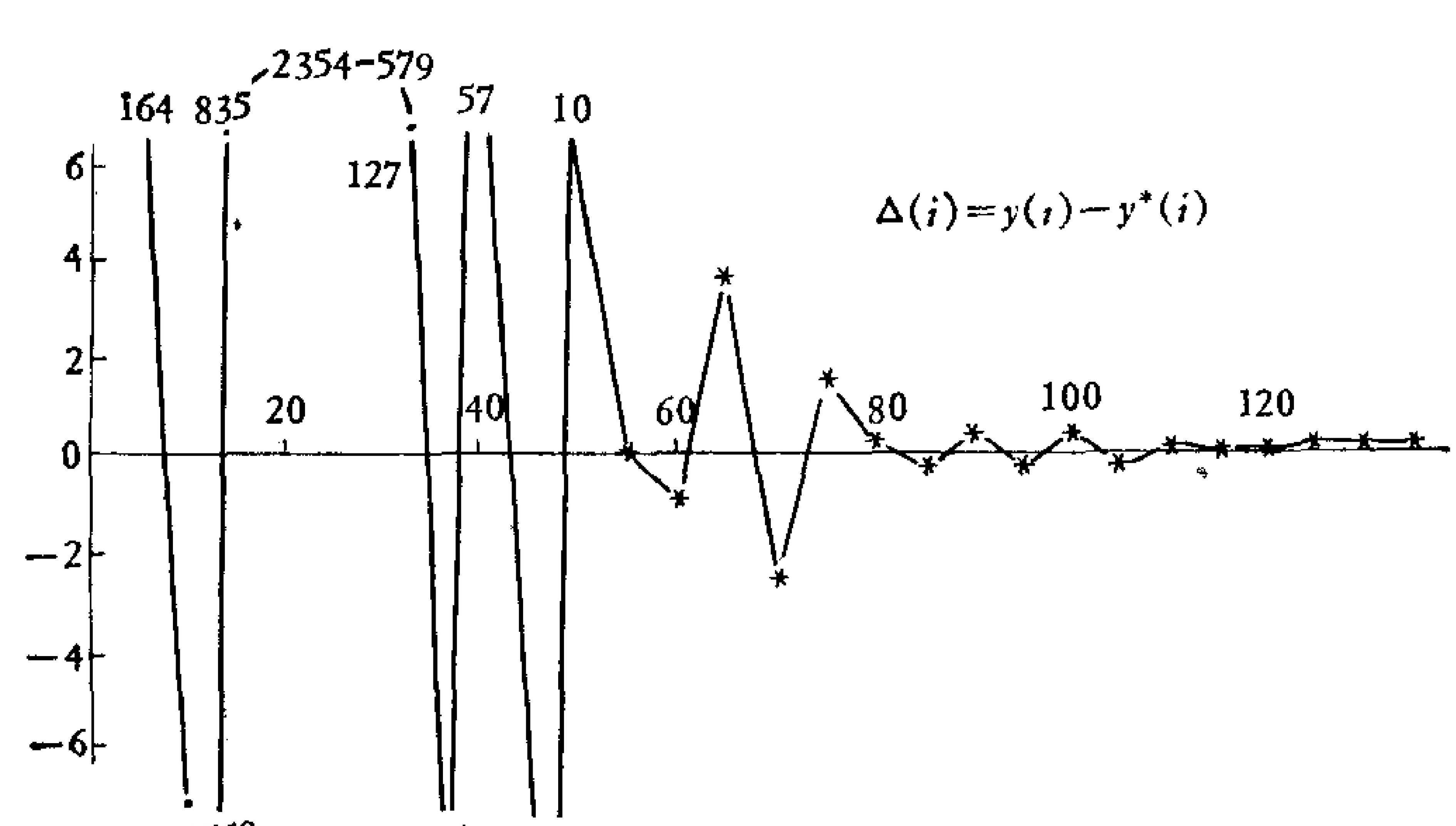

图 2

例 2. 系统方程

$$y(t)=0.4y(t-1)+0.03y(t-2)+u^3(t-1)+0.3u^3(t-2)+0.02u^3(t-3)$$
$$+2u^2(t-1)+u^2(t-3)+3u(t-1)+u(t-2)+e(t)+0.1e(t-1),$$

参考输入　$y^*(t)=4e^{-0.01|t-1500|}+2.$

其中 $e(t)$ 等于区间$(0,0.5)$上的伪随机数与均值之差，计算结果见图 3．

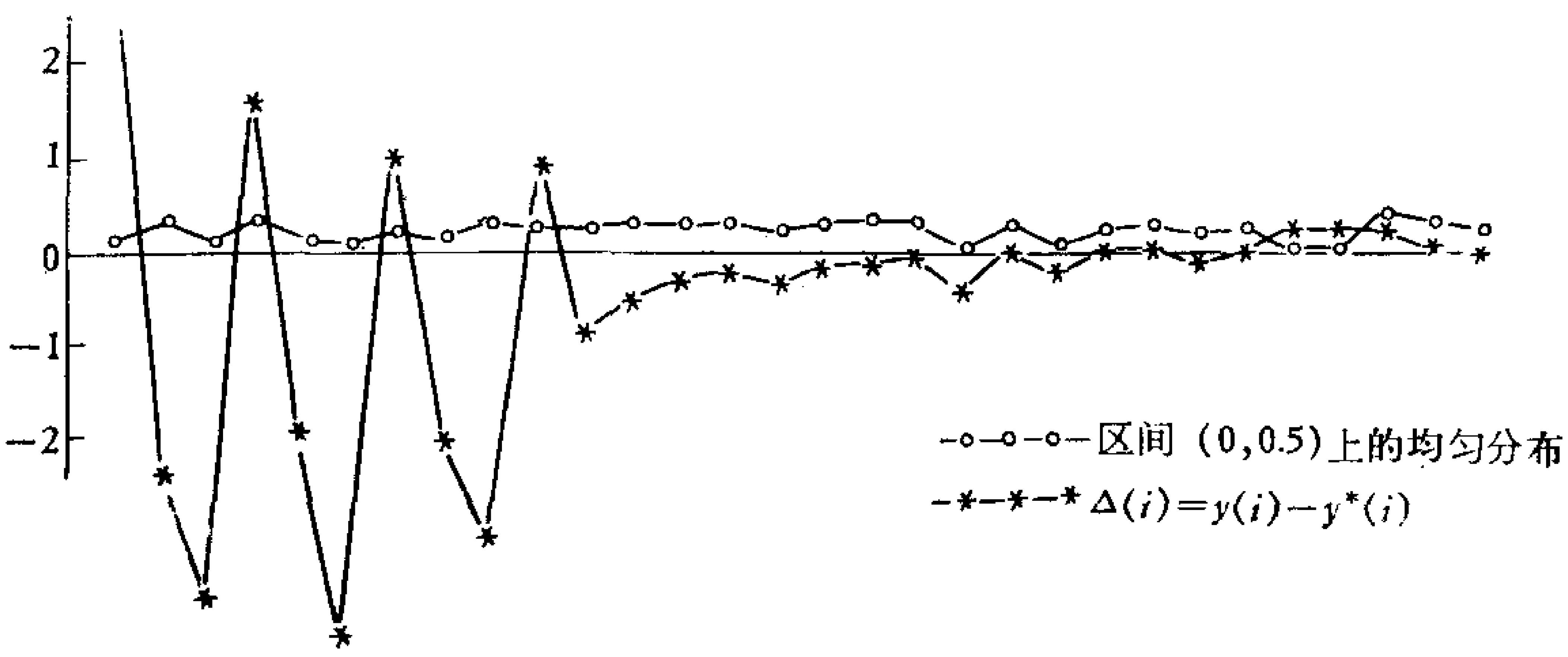

图　3

本文写作期间得到袁震东老师指导，在此表示感谢．

附　　录

引理 2 的证明．

若 $u(t)$ 有界，结论自然成立．设 $u(t)$ 无界，式(13)改写成

$$u^3(t)=B_3^{-1}(q^{-1})A(q^{-1})y(t+d)+B_3^{-1}(q^{-1})B_2(q^{-1})u^2(t)+B_3^{-1}(q^{-1})B_1(q^{-1})u(t). \tag{20}$$

考虑满足下面条件的点列 t_k

$$1)\ |u(t_k)|\geqslant u(\tau),\ 对一切\ \tau\leqslant t_k.\quad 2)\ \lim_{t_k\to\infty}|u(t_k)|=\infty. \tag{21}$$

不妨设 $|u(t_1)|\geqslant 1$，满足(21)式的一切 t_k 有 $|u(t_k)|\geqslant 1$，由式(20)得

$$1=\frac{B_3^{-1}(q^{-1})A(q^{-1})y(t_k+d)}{u^3(t_k)}+\frac{B_3^{-1}(q^{-1})B_2(q^{-1})u^2(t_k)}{u^3(t_k)}+\frac{B_3^{-1}(q^{-1})B_1(q^{-1})u(t_k)}{u^3(t_k)},$$

$$1\leqslant\frac{|B_3^{-1}(1)A(1)|\cdot\max\{|y(\tau)|\tau\leqslant t_k+d\}}{|u^3(t_k)|}+\varepsilon(t_k). \tag{22}$$

其中 $|\alpha(1)|\triangleq\sum_{i=0}^{\infty}|\alpha_i|,\quad \alpha(q^{-1})=\sum_{i=0}^{\infty}\alpha_i q^{-i},$

$$\varepsilon(t_k)=\left|\frac{B_3^{-1}(q^{-1})B_2(q^{-1})u^2(t_k)}{u^3(t_k)}+\frac{B_3^{-1}(q^{-1})B_1(q^{-1})u(t_k)}{u^3(t_k)}\right|\leqslant\frac{L}{|u(t_k)|}.$$

其中 $L=|B_3^{-1}(1)B_2(1)|+|B_3^{-1}(1)B_1(1)|$，$B_3(q^{-1})$ 的根在单位圆外，$B_3^{-1}(1)$ 绝对收敛．设 $|B_3^{-1}(1)A(1)|<C$，由式(22)

$$(1-\varepsilon(t_k))|u^3(t_k)|\leqslant C\cdot\max\{|y(\tau)|,\ \tau\leqslant t_k+d\}.$$

取 t_1 足够大，使 $L/|u(t_1)|<\frac{1}{2}$，则 $\varepsilon(t_k)<\frac{1}{2}$ 对一切 k 成立，因此有

$$|u^3(t)|\leqslant 2C\cdot\max\{|y(\tau)|,\tau\leqslant t+d\},t=t_k.$$

因为 $|u(t)|$ 在 $t<t_1$ 时有界，让上界为 N，则

$$|u^3(t)|\leqslant 2C\cdot\max\{|y(\tau)|,\tau\leqslant t+d\}+N,\ t=t_k\ 或\ t<t_1.$$

现在对任一点 $t>t_1$，若不满足式(21)，则必有 t_i 存在，$t_i<t$，$u(t_i)$ 满足式(21)，使得

$$|u^3(t)|<|u^3(t_i)|\leqslant 2C\cdot\max\{|y(\tau)|,\tau\leqslant t+d\}+N,$$

引理对一切 t 成立.

引理 4 的证明.

记 $\bar{y}(t)=B_3^{-1}(q^{-1})y(t)$, $\bar{v}(t)=B_3^{-1}(q^{-1})v(t)$, $\bar{u}_i(t)=B_3^{-1}(q^{-1})u^i(t)$, $i=1,2$.
由(14)式

$$u^3(t)=A(q^{-1})\bar{y}(t+d)+B_2(q^{-1})\bar{u}_2(t)+B_1(q^{-1})\bar{u}_1(t)+\bar{v}(t),$$

$$u^6(t)\leqslant 4[A(q^{-1})\bar{y}(t+d)]^2+4[B_2(q^{-1})\bar{u}_2(t)]^2+4[B_1(q^{-1})\bar{u}_1(t)]^2+4\bar{v}^2(t). \tag{23}$$

考虑上式右端各项,因 $B_3(q^{-1})$ 的根全在单位圆外,所以

$$\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\bar{y}^2(t)\leqslant\frac{K_1}{N}\sum_{t=1}^{N}y^2(t)+C_1.$$

记 $$z(t+d)=A(q^{-1})\bar{y}(t+d)=a_0\bar{y}(t+d)+\cdots+a_n\bar{y}(t+d-n),$$

则 $$z^2(t+d)\leqslant(n+1)[a_0^2\bar{y}^2(t+d)+\cdots+a_n^2\bar{y}^2(t+d-n)],$$

$$\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}z^2(t+d)\leqslant\frac{(n+1)^2}{N}\cdot(\max_{i=0,\cdots,n}a_i^2)\cdot\sum_{t=1+d-n}^{N}\bar{y}^2(t+d)\leqslant\frac{d_1}{N}\sum_{t=0}^{N}y^2(t+d)+e_1. \tag{24}$$

其中 d_1, e_1 是适当常数,(23)式的第二,三项有类似式子. 利用式(24)累加(23)式可得

$$\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}u^6(t)\leqslant\frac{f_1}{N}\sum_{t=0}^{N}y^2(t+d)+\frac{f_2}{N}\sum_{t=1}^{N}u^4(t)+\frac{f_3}{N}\sum_{t=1}^{N}u^2(t)+g_1.$$

记 $$u_1(t)=\begin{cases}u(t), & 若\ |u(t)|\geqslant L.\\ 0, & 其它.\end{cases}$$

则 $$\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}u^4(t)\leqslant\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}u_1^4(t)+L^4,\quad \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}u^2(t)\leqslant\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}u_1^2(t)+L^2.$$

取 L 足够大,使得

$$\frac{f_2}{N}\sum_{t=1}^{N}u_1^4(t)\leqslant\frac{1}{4N}\sum_{t=1}^{N}u_1^6(t),\quad \frac{f_3}{N}\sum_{t=1}^{N}u_1^2(t)\leqslant\frac{1}{4N}\sum_{t=1}^{N}u_1^6(t),$$

则有

$$\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}u^6(t)\leqslant\frac{f_1}{N}\sum_{t=0}^{N}y^2(t+d)+\frac{1}{2N}\sum_{t=1}^{N}u^6(t)+g_2,$$

所以

$$\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}u^6(t)\leqslant\frac{K}{N}\sum_{t=0}^{N}y^2(t+d)+M.$$

参 考 文 献

[1] Åström K. J. and Wittenmark B., On Self-tuning Regulators, *Automatica*, 9(1973), 185—199.

[2] Clarke D. W. and Gawthrop P. J., Self-tuning Controller, Proc IEE, **122**(1975), 929—934.

[3] Wellstead P. E., Edmunds J. M., Prage O. and Zanker P., Self-tuning Pole/Zero Assignment Regulators, *Int. J. Control,* **30**(1979), 1—26.

[4] Ljung L., Analysis of Recursive Stochastic Algorithms, *IEEE Trans. Automat. Contr,* AC-**22** (1977), 551—575.

[5] Ljung L. and Wittenmark B., On a Stabilizing Property of Adaptive Regulators, 4th IFAC Simp. On Identification and System Parameter Estimation (1976), 1815—1823.

[6] Goodwin G. C. and Ramandge P. J., Discrete Time Multivariable Adaptive Control, *IEEE Trans. Automat. Contr,* AC-**25**(1980), 449—456.

[7] Goodwin G. C., Ramandge P. J. and Caines P. E., Discrete Time Stochastic Adaptive Control, *SIAM. J. Control and Optimization,* **19**(1981), 829—853.

[8] Keviczky L., Vayk I. and Hettessy J., A Self-tuning Extremal Controller For the Generalized Hammerstein Model, 5th IFAC Simp. of Identification and System Parameter Estimation, 1979, 1147—1152.

SELF TUNING AND STABLE PROPERTY OF ADAPTIVE ALGORITHMS FOR ODD HAMMERSTEIN SYSTEMS

CHEN SHUZHONG

(East-China Normal University, Shanghai)

ABSTRACT

In this paper, the adaptive controllers developed by Goodwin are extended to Hammerstein models. The system formed by Goodwin's algorithms and H-models is globally convergent under certain conditions, i.e. the system input and output in certain sense remain bounded and the output tracks the desired signal asymptotically.

《代数系统理论导引》

《代数系统理论导引》(Introduction to Algebraic System Theory, Academic Press, New York 1981). 作者 M. K. 塞恩 (Michael K. Sain) 是美国诺特丹大学电机工程系教授.

代数系统理论是系统理论的一个重要组成部分. 目前它在图象处理、编码等方面的实际工程中已经成为一个有用的工具.

有关代数系统理论的专著和教科书目前还相当少,同时,由于代数工具不如微分方程那样直接与实际问题的工程需要相联系,使得不少从事系统理论研究和应用的人,对这方面的基本概念和基本方法还不太熟悉. 这本书的出版正好为具有线性系统基础知识的读者提供了一座通向这一领域的桥梁. 该书的目的不是介绍代数系统理论的主要内容与结果，而是向读者介绍线性定常系统中那些极为基本的概念是如何用代数的语言来描述的. 它不要求读者具备描象代数的知识，书中通过许多例子逐步地引入各种描象代数的概念，如：群、环、域这些代数结构和代数系统理论中的一些基本概念. 内容深入浅出、附有大量习题,可以作为控制理论专业高年级学生和研究生的教科书、参考书;也适用于讨论班和自学.

全书共分七章，第一章直观的介绍；第二章集动态系统；第三章观测器和调节器；第四章群同态系统，第五章群同态系统的逆；第六章相互连接的系统；第七章模同态系统概貌.

（中国科学院自动化所　曹志强）