第 15 卷第 4 期
1998 年 8 月
控制理论与应用
CONTROL THEORY AND APPLICATIONS
Vol. 15, No. 4
Aug., 1998

具有未知输入干扰的离散状态估计器设计

蒋国平
(南京邮电学院电子工程系·南京,210003)
宋文忠
(东南大学自动化研究所·南京,210096)

摘要：基于离散系统,本文研究被控对象含有未知输入干扰的状态估计问题,提出了一种新的能够消除未知输入干扰影响的全维状态估计器,给出了新型状态估计器存在的条件.最后给出了仿真示例,证明了本文的结果.

关键词：离散系统；未知输入干扰；状态估计器；渐近跟踪

1 引 言

基于确定性系统以及没有干扰的条件下,Luenberger 估计器[1,2]能很好地估计出对象的实际状态. Kalman 和 Bucy 研究了对象存在干扰时的状态估计器,提出了著名的 Kalman-Bucy 滤波器[3],但是它的设计需要知道干扰的统计特性(噪声的均值、方差). 实际工业控制中,扰动的统计特性不易得到,这就给上述两种状态估计器的使用带来困难. 因此,研究对象存在未知输入干扰时的状态估计器是十分重要的.

在过去的二十几年中,许多学者对此进行了深入的研究,也取得了不少结果[4~15]. 文[4,5]提出了在假设已知扰动的一些先验知识的条件下设计状态估计器的方法,由于要求知道扰动的先验知识,因此它的使用受到限制;文[6]无需扰动的先验知识,利用试探法提出了一种最小阶状态估计器,文[7]给出了这种估计器存在的条件;文[8]利用广义逆方法,文[9]利用几何方法,文[10]利用 Silverman 逆方法,文[11]利用奇异值分解方法,分别提出了不同的设计方法. 最近,文[12,13]提出了一种降阶估计器,并给出了估计器存在的条件;文[14,15]提出了一种全维估计器.

本文基于离散系统,研究对象含有未知输入的状态估计问题,通过引入积分型增广状态,提出了一种比上述方法更为简洁、易于工程实现的设计方法——全维积分型离散状态估计器,并给出了估计器存在的条件.

2 全维积分型离散状态估计器的设计

考虑离散系统

$$\begin{cases} x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) + B_1 d(k), \\ y(k) = Cx(k). \end{cases} \tag{1}$$

其中 $x(k) \in \mathbb{R}^n$ 为对象的状态,$u(k) \in \mathbb{R}$ 为控制输入,$y(k) \in \mathbb{R}$ 为输出,$d(k) \in \mathbb{R}$ 为未知输入;A, B, B_1, C 为具有相应维数的矩阵.

对系统(1),全维离散 Luenberger 观测器[1,2]为

$$\hat{x}(k+1) = A\hat{x}(k) + Bu(k) + L(C\hat{x}(k) - y(k)). \tag{2}$$

其中 $\hat{x}(k)$ 为估计状态,$L \in \mathbb{R}^n$ 为估计器的设计参数.

本文于 1996 年 7 月 5 日收到.

定义 $\tilde{x}(k)=\hat{x}(k)-x(k)$，$\tilde{x}(k)$ 为状态估计误差.
则有

$$\tilde{x}(k+1)=(A+LC)\tilde{x}(k)-B_1d(k). \tag{3}$$

由式(3)知道，若 $\mathrm{E}[d(k)]\neq 0$，则 $\tilde{x}$ 将存在静态误差，即 $\tilde{x}$ 将不趋向于零，$\hat{x}$ 将不趋向于 x，因此，当被控对象含有未知输入干扰时，传统的 Luenberger 估计器将不能正确地估计出对象的实际状态.

众所周知，对于连续系统，一阶积分作用能抵消常值扰动，保证零阶无偏，二阶积分作用能抵消斜坡扰动，保证一阶无偏，以此类推，多阶积分作用能保证高阶无偏. 对于离散系统，若在式(2)右端加入求和运算作用，则有望消除扰动的影响.

$$\begin{aligned}\hat{x}(k+1)=&\ A\hat{x}(k)+Bu(k)+L(C\hat{x}(k)-y(k))+(l_m+1)B_1\sum_{j_1=0}^{k-1}(C\hat{x}(j_1)-y(j_1))\\&+(l_{m-1}+1)B_1\sum_{j_1=0}^{k-1}\sum_{j_2=0}^{j_1}(C\hat{x}(j_2)-y(j_2))+\cdots\\&+(l_1+1)B_1\underbrace{\sum_{j_1=0}^{k-1}\cdots\sum_{j_m=0}^{j_{m-1}}}_{m}(C\hat{x}(j_m)-y(j_m)).\end{aligned} \tag{4}$$

其中 $l_1,l_2,\cdots,l_m$ 为待定参数.

由式(1)、(4)可得

$$\begin{aligned}\tilde{x}(k+1)=&\ (A+LC)\tilde{x}(k)+(l_m+1)B_1\sum_{j_1=0}^{k-1}(C\tilde{x}(j_1)-y(j_1))\\&+(l_{m-1}+1)B_1\sum_{j_1=0}^{k-1}\sum_{j_2=0}^{j_1}(C\hat{x}(j_2)-y(j_2))+\cdots\\&+(l_1+1)B_1\underbrace{\sum_{j_1=0}^{k-1}\cdots\sum_{j_m=0}^{j_{m-1}}}_{m}(C\hat{x}(j_m)-y(j_m))-B_1d(k).\end{aligned} \tag{5}$$

不失一般性，设未知输入干扰为多项式形式，即

$$d(k)=a_0+a_1k+a_2k^2+\cdots+a_{m-1}k^{m-1}. \tag{6}$$

其中 $a_i(i=0,1,2,\cdots,m-1)$ 为未知实数.

引入下列增广状态

$$\begin{aligned}q_i(k)=&(l_i+1)\sum_{j_1=0}^{k-1}(C\hat{x}(j_1)-y(j_1))+(l_{i-1}+1)\sum_{j_1=0}^{k-1}\sum_{j_2=0}^{j_1}(C\hat{x}(j_2)-y(j_2))+\cdots\\&+(l_1+1)\underbrace{\sum_{j_1=0}^{k-1}\cdots\sum_{j_i=0}^{j_{i-1}}}_{i}(C\hat{x}(j_i)-y(j_i))-\sum_{j=0}^{m-i}(-1)^j\mathrm{C}_{m-i}^{j}d(k-j).\end{aligned} \tag{7}$$

其中 $1\leqslant i\leqslant m$.

定理 1 设 $1\leqslant i\leqslant m$，则有

$$\sum_{j=0}^{m-i+1}(-1)^j\mathrm{C}_{m-i}^{j}d(k+1-j)=\sum_{j=0}^{m-i+1}(-1)^j\mathrm{C}_{m-i+1}^{j}d(k+1-j)+\sum_{j=0}^{m-i}(-1)^j\mathrm{C}_{m-i}^{j}d(k-j).$$

证 由二项式系数定理[16]，得

$$C^j_{m-i+1}=C^{j-1}_{m-i}+C^j_{m-i},$$

$$\sum_{j=0}^{m-i+1}(-1)^jC^j_{m-i+1}d(k+1-j)+\sum_{j=0}^{m-i}(-1)^jC^j_{m-i}d(k-j)$$

$$=\sum_{j=0}^{m-i+1}(-1)^jC^j_{m-i+1}d(k+1-j)+\sum_{j=1}^{m-i+1}(-1)^{j-1}C^{j-1}_{m-i}d(k+1-j)$$

$$=d(k+1)+\sum_{j=1}^{m-i+1}(-1)^jC^j_{m-i+1}d(k+1-j)-\sum_{j=1}^{m-i+1}(-1)^jC^{j-1}_{m-i}d(k+1-j)$$

$$=d(k+1)+\sum_{j=1}^{m-i+1}(-1)^j(C^j_{m-i+1}-C^{j-1}_{m-i})d(k+1-j)$$

$$=d(k+1)+\sum_{j=1}^{m-i+1}(-1)^jC^j_{m-i}d(k+1-j)$$

$$=\sum_{j=0}^{m-i+1}(-1)^jC^j_{m-i}d(k+1-j).$$

定理 2　$q_1(k+1)=(l_1+1)C\tilde{x}(k)+q_1(k),$　(8)

$q_i(k+1)=(l_i+1)C\tilde{x}(k)+q_i(k)+q_{i-1}(k+1),\quad 2\leqslant i\leqslant m.$　(9)

证　1) 当 $i=1$ 时，由式(7)得

$$q_1(k)=(l_1+1)\sum_{j_1=0}^{k-1}(C\hat{x}(j_1)-y(j_1))-\sum_{j=0}^{m-1}(-1)^jC^j_{m-1}d(k-j).$$

由式(6) $d_{m-1}(k)=a_0+a_1k+a_2k^2+\cdots+a_{m-1}k^{m-1}$，得

$$\begin{aligned}\sum_{j=0}^{m}(-1)^jC^j_md_{m-1}(k+1-j)&=\nabla^md_{m-1}(k+1)=\nabla^{m-1}[\nabla d_{m-1}(k+1)]\\&=\nabla^{m-1}[d_{m-1}(k+1)-d_{m-1}(k)]\\&=\nabla^{m-1}[P_{m-2}(k+1)]=\cdots\\&=\nabla[Q_0(k+1)]=0.\end{aligned}$$

其中 ∇^m 表示 m 阶差分，$p_{m-2}(k+1)=d_{m-1}(k+1)-d_{m-1}(k)$ 为 k 的 $(m-2)$ 阶多项式，$Q_0(k)$ 为 k 的零阶多项式. 因此，可得

$$\begin{aligned}q_1(k+1)&=(l_1+1)\sum_{j_1=0}^{k}(C\hat{x}(j_1)-y(j_1))-\sum_{j=0}^{m-1}(-1)^jC^j_{m-1}d(k+1-j)\\&=[(l_1+1)(C\hat{x}(k)-y(k))+(l_1+1)\sum_{j_1=0}^{k-1}(C\hat{x}(j_1)-y(j_1))]\\&\quad-[\sum_{j=0}^{m}(-1)^jC^j_md(k+1-j)+\sum_{j=0}^{m-1}(-1)^jC^j_{m-1}d(k-j)]\\&=(l_1+1)(C\hat{x}(k)-y(k))+q_1(k).\end{aligned}$$

2) 当 $2\leqslant i\leqslant m$ 时，由定理 1 和式(7) 可得

$$\begin{aligned}q_i(k+1)=&(l_i+1)\sum_{j_1=0}^{k}(C\hat{x}(j_1)-y(j_1))+(l_{i-1}+1)\sum_{j_1=0}^{k}\sum_{j_2=0}^{j_1}(C\hat{x}(j_2)-y(j_2))+\cdots\\&+(l_1+1)\underbrace{\sum_{j_1=0}^{k}\cdots\sum_{j_i=0}^{j_{i-1}}}_{i}(C\hat{x}(j_i)-y(j_i))-\sum_{j=0}^{m-i}(-1)^jC^j_{m-i}d(k+1-j)\end{aligned}$$

$$= [(l_i+1)(C\hat{x}(k)-y(k)) + (l_i+1)\sum_{j_1=0}^{k-1}(C\hat{x}(j_1)-y(j_1))]$$

$$+ [(l_{i-1}+1)\sum_{j_2=0}^{k}(C\hat{x}(j_2)-y(j_2)) + (l_{i-1}+1)\sum_{j_1=0}^{k-1}\sum_{j_2=0}^{j_1}(C\hat{x}(j_2)-y(j_2))] + \cdots$$

$$+ [(l_1+1)\underbrace{\sum_{j_2=0}^{k}\cdots\sum_{j_i=0}^{j_{i-1}}}_{i-1}(C\hat{x}(j_i)-y(j_i)) + (l_1+1)\underbrace{\sum_{j_1=0}^{k-1}\cdots\sum_{j_i=0}^{j_{i-1}}}_{i}(C\hat{x}(j_i)-y(j_i))]$$

$$-[\sum_{j=0}^{m-i+1}(-1)^j C_{m-i+1}^{j} d(k+1-j) + \sum_{j=0}^{m-i}(-1)^j C_{m-i}^{j} d(k-j)]$$

$$= (l_i+1)(C\hat{x}(k)-y(k)) + [(l_i+1)\sum_{j_1=0}^{k-1}(C\hat{x}(j_1)-y(j_1))$$

$$+ (l_{i-1}+1)\sum_{j_1=0}^{k-1}\sum_{j_2=0}^{j_1}(C\hat{x}(j_2)-y(j_2)) + \cdots + (l_1+1)\underbrace{\sum_{j_1=0}^{k-1}\cdots\sum_{j_i=0}^{j_{i-1}}}_{i}(C\hat{x}(j_i)-y(j_i))$$

$$-\sum_{j=0}^{m-i}(-1)^j C_{m-i}^{j} d(k-j)] + [(l_{i-1}+1)\sum_{j_2=0}^{k}(C\hat{x}(j_2)-y(j_2)) + \cdots$$

$$+ (l_1+1)\underbrace{\sum_{j_2=0}^{k}\cdots\sum_{j_i=0}^{j_{i-1}}}_{i-1}(C\hat{x}(j_i)-y(j_i)) - \sum_{j=0}^{m-i+1}(-1)^j C_{m-i+1}^{j} d(k+1-j)]$$

$$= (l_i+1)(C\hat{x}(k)-y(k)) + q_i(k) + q_{i-1}(k+1).$$

证毕.

由式(9)可得

$$\begin{aligned}
&q_i(k+1) \\
&= (l_i+1)(C\hat{x}(k)-y(k)) + q_i(k) + q_{i-1}(k+1) \\
&= [(l_i+1)(C\hat{x}(k)-y(k)) + q_i(k)] + [(l_{i-1}+1)(C\hat{x}(k)-y(k)) \\
&\quad + q_{i-1}(k) + q_{i-2}(k+1)] \\
&= [(l_i+l_{i-1}+2)(C\hat{x}(k)-y(k))] + [q_i(k)+q_{i-1}(k)] + q_{i-2}(k+1) \\
&= \cdots \\
&= [(l_i+l_{i-1}+\cdots+l_1+i)(C\hat{x}(k)-y(k))] + [q_i(k)+q_{i-1}(k)+\cdots+q_1(k)].
\end{aligned}$$

由式(5)、(8)及上式可得下列增广状态方程

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}(k+1) \\ q_1(k+1) \\ q_2(k+1) \\ q_3(k+1) \\ \vdots \\ q_m(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A+LC & 0 & 0 & \cdots & 0 & B_1 \\ (l_1+1)C & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ (l_2+l_1+2)C & 1 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ (l_3+l_2+l_1+3)C & 1 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ (\sum_{j=1}^{m} l_j + m)C & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}(k) \\ q_1(k) \\ q_2(k) \\ q_3(k) \\ \vdots \\ q_m(k) \end{bmatrix}. \tag{10}$$

令

$$M=\begin{bmatrix} A+LC & 0 & 0 & \cdots & 0 & B_1 \\ (l_1+1)C & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ (l_2+l_1+2)C & 1 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ (l_3+l_2+l_1+3)C & 1 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ (\sum_{j=1}^{m} l_j+m)C & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \end{bmatrix}. \tag{11}$$

从式(10)、(11)两式可见,若能通过选择参数 $L, l_1, l_2, \cdots, l_m$,使系统矩阵 M 具有期望的稳定极点,则有 $\tilde{x} \to 0$.

$$M=\begin{bmatrix} A+LC & 0 & 0 & \cdots & 0 & B_1 \\ (l_1+1)C & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ (l_2+l_1+2)C & 1 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ (l_3+l_2+l_1+3)C & 1 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ (\sum_{j=1}^{m} l_j+m)C & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix} A+LC & 0 & 0 & \cdots & 0 & B_1 \\ C+l_1C & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ C+(l_2+l_1+1)C & 1 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ C+(l_3+l_2+l_1+2)C & 1 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C+(\sum_{j=1}^{m} l_j+m-1)C & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix} A & 0 & 0 & \cdots & 0 & B_1 \\ C & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ C & 1 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ C & 1 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} LC & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ l_1C & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ (l_2+l_1+1)C & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ (l_3+l_2+l_1+2)C & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ (\sum_{j=0}^{m} l_j+m-1)C & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix} A & 0 & 0 & \cdots & 0 & B_1 \\ C & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ C & 1 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ C & 1 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \end{bmatrix}+\bar{L}[C \quad 0 \quad 0 \quad \cdots \quad 0 \quad 0]$$

$$=\bar{A}+\bar{L}\bar{C}. \tag{12}$$

其中

$$\overline{A}=\begin{bmatrix}A & 0 & 0 & \cdots & 0 & B_1\\ C & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0\\ C & 1 & 1 & \cdots & 0 & 0\\ C & 1 & 1 & \cdots & 0 & 0\\ C & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots\\ C & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1\end{bmatrix}_{(n+m)\times(n+m)},$$

$$\overline{L}=\left[L\quad l_1\quad l_2+l_1+1\quad l_3+l_2+l_1+2\quad\cdots\quad \sum_{j=1}^{m}l_j+m-1\right]^{\mathrm{T}},$$

$$\overline{C}=[C\quad 0\quad 0\quad\cdots\quad 0]_{1\times(n+m)}.$$

因此，当且仅当 $(\overline{A},\overline{C})$ 可观时，可任意配置系统矩阵 M 的极点.

定理 3 若 (A,C) 可观，则有如下结论

$$(\overline{A},\overline{C})\text{ 可观}\Leftrightarrow\begin{bmatrix}I-A & B_1\\ C & 0\end{bmatrix}\text{满秩}.$$

证 由系统的可观测性定义[17]可知，当 $\mathrm{rank}\begin{bmatrix}zI-\overline{A}\\ \overline{C}\end{bmatrix}=n+m$ 时，$(\overline{A},\overline{C})$ 可观. 而

$$\begin{bmatrix}zI-\overline{A}\\ \overline{C}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}zI-A & 0 & 0 & \cdots & 0 & -B_1\\ -C & z-1 & 0 & \cdots & 0 & 0\\ -C & -1 & z-1 & \cdots & 0 & 0\\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots\\ -C & -1 & -1 & \cdots & -1 & z-1\\ C & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0\end{bmatrix}_{(n+m+1)\times(n+m)} \tag{13}$$

已知 $\mathrm{rank}\begin{bmatrix}zI-A\\ C\end{bmatrix}=n$，因此，当 $z\neq 1$ 时，$\mathrm{rank}\begin{bmatrix}zI-\overline{A}\\ \overline{C}\end{bmatrix}=n+m$；当 $z=1$ 时，$\mathrm{rank}\begin{bmatrix}zI-\overline{A}\\ \overline{C}\end{bmatrix}=n+m$ 的条件为矩阵 $\begin{bmatrix}I-A & B_1\\ C & 0\end{bmatrix}$ 满秩.

顺便指出，若输入干扰 d 为未知恒值扰动，或者变化缓慢，即 $\dot{d}$ 近似于 0. 此时，只加入一阶积分作用，即可消除 d 的影响. 从第三节的仿真可知，即使 d 为随机扰动或正弦扰动，一阶积分型离散状态估计器也具有很好的跟踪性能，保证零阶无偏. 由式(4)可得，相应的一阶积分型离散状态估计器为

$$\hat{x}(k+1)=A\hat{x}(k)+Bu(k)+L(C\hat{x}(k)-y(k))+(l_1+1)B_1\sum_{i=0}^{k-1}(C\hat{x}(i)-y(i)). \tag{14}$$

相应的系统矩阵为

$$M=\begin{bmatrix}A+LC & B_1\\ (l_1+1)C & 1\end{bmatrix}. \tag{15}$$

以上基于单变量离散系统，提出了一种能够消除未知输入干扰影响的全维积分型状态估计器；对于多变量系统，利用同样的方法，可以得到类似的结果.

3 仿真例子

考虑如下离散系统

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 \\ 0 & 0.2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0.4 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0.4 \\ 0.4 \end{bmatrix} d,$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}.$$

其中 $A = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 \\ 0 & 0.2 \end{bmatrix}$， $B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.4 \end{bmatrix}$， $B_1 = \begin{bmatrix} 0.4 \\ 0.4 \end{bmatrix}$， $C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}$.

容易验证：(A,C) 可观，$\begin{bmatrix} I-A & B_1 \\ C & 0 \end{bmatrix}$满秩，因此可配置矩阵 M.

为简单起见，我们使用一阶积分作用(14)，选择相应的估计器参数：

$$\bar{L} = [-0.4 \quad -0.4 \quad -1.16]^{\mathrm{T}}.$$

图 1，2 表示在控制输入 $u=0$，输入扰动 d 分别为 $d = 1 + 0.5\omega$（ω 为白噪声）和 $1 + 0.1\sin 2k$ 时传统的全维 Luenberger 估计器和本文的新型状态估计器的品质比较. 其中 x 表示对象的实际状态；$\hat{x}_L$ 表示 Luenberger 估计器的估计状态；$\hat{x}_N$ 表示本文的新的状态估计器的估计状态. 从图中可以看出，新型状态估计器的估计状态能很好地跟踪对象的实际状态；而传统的 Luenberger 估计器的品质较差，其估计状态与实际状态之间存在静差.

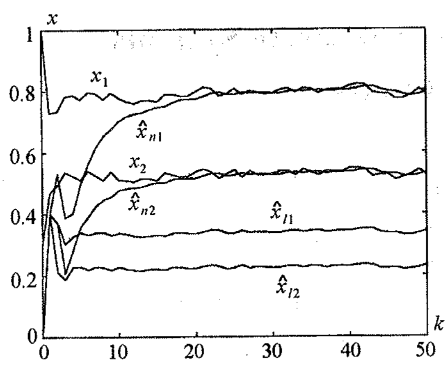

图 1　对象含有随机扰动的仿真曲线

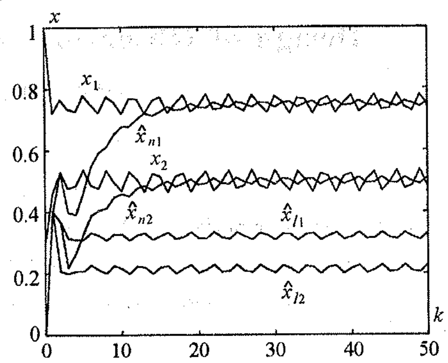

图 2　对象含有正弦扰动的仿真曲线

4　结　论

本文基于离散系统，提出了新的具有积分作用的全维 M 估计器，它能够消除未知输入干扰的影响，保证估计状态渐进跟踪实际状态. 设计方法简 linear 明，便于推广应用.

参 考 文 献

1　Luenberger, D. G.. Observing the state of a linear system. IEEE Trans. Military Electron., 1964, 8(1): 74－80

2　Luenberger, D. G.. Observers for multivariable systems. IEEE Trans. Automat. Contr., 1966, AC-11(2): 190－197

3　Kalman, R. E. and Bucy, R. S.. New results in linear filtering and prediction theory. Trans. ASME Ser. D: J. Basic Eng., 1961, 83(1): 95－108

4　Hostetter, G. and Meditch, J. S.. Observing systems with unmeasurable inputs. IEEE Trans. Automat. Contr., 1973, AC-18(3): 307－308

5　Johnson, C. D. On observers for systems with unknown and inaccessible inputs. Int. J. Control, 1975, 21(5): 825－831

6　Wang, S. H., Davison, E. J. and Dovato, P.. Observing the states of systems with unmeasurable disturbances. IEEE Trans. Automat. Contr., 1975, AC-20(5): 716－717

7　Kudva. P., Viswandam, N. and Ramakrishna, A.. Observers for linear systems with unknown inputs. IEEE Trans. Automat. Contr., 1980, AC-25(1): 113－115

8 Miller, R. J. and Mukundan, R.. On designing reduced-order observers for linear time invariant systems subject to unknown inputs. Int. J. Control., 1982, 35(1): 183－188

9 Bhattacharyya, S. P.. Observer design for linear systems with unknown inputs. IEEE Trans. Automat. Contr., 1978, AC-23(3): 483－484

10 Kobayashi, N. and Nakamizo, T.. An observer design for linear systems with unknown inputs. Int. J. Control., 1982, 35(4): 605－609

11 Fairman, F. W., Mahil, S. S. and Luk, L.. Disturbance decoupled observer design via singular value decomposition. IEEE Trans. Automat. Contr., 1984, 29(1): 84－86

12 Hou, M. and Muller, P. C.. Design of observers for linear systems with unknown inputs. IEEE Trans. Automat. Contr., 1992, AC-37(6): 871－875

13 Hou, M. and Muller, P. C.. Fault detection and isolation observers. Int. J. Control., 1994, 60(5): 827－846

14 Yang. F. and Wilde, R. W.. Observers for linear systems with unknown inputs. IEEE Trans. Automat. Contr., 1988, AC-33(7): 677－681

15 Darouach, M., Zasadzinski, M. and Xu, S. J.. Full-order observers for linear systems with unknown inputs. IEEE Trans. Automat. Contr., 1994, AC-39(3): 606－609

16 汪胡桢. 现代工程数学手册(第1卷). 武汉:华中理工大学出版社, 1985, 36－39

17 Chen Chi-Tsong. Linear System Theory and Design. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1984

Design of Observers for Linear Discrete Systems with Unknown Inputs

JIANG Guoping

(Department of Electronic Engineering, Nanjing Institute of Posts and Telecommunications • Nanjing, 210003, PRC)

SONG Wenzhong

(Automation Research Institute, Southeast University • Nanjing, 210096, PRC)

Abstract: Based on linear discrtete systems, this paper deals with the problems of the observers in state feedback control. A new kind of observer is presented here. It can reject unknown inputs. Then, the existence conditions for such an observer are gi[illegible]. Finally, an illustrative example is given to verify the results of the paper.

Key words: linear discrete systen[illegible]; unknown inputs; state observers; asymptotic tracking

本文作者简介

蒋国平 1966年生. 1997年毕业于东南大学自动化研究所,获博士学位,现为南京邮电学院电子工程系讲师. 目前主要研究方向是状态反馈控制,状态估计理论及混沌系统理论及应用.

宋文忠 1963年生. 1960年毕业于南京工学院动力工程系,现任东南大学自动化研究所教授,博士生导师. 从事生产过程自动化及计算机集成制造系统的研究.