第 23 卷第 6 期
2006 年 12 月

控 制 理 论 与 应 用
Control Theory & Applications

Vol. 23 No. 6
Dec. 2006

文章编号：1000−8152(2006)06−0986−05

非方广义系统的未知输入有限时间观测器设计

孙丽瑛[1,2]，程兆林[3]，王玉振[1]

(1. 山东大学 控制科学与工程学院, 山东 济南 250061; 2. 济南大学 理学院, 山东 济南 250022;

3. 山东大学 数学与系统科学学院, 山东 济南 250100)

摘要: 研究了含未知输入的非方广义系统的有限时间输入解耦观测器设计问题, 在一定条件下基于非方广义系统的结构特征, 引入一个输入–状态对的非奇异转换, 把含未知输入的非方广义系统等价地转化为输入已知的正常状态空间系统. 用传统的设计正常状态空间系统观测器的方法去构造含未知输入的非方广义系统的未知输入观测器, 并给出了观测器存在的充分条件, 由此得出了有限时间观测器的设计步骤.

关键词: 非方广义系统; 未知输入估计; 有限时间观测器

中图分类号: TP13　　**文献标识码**: A

Unknown input observer design for nonsquare descriptor systems in finite time

SUN Li-ying[1,2], CHENG Zhao-lin[3], WANG Yu-zhen[1]

(1. School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan Shandong 250061, China;
2. School of Science, Jinan University, Jinan Shandong 250022, China;
3. School of Mathematics and System Sciences, Shandong University, Jinan Shandong 250100, China)

Abstract: The problem of input decoupled observer design in finite time for nonsquare descriptor systems with unknown input is investigated. Based on the constructive characteristics of the systems, an input-state pair of descriptor systems is introduced, which transforms the nonsquare descriptor system with unknown input into a standard state-space system where the input is known. It provides a new and simple method to construct unknown input observer for nonsquare descriptor system by using some traditional methods for standard state-space systems. The sufficient conditions for the existence of unknown input observer for nonsquare descriptor system are also given. From these, a unified design procedure for the finite time observer is derived.

Key words: nonsquare descriptor systems; unknown input estimation; finite time observer

1 引言(Introduction)

关于含未知输入的线性系统的观测器设计问题, 最近30年来引起许多研究者的广泛重视. 由于许多情况下扰动或输入不可测量, 因此研究这个问题无论在理论上还是在工程实践中都有重要意义. 对正常状态空间系统与广义系统来说, 关于状态的估计已有不少优秀成果[1~3], 但对未知输入的估计, 所得到的结果还不理想. 文[4]所得到的观测器含有系统的输出导数, 因而对于噪声本质上是敏感的. 文[5]所构造的观测器虽不含有系统的输出导数, 但观测器的输出不能渐近逼近系统输入. 文[6]设计了Luenberger观测器, 并对未知输入作了估计. 当广义系统非方时, 文[7]构造了降维观测器, 文[8]研究了比例积分观测器, 文[9]设计了Luenberger观测器, 并对未知输入作了估计. 以上设计的都是“渐进逼近型”观测器, 文[10]所研究的是正常状态空间系统的有限时间观测器, 当到达规定的有限时间时它能精确刻划系统的状态. 本文讨论非方广义系统的未知输入有限时间观测器, 并对未知输入进行精确估计, 此观测器可用于故障检测, 并在有限时间T时能把故障精确地检测出来.

2 观测器设计与未知输入估计(Observer design and unknown input estimation)

考虑非方广义系统

$$\begin{cases} E\dot{x} = Ax + Bu + Dd, Ex(t_0) = Ex_0, t \geqslant t_0, \\ y = Cx + Fd. \end{cases} \tag{1}$$

其中: $E, A \in \mathbb{R}^{m\times n}, B \in \mathbb{R}^{m\times k}, C \in \mathbb{R}^{q\times n}, D \in$

收稿日期: 2004−11−05; 收修改稿日期: 2005−11−15.

$\mathbb{R}^{m\times p}, F\in\mathbb{R}^{q\times p}$是已知常矩阵; x,y,u,d 分别是状态、输出、控制输入和未知输入; E是奇异矩阵, $0<\text{rank}\,E=r<\min\{m,n\}$, 假定$m\leqslant n$.

定义 1[10]　下述形式的观测器

$$\begin{cases}\dot{z}(t)=Hz(t)+J_1u(t)+J_2y(t), t\geqslant t_0,\\ \hat{x}(t)=U_1z(t)+U_2z(t-T)+\\ \qquad V_1u(t)+V_2y(t),\\ \hat{d}(t)=G_1z(t)+G_2z(t-T)+\\ \qquad Q_1u(t)+Q_2y(t)\end{cases}\tag{2}$$

为广义系统(1)的有限时间观测器, 如果总存在常数$T>0$, 使得当$t\geqslant T$时, $\hat{x}(t)=x(t),\hat{d}(t)=d(t)$对任意初始条件$z(t_0),Ex(t_0)$恒成立.

为设计如上形式的观测器, 对系统(1)作如下假设:

A1)　$$\text{rank}\begin{bmatrix}0&E&0\\E&A&D\end{bmatrix}=m+\text{rank}\,E,\tag{3}$$

A2)　$$\text{rank}\begin{bmatrix}0&E&0\\E&A&D\\0&C&F\end{bmatrix}=n+p+\text{rank}\,E,\tag{4}$$

A3)　$$\text{rank}\begin{bmatrix}A-\lambda E&D\\C&F\end{bmatrix}=n+p,$$

$$\forall\lambda\in\mathbb{C},\text{Re}\lambda\geqslant 0.\tag{5}$$

其中$\mathbb{C}$ 表示复数集.

注 1　当(E,A)正则时, A1)等价于系统(E,A,D)脉冲能控. A2)表明$[D\ \ F]^{\mathrm{T}}$是列满秩的, 当(E,A)正则时, 系统(E,A,C)脉冲能观, 同时也是保证引理2成立的充要条件. 当(E,A)正则时, A3)等价于系统(1)的传输零点是稳定的. 基于A1)和A2), 本文引进一个新的输入–状态对的非奇异转换, 把含未知输入的非方广义系统转化为输入已知的正常状态空间系统.

注意到$0<\text{rank}\,E=r<m$, 故存在非奇异矩阵$M\in\mathbb{R}^{m\times m}, N\in\mathbb{R}^{n\times n}$, 使得

$$MEN=\begin{bmatrix}I_{\rm r}&0\\0&0\end{bmatrix}.\tag{6}$$

记

$$\begin{cases}x=N\begin{bmatrix}x_1\\x_2\end{bmatrix}, MAN=\begin{bmatrix}A_1&A_2\\A_3&A_4\end{bmatrix}, MB=\begin{bmatrix}B_1\\B_2\end{bmatrix},\\ MD=\begin{bmatrix}D_1\\D_2\end{bmatrix}, CN=\begin{bmatrix}C_1&C_2\end{bmatrix}.\end{cases}\tag{7}$$

其中: $x_1\in\mathbb{R}^r$, $x_2\in\mathbb{R}^{n-r}$, $A_1\in\mathbb{R}^{r\times r}$, $A_2\in\mathbb{R}^{r\times(n-r)}$, $A_3\in\mathbb{R}^{(m-r)\times r}$, $A_4\in\mathbb{R}^{(m-r)\times(n-r)}$, $B_1\in\mathbb{R}^{r\times k}$, $B_2\in\mathbb{R}^{(m-r)\times k}$, $C_1\in\mathbb{R}^{q\times r}$,$C_2\in\mathbb{R}^{q\times(n-r)}$, $D_1\in\mathbb{R}^{r\times p}$, $D_2\in\mathbb{R}^{(m-r)\times p}$. 于是系统(1)受限等价于下述系统:

$$\begin{cases}\dot{x}_1=A_1x_1+A_2x_2+B_1u+D_1d,\\ x_1(t_0)=x_{10}=[I_{\rm r}\ \ 0]N^{-1}x_0, t\geqslant t_0,\\ 0=A_3x_1+A_4x_2+B_2u+D_2d,\\ y=C_1x_1+C_2x_2+Fd.\end{cases}\tag{8}$$

假设A1)等价于$[A_4\ \ D_2]$ 行满秩[11], 故存在非奇异矩阵$P\in\mathbb{R}^{(n-r+p)\times(n-r+p)}$, 使得

$$[A_4\ \ D_2]P=[I_{m-r}\ \ 0\ \ 0].\tag{9}$$

记

$$\begin{cases}P=\begin{bmatrix}P_{11}&P_{12}&P_{13}\\P_{21}&P_{22}&P_{23}\end{bmatrix},\\ \begin{bmatrix}A_2&D_1\\C_2&F\end{bmatrix}\begin{bmatrix}P_{11}&P_{12}&P_{13}\\P_{21}&P_{22}&P_{23}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\bar{A}_{21}&\bar{A}_{22}&\bar{D}_1\\\bar{C}_{21}&\bar{C}_{22}&\bar{F}\end{bmatrix}.\end{cases}\tag{10}$$

式中: $P_{11}\in\mathbb{R}^{(n-r)\times(m-r)}$, $P_{12}\in\mathbb{R}^{(n-r)\times(n-m)}$, $P_{13}\in\mathbb{R}^{(n-r)\times p}$, $P_{21}\in\mathbb{R}^{p\times(m-r)}$, $P_{22}\in\mathbb{R}^{p\times(n-m)}$, $P_{23}\in\mathbb{R}^{p\times p}$, $\bar{A}_{21}\in\mathbb{R}^{r\times(m-r)}$, $\bar{A}_{22}\in\mathbb{R}^{r\times(n-m)}$, $\bar{D}_1\in\mathbb{R}^{r\times p}$, $\bar{C}_{21}\in\mathbb{R}^{q\times(m-r)}$, $\bar{C}_{22}\in\mathbb{R}^{q\times(n-m)}$, $\bar{F}\in\mathbb{R}^{q\times p}$. 作以下非奇异变换

$$\begin{bmatrix}x_1\\x_2\\d\\u\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}I_r&0&0&0&0\\0&P_{11}&P_{12}&P_{13}&0\\0&P_{21}&P_{22}&P_{23}&0\\0&0&0&0&I_k\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\\bar{x}_{21}\\\bar{x}_{22}\\\bar{d}\\u\end{bmatrix}.\tag{11}$$

其中: $\bar{x}_{21}\in\mathbb{R}^{m-r},\bar{x}_{22}\in\mathbb{R}^{n-m},\bar{d}\in\mathbb{R}^p$. 则系统(8)被转化为

$$\begin{cases}\dot{x}_1=\bar{A}_1x_1+\bar{B}_1u+W_1w,\ t\geqslant t_0, & \text{(12a)}\\ \bar{x}_{21}=-A_3x_1-B_2u, & \text{(12b)}\\ y=\bar{C}_1x_1+\bar{B}_2u+W_2w. & \text{(12c)}\end{cases}$$

其中:

$$\begin{cases}w=\begin{bmatrix}\bar{x}_{22}\\\bar{d}\end{bmatrix}, \bar{A}_1=A_1-\bar{A}_{21}A_3,\\ \bar{B}_1=B_1-\bar{A}_{21}B_2,\quad \bar{C}_1=C_1-\bar{C}_{21}A_3,\\ \bar{B}_2=-\bar{C}_{21}B_2, W_1=[\bar{A}_{22}\ \ \bar{D}_1], W_2=[\bar{C}_{22}\ \ \bar{F}].\end{cases}\tag{13}$$

注意系统(12)是正常状态空间系统, w包含自由状态$\bar{x}_{22}$及未知输入d, 于是, 含未知输入d的非方广义系统(1)的观测器设计问题,即转化为含未知输入w的正常状态空间系统(12)的观测器设计问题.

引理 1 设假设A1)成立, 则假设A2)等价于 rank $W_2 = n - m + p$ (列满秩).

因为W_2列满秩, 由式(12c)得

$$w = W_2^+(y - \bar{C}_1 x_1 - \bar{B}_2 u). \tag{14}$$

其中W_2^+是W_2的Penrose-Moore逆. 将式(14)代入(12a), 并用$(I_q - W_2 W_2^+)$左乘(12c),则系统(12)变为如下系统:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \tilde{A}_1 x_1 + \tilde{B}_1 u + W_1 W_2^+ y, t \geqslant t_0, \\ \bar{x}_{21} = -A_3 x_1 - B_2 u, \\ \tilde{y} = \tilde{C}_1 x_1 + \tilde{B}_2 u. \end{cases} \tag{15}$$

式中

$$\begin{cases} \tilde{y} = (I_q - W_2 W_2^+) y, \\ \tilde{A}_1 = \bar{A}_1 - W_1 W_2^+ \bar{C}_1, \\ \tilde{B}_1 = \bar{B}_1 - W_1 W_2^+ \bar{B}_2, \\ \tilde{C}_1 = (I_q - W_2 W_2^+)\bar{C}_1, \\ \tilde{B}_2 = (I_q - W_2 W_2^+)\bar{B}_2. \end{cases} \tag{16}$$

显然, 系统(15)是输入已知的正常状态空间系统, 为了保证它的有限时间观测器存在, 矩阵对$(\tilde{A}_1, \tilde{C}_1)$必须能检, 下面的引理讨论了$(\tilde{A}_1, \tilde{C}_1)$的能检性.

引理 2 设假设A1)~A3)成立, 则矩阵对$(\tilde{A}_1, \tilde{C}_1)$能检.

引理1 和引理2 的证明请参考文献[6]中引理1 和引理2 的证明.

按引理2, 有:

定理 1 设假设A1)~A3)成立, 则系统(15)的有限时间观测器可设计为

$$\begin{cases} \dot{z}(t) = Hz(t) + J_1 u(t) + J_2 y(t),\ t \geqslant t_0, \\ \hat{x}_1(t) = K(z(t) - \mathrm{e}^{HT} z(t-T)), \\ \hat{\bar{x}}_{21}(t) = -A_3 K(z(t) - \mathrm{e}^{HT} z(t-T)) - B_2 u(t), \\ \hat{w} = W_2^+ y - W_2^+ \bar{C}_1 K(z(t) - \\ \qquad \mathrm{e}^{HT} z(t-T)) - W_2^+ \bar{B}_2 u. \end{cases} \tag{17}$$

其中

$$\begin{cases} H = \begin{bmatrix} H_1 & 0 \\ 0 & H_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{A}_1 - L_1\tilde{C}_1 & 0 \\ 0 & \tilde{A}_1 - L_2\tilde{C}_1 \end{bmatrix}, \\ J_1 = \begin{bmatrix} \tilde{B}_1 - L_1\tilde{B}_2 \\ \tilde{B}_1 - L_2\tilde{B}_2 \end{bmatrix}, \\ J_2 = \begin{bmatrix} W_1 W_2^+ + L_1(I_q - W_2 W_2^+) \\ W_1 W_2^+ + L_2(I_q - W_2 W_2^+) \end{bmatrix}, \\ S = \begin{bmatrix} I_{\mathrm{r}} \\ I_{\mathrm{r}} \end{bmatrix}, K = [I_{\mathrm{r}}\ \ 0_{\mathrm{r}}][S\ \ \mathrm{e}^{HT} S]^{-1}. \end{cases} \tag{18}$$

L_1, L_2的选取应分别保证矩阵$\tilde{A}_1 - L_1\tilde{C}_1, \tilde{A}_1 - L_2\tilde{C}_1$的特征根全部落在开左半复平面, 且$\mathrm{Re}\,\lambda_i(H_1) < \sigma < \mathrm{Re}\,\lambda_j(H_2), i, j = 1, 2, \cdots, r$. 由于有延迟时间$T$, 故观测器有初始条件$z(t), t \in [t_0 - T, t_0]$.

引理 3[10] 如果选择L_1, L_2使得$\mathrm{Re}\,\lambda_i(H_1) < \sigma < \mathrm{Re}\,\lambda_j(H_2), i, j = 1, 2, \cdots, r$, 则当$T > 0$时, $\det[S\ \ \mathrm{e}^{HT} S] \neq 0$.

注 2 当$T = 0$时$\det[S\ \mathrm{e}^{HT} S] = 0$, 并且这些零点是孤立的点, 因此对于充分小的时间T, $\det[S\ \mathrm{e}^{HT} S] \neq 0$, 所以从理论上来说, 可以设计一个输入状态观测器, 使其在任意短的时间内收敛于实际输入与状态.

注 3 引理3给出的条件是充分的, 并不是必要的.在数例中只要选择H使得H_1, H_2的特征根不同即可. 而T几乎可取$\mathbb{R}^+$中的任意数.

由式(11)(12b)(13)和(14)得

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ u \\ y \end{bmatrix}. \tag{19}$$

式中

$$\begin{cases} R_{11} = -P_{11}A_3 - [P_{12}\ \ P_{13}]W_2^+\bar{C}_1, \\ R_{12} = -P_{11}B_2 - [P_{12}\ \ P_{13}]W_2^+\bar{B}_2, \\ R_{13} = [P_{12}\ \ P_{13}]W_2^+, \\ R_{21} = -P_{21}A_3 - [P_{22}\ \ P_{23}]W_2^+\bar{C}_1, \\ R_{22} = -P_{21}B_2 - [P_{22}\ \ P_{23}]W_2^+\bar{B}_2, \\ R_{23} = [P_{22}\ \ P_{23}]W_2^+, \end{cases} \tag{20}$$

因此可得如下定理:

定理 2 若系统(1)满足假设A1)~A3), 则它的有限时间观测器可按下式设计:

$$\begin{cases} \dot{z}(t) = Hz(t) + J_1 u(t) + J_2 y(t),\ t \geqslant t_0, \\ \hat{x}(t) = U_1 z(t) + U_2 z(t-T) + V_1 u(t) + V_2 y(t), \\ \hat{d}(t) = G_1 z(t) + G_2 z(t-T) + Q_1 u(t) + Q_2 y(t). \end{cases} \tag{21}$$

式中H, J_1, J_2如式(18)所示,

$$\begin{cases} U_1 = N\begin{bmatrix} I_{\mathrm{r}} \\ R_{11} \end{bmatrix} K, U_2 = -N\begin{bmatrix} I_{\mathrm{r}} \\ R_{11} \end{bmatrix} K\mathrm{e}^{HT}, \\ V_1 = N\begin{bmatrix} 0 \\ R_{12} \end{bmatrix}, V_2 = N\begin{bmatrix} 0 \\ R_{13} \end{bmatrix}, G_1 = R_{21}K, \\ G_2 = -R_{21}K\mathrm{e}^{HT}, Q_1 = R_{22},\ \ Q_2 = R_{23}. \end{cases} \tag{22}$$

式中: $R_{ij}, i = 1, 2, j = 1, 2, 3; N, K$分别如式(20)(6)(18)所示.

3 算例(Example)

试设计下述系统的有限时间观测器, 其中:

$$E=\begin{bmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&0&0\end{bmatrix},\ A=\begin{bmatrix}1&0&1&0\\0&1&0&1\\0&2&1&1\end{bmatrix},$$
$$B=\begin{bmatrix}1&0\\1&0\\0&1\end{bmatrix},\ C=\begin{bmatrix}0&1&1&0\\2&0&1&1\\1&1&0&1\end{bmatrix},$$
$$D=[1\ \ 0\ \ 2]^{\mathrm{T}},\ F=[0\ \ 0\ \ 0]^{\mathrm{T}},$$
$$x=[x_1^{\mathrm{T}}\quad x_2^{\mathrm{T}}]^{\mathrm{T}}, x_i\in\mathbb{R}^2, i=1,2,$$

初始时间为t_0.

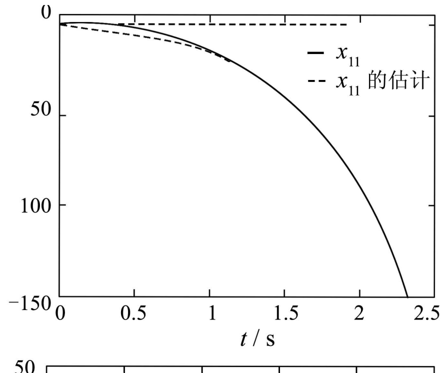
容易验证该系统满足假设A1)~A3). 经计算得

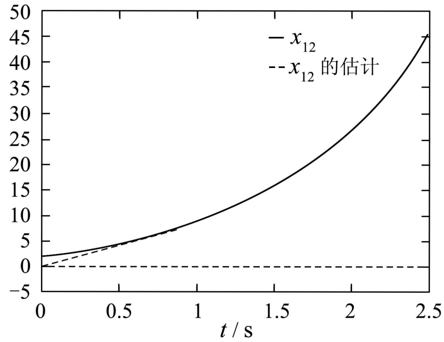
$$\tilde{A}_1=\begin{bmatrix}\frac{3}{2}&-1\\-\frac{4}{3}&\frac{2}{3}\end{bmatrix},\tilde{B}_1=\begin{bmatrix}1&-\frac{1}{2}\\1&0\end{bmatrix},$$
$$W_1W_2^{+}=\begin{bmatrix}\frac{1}{2}&0&-\frac{1}{2}\\-\frac{1}{3}&\frac{1}{3}&\frac{2}{3}\end{bmatrix},$$
$$\tilde{C}_1=\begin{bmatrix}-\frac{1}{3}&\frac{2}{3}\\\frac{1}{3}&-\frac{2}{3}\\-\frac{1}{3}&\frac{2}{3}\end{bmatrix},\tilde{B}_2=0.$$

选择式(18)中的$L_1=\begin{bmatrix}-6&\frac{3}{2}&-3\\1&1&1\end{bmatrix}$, $L_2=\begin{bmatrix}-\frac{3}{2}&12&-6\\6&2&0\end{bmatrix}$使得$\tilde{A}_1-L_1\tilde{C}_1$, $\tilde{A}_1-L_2\tilde{C}_1$分别有特征根$-1+\sqrt{5}\mathrm{j},-1-\sqrt{5}\mathrm{j}$和$-5,-2$, 令$T=2$, 则得到如式(21)所示的有限时间观测器, 其中:

$$H=\begin{bmatrix}-2&6&0&0\\-1&0&0&0\\0&0&-5&12\\0&0&0&-2\end{bmatrix},$$
$$J_1=\begin{bmatrix}1&-\frac{1}{2}\\1&0\\1&-\frac{1}{2}\\1&0\end{bmatrix},\ J_2=\begin{bmatrix}-3&\frac{7}{2}&-4\\0&0&1\\-6&\frac{13}{2}&-7\\1&-1&2\end{bmatrix},$$
$$U_1=\begin{bmatrix}0.1942&-0.0879&0.8058&0.0879\\0.0486&-0.0220&-0.0486&1.0220\\-0.0810&0.0366&-0.2524&-0.3700\\-0.2752&0.1245&-1.0581&-0.4578\end{bmatrix},$$
$$U_2=\begin{bmatrix}0.0000&0.0605&-0.0000&-0.0605\\0.0000&0.0151&0.0000&-0.0152\\-0.0000&-0.0252&0.0000&0.0252\\-0.0000&-0.0857&0.0000&0.0857\end{bmatrix},$$
$$V_1=\begin{bmatrix}0&0\\0&0\\0&0\\0&0\end{bmatrix},$$
$$V_2=\begin{bmatrix}0&0&0\\0&0&0\\\frac{2}{3}&\frac{1}{3}&-\frac{1}{3}\\-\frac{1}{3}&\frac{1}{3}&\frac{2}{3}\end{bmatrix},$$
$$G_1=\begin{bmatrix}0.1294&-0.0586&0.7039&-0.6081\end{bmatrix},$$
$$G_2=\begin{bmatrix}0.0000&0.0403&-0.0000&-0.0403\end{bmatrix},$$
$$Q_1=\begin{bmatrix}0&-\frac{1}{2}\end{bmatrix},$$
$$Q_2=\begin{bmatrix}-\frac{1}{6}&-\frac{1}{3}&-\frac{1}{6}\end{bmatrix}.$$

当$t\geqslant 2$ s时, 该观测器实现$\hat{x}(t)=x(t)$, $\hat{d}(t)=d(t)$. 图1 给出了当$u=[1\quad 1]^{\mathrm{T}}$, $d(t)=\sin t$, $t_0=0, Ex(0)=[1\quad 2\quad 0]^{\mathrm{T}}$, $z(t)$ 的初始值为$z(t)=[5\quad 3\quad 6\quad 3]^{\mathrm{T}}$, $-2\leqslant t\leqslant 0$时状态x_1和未知输入d的仿真结果, 为节约空间省略状态x_2的轨线仿真.





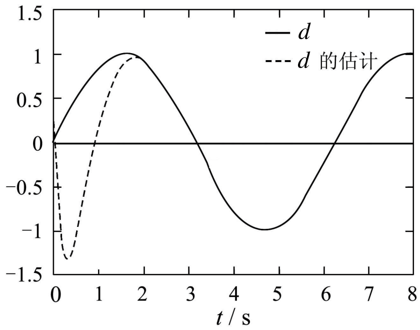


图 1 状态x_1和未知输入d的仿真结果

Fig. 1 Simulation results of state x_1 and unknown input d

4 结语(Conclusion)

本文讨论了含未知输入的非方广义系统的有限时间观测器设计问题. 首先, 在初等代数框架下, 通过系统的输入–状态对的非奇异变换把广义系统的这一问题等价地转化成正常状态空间系统的相应问题; 其次, 设计正常状态空间系统的有限时间观测器, 由此得到非方广义系统的有限时间输入–状态观测器. 文中还给出了非方广义系统的输入–状态观测器存在的充分条件.

参考文献(References):

[1] DAROUACH M, ZASADZINSKI M, XU S J. Full-order observer for linear systems with unknown inputs[J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1994, 39(3): 606 – 609.

[2] SYRMOS V L. Computational observer design techniques for linear systems with unknown inputs using the concept of transmission zeros[J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1993, 38(5): 790 – 794.

[3] HOU M, MULLER P C. Disturbance decoupled observer design: a unified viewpoint[J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1994, 39(6): 1338 – 1341.

[4] HOU M, PATTON R J. Input observability and input reconstruction[J]. *Automatica*, 1998, 34(6): 789 – 794.

[5] CORLESS M, TU J. State and input estimation for a class of uncertain system[J]. *Automatica*, 1998, 34(6): 757 – 764.

[6] 孙丽瑛, 程兆林. 含未知输入的广义系统的状态与输入估计[J]. 控制理论与应用, 2003, 20(3) : 454 – 458.
(SUN Liying, CHENG Zhaolin. State and input estimation for singular systems with unknown input[J]. *Control Theory & Applications*, 2003, 20(3) : 454 – 458)

[7] DAROUACH M, ZASADZINSKI M, HAYAR M. Reduced-order observer design for descriptor systems with unknown inputs[J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1996, 41(7): 1068 – 1072.

[8] KOENIG D, MAMMAR S. Design of proportional-integral observer for unknown input descriptor systems[J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 2002, 47(12): 2057 – 2062.

[9] SUN L, CHENG Z. State and input estimation for descriptor systems with unknown inputs[C]//*Pro of American Control Conference*. Boston, 2004: 3480 – 3481.

[10] ROBERT E, GERHARD K. A continuous-time observer which converges in finite time[J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 2002, 47(7): 1202 – 1204.

[11] DAI L Y. *Singular Control Systems*[M]. Berlin: Spring-Verlag, 1989.

作者简介:

孙丽瑛 (1967—), 女, 山东大学在读博士研究生, 济南大学理学院教师, 主要研究方向为多变量控制系统和Hamilton控制系统的理论及应用等, E-mail: sunliying66@beelink.com;

程兆林 (1939—), 男, 山东大学数学与系统科学学院教授, 博士生导师, 主要研究方向为多变量控制系统的理论及应用等.

王玉振 (1963-), 男, 山东大学控制科学与工程学院教授, 博士生导师, 主要研究方向为非线性系统控制、Hamilton控制系统、电力系统控制的理论及应用.