第19卷 第6期 自动化学报 Vol. 19, No. 6
1993年11月 ACTA AUTOMATICA SINICA Nov., 1993

问题讨论

编者按. 本刊在第18卷第2期刊登了谭民、疏松桂同志的"具有参数跟踪自适应观测器的故障检测与诊断系统"一文后，编辑部收到倪茂林及张汉国（北京航空航天大学）同志的来稿. 他们对谭民的文章提出了一些商榷意见. 现选登倪茂林的来稿和谭民的答复，以活跃学术交流的气氛.

对"具有参数跟踪自适应观测器的故障检测与诊断系统"一文的商榷

倪 茂 林
（北京控制工程研究所，100080）

文献[1]引入参数跟踪自适应观测器讨论了既存在元件失效、又含有参数不确定性控制系统的设计问题,这是鲁棒控制理论中极为复杂的问题. 在文献[2]的基础上,文献[1]将一种简单的自适应控制律用于故障检测系统，并给出了稳定性条件. 然而，文献[1]中一些结果是不完善的,本文对这些问题做进一步讨论.

文献[1]中研究了系统

$$\dot{\boldsymbol{x}}(t)=A\boldsymbol{x}(t)+B\boldsymbol{u}(t), \tag{1}$$

$$\boldsymbol{y}(t)=C\boldsymbol{x}(t) \tag{2}$$

的故障检测问题,其中 $\boldsymbol{x}(t)\in \boldsymbol{R}^n,\boldsymbol{u}(t)\in \boldsymbol{R}^p,\boldsymbol{y}(t)\in \boldsymbol{R}^m(m\leqslant n)$. 文献[1]设计的观测器为

$$\dot{\hat{\boldsymbol{x}}}(t)=(A+\Delta A)\hat{\boldsymbol{x}}(t)+K[\boldsymbol{y}(t)-C\hat{\boldsymbol{x}}(t)]+(B+\Delta B)\boldsymbol{u}(t). \tag{3}$$

若令 $\boldsymbol{e}(t)\triangleq\boldsymbol{x}(t)-\hat{\boldsymbol{x}}(t),\boldsymbol{\varepsilon}(t)\triangleq\boldsymbol{y}(t)-\hat{\boldsymbol{y}}(t)$, 则误差方程为

$$\dot{\boldsymbol{e}}(t)=(A-KC)\boldsymbol{e}(t)-\Delta A\hat{\boldsymbol{x}}(t)-\Delta B\boldsymbol{u}(t). \tag{4}$$

文献[1]设计的自适应律为

$$\Delta A=K_1[\hat{\boldsymbol{x}}^T(t)+\boldsymbol{u}^T(t)]\boldsymbol{\varepsilon}(t), \tag{5a}$$

$$\Delta B=K_2[\hat{\boldsymbol{x}}^T(t)+\boldsymbol{u}^T(t)]\boldsymbol{\varepsilon}(t). \tag{5b}$$

但由(3)式易知，$\Delta A\in R^{n\times n},\Delta B\in R^{n\times p},\hat{\boldsymbol{x}}\in R^n,\boldsymbol{u}\in R^p$, $\boldsymbol{\varepsilon}\in R^m$, 显然(5)式中矩阵维数不相容,(5)式自适应律不能实现.

文献[1]还导出了误差方程

$$\dot{\boldsymbol{e}}(t)=W(t)\boldsymbol{e}(t), \tag{6}$$

并给出了它在 Lyapunov 意义下渐近稳定的条件. 文献[1]选取的二次函数为

$$V(\boldsymbol{e})=\boldsymbol{e}^TQ\boldsymbol{e}, \tag{7}$$

其中 $Q=\mathrm{diag}(q_1,q_2,\cdots,q_n)>0$. 文献[1]推出

本文于1992年5月7日收到.

$$\dot{V}(\boldsymbol{e})=\sum_{i=1}^{n}\sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{n}[q_iw_{ii}e_i^2+q_jw_{jj}e_j^2+(q_iw_{ij}+q_jw_{ji})e_ie_j],\tag{8}$$

并指出当条件

1) $V(\boldsymbol{e})>0,\forall\boldsymbol{e}\neq 0,t$,

2) $q_iw_{ii}\leqslant -D<0,i=1,2,\cdots,n$,

3) $(q_iw_{ij}+q_jw_{ji})/2\leqslant -D<0$

成立时，有

$$\dot{V}(\boldsymbol{e})\leqslant -2D\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(e_i^2+e_j^2)<0.\tag{9}$$

并由此推出系统(6)是渐近稳定的.

然而，由(8)式和条件1)—3)不能推出(9)式，下面给出一个反例.

例 1. 取 $n=2$，并令某一时刻取值为

$$Q=\begin{bmatrix}1&0\\0&1\end{bmatrix},\quad W=\begin{bmatrix}-1&-2\\-2&-1\end{bmatrix},\quad \boldsymbol{e}=\begin{bmatrix}1\\-1\end{bmatrix},\quad D=0.1.\tag{10}$$

显然条件1)—3)成立，且由(8)式可以算出 $\dot{V}(\boldsymbol{e})>0$，但由(9)式却得出 $\dot{V}(\boldsymbol{e})<0$，出现矛盾. 所以，文献[1]给出的稳定性定理是不完善的.

另外，文献[1]推出的(8)式也是不合理的，下面也以反例予以说明.

例 2. 令 $n=1$，则由(8)式可知 $\dot{V}(\boldsymbol{e})\equiv 0$. 然而，根据(6),(7)式可知

$$\dot{V}(\boldsymbol{e})=\boldsymbol{e}^T(QW+W^TQ)\boldsymbol{e}.\tag{11}$$

显然当 $Q,W,\boldsymbol{e}$ 均为正数时，$\dot{V}(\boldsymbol{e})>0$，矛盾出现.

应该指出，文献[2]中也存在类似错误.

参　考　文　献

[1] 谭民，疏松桂，具有参数跟踪自适应观测器的故障检测与诊断系统，自动化学报，18(1992),(2),193—198.
[2] Sidar, M., Implementation of Failure-Detection Systems with Adaptive Observers, Proceedings of 1983 American Control Conference, 1205—1211.

对倪茂林、张汉国同志所提问题[1]的答复

谭　民
(中国科学院自动化研究所　100080)

1. 设计自适应律的维数问题

在文[2]中，设 $\boldsymbol{x}(t)\in\mathbb{R}^n,y(t)\in\mathbb{R}^m,\boldsymbol{u}(t)$ 的维数为 $p(p\leqslant n)$，设计的自适应律为

$$\Delta A=K_1(\boldsymbol{x}^T(t)+\boldsymbol{u}^T(t))\boldsymbol{\varepsilon}(t),\tag{3.1}$$

$$\Delta B=K_2(\boldsymbol{x}^T(t)+\boldsymbol{u}^T(t))\boldsymbol{\varepsilon}(t).\tag{3.2}$$