

## 基于 Delta 算子模型的时滞系统故障检测滤波器

张端金, 孟 姍, 郭 皓, 管莉莉

(郑州大学 信息工程学院, 河南 郑州 450001)

**摘 要:**研究了基于 Delta 算子描述的状态时滞系统鲁棒故障检测滤波器的设计问题. 在传统移位算子描述的滤波器设计基础上, 给出 Delta 算子描述的时滞系统滤波器模型, 利用线性矩阵不等式(LMI)方法, 导出了此类系统的故障检测滤波器存在的充分条件和显示表达式, 当该 LMI 具有可行解时, 可得到 Delta 算子描述的时滞系统最优鲁棒故障检测滤波器. 仿真结果表明: 连续时滞系统和离散时滞系统的故障检测问题可纳入到 Delta 算子的统一框架中.

**关键词:** 离散时滞系统; 故障检测; Delta 算子; 滤波器模型

**中图分类号:** TN713; TP273

**文献标志码:** A

**doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2012.02.004

### 0 引言

由于在实际工程中, 如网络、环境、电力等系统中广泛存在着时滞现象, 因而, 研究时滞系统的故障检测具有重要的理论价值和现实意义, 引起了学者的高度重视. Nader 等<sup>[1]</sup>研究了连续时滞系统的故障检测和分离方法, 所设计的滤波器保证了故障信号和残差信号满足 H-infinity 范数要求. Wang 等<sup>[2]</sup>利用线性矩阵不等式方法, 给出了离散时滞系统的鲁棒故障检测滤波器设计方法. Zhang 等<sup>[3]</sup>讨论了含有丢包和时延的网络系统故障检测. 李娟等<sup>[4]</sup>利用无时滞转换方法, 完成了基于降维状态观测器的离散时滞系统故障诊断的研究.

概括地讲, 现有的时滞系统的故障检测滤波器设计均是针对连续系统或离散系统分别设计的. 当传统移位算子描述的离散系统逼近连续系统时, 离散系统的所有极点位于稳定边界处, 在有限字长较小的计算机中实现时, 产生较大的量化误差和极限环振荡等问题. 由此笔者采用 Delta 算子方法进行故障检测的研究.

Delta 算子作为一种新的离散化方法, 避免了高速采样时产生的病态条件问题, 而且可将连续时滞系统和离散时滞系统归入统一框架下. 此外, Delta 算子系统的采样周期是显示参数, 便于观察

和分析不同采样周期下控制系统的性能, 它的有限字长特性、系数灵敏度等也均优于传统移位算子. 因而, Delta 算子方法在系统控制和信号处理方面不断取得新的研究进展<sup>[5-7]</sup>.

笔者针对具有范数有界的状态时滞系统, 基于已有的鲁棒故障检测滤波器<sup>[8-9]</sup>, 给出 Delta 算子方法的设计过程和仿真举例.

### 1 系统描述

首先给出文中标记:  $\mathbf{R}^n$  表示  $n$  维欧氏空间;  $\mathbf{R}^{2n \times 2n}$  表示  $2n \times 2n$  维实矩阵集;  $\mathbf{I}$  表示适当维数的单位矩阵; 上标 T 表示矩阵转置; \* 表示对称矩阵中的对称项.

Delta 算子的定义为<sup>[6]</sup>

$$\delta x(t) = \begin{cases} dx/dt, & T_s = 0; \\ [x(t+T_s) - x(t)]/T_s, & T_s \neq 0. \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $T_s$  为采样周期, 当  $T_s = 0$  时为连续系统,  $T_s \neq 0$  时为离散系统.

考虑系统发生执行器故障, Delta 算子描述的离散线性时滞系统:

$$\begin{cases} \delta x(k) = A_\delta x(k) + A_{1\delta} x(k-\tau) + B_\delta u(k) + \\ \quad D_\delta d(k) + F_\delta f(k); \\ y(k) = C_\delta x(k) + E_\delta d(k) + G_\delta f(k); \\ x(\varphi) = \Phi(\varphi), \quad \forall \varphi \in [-\tau, -\tau+1, \dots, 0]. \end{cases} \quad (2)$$

收稿日期: 2011-10-23; 修订日期: 2011-12-10

基金项目: 河南省自然科学研究计划项目(2010A510017); 郑州大学研究生科研基金项目(10L10502)

作者简介: 张端金(1966-), 男, 湖北荆州人, 郑州大学教授, 博士, 主要从事故障检测与估计研究, E-mail: djzhang@

zzu.edu.cn

式中:  $x(k) \in \mathbf{R}^n$  为状态变量;  $d(k) \in \mathbf{R}^m$  为未知输入;  $f(k) \in \mathbf{R}^r$  为故障信号;  $y(k) \in \mathbf{R}^p$  为测量输出;  $u(k) \in \mathbf{R}^q$  为控制输入;  $\tau$  为时滞常数;  $\Phi(\varphi)$  为初始状态序列. 设  $u(k), d(k), f(k)$  均是能量有界的信号;  $A_s, A_{1s}, B_s, D_s, F_s, C_s, E_s, G_s$  均是具有适当维数的已知实常数矩阵.

假设系统(2)渐近稳定,则根据(2)构造的 Delta 算子时滞系统故障检测滤波器如下所示:

$$\begin{cases} \delta \bar{x}(k) = \bar{A}_s \bar{x}(k) + \bar{B}_s y(k); \\ r(k) = \bar{C}_s \bar{x}(k) + \bar{D}_s y(k); \\ \bar{x}(0) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

其中:  $\bar{x}(k) \in \mathbf{R}^n, r(k) \in \mathbf{R}^r$  为残差信号. 求出满足故障检测滤波器式(3)渐近稳定,且使残差信号和故障信号间的误差最小,并对未知输入、控制输入具有鲁棒性的参数矩阵  $\bar{A}_s, \bar{B}_s, \bar{C}_s, \bar{D}_s$ , 即得到 Delta 算子描述的时滞系统的鲁棒故障检测滤波器模型. 令  $e(k) = r(k) - f(k)$ , 联立式(2)、(3)可得增广系统:

$$\begin{cases} \delta \xi(k) = \hat{A}_s \xi(k) + \hat{A}_{1s} \xi(k - \tau) + \hat{B}_s S(k); \\ e(k) = \hat{C}_s \xi(k) + \hat{D}_s S(k) \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $S(k) = [u^T(k) \quad d^T(k) \quad f^T(k)]^T$ ;

$$\xi(k) = [x^T(k) \quad \bar{x}^T(k)]^T;$$

$$\hat{A}_s = \begin{bmatrix} A_s & 0 \\ \bar{B}_s C_s & \bar{A}_s \end{bmatrix}; \hat{A}_{1s} = \begin{bmatrix} A_{1s} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\hat{B}_s = \begin{bmatrix} B_s & D_s & F_s \\ 0 & \bar{B}_s E_s & \bar{B}_s G_s \end{bmatrix}; \hat{C}_s = [\bar{D}_s C_s \quad \bar{C}_s];$$

$$\hat{D}_s = [0 \quad \bar{D}_s E_s \quad \bar{D}_s G_s - I].$$

由此,鲁棒故障检测滤波器的设计问题可转化为如下问题,即在零初始条件下,设计形如式(3)的滤波器,使增广系统式(4)满足渐近稳定和如下的性能指标:

$$\|e\|_2 < \lambda \|S\|_2. \quad (5)$$

其中,

$$\|e\|_2 = \left( \sum_{k=0}^{\infty} e^T(k) e(k) \right)^{1/2};$$

$$\|S\|_2 = \left( \sum_{k=0}^{\infty} S^T(k) S(k) \right)^{1/2}.$$

利用所得残差信号  $r(k)$  得到残差评价函数:

$$J(r) = \|r(k)\|_{2,W} = \left( \sum_{k_0}^{k_0+W} r^T(k) r(k) \right)^{1/2}; \quad (6)$$

阈值取为

$$J_{th} = \sup_{d \in l_2, u \in l_2, f=0} \|r(k)\|_{2,W} = \left( \sum_{k_0}^{k_0+W} r^T(k) r(k) \right)^{1/2}. \quad (7)$$

式中:  $k_0$  是初始评价时刻;  $W$  为评价步数.

通过比较  $J$  和  $J_{th}$  的值达到检测有无故障发生的目的: 当  $J > J_{th}$  时, 有故障发生, 发出警报; 当  $J \leq J_{th}$  时, 无故障发生.

## 2 故障检测滤波器设计

引理1 对于任意非零的  $S(k) \in l_2[0, \infty]$ , 给定常数  $\lambda > 0$ , 如果存在正定对称矩阵  $G \in \mathbf{R}^{2n \times 2n}$  和  $H \in \mathbf{R}^{2n \times 2n}$  使线性矩阵不等式(8)成立, 则增广系统式(4)渐近稳定且满足性能指标式(5).

$$\Pi = \begin{bmatrix} \mu_1 & \hat{A}_s^T G \hat{A}_{1s} & \hat{A}_s^T G \hat{B}_s + \hat{C}_s^T \hat{D}_s \\ * & -H + \hat{A}_s^T G \hat{A}_s & \hat{A}_s^T G \hat{B}_s \\ * & * & \mu_2 \end{bmatrix} < 0. \quad (8)$$

其中,  $\mu_1 = \hat{A}_s^T G \hat{A}_s - G + H + \hat{C}_s^T \hat{C}_s$ ;

$$\mu_2 = -\lambda^2 I + \hat{B}_s^T G \hat{B}_s + \hat{D}_s^T \hat{D}_s.$$

证明: 首先建立增广系统式(4)在  $S(k) \equiv 0$  时的渐近稳定性条件, 选取如下 Lyapunov 泛函:

$$V(\xi_\varphi(k)) := \xi^T(k) G \xi(k) + \sum_{i=k-\tau}^{k-1} \xi^T(i) H \xi(i).$$

式中:  $G, H$  为待求对称正定矩阵;  $\xi_\varphi(k) = \xi(k + \varphi)$ ,  $\forall \varphi \in [-\tau, -\tau + 1, \dots, 0]$ .

令  $\Delta V(\xi_\varphi(k)) = V(\xi_\varphi(k+1)) - V(\xi_\varphi(k))$ , 那么

$$\Delta V(\xi_\varphi(k)) = [\xi^T(k) \quad \xi^T(k-\tau)] \Gamma \begin{bmatrix} \xi(k) \\ \xi(k-\tau) \end{bmatrix}.$$

其中,

$$\Gamma = \begin{bmatrix} \hat{A}_s^T G \hat{A}_s - G + H & \hat{A}_s^T G \hat{A}_{1s} \\ * & \hat{A}_s^T G \hat{A}_{1s} - H \end{bmatrix}.$$

利用 Schur 补引理, 可知引理1中的(8)保证  $\Gamma < 0$ , 因此由 Lyapunov 稳定性定理可知增广系统(4)是渐近稳定的.

为了证明增广系统(4)也满足指标(5), 设系统初始条件为零, 则  $V(\xi_\varphi(k))|_{k=0} = 0$ .

考虑下面的性能指标:

$$J = \sum_{k=0}^{\infty} (e^T(k) e(k) - \lambda^2 S^T(k) S(k)).$$

又因为增广系统(4)是渐近稳定的, 所以可以得到  $V(\xi_\varphi(k))|_{k \rightarrow \infty} \rightarrow 0$ , 则

$$J = \sum_{k=0}^{\infty} (e^T(k) e(k) - \lambda^2 S^T(k) S(k) + \Delta V(\xi_\varphi(k))),$$

结合式(4)可得

$$J = \sum_{k=0}^{\infty} \beta^T(k) \Pi \beta(k),$$

式中:  $\beta(k) = [\xi^T(k) \quad \xi^T(k - \tau) \quad S^T(k)]^T$ ,  $\Pi$  如式(8)所示. 对任意非零的  $S(k) \in l_2[0, \infty]$ , 由式(8)可知  $J < 0$ , 所以式(5)成立, 引理1得证.

下面给出 Delta 算子离散时滞系统鲁棒故障检测滤波器存在的充分条件.

**定理1** 给定常数  $\lambda > 0$ , 如果存在对称正定

$$\begin{bmatrix} \Omega_{11} & \Omega_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_\delta^T M & \Omega_{19} & C_\delta^T \bar{D}_\delta^T + X^T \\ * & \Omega_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_\delta^T M & \Omega_{29} & C_\delta^T \bar{D}_\delta^T \\ * & * & -H_1 & -H_2 & 0 & 0 & 0 & A_{1\delta}^T M & A_{1\delta}^T N & 0 \\ * & * & * & -H_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ * & * & * & * & -\lambda^2 I & 0 & 0 & B_\delta^T M & B_\delta^T N & 0 \\ * & * & * & * & * & -\lambda^2 I & 0 & D_\delta^T M & \Omega_{69} & E_\delta^T \bar{D}_\delta^T \\ * & * & * & * & * & * & -\lambda^2 I & F_\delta^T M & \Omega_{79} & G_\delta^T \bar{D}_\delta^T - I \\ * & * & * & * & * & * & * & -M & -M & 0 \\ * & * & * & * & * & * & * & * & -N & 0 \\ * & * & * & * & * & * & * & * & * & -I \end{bmatrix} < 0. \quad (9)$$

其中:  $\Omega_{11} = -M + H_1 + U^T + U + V$ ;

$$\Omega_{12} = -M + H_1 + U^T;$$

$$\Omega_{19} = A_\delta^T N + C_\delta^T R^T + Q^T;$$

$$\Omega_{22} = -N + H_1;$$

$$\Omega_{29} = A_\delta^T N + C_\delta^T R^T;$$

$$\Omega_{69} = D_\delta^T N + E_\delta^T R^T;$$

$$\Omega_{79} = F_\delta^T N + G_\delta^T R^T.$$

$$N - M > 0. \quad (10)$$

$$\begin{cases} \bar{A}_\delta = (M - N)^{-1} Q; \\ \bar{B}_\delta = (M - N)^{-1} R; \\ \bar{C}_\delta = X; \\ \bar{D}_\delta = \bar{D}_\delta. \end{cases} \quad (11)$$

证明: 利用 Schur 补引理, 可推出下式与式(8)等价,

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 & 0 & 0 & \hat{A}_\delta^T G & \hat{C}_\delta^T \\ * & -H & 0 & \hat{A}_{1\delta}^T G & 0 \\ * & * & \alpha_2 & \hat{B}_\delta^T G & \hat{D}_\delta^T \\ * & * & * & -G & 0 \\ * & * & * & * & -I \end{bmatrix} < 0. \quad (12)$$

其中,  $\alpha_1 = -G + H$ ,  $\alpha_2 = -\lambda^2 I$ .

将  $G, F = G^{-1}$  和  $H$  进行如下分解:

$$G = \begin{bmatrix} G_1 & G_2 \\ * & G_3 \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} H_1 & H_2 \\ * & H_3 \end{bmatrix}, F = G^{-1} = \begin{bmatrix} F_1 & F_2 \\ * & F_3 \end{bmatrix}.$$

式中:  $G_1 \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $G_3 \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $F_1 \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $F_3 \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $H_1 \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $H_3 \in \mathbb{R}^{n \times n}$ , 均是对称正定矩阵. 设可逆矩阵:

矩阵  $M, N, V, H_1, H_3$ , 一般矩阵  $Q, R, X, U, H_2, \bar{D}_\delta$  满足线性矩阵不等式(9)和(10), 则在零初始条件下和对任意非零的  $S(k)$ , 增广系统(4)是渐近稳定的且满足性能指标(5), 此时满足要求的故障检测滤波器参数矩阵由式(11)给出.

$$J_F := \begin{bmatrix} F_1 & I \\ F_2^T & 0 \end{bmatrix}.$$

利用  $\text{diag}\{J_F^T, I, I, J_F^T, I\}$  对式(12)进行全等变换, 再用  $\text{diag}\{F_1^{-1}, I, I, I, I, I, F_1^{-1}, I, I\}$  对变换后的不等式分别进行左乘和右乘, 并定义如下变量:

$$\begin{cases} M = F_1^{-1}, N = G_1, U = H_2 F_2^T F_1^{-1}, \\ V = F_1^{-1} F_2 H_3 F_2^T F_1^{-1}, R = G_2 \bar{B}_\delta, \\ Q = G_2 \bar{A}_\delta F_2^T F_1^{-1}, X = \bar{C}_\delta F_2^T F_1^{-1}. \end{cases} \quad (13)$$

从而得到式(9).

由  $FG = I$ , 可知  $G_2 F_2^T = I - G_1 F_1$ , 因为  $G_1$  和  $F_1$  为对称正定矩阵, 所以  $G_2$  和  $F_2^T$  为可逆矩阵. 由式(13)可得故障检测滤波器参数矩阵:

$$\begin{cases} \bar{B}_\delta = G_2^{-1} R; \\ \bar{A}_\delta = G_2^{-1} R F_1 F_2^{-T}; \\ \bar{C}_\delta = X F_1 F_2^{-T}. \end{cases} \quad (14)$$

然后将式(14)代入滤波器的传递函数:

$$T_f(z) = \bar{C}_\delta (zI - \bar{A}_\delta)^{-1} \bar{B}_\delta + \bar{D}_\delta,$$

结合式(13), 可得

$$T_f(z) = X(zI - (M - N)^{-1} Q)^{-1} (M - N)^{-1} R + \bar{D}_\delta,$$

从而可将滤波器的参数矩阵写成式(11).

另外, 由  $G$  的正定性可知:

$$J_F^T G J_F = \begin{bmatrix} F_1 & I \\ I & G_1 \end{bmatrix} > 0,$$

利用 Schur 补引理和式(13)可得式(10). 定理1得证.

注1: 从以上分析可得, 通过求解线性矩阵不

等式(9)和(10),即可得到鲁棒故障检测滤波器的参数矩阵式(11).但式(9)和式(10)不仅是关于矩阵变量,还是关于 $\lambda$ 的矩阵不等式.为了解决这个问题,借助 Matlab LMI 工具箱,求解以下凸优化问题:

$$\begin{cases} \min \lambda^2; \\ \text{st. 式(11)}. \end{cases}$$

得到 $\lambda$ 的最优值,保证残差信号和故障信号间的误差最小,同时使残差信号对控制输入和未知输入信号具有最优衰减水平.

### 3 数值仿真

考虑一个二阶时滞离散系统,采样周期 $T_s = 0.005$  s. 系统的参数矩阵如下所示:

$$A_s = \begin{bmatrix} 0.2 & -0.6 \\ 0 & -0.4 \end{bmatrix}, A_{1s} = \begin{bmatrix} 0.1 & -0.1 \\ 0 & 0.4 \end{bmatrix}, B_s = \begin{bmatrix} 0.1 \\ -0.2 \end{bmatrix},$$

$$D_s = \begin{bmatrix} 0.2 \\ 0.3 \end{bmatrix}, F_s = \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.6 \end{bmatrix}, C_s = [0.2 \quad 0.5], E_s =$$

$0.3, G_s = 1.302, \tau = 4$ , 假设控制输入 $u(k)$ 的幅值为0.1的正弦信号,未知输入 $d(k)$ 为幅值不大于0.5的随机信号,故障信号 $f(k) = \begin{cases} 1, & k = 200, \dots, 400; \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$ .

利用 Matlab 仿真环境求解式(9)和(10),得到滤波器参数矩阵:

$$\bar{A}_s = \begin{bmatrix} 0.182 \ 01 & -0.783 \ 1 \\ -0.142 \ 2 & -0.617 \ 5 \end{bmatrix}, \bar{B}_s = \begin{bmatrix} 0.249 \ 4 \\ 0.516 \ 8 \end{bmatrix},$$

$$\bar{C}_s = [-0.147 \ 9 \quad -0.331 \ 5], \bar{D}_s = 0.707 \ 2, \lambda = 0.427 \ 8.$$

仿真时 $k = 0, 1, \dots, 600$ ,由式(7)计算可得阈值, $J_{th} = 0.794 \ 8$ ,从仿真结果可以得出:

$$J(r) = \left( \sum_{k=0}^{201} r^T(k)r(k) \right)^{1/2} = 1.043 \ 8 > J_{th}.$$

即故障出现一步后被检测出.上述结果证明了利用该方法进行故障检测的有效性和较高灵敏度.

图1和图2分别给出了无故障和有故障情况下残差信号的大小.图3给出了残差评价函数变化.

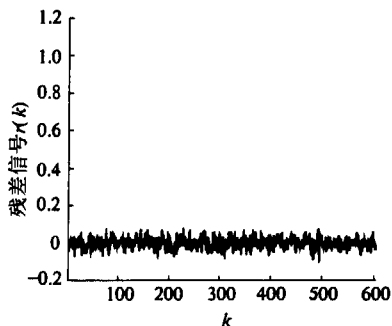


图1 无故障时的残差信号

Fig.1 Residual without fault signal

从图1中可以看出,无故障时残差信号较小,基本在0.1以内. $k = 200$ 时发生故障,造成图2中残差信号明显增大.从图2还可以看出,这种故障检测滤波器具有鲁棒性.

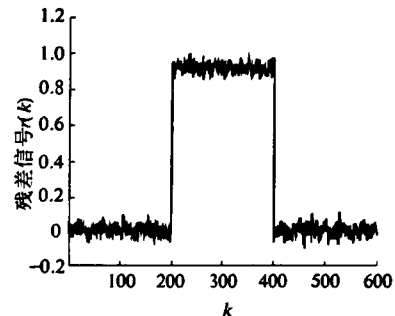


图2 有故障时的残差信号

Fig. 2 Residual with fault signal

从图3可以看出,故障发生后残差评价函数明显且迅速增大,保证可以有效和较快地检测出故障信号.

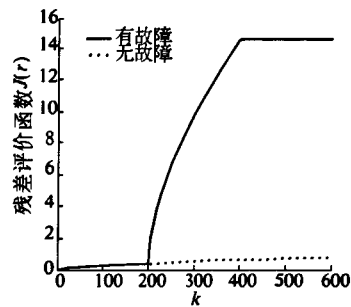


图3 残差评价函数变化曲线

Fig. 3 Evolution of residual evaluation

### 4 结论

笔者给出了基于 Delta 算子的时滞系统故障检测算法.采用 Delta 算子描述离散时滞系统,当采样周期趋于零时,Delta 算子模型趋于原来连续模型,避免了出现病态条件,显著提高了残差产生器的鲁棒性.仿真结果表明,故障信号可有效且较快地被检测出来,证明了该方法的可行性.

### 参考文献:

- [1] NADER M, KHASHAYAR K. Fault detection and isolation of distributed time-delay systems[J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2009, 54(11): 2680 - 2685.
- [2] WANG Dong, WANG Wei, SHI Peng. Robust fault detection for switched linear systems with state delays[J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics-Part B, 2009, 39(3): 800 - 805.
- [3] ZHANG Yong, FANG Hua-jing, FU Sheng. Observer-

- based fault detection for nonlinear networked systems with random packet dropout and time-varying delay [C]// Proc of the 29th Chinese Control Conference, Piscataway, NJ, United States; IEEE Computer Society, 2010: 4278 - 4282.
- [4] 李娟, 唐功友. 基于观测器的离散时滞系统的故障诊断[J]. 控制与决策, 2010, 25(8): 1220 - 1224.
- [5] 张端金, 王忠勇, 吴捷. 系统控制和信号处理中的 Delta 算子方法[J]. 控制与决策, 2003, 18(4): 385 - 391.
- [6] MIDDLETON R H, GOODWIN G C. Improved finite word length characteristics in digital control using delta operator [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1986, 31(11): 1015 - 1021.
- [7] MIDDLETON R H, GOODWIN G C. Digital Control and Estimation [M]. London: PrenticeHall Inc, 1990: 41 - 51.
- [8] 王红茹, 王常虹, 高会军. 时滞离散不确定系统的鲁棒故障检测[J]. 电机与控制学报, 2006, 10(5): 503 - 507.
- [9] 王红茹, 王常虹, 高会军. 时滞离散 LPV 系统的鲁棒故障检测与分离[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(9): 1352 - 1355.

### Fault Detection Filter for Delta Operator-Based Systems with Time-Delay

ZHANG Duan-jin, MENG Shan, GUO Hao, GUAN Li-li

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** This paper studies the design problem of robust fault detection filters for Delta operator discrete systems with state delays. Based on the traditional filter using the shift operator, a new filter model to fault detection for Delta operator systems with time-delay is given. Sufficient conditions for the existence of the robust fault detection filter and its explicit expressions are developed in terms of linear matrix inequalities (LMIs) approach. When LMIs are feasible, the optimal robust fault detection filters of Delta operator formulated systems are obtained. The presented results can bring the fault detection for continuous time systems and discrete time systems into the unified Delta operator framework. The simulations show the effectiveness of the proposed approach.

**Key words:** discrete time systems with time-delay; fault detection; Delta operator; filter model

(上接第 13 页)

### A Semi-fragile Watermarking Authentication Algorithm Based on Block and Wavelet Domain of Image

WU Feng-xiang<sup>1</sup>, YUE Xiao-li<sup>2</sup>, XU Jiang-feng<sup>2</sup>

(1. Water Conservancy Vocational School, North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450002, China; 2. School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** A new semi-fragile watermarking authentication algorithm is proposed, the algorithm first divides the image into four blocks, then the feature of each block of image is extracted from low frequency coefficient of three level wavelet transform, and then the feature as the watermark is embedded into corresponding block of image, the four blocks embedded into watermark were combined into a new image. The watermark can be extracted without involving either the host image or the original watermark. Theoretical analysis and experimental results show that the algorithm can be carriers of images of any size, and with good transparency, and it can not only resist non-malicious attacks, such as noise and lossy compression, it can also effectively detect and locate the cut, replaced, and other malicious attacks.

**Key words:** semi-fragile watermark; block; wavelet transform; image authentication