

文章编号:1673-1522(2019)02-0205-06

DOI: 10.7682/j.issn.1673-1522.2019.02.005

# 基于状态反馈的执行器故障容错控制

戴邵武,罗鑫辉,戴洪德

(海军航空大学,山东 烟台 264000)

**摘要:**针对线性离散系统的执行器故障,提出了一种基于状态反馈的容错控制方法。该方法在应用自适应卡尔曼滤波进行系统状态和故障同步估计的基础上,通过故障信息和状态估计进行状态反馈,对闭环系统进行极点配置,从而修正执行器故障造成的系统误差,实现容错控制。最后,将该方法应用于飞行控制系统的执行器故障容错控制,仿真结果表明该方法不仅能够准确地进行故障估计,而且能够在故障情况下保证系统输出正常,具有一定的理论意义和实际工程应用价值。

**关键词:**状态反馈;执行器;卡尔曼滤波;故障估计;容错控制

**中图分类号:**TP273

**文献标志码:**A

随着现代科技的发展,为了提高系统性能和产品质量,技术的复杂性和自动化水平不断提高,使得系统出现故障的概率也随之增加,而系统一旦出现故障,会使得系统性能下降甚至不稳定<sup>[1-3]</sup>。执行器作为系统的执行机构,对于系统的稳定和性能有着重要的作用,但是执行器容易发生故障,因而对系统的执行器进行容错控制具有重要意义<sup>[4-5]</sup>。

自从1971年Beard博士提出故障检测与隔离(Fault Detection and Isolation, FDI)<sup>[1]</sup>以来,基于模型的故障诊断技术受到了国内外学者的广泛关注。目前,基于模型的故障诊断技术最常用的是状态估计法<sup>[6-7]</sup>,此外,还有参数估计法<sup>[8-9]</sup>和等价空间法<sup>[10]</sup>。对于实际系统来说,噪声的存在不可避免,而卡尔曼滤波是一种可以根据含噪声的观测信号很好估计出未知状态或参数的算法<sup>[11]</sup>。因此,基于卡尔曼滤波的状态估计法在故障诊断领域得到了广泛的应用。Mehra首先将卡尔曼滤波算法用于航天器执行器和传感器故障检测<sup>[12-13]</sup>,该方法利用新息估计出各类故障,并利用反馈控制保持系统稳定,但是对于发生的故障没有进行定量分析,无法得到故障的严重程度。Mehra和Rago等分别提出了交互多模型卡尔曼滤波算法<sup>[14-15]</sup>用于执行器故障检测,通过设计最优控制器进行容错控制,但是运用这种方法的前提是故障已知,使得该方法的应用受到限制。随后,Hajiyev和Caliskan提出了一种改进卡尔曼滤波的FDI方法<sup>[16]</sup>,对执行器和传感器故障进行估计,并且通过故障容错控制对系统进行修正,该方法无需故障的先验信息,但是使用了增广模型,无法保证增广系统的可控可观以及卡尔曼滤波算法

的收敛性。2018年Zhang提出了一种自适应卡尔曼滤波算法<sup>[17]</sup>,该算法通过将卡尔曼滤波与最小二乘法结合,实时对故障进行估计,具有良好的收敛性,但是没有考虑到系统的容错控制问题,使得系统输出存在误差。因此,如何在未知故障条件下,使得系统保持原有的性能,实现容错控制是本文的研究重点。

本文针对线性离散系统发生的执行器故障,在文献[17]利用自适应卡尔曼滤波进行故障估计的基础上,提出了一种基于状态反馈的容错控制方法。基于在线故障信息和状态估计值,利用状态反馈进行闭环控制,使得系统在故障条件下保持原有的性能,最后通过飞行控制系统仿真验证了该容错控制方法的有效性。

## 1 问题描述

本文所研究的执行器故障容错控制是一种基于模型的故障诊断方法,建立精确的数学模型对容错控制有重要意义<sup>[18]</sup>。因此,针对执行器出现的加性故障,建立相应的执行器故障模型。

考虑如下线性离散系统:

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}\mathbf{x}(k) + \mathbf{B}\mathbf{u}(k) + \mathbf{w}(k); \quad (1)$$

$$\mathbf{y}(k) = \mathbf{C}\mathbf{x}(k) + \mathbf{v}(k)。 \quad (2)$$

式(1)、(2)中: $\mathbf{x}(k) \in \mathbb{R}^n$ 为系统的状态; $\mathbf{y}(k) \in \mathbb{R}^m$ 为系统的输出; $\mathbf{u}(k) \in \mathbb{R}^l$ 为系统的输入; $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ 、 $\mathbf{B} \in \mathbb{R}^{n \times l}$ 和 $\mathbf{C}^{m \times n}$ 为系数矩阵; $\mathbf{w}(k) \in \mathbb{R}^n$ 和 $\mathbf{v}(k) \in \mathbb{R}^m$ 都是均值为0且相互独立的高斯白噪声序列,其协方差矩阵为

收稿日期:2019-02-28; 修回日期:2019-04-18

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(ZR2017MF036)

作者简介:戴邵武(1966-),男,教授,博士,博导。

$Q \in \mathbb{R}^{n \times n}$  和  $R \in \mathbb{R}^{m \times m}$ 。

假设系统执行器发生加性故障,其数学表达式为<sup>[10]</sup>:

$$u_1(k) = u(k) + f(k) \quad (3)$$

式(3)中:  $u_1(k)$  为系统的真实输入;  $f(k) \in \mathbb{R}^l$  为执行器故障向量。

假设  $f(k)$  为缓变故障,即  $|f(k) - f(k-1)| \rightarrow 0$ 。

当系统发生故障时,系统的状态方程为:

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) + Bf(k) + w(k); \quad (4)$$

$$y(k) = Cx(k) + v(k) \quad (5)$$

## 2 自适应卡尔曼滤波器设计

针对系统,设计了如下自适应卡尔曼滤波器<sup>[17]</sup>:

$$\hat{x}(k+1) = A\hat{x}(k) + Bu(k) + B\hat{f}(k) + K(k)\tilde{y}(k) + \gamma(k+1)(\hat{f}(k+1) - \hat{f}(k)); \quad (6)$$

$$\hat{f}(k+1) = \hat{f}(k) + \Gamma(k)\tilde{y}(k); \quad (7)$$

$$\tilde{y}(k) = y(k) - C(k)\hat{x}(k); \quad (8)$$

$$P(k|k-1) = AP(k-1|k-1)A^T + Q; \quad (9)$$

$$\Sigma(k) = CP(k|k-1)C^T + R; \quad (10)$$

$$K(k) = P(k|k-1)C^T \Sigma^{-1}(k); \quad (11)$$

$$P(k|k) = [I - K(k)C]P(k|k-1); \quad (12)$$

$$\Omega(k) = C\gamma(k) + CB; \quad (13)$$

$$\gamma(k+1) = (A - K(k)C)\gamma(k) + B; \quad (14)$$

$$\Gamma(k) = S^T(k-1)\Omega^T(k)\Lambda^T(k); \quad (15)$$

$$S(k) = \frac{1}{\lambda}[I - S(k-1)\Omega^T(k)\Lambda(k)\Omega(k)]S(k-1); \quad (16)$$

$$\Lambda(k) = [\lambda\Sigma(k) + \Omega(k)S(k-1)\Omega^T(k)]^{-1} \quad (17)$$

式(16)、(17)中:  $K(k)$  为卡尔曼滤波增益;  $\gamma(k)$ 、 $\Gamma(k)$  为误差增益矩阵;  $\tilde{y}(k)$  为系统输出与估计输出

$$V(k+1) = (E\tilde{f}(k))^T [I - \Gamma(k)\Omega(k)]^T \lambda M(k-1)E\tilde{f}(k) = \lambda(E\tilde{f}(k))^T M(k-1)E\tilde{f}(k) - \lambda(E\tilde{f}(k))^T \Xi(k)E\tilde{f}(k) \quad (29)$$

式(29)中:

$$\begin{aligned} \Xi(k) &= \Omega^T(k)\Gamma^T(k)M(k-1) = \\ &= \Omega^T(k)\Lambda(k)\Omega(k)S(k-1)S^{-1}(k-1) = \\ &= \Omega^T(k)\Lambda(k)\Omega(k) \end{aligned} \quad (30)$$

之间的误差,其中  $\lambda \in (0, 1)$  为遗忘因子。

假设 1: 矩阵  $[A \ C]$  完全可观,  $[A \ Q^{1/2}]$  完全可控,如果矩阵  $\xi(k)$  满足

$$\xi(k+1) = (A - K(k)C)\xi(k), \quad (18)$$

则对于卡尔曼滤波增益  $K(k)$ 、 $\xi(k)$  是指数收敛的<sup>[11]</sup>。

假设 2: 在初值条件  $S(0) = \omega I$  ( $\omega > 0$ ), 矩阵  $S(k)$  是严格正定的<sup>[17]</sup>。

定义系统误差:

$$\tilde{x}(k) = x(k) - \hat{x}(k); \quad (19)$$

$$\tilde{f}(k) = f(k) - \hat{f}(k); \quad (20)$$

$$\eta(k) = \tilde{x}(k) - \gamma(k)\tilde{f}(k) \quad (21)$$

由式(4)、(6)、(19)、(21)得:

$$\eta(k+1) = (A - K(k)C)\eta(k) - K(k)v(k) + w(k) \quad (22)$$

由式(22)得

$$E\eta(k+1) = (A - K(k)C)E\eta(k), \quad (23)$$

式中,  $E\eta(k)$  表示  $\eta(k)$  的均值。

由假设 1 和式(23)知,  $E\eta(k)$  是指数收敛的。

由式(7)、(8)得:

$$\begin{aligned} \tilde{f}(k+1) &= (I - \Gamma(k)\Omega(k))\tilde{f}(k) - \\ &= \Gamma(k)(C\eta(k) + v(k)) \end{aligned} \quad (24)$$

由于  $E\eta(k) = 0$ 、 $Ev(k) = 0$ , 所以

$$E\tilde{f}(k+1) = [I - \Gamma(k)\Omega(k)]E\tilde{f}(k) \quad (25)$$

由假设 2 可知,  $S(k)$  是严格正定的。记  $M(k) = S^{-1}(k)$ , 定义 Lyapunov 函数:

$$V(k+1) = (E\tilde{f}(k+1))^T M(k)E\tilde{f}(k+1) \quad (26)$$

由式(15)、(16)得:

$$S(k) = \frac{1}{\lambda}[I - \Gamma(k)\Omega(k)]S(k-1) \quad (27)$$

则:

$$M(k) = \lambda M(k-1)[I - \Gamma(k)\Omega(k)]^{-1} \quad (28)$$

由式(27)、(28)得:

由于  $\Lambda(k)$  是正定矩阵, 则  $\Xi(k)$  也为正定矩阵, 所以:

$$V(k+1) \leq \lambda(E\tilde{f}(k))^T M(k)E\tilde{f}(k) \leq \lambda V(k) \quad (31)$$

由式(31)可知,  $V(k)$  是指数趋近于0, 由于矩阵  $M(k)$  是严格正定的, 所以  $E\tilde{f}(k)$  也是指数趋近于0。

由式(21)得:

$$E\tilde{x}(k) = E\eta(k) + \gamma(k)E\tilde{f}(k) \quad (32)$$

则  $E\tilde{x}(k)$  也是指数趋近于0, 所以自适应卡尔曼滤波是收敛的。

### 3 容错控制器设计

在自适应卡尔曼滤波器进行故障估计的基础上, 利用状态反馈设计容错控制器, 使得系统在故障条件下保持原有的性能要求。

假设3: 存在矩阵  $B^*$ , 使得

$$(I - BB^*)B = 0 \quad (33)$$

假设4:<sup>[19]</sup>(圆盘稳定定理)对于给定的圆盘区域  $D(\alpha, \tau)$  ( $\alpha$  为圆盘中心,  $\tau$  为圆盘半径)和矩阵  $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ , 如果存在对称正定矩阵  $P \in \mathbb{R}^{n \times n}$ , 满足:

$$\begin{bmatrix} -P & AP - \alpha P \\ * & -\tau^2 P \end{bmatrix} < 0 \quad (34)$$

则  $A$  的特征根位于圆盘区域  $D(\alpha, \tau)$ 。

当系统状态不可测时, 就无法直接利用状态值进行容错控制, 所以基于自适应卡尔曼滤波的状态估计值设计容错控制器:

$$u(k) = -K_x \hat{x}(k) - B^* B_f \hat{f}_a(k) + r(k) \quad (35)$$

式(35)中:  $K_x$  为状态反馈矩阵;  $r(k)$  为参考输入。

假设参考输入  $r(k) = 0$ , 将式(35)代入, 则系统的状态方程为:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= (A - BK_x)x(k) + \\ & BK_x \tilde{x}(k) + B\tilde{f}(k) + w(k), \end{aligned} \quad (36)$$

则

$$Ex(k+1) = (A - BK_x)Ex(k) \quad (37)$$

定理1: 对于给定的圆盘区域  $D(\alpha, \tau)$ , 如果存在对称正定矩阵  $P \in \mathbb{R}^{n \times n}$  以及矩阵  $Y \in \mathbb{R}^{l \times n}$ , 满足:

$$\begin{bmatrix} -P & AP - BY - \alpha P \\ * & -\tau^2 P \end{bmatrix} < 0 \quad (38)$$

则矩阵  $A - BK_x$  的特征值位于圆盘区域  $D(\alpha, \tau)$ , 其中,  $K_x = YP^{-1}$ 。

证明: 由假设4可知, 要想  $A - BK_x$  的特征值位于给定的圆盘区域  $D(\alpha, \tau)$ , 则存在矩阵正定对称  $P \in \mathbb{R}^{n \times n}$  满足:

$$\begin{bmatrix} -P & (A - BK_x)P - \alpha P \\ * & -\tau^2 P \end{bmatrix} < 0 \quad (39)$$

令  $Y = K_x P$ , 则可以得到式(38)。

选择圆盘区域  $D(\alpha, \tau) \subset D(0, 1)$ , 则存在矩阵  $K_x$ , 使得  $A - BK_x$  极点位于单位圆内, 所以系统状态均值  $Ex(k)$  指数趋近于期望值, 其控制框图如图1所示。

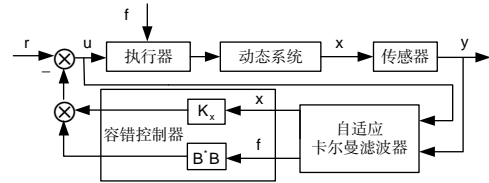


图1 基于状态反馈的容错控制

Fig.1 Fault-tolerant control based on state feedback

### 4 仿真分析

以飞机的横侧向运动为研究对象, 对本文所提出的算法进行仿真验证。对文献[20]连续系统模型进行离散化, 离散时间为0.1 s, 其离散状态方程为:

$$\begin{aligned} A &= \begin{bmatrix} 0.9155 & 0.0371 & -3.0754 & 0.9486 \\ -0.0017 & 0.4349 & 0.2521 & -0.002 \\ 0.0342 & 0.0005 & 0.8817 & 0.0172 \\ -0.0002 & 0.0679 & 0.0144 & 0.9999 \end{bmatrix}; \\ B &= \begin{bmatrix} 0.9728 & -0.0380 \\ -0.1360 & -1.9438 \\ -0.9107 & -0.0004 \\ -0.0048 & -0.1105 \end{bmatrix}; \\ C &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

其中, 状态变量  $x(k)$  包括侧滑角速度 (rad/s)、滚转角速度 (rad/s)、偏航角 (rad) 和滚转角 (rad), 控制输入  $u(k)$  包括方向舵偏角 (rad) 和副翼偏角 (rad)。

由式(33)得:

$$B^* = \begin{bmatrix} 0.5477 & -0.0107 & -0.5115 & 0.0010 \\ -0.0430 & -0.5120 & 0.0307 & -0.0292 \end{bmatrix}.$$

选择圆盘区域  $D(0.4, 0.4)$ , 由式(38)得:

$$\begin{aligned} P &= \begin{bmatrix} 63.6255 & 1.4001 & 13.9909 & -0.5067 \\ 1.4001 & 59.8157 & -2.7551 & -12.0551 \\ 13.9909 & -2.7551 & 4.9117 & 0.8773 \\ -0.5067 & -12.0551 & 0.8773 & 3.6680 \end{bmatrix}; \\ Y &= \begin{bmatrix} -10.0754 & 0.6707 & -3.9350 & -0.1226 \\ -0.7749 & 4.7311 & -0.8318 & -1.9389 \end{bmatrix}; \\ K_x &= \begin{bmatrix} 0.0774 & 0.0210 & -1.0640 & 0.3009 \\ 0.0004 & -0.0808 & -0.0774 & -0.7755 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

记执行器故障  $f = [f_1 \ f_2]^T$ , 假设系统同时存在常值故障和时变故障, 故障  $f$  如下<sup>[19]</sup>:

$$f_1 = \begin{cases} 0 & k < 300 \\ 2 \sin 0.02(k - 300) & 300 \leq k \leq 1000 \end{cases};$$

$$f_2 = \begin{cases} 0 & k < 300 \\ 4 & 300 \leq k \leq 1000 \end{cases}$$

仿真初值为： $x(0)=\hat{x}(0)=\mathbf{0}_{4 \times 1}$ ， $f(0)=\hat{f}(0)=\mathbf{0}_{2 \times 1}$ ， $P(0|0)=I_4$ ， $S(0)=I_2$ ， $\gamma(0)=\mathbf{0}_{4 \times 2}$ ， $\lambda=0.8$ ， $r(k)=\mathbf{0}_{2 \times 1}$ ， $Q=0.001I_4$ ， $R=0.001I_2$ 。

仿真结果如图2~6所示，图2、3分别表示故障的估计曲线，图4、5分别表示系统的输出响应曲线，图6为控制输入  $u(k)$  的曲线。

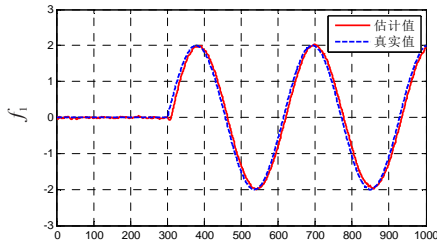


图2 故障  $f_1$  估计曲线

Fig.2 Curve of estimation of fault  $f_1$

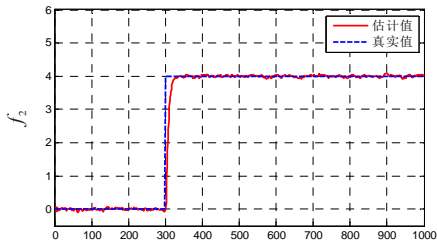


图3 故障  $f_2$  估计曲线

Fig.3 Curve of estimation of fault  $f_2$

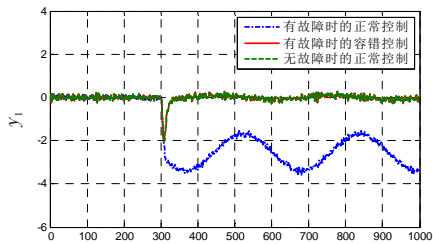


图4 输出  $y_1$  的响应曲线

Fig.4 Response curve of output  $y_1$

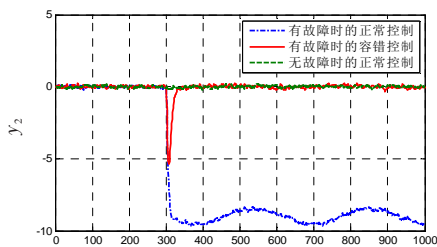


图5 输出  $y_2$  的响应曲线

Fig.5 Response curve of output  $y_2$

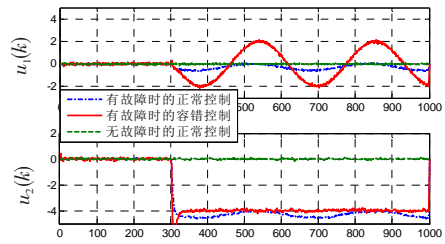


图6 控制输入  $u(k)$  的曲线

Fig.6 Curve of control input  $u(k)$

由图2、3可知，当系统同时存在常值故障和时变故障时，该自适应卡尔曼滤波算法可以很好地对故障进行估计。由图4、5可知，有容错控制时，基于状态反馈的系统输出只有在故障突变时出现误差，但是很快会恢复正常，而无容错控制时，系统输出在故障发生后出现较大误差，则本文所提出的容错控制算法可以很好对执行器故障进行补偿，修正系统输出误差。对应图6可以知道当系统出现故障时，控制输入随之改变修正系统输出。

### 5 结束语

本文针对线性离散系统发生执行器故障，在噪声干扰下，提出了一种基于状态反馈的容错控制方法。该方法在估计故障参数的基础上，根据故障对系统造成的影响，利用状态反馈设计故障容错控制器，使得系统响应在发生故障的情况下保持正常。仿真结果表明，系统能够很好地跟踪故障参数的变化，进行故障估计，容错控制器能够很好地对系统进行补偿。同时，该容错控制方法对于不同的故障形式具有较好的收敛性和容错能力。

### 参考文献：

- [1] BEARD R V. Failure accomodation in linear systems through self reorganization[D]. Commonwealth of Massachusetts:Massachusetts Institute of Technology, 1971.
- [2] HAJIYEV C, CALISKAN F. Fault diagnosis and reconfiguration in flight control systems[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003: 11-20.
- [3] ZHANG Y, JIANG J. Bibliographical review on reconfigurable fault-tolerant control system[J]. Annual Reviews in Control, 2008, 32(2): 229-252.
- [4] WANG H, DALEY S. Actuator fault diagnosis: an adaptive observer-based technique[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 1996, 41(7): 1073-8.

- [5] GAO Z, CECATI C, DING S X. A survey of fault diagnosis and fault-tolerant techniques—Part II: fault diagnosis with knowledge-based and hybrid/active approaches[J]. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2015, 62(6):3768-74.
- [6] 赵黎丽, 李平, 李修亮. 带遗忘因子的线性系统自适应观测器设计[J]. *浙江大学学报:工学版*, 2011, 45(10):1704-1709.  
ZHAO LILI, LI PING, LI XIULIANG. Design of adaptive observer with forgetting factor for linear system[J]. *Journal of Zhejiang University: Engineering Science*, 2011, 45(10):1704-1709. (in Chinese)
- [7] ZHANG Q, CLAVEL A. Adaptive observer with exponential forgetting factor for linear time varying systems[C]// *Proceedings of the 40<sup>th</sup> IEEE Conference on Decision and Control*. Florida: IEEE, 2002:3886-3891.
- [8] 孙蓉, 刘胜, 张玉芳. 基于参数估计的一类非线性系统故障诊断算法[J]. *控制与决策*, 2014, 29(3):506-510.  
SUN RONG, LIU SHENG, ZHANG YUFANG. Fault diagnosis algorithm of a class of nonlinear system based on parameter estimation[J]. *Journal of Control and Decision*, 2014, 29(3):506-510. (in Chinese)
- [9] PARK S, HIMMELBLAU D M. Fault detection and diagnosis via parameter estimation in lumped dynamic systems[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Process Design & Development*, 1983, 22(3):482-487.
- [10] 刘剑慰. 基于模型的飞行控制系统故障诊断方法研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2014.  
LIU JIANWEI. Research of model based fault diagnosis for flight control systems[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2014. (in Chinese)
- [11] KALMAN R E. A new approach to linear filtering and prediction problems[J]. *Journal of Basic Engineering*, 1960, 82(1):35-45.
- [12] MEHRA R, PESCHON J. Correspondence item: an innovations approach to fault detection and diagnosis in dynamic systems[J]. *Automatica*, 1971, 7(5):637-40.
- [13] MEHRA R, SEEREERAM S, BAYARD D, et al. Adaptive Kalman filtering, failure detection and identification for spacecraft attitude estimation[C]// *Proceedings of International Conference on Control Application*. Albany: IEEE, 1995:176-181.
- [14] MEHRA R, RAGO C, SEEREERAM S, et al. Autonomous failure detection, identification and fault-tolerant estimation for spacecraft guidance, navigation and control [C]// *Proceedings of the Aerospace Conference*. Massachusetts: AIP, 1998:134-139.
- [15] RAGO C, PRASANTH R, MEHRA R K, et al. Failure detection and identification and fault tolerant control using the IMM-KF with applications to the Eagle-Eye UAV[C]// *Proceedings of the 37<sup>th</sup> IEEE Conference on Decision and Control*. Florida: IEEE, 1998:4208-4213.
- [16] HAJIYEVT C M, CALISKAN F. Integrated sensor/actuator FDI and reconfigurable control for fault-tolerant flight control system design[J]. *Aeronautical Journal*, 2001, 105(1051):525-533.
- [17] ZHANG Q. Adaptive Kalman filter for actuator fault diagnosis[J]. *Automatica*, 2018, 93:333-342.
- [18] DING S X. Model-based fault diagnosis techniques: design schemes, algorithms, and tools[M]. Berlin: Springer Science & Business Media, 2008:3-7.
- [19] ZHANG K, JIANG B, SHI P. Distributed fault estimation observer design with adjustable parameters for a class of nonlinear interconnected systems[J]. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2018, 99:1-10.
- [20] ZHANG K, STAROSWIECKI M, JIANG B. Static output feedback based fault accommodation design for continuous-time dynamic systems[J]. *International Journal of Control*, 2011, 84(2):412-423.

# Actuator Fault-Tolerant Control Based on State Feedback

DAI Shaowu, LUO Xinhui, DAI Hongde

(Naval Aviation University, Yantai Shandong 264001, China)

**Abstract:** A fault-tolerant control method based on state feedback was proposed for actuator faults of linear discrete system. Based on the synchronization estimations of system states and faults by an adaptive Kalman filter, state feedback was done via the fault information and state estimation. The closed-loop system was pole-configured to correct the system error caused by the actuator faults and realize fault-tolerant control. Finally, the method was applied to fault-tolerant control for the flight control system. The simulation results show that the proposed method can not only accurately estimate the faults, but also ensure the normal outputs of the system under fault conditions, which has certain theoretical significance and practical engineering value.

**Key words:** state feedback; actuator; Kalman filter; fault estimation; fault-tolerant control

## 简讯:

### 我校航空作战勤务学院2018级改训学员 在2019年中国工程机器人大赛暨国际公开赛中勇创佳绩

“2019年中国工程机器人大赛暨国际公开赛”于2019年4月22至24日在广东韶关韶关学院举行,我校航空作战勤务学院学员六大队23队20名改训学员分别参加了搬运工程项目、双足竞步项目、空中机器人项目共3类15个项目的比赛。改训学员在比赛中顽强拼搏,勇创佳绩,获得国家一等奖3项,二等奖8项,三等奖4项,优胜奖2项。

比赛得到了航空作战勤务学院领导、机关、大队和教研室的大力支持,学院各级主动为参赛学员牵线搭桥,在时间、技术、资金等方面给予了大量帮助,学员六大队赵明大队长也多次与参赛学员深入交流,了解并解决他们在准备过程中遇到的实际困难,赛前专门召集全体参赛队员进行深入动员,大大鼓舞了队员们的信心。学员23队的20名参赛学员在不影响日常正常学习训练的前提下,挤出一切空闲时间,加班加点进行机器人的设计、组装、调试和赛前各项准备工作,一分耕耘一分收获,经过刻苦努力和顽强拼搏,参赛学员共获全国一等奖3项、二等奖8项、三等奖4项、优胜奖2项的优异成绩。

此次大赛学员们用自己的智慧与努力,将课堂所学转化为实践所用,众多奖项的获得,无愧于所有人的付出,更是2018级改训学员用自己的方式向海军70岁生日献礼。

### 我校航空基础学院组织学员参加“外研社国才杯”全国大学生英语辩论赛喜获佳绩

3月23日至24日,第二十二届“外研社·国才杯”全国大学生英语辩论赛华东赛区总决赛在位于苏州的西安交通利物浦大学隆重举行。我校航空基础学院外语教研室明瑞龙教员带领2名辩手参加了该项赛事(此次大赛每所高校只能派一支队伍参加)。淮左名都斩佳绩,竹西佳处扬军威。最终我校辩手凭借强劲的实力获得华东赛区总决赛二等奖的佳绩(109支队伍中排名第18),并凭借该成绩成功入围全国总决赛,海军航空大学成为华东赛区进军全国总决赛的唯一一所海军军事院校。

该项赛事由北京外国语大学主办,从1997年至今,已经成功举办了22届。本届比赛华东赛区共有来自109所华东地区军地高校的218名辩手参赛,按照赛制其中28支队伍进入全国总决赛。此次华东赛区可谓是精英荟萃,强手如云,汇聚了来自复旦大学、浙江大学、上海交通大学、上海外国语大学等众多知名院校的优秀辩手以及辩论界大咖。比赛的形式为英国议会制辩论(BP Debate),赛制为六轮循环赛和最后的总决赛。辩手们就环境保护、奢侈品广告、人工智能、超级英雄电影等热门话题展开思想火花的激烈碰撞。

参加本届比赛的2位辩手是来自我校航空基础学院二大队2017级学员徐一凡和岸防兵学院七大队2017级学员鲁泰来。前期,经过英语俱乐部内部激烈选拔,徐、鲁脱颖而出获得参赛资格。在确定外出参赛辩手后,在陈莉主任带领下,外语教研室王磊等多名教级学员王伟和战勤学院五大队2017级学员黄治军作为比赛观摩成员参与了此次大赛。通过此次比赛,4位学员积累了不少辩论经验,也学习了诸多辩论技巧,同时也感受到了差距。他们纷纷表示我校的英语辩论氛围还可以进一步培养,以带动更多的有潜力的学员参与辩论、通过辩论促进英语学习、促进思辨能力的提高。让我们期待我校的辩手们在随后的全国总决赛中取得更好的成绩!