

发动机数控系统诊断技术的发展

南京航空航天大学 黄向华* * 孙健国

【摘要】 综述发动机数控系统传感器的故障诊断尤其是软故障诊断技术的发展。首先介绍了传感器故障检测与分离技术的初期研究工作, 论述了鲁棒故障诊断的必要性及发展。最后介绍了基于人工神经网络的故障诊断方法。

主题词: 航空发动机 数字控制系统 故障诊断

分类号: TP277

1 前 言

到目前为止, 发动机数控系统使用的传感器余度技术有两种^[1]: 物理余度和解析余度。计算机控制器的发展已使基于解析余度技术的传感器故障检测、分离与适应成为可能。鲁棒故障诊断系统对建模误差等系统的不确定性不敏感, 对传感器故障十分敏感, 从而具有软故障诊断能力, 致使鲁棒故障诊断技术得以发展, 成为故障诊断领域的前沿研究课题。人工神经网络在控制领域的成功应用及其卓越的潜在特性, 具有很好的软故障诊断能力, 使基于人工神经网络的故障诊断方法在发动机数控系统的故障诊断中具有良好的应用前景。

2 传感器故障检测与分离技术的初期研究

1974 年, Wallhagen 等首先提出用传感器的解析余度技术来提高发动机控制系统的可靠性^[2]。70 年代后期 de Silva 等提出的用贝叶斯假设来检测故障, 首次基于现代控制理论, 把解析余度技术用于涡轮发动机。贝叶斯假设检验法理论严密, 结构简单, 且具有无需确定故障检测阈值的优点。90 年代末 Spang 等提出故障指示与校正作用(FICA)系统并获得广泛应用^[3]。FICA 系统用扩展卡尔曼滤波器及机载的发动机实时模型产生状态估计及残差, 将各残差分量与相应的阈值比较以进行硬故障检测及分离, 用滤波器估计值代替故障值以进行故障适应。FICA 系统在 E3 发动机、T 700、JT DE 发动机及 F404 的 FADEC 计划中都得到应用, 但 FICA 系统不能检测软故障。Willsky 等人于 1976 年将广义似然比方法用于线性随机系统的故障检测与诊断, 随后一些学者又对这种方法进行了发展并用于发动机传感器故障检测。它只适用于具有已知高斯噪声统计特性的线性系统突变故障的检测与诊断。1981 年 Messerole 将检测滤波器理论用于 F100 发动机^[2]。同卡尔曼滤波器相类似, 检测滤波器结合动态过程模型产生残差。与卡尔曼滤波器不同的是, 检测滤波器所检测的故障, 其残差方向固定(通常是唯一的)且与故障模式无关。

3 故障检测与分离的鲁棒性问题

变化缓慢的软故障给以模型为基础的故障检测与分离方法带来了挑战。软故障往往比建

模不确定性影响还要小,必须设计一种对不确定性不敏感、而对故障高度敏感的方法。这种有鲁棒敏感性的故障检测与分离方法叫鲁棒故障检测与分离方法。80 年代中提出了鲁棒故障诊断的概念,Emami 等把鲁棒控制器设计方法用于设计 F100 发动机的鲁棒故障诊断系统^[4],将内部模型原理及频率定形用于设计滤波器以产生最优鲁棒残差,在它的设计中使用阈值选择器选定最优阈值以最大限度减少误警及漏警率。80 年代中后期发展起来的,由 NASA 主持的,改进发动机控制可靠性的解析余度设计(ARTERI)计划^[1,5,6]可检测并分离硬故障与软故障,并能对传感器及执行机构进行系统重构,提供解析余度。ARTERI 计划的设计技术用于 GE23A 发动机,这种方法采用发动机部件跟踪滤波器能随时修正机载的发动机实时模型,使之与实际发动机相匹配而具有鲁棒性。特征结构配置方法把建模误差也视为干扰,设计观测器的左特征向量与干扰正交,使之对干扰不敏感而对传感器故障非常敏感,适用于早期或软故障的检测与分离。这种方法已用于对实际涡喷发动机传感器故障检测与分离的研究,其难点在于获得干扰分布矩阵。

4 基于人工神经网络的故障诊断方法

近几年来,人工神经网络广泛用于许多工程领域,包括故障诊断,因为神经网络有着比传统估计更好的潜在特性^[7~9]:(1)强大的非线性映射特性,使之易于建立起象液压和航空动力系统这样一些复杂的非线性系统和随机过程的模型。(2)神经网络承受硬件损坏的能力比一般计算机强得多。(3)即使对于未知类型的故障也能通过学习识别出来。(4)并行处理能力。(5)神经网络能同时处理定量和定性信息,提高故障诊断的性能。

神经网络用于发动机控制系统的故障诊断研究报导,目前尚不多见,但是神经网络用于故障诊断的能力已受到发动机控制行业的密切关注,可以预见,神经网络用于发动机控制的故障诊断研究必将有很大的发展。到目前为止,人工神经网络已发展了四十余种网络,已应用到故障诊断上的神经网络有十几种,典型的有:(1)反向传播网络(BP)^[7,10]。BP 模型是最为成熟的人工神经网络模型之一,它对样本的学习是通过误差逆传播学习算法实现的。BP 网络的缺点是学习速度慢,且容易陷入局部最小,近年来出现了很多 BP 网络的改进算法。Napolitano 用扩展的 BP 网络以克服局部最小^[10],提高学习速度。利用模拟退火法改进 BP 网络算法,也可能逸出局部最小而获得全局最优解^[11],采用线性再励的自适应变步长改进 BP 网络^[12],在连续两次迭代中,按两次梯度方向的符号关系(相反或相同)来减小或增加步长,以提高收敛速度,可显著提高 BP 网络的学习速度。(2)自联想网络。Guo T H 等用自联想神经网络诊断航天飞机发动机传感器故障^[13]。这个算法基于以下思想:把冗余的传感器信息压缩、混合并重组进入网络第一部分的少量节点,这些压缩的信息被用来在输出端再产生原始的冗余数据。由于信息的混合,若一个传感器故障,其它传感器仍提供足够信息来产生好的估计代替发生故障的传感器。(3)受限的库仑能量模型(RCE)^[14]。这是一种具有快速学习能力的模型。Koppen-Seliger 用 RCE 神经网络进行残差估计,检测和分离不同故障。它针对早期的软故障,着重于残差的估计,然后用神经网络评价,尽快地发现和分离故障。(4)RBF 网络^[15]。RBF 网络能以任意准确度一致逼近任意连续函数,其逼近性能要优于其它网络,因而可以利用这种特性建立发动机传感器输入输出和故障之间的映射关系,进行故障诊断。

神经网络提供了一种自动、高敏感、经济的故障诊断方法,若有足够训练,能可靠地诊断系统的故障及软故障。神经网络能比传统的方法诊断出小得多的故障。由于人工神经网络硬件实现上的困难,当前神经网络的应用主要还是集中在原理上,今后随着神经网络硬件的普及,

将会有越来越多的实际工业及发动机控制系统采用基于神经网络的故障诊断方法。

5 结 论

概述了发动机控制系统传感器故障诊断的主要内容、已有的主要方法及其发展。当可建立系统较准确的动态数学模型时,可采用基于数学模型的诊断方法,充分利用系统内部的深度知识。对于实际发动机控制系统,提高检测与分离的鲁棒性是其面临的一个实际问题,有待于进一步开展深入的研究。不依赖于数学模型的方法适应性广、灵活,更适用于故障检测。但其故障适应比较困难,尤其不便于故障的在线适应。对于用神经网络进行故障诊断尚未建立起完整的理论体系,带有浓厚的策略色彩。但是由于神经网络的潜在特性,可以预见,神经网络用于发动机控制系统的故障诊断研究必将有很快的发展。

参 考 文 献

- 1 Brown H, Vizzini R W. Analytical Redundancy Technology for Engine Reliability Improvement. SAE 861725, 1986
- 2 Merrill W C. Sensor Failure Detection for Jet Engines Using Analytical Redundancy. J Guidance, 1985, 8(6)
- 3 盛雯. 涡轴发动机数控系统传感器解析余度研究: [学位论文]. 南京航空航天大学, 1996
- 4 Emami-Naeini A et al. Robust Detection Isolation and Accommodation for Sensor Failures. NASA CR-174825, 1985
- 5 兰春贤. 发动机部件跟踪滤波器的解析余度技术: [学位论文]. 南京航空航天大学, 1994
- 6 兰春贤, 孙建国. 基于部件跟踪滤波器的解析余度技术. 航空动力学报, 1994, 9(3)
- 7 Patton R J, Chen J. Neural Networks Based Fault Diagnosis for Nonlinear Dynamic Systems. AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, 1995: 418-428
- 8 Hunt K J, Sbaybaro D. Neural Networks for Control Systems- A Survey. International Federation of Automatic Control, 1992
- 9 Naidu S, et al. Application of Neural Networks on the Detection of Sensor Failure During the Operation of a Control Systems. Proc., of ACC, 1989: 1336-1341
- 10 Napolitano M R, Neppach C. Sensor Failure Detection Identification and Accommodation Using on-Line Learning Neural Architectures. AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, AIAA-94-3598-CP: 489-499
- 11 Kirkpatrick S, et al. Optimization by Simulated Annealing. Science, 1983, 220: 671-679
- 12 Stephen J J. Neural Network Design and the Complexity of Learning. Cambridge, Mass. MIT Press, 1990
- 13 Guo T H, Musgrave J. Neural Network Based Sensor Validation for Reusable Rocket Engines. American Control Conference (ACC), 1995: 1367-1372
- 14 Koppen-Seliger B, Frand P M. Residual Evaluation for Fault Detection and Isolation with RCE Neural Networks. Proc., ACC, 1995: 3264-3268
- 15 Chen S. Non-Linear Systems Identification Using Radial Basis Functions. Int. J Systems SCI, 1990, 21(12): 2513-2539

(责任编辑 王庆康)

Heat transfer coefficient for the suction side, however, was decreased due to film cooling.

Key Words Numerical computation Bladws Thermo- convection coefficient

TECHNICAL NOTES

DEVELOPMENT OF FAILURE DIAGNOSIS TECHNIQUES IN ENGINE DIGITAL CONTROL SYSTEMS

Huang Xianghua and Sun Jianguo

(2nd Dept. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

ABSTRACT

This paper surveys the development of sensor failure diagnosis in engine digital control systems. First, the early research works on techniques of sensor failure detection and isolation are reviewed. The main disadvantage of model- based methods is high sensitivity to modeling errors which are inevitable because of the complexity of the aircraft engine. Then, the paper considers the necessity of robust failure diagnosis and its development. In view of the fact that the neural networks have been successively applied to control realm and possess themselves of tremendous potentials, the neural- network- based failure diagnosis is recommended as a promising approach in the engine digital control systems.

Key Words Aircraft engines Digital control system Fault diagnosis

INFLUENCE OF TEMPERATURE RATIO ON PENETRATION DEPTH OF 2D CONFINED CROSS FLOW

Wang Weidong and Guo Zengyuan

(Tsinghua University, Department of Engineering, Beijing 100084)

ABSTRACT

The influence of temperature ratio on the penetration depth of two- dimensional confined cross flow is investigated numerically. It is found that the temperature ratio of jet to main flow was an important parameter independent of momentum ratio. This phenomena can be explained in terms of the concept of "thermal drag". A cold jet injected perpendicularly into a confined hot air flow is heated and accelerated as the momentum ratio is given. The thermally induced pressure drop is converted into the momentum increase and consequently increases the penetration depth. On the contrary, a hot jet injected perpendicularly into a confined cold air flow for the given mometum ratio decreases its own momentum due to cooling by the mainflow. As a consequence, its penetration depth also is cut down.

Key Words Temperature distribution Jet penetration Numerical computation

FINITE ELEMENT STRESS ANALYSIS OF POWDER METALLURGY TURBINE DISC

Song Yingdong, Chen Wei, Wen Weidong, Gao Deping

(2nd Dept. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)