

文章编号: 1000-8055 (2001) 01-0038-03

液体火箭发动机泄漏故障诊断 的信息融合技术

王建波, 于达仁

(哈尔滨工业大学 214 教研室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 从故障诊断角度出发, 分析了故障诊断和信息融合技术关系。综合现在进行液体火箭发动机检漏的相关技术, 为了弥补泄漏故障诊断信息不足等问题, 提出了采用点式和红外传感器相结合的方法来探测泄漏故障引起的各种现象, 概述了该领域的相关技术和实现方法, 建立了基于信息融合的泄漏故障检测与诊断系统, 有利于提高泄漏故障的有效性和可信度。

关键词: 液体推进剂火箭发动机; 信息融合; 故障诊断; 泄漏; 传感器

中图分类号: V430

文献标识码: A

1 引言

液体火箭发动机的泄漏故障越来越受到重视^[1]。90 年代以来, AIAA 召开的国际推进技术会议中, 液体火箭发动机的检漏技术占据了很重要的地位^[2, 3]。在研究泄漏故障检测与诊断算法时, 由于火箭发动机的结构和部件之间的关系越来越复杂, 发动机的运行状态、工况很难用数学模型来描述, 尤其是反映工况的各个参数与故障的关系和故障、征兆、原因之间的相互关系几乎不可能统一在一个数学模型之下。

信息融合技术是当前迅速发展起来的一个热门技术, 在人工智能, 机器人, 目标识别等领域已经开始得到广泛的应用。本文阐述了信息融合与故障诊断技术的关系, 提出了采用点式和红外传感器相结合的方法来探测液体火箭发动机的泄漏故障引起的各种现象, 综合了各种泄漏故障检测与诊断方法, 把来自多方面的信息综合成一个整体来考虑, 提高了泄漏故障诊断的有效性和可信度, 建立了液体火箭发动机泄漏故障检测与诊断的信息融合平台。

2 基于信息融合的发动机泄漏故障检测与诊断系统

2.1 基于信息融合的考虑

发动机泄漏故障诊断技术最根本的目的是获取发动机运行状态的信息, 并依据此信息对发动机行为作出评价。这就是说, 发动机泄漏故障诊断过程实质上是对反映发动机运行状态的多源信息进行获取、融合并加以利用的过程, 所以故障诊断过程中就必然包含信息融合的思想。我们把信息融合的思想应用到发动机的泄漏故障检测与诊断中来, 建立泄漏故障诊断系统的信息融合模型, 如图 1。

状态估计是用来确定发动机当前的状态, 来进行泄漏故障预警, 可以采用时序方法^[4]。

参数估计是用来估计表征泄漏故障的流阻系数, 利用流阻系数来进行泄漏故障的检测与识别, 可以采用强跟踪滤波器的方法。

2.2 像素级融合

2.2.1 像素级融合方案

目前, 红外热像仪多数集中在 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 和 8

~14 μm 两个波段。而对低温的推进剂的泄漏宜采用波段为 8~14 μm 的热像仪; 相反高温燃气的泄漏宜采用波段为 3~5 μm 的热像仪。为了能够在各种背景干扰条件下检出泄漏故障, 并对泄漏故障进行精确的定位, 必须对双波段的热像仪进行融合。双波段成像装置的研究除考虑到目标、系统设计上的特点, 应对获取的信息的空间、时间的相关性作设计和处理要求, 以保证信

息的相关性。目前英国 GEC Avionics Ltd^[5]和美国的 Raytheon^[6]均开发了实时显示的双波段成像装置。我们采用了文献 [7] 给出的一种双波段红外热像仪的融合方案, 如图 2。

图像配准的方法有很多, 有变换法、旋转不变性和多项式配准等, 一般只对空间、时间上不一致作融合前的配准处理。

2. 2. 2 像素级融合方法

常见的像素级融合方法有 3 种:

(1) 最简单的像素级融合的方法是直接对两幅图像逐个像素取平均, 但这方法将使只在一幅图像中出现的特征对比度减弱。

(2) 为了解决这一问题, 近年来提出了几种基于金字塔的图像融合方法, 如高斯金字塔、拉普拉斯金字塔、ROLP 金字塔等。一个图像的金字塔由该图像的一组低通或带通拷贝而成, 各拷贝代表了原图像在不同尺度下的模式信息。金字塔融合的基本思路是首先构造输入图像的金字塔, 在按一定的特征选择方法从中取值形成融合金字塔, 通过对融合金字塔的逆变换可获得融合图像。

(3) 小波变换通过将红外图像分解成为一系列具有不同分辨率、不同频率特性和方向特性的子带图像, 提供了变换小波系数和原始图像在空间和频域两方面的对应关系。同时还提供了原始图像灰度的局部变化特性, 为不同的传感器图像融合提供了有利条件, 与传统的图像金字塔相比, 小波变换具有不可比拟的优越性^[8]。

2. 3 特征级的融合

特征层的融合主要是利用特征数据的关联度分析的结果对发动机泄漏故障进行识别。

关联度分析法是灰色系统理论进行系统分析的一个重要方法, 它是根据系统中的各因素之间的内部联系和发展态势的相似程度来度量因素之间关联程度的方法^[9]。具体做法:

(1) 根据不同的泄漏故障种类, 设置参考模式特征阵 $X_i^{(R)}$, $i = 1, 2, \cdots, L$; 同样, 待检模式向量可构成待检模式矩阵 $X_j^{(T)}$, $j = 1, 2, \cdots, M$

(2) 定义 $X_i^{(R)}$ 和 $X_j^{(T)}$ 在第 k 点的关联系数:

$$\xi_{ij(k)} = \frac{\min_i \min_k |x_{i(k)}^{(R)} - x_{j(k)}^{(T)}| + \zeta \max_i \max_k |x_{i(k)}^{(R)} - x_{j(k)}^{(T)}|}{|x_{i(k)}^{(R)} - x_{j(k)}^{(T)}| + \zeta \max_i \max_k |x_{i(k)}^{(R)} - x_{j(k)}^{(T)}|}$$

$$\begin{cases} i = 1, 2, \cdots, L \\ j = 1, 2, \cdots, M \\ k = 1, 2, \cdots, N \end{cases}$$

$\zeta \in [0, 1]$ 是分辨系数, 不同的 ζ 值只影响 $\xi_{ij(k)}$ 的绝对大小, 并不影响 $\xi_{ij(k)}$ 的相对次序。随 ζ 值的减小, $\xi_{ij(k)}$ 值可变动的区间范围增大, 一般取

$\zeta = 0.5$ 。

(3) $\{x_j^{(T)}\}$ 对 $\{x_i^{(R)}\}$ 的关联度定义为不同点关联系数的平均值, 可组成关联度矩阵 R 。考察矩

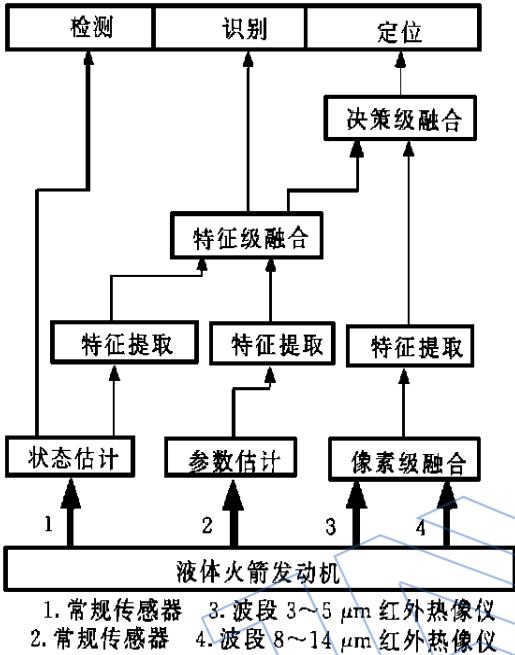


图 1 基于信息融合的发动机泄漏故障检测与诊断系统

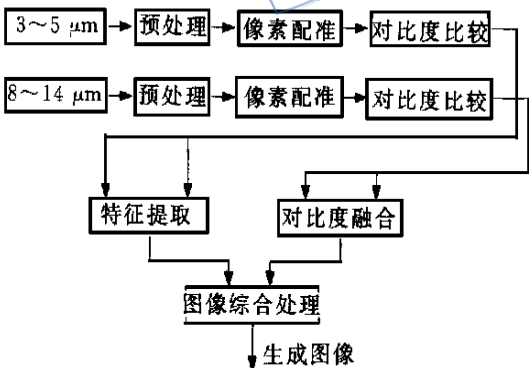


图 2 双波段图像融合方案

阵 $[R]$ 的某一列 j , 它表达了第 j 个待检模式向量 $\{x_j^{(T)}\}$ 对不同的参考模式向量 $\{x_i^{(R)}\}$ 的关联度, 按 r_{ij} 的大小将 $\{x_j^{(T)}\}$ 进行归类。只要选定合适的阈值 r_0 , 就判断待检模式属于那一类泄漏故障。

此外, 还可以采用神经网络方法来识别泄漏故障^[10]。

2. 4 决策层的融合

决策层的融合主要用于泄漏故障的定位。决策层主要实现两个功能:

(1) 在决策层利用特征层融合出来的结果对泄漏故障进行粗定位;

(2) 利用红外融合出来的图像, 对泄漏故障进行精定位。可以利用局部熵差来提取泄漏区域, 然后对图像进行分割, 利用链码技术对泄漏故障进行评估。

3 结 论

本文论述了信息融合技术与故障诊断的关系, 提出了基于信息融合技术的发动机泄漏故障检测与诊断的系统框架, 综合了各种检测与诊断算法, 取长补短。还从信息融合的各个层次, 对可能用到发动机泄漏故障检测与诊断系统的融合算法进行了探讨。由于信息融合应用在发动机的健康监控领域, 还处在起始阶段, 以下问题有待研究:

(1) 信息融合首先是一种系统设计的思想。建立发动机故障检测与诊断的融合平台时, 必须进行总框架的设计;

(2) 信息融合的各个层次的算法的研究。研

究的算法必须有利于发动机故障诊断快速性, 准确性。

(3) 研究数据采掘的技术, 这样可以使信息融合平台应尽可能对发动机的原有故障数据库充分利用。

参考文献:

[1] 王建波, 于达仁, 王广雄. 液体火箭发动机泄漏故障实时仿真 [J]. 推进技术, 1999, 20 (5): 1- 5.

[2] Gary W H, Makel D B, Jansa E D, Patterson G, Cova P J etc. A Hydrogen Leak Detection System for Aerospace and Commercial Applications [R]. AIAA 95- 2645, 1995.

[3] Makel D B, Jansa E D, Bickmore T W, Powers W T. Automated Propellant Leak Detection [R]. AIAA 93- 2590, 1993.

[4] 王建波, 于达仁, 王广雄. 基于 K- L 信息测度的液体火箭发动机的泄漏故障检测 [J]. 航空动力学报, 1999, 14 (4): 429- 432.

[5] Cuthbertson G M, Seedhouse A. The Evolution of a Digital Dual Waveband FLIR [R]. SPIE, 1994, 2269: 665- 677.

[6] Hauming Huang, et al. Two Waveband (3~5 μm and 8~12 μm) Thermal Imaging System [R]. SPIE, 1992, 1814: 119- 129.

[7] 张奇, 罗正发, 唐义平, 陈曙. 双波段成像及融合技术研究 [J]. 红外技术, 1998, 20 (6): 27- 30.

[8] 王忆锋, 张海联, 李茜等. 小波变换在红外图像处理中的应用 [J]. 红外技术, 1998, 20 (5): 11- 14.

[9] 黄文虎, 夏松波等. 设备故障诊断原理技术及应用 [M]. 北京: 科学出版社. 1996.

[10] 于达仁, 王建波, 王广雄. 应用自组织网络识别火箭发动机泄漏故障 [J]. 推进技术, 2001, 22 (1): 47- 49.

(责任编辑 杨再荣)

Leak Fault Diagnosis of Liquid Rocket Engine Based on Data Fusion

WANG Jian-bo, YU Da-ren

(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: In this paper we analyze the relation between fault diagnosis and data fusion, and summarize the correlative techniques of leak detection. In order to make up the shortage of information for leak fault diagnosis, we integrate multi-sensors, such as the dotted sensors and the infrared sensors, to detect the phenomena caused by the leak, and then the system based on data fusion for diagnosing the leak of LRE is established. The approach can enhance the validity and reliability of leak fault diagnosis.

Key words: liquid rocket engine; data fusion; fault diagnosis; leak; infrared; multi-sensors