

基于虚拟仪器技术的信号处理与故障检测系统

王志武

(西安航天动力试验技术研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 为了对液氧/煤油高压补燃发动机试验过程进行实时监测, 以便及时发现故障并能够采取相应的措施, 基于虚拟仪器技术, 运用 LabVIEW7.0 软件开发环境, 开发了一套液氧/煤油发动机数据分析与故障检测系统。通过实例验证, 该系统能够大幅提高试验数据分析的效率, 并对发动机试验过程的故障进行快速有效的检测。

关键词: 虚拟仪器技术; 液氧/煤油发动机; 信号处理; 故障检测

中图分类号: V434

文献标识码: A

文章编号: (2007) 04-0052-04

Data analyzing and faults detecting system based on virtual instruments technology

Wang Zhiwu

(Xi'an Aerospace Propulsion Test Technique Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: A real time data analysis and faults detecting system was presented in this paper. The system was developed for real time monitoring of LO₂/kerosene rocket engine hot run process, in order to find out faults and take necessary measures in time. Therefore, based on the virtual instruments technology and LabVIEW7.0 software environment, a data analyzing and faults detecting system was developed for LO₂/kerosene rocket engine hot run tests. The system operations during the engine hot run tests prove that the data analysis efficiency is increased draftly by the system. The faults detecting of the hot run process can be preformed quickly and efficiently by the system.

Key words: virtual instruments technology; LO₂/kerosene rocket engine; data analyzing; faults detecting

收稿日期: 2006-01-16; 修回日期: 2007-05-10。

作者简介: 王志武 (1970—), 男, 高级工程师, 研究领域为发动机试验技术。

1 引言

液氧/煤油高压补燃发动机是由多个部件组成的复杂热动力装置。为了对其试验过程进行实时监测，以便及时发现故障并能够采取相应的措施，就有必要运用相关理论和方法对对试验数据进行及时处理和分析，并对发动机工作过程进行故障检测与诊断。以液氧/煤油发动机为研究对象，基于虚拟仪器技术^[1,2]，设计了信号处理与故障检测系统^[4]。因此，开发液氧煤油发动机信号处理与故障检测系统，从理论和实践两方面，都具有深远的意义。

2 信号处理与故障检测系统设计

应用 LabVIEW7.0 图形化编程语言设计发动机信号处理与故障检测系统，主要目的是对发动机试验过程中各种测量信号进行处理与分析，并对发动机试验过程的故障进行检测。针对测量参数的不同性质，以及在发动机稳态工作过程和瞬态工作过程中参数的不同特点，信号处理与故障

检测系统采用不同的信号处理和分析方法。

发动机系统的大多数参数在发动机稳态工作过程期间呈现出稳态和慢时变平稳特性，系统应用相关分析、过渡分析等时域方法，以及功率谱分析等频域方法对相关参数进行处理和分析。

在发动机起动过程中各种参数在大范围内变化，发动机部件的故障发生率较高，在该阶段进行故障检测的方法主要是神经网络方法以及神经网络与模糊推理相融合的方法。因此，系统用联合时频分析和自适应神经模糊推理系统（ANFIS）对起动及关机段的参数进行分析。

振动信号是液氧/煤油发动机状态监测和诊断的基本信息来源，是发动机运行状态信息的重要载体。在信号处理与故障检测系统中，应用小波变换和小波包变换对发动机振动信号进行处理，根据小波分解的能量特性能够及时准确地检测出发动机运行状态的异常变化。

这样，信号处理与故障检测系统包括了常用的数据分析方法，系统包括 14 个模块，其中 12 个功能模块能够满足液氧/煤油发动机测量参数处理和分析的需要，并可以进行发动机试验过程的故障检测，见图 1 所示。

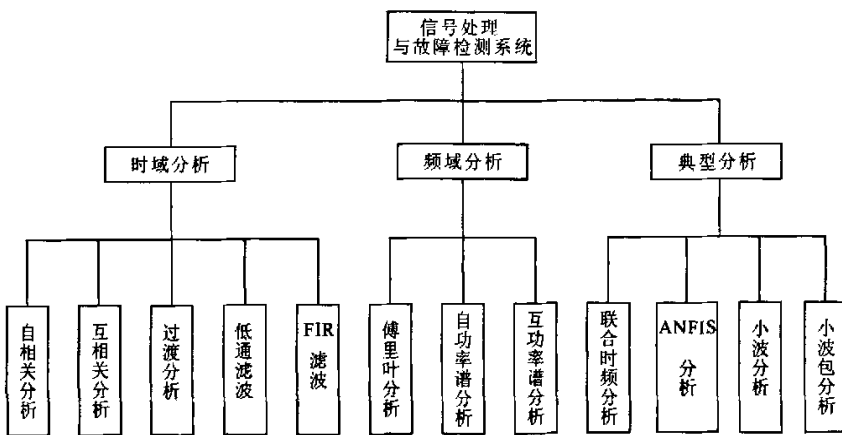


图 1 系统的主要功能模块

Fig.1 Primary function module of the system

发动机信号处理与故障检测系统软件分为三个层次：系统操作层、应用程序层和仪器驱动层^[9]，如图2所示。仪器驱动层用于初始化虚拟仪器，并使虚拟仪器保持所需的工作状态；应用程序层对测量数据进行处理和分析，通过编制应用程序来定义虚拟仪器的功能；系统操作层用于提供仪器与用户接口，用户通过操作界面上的开关和按钮来模拟传统仪器的各种操作，实现对虚拟仪器的操作。

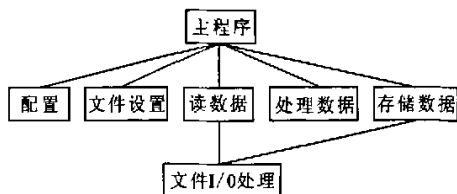


图2 系统的软件层次

Fig.2 Software hierarchy of the system

另外，由于LabVIEW7.0提供了MATLAB Script节点，可以对MATLAB程序进行编辑，并在LabVIEW环境下运行，因此在系统设计过程中，应用了MATLAB Script节点，以改善程序的性能，如在ANFIS分析、小波分析和小波包分析模块中均采用了MATLAB Script节点。图3为信号处理与故障检测系统的主功能选择区。



图3 系统主功能界面

Fig.3 Interface of the primary function module

主功能选择区的面板上方是信号文件选择区域，下方是功能选择区域，用户可以根据自己的

需要，选择要处理的信号和希望执行的操作，以便对信号进行处理和分析。

3 工程应用实例

在液氧/煤油发动机某次地面试验过程中，发动机起动1.6s后，氧预压涡轮燃气驱动路入口管断裂、氧泵爆炸起火，3.2s实施紧急关机。为有效检测发动机起动过程的故障，可以利用ANFIS结构^[9]建立发动机起动过程中各参数间的非线性模型。

模型的输入参数选择为：氧化剂泵出口压力 p_{ep} 和燃料一级泵出口压力 p_{pf1} ；输出参数选择为：涡轮泵转速 n_t 。输入变量的隶属度函数采用广义钟形隶属度函数^[7]：

$$f(x, a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (1)$$

式中， c ， a ， b 分别为钟形隶属度函数曲线的位置参数和形状参数。

经过反复试验，每个输入变量的隶属度函数取7个，这样既能够保证模型的精度，又可以保证模型的推广能力。训练样本取自发动机正常状态下起动过程的数据。根据辨识模型误差标准方差的大小确定检测阈值，在文中取标准方差的5倍，所以确定的故障检测阈值带为 $\pm 1500 \text{ rpm}$ （转/分）。ANFIS结构经过训练后，对发动机正常起动过程进行检测没有出现误诊断的情况。

图4为运用ANFIS模型对该次起动过程的测量数据进行离线分析的结果，图4上部是涡轮泵转速的测量值和融合值，下部是误差信号。

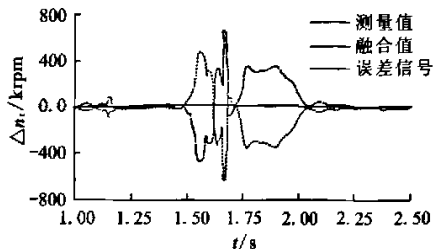


图4 虚拟仪器分析测量信号的实例

Fig.4 Example of data analyzing

图5是图4中误差信号的局部放大图。由图可见,从1.48s开始,涡轮泵转速融合值与测量值的偏差完全超出检测阈值带;并根据持续性准则,在1.58s进行报警,表明发动机的工作出现异常,检测结果与发动机地面试验的实际情况相符合。

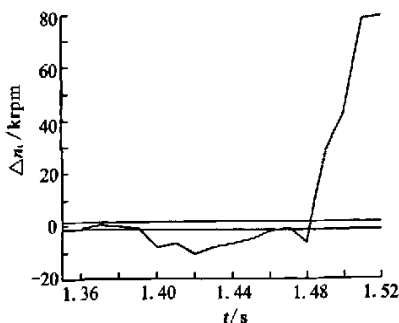


图5 发动机异常起动状态 ANFIS 结构检测结果

Fig.5 Detecting results of engine anomaly start with ANFIS

4 结论

本液氧/煤油发动机信号处理与故障检测系统,结合对实际试验数据的分析表明,可以实现试验数据的处理和分析。该系统能够大幅提高试验数据分析的效率,并对发动机试验过程的故障进行快速有效地检测,为发动机故障诊断提供必要的依据。为使该系统进一步发挥作用,还应在

实践中不断加以检验和完善,以取得更好的效果。总之,该系统为发动机的故障检测与诊断提供了一个快速有效的工具,在发动机的信号处理与故障诊断方面将具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] 杨乐平,李海涛,赵勇,等. LabVIEW 高级程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [2] D Kettle, N Roddis. A remote diagnostics system for the MERLIN array [R]. <http://www.jb.man.ac.uk/research/rflabs/ARRMMSpaper.pdf>.
- [3] F Ochsenbein, M Allen, and D Egret, et al. The ATST virtual instrument model [C]. Astronomical data analysis software and systems XIII ASP conference series, 2004, Vol. 314: 820-823.
- [4] 王志武. 液氧煤油火箭发动机故障检测与诊断方法研究[D]. 西安:西安交通大学,2006.
- [5] 张雪平,王志斌. 基于虚拟仪器的气体压缩机状态监测系统[R]. <http://www.leadertech.com.cn/document/lv3.pdf>
- [6] 权太范. 信息融合—神经网络—模糊推理理论与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2002.
- [7] 楼顺天,胡昌华,张伟. 基于 MATLAB 的系统分析与设计—模糊系统 [M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2001.
- [8] 唐云龙,代玉东. 液氧/煤油发动机地面试验故障紧急关机系统研究[J]. 火箭推进,2005,31(1): 47-51.

(编辑:侯早)



“阿里安”-5 的新型火箭发动机重启试验获得成功

以液氧/液氢为燃料的新型 Vinci 上面级发动机二次点火成功,该发动机将用于阿里安宇航公司的“阿里安”-5 运载火箭。此项试验在位于 Lampoldshausen 的德国 DLR 宇航试验场完成,试验验证了发动机飞行中的重启能力。之前的 Vinci 发动机试验涉及燃烧室、涡轮泵,进行了启动瞬态研究并验证了发动机超过 350 秒的稳态运行。计划于 2007 年晚些时候对 2 台演示发动机做进一步试验。

(摘自 www.spacechina.com)