

文章编号: 1000-8055(2008)07-1341-05

液体火箭发动机多 Agent 故障诊断技术研究

邓 薇, 李家文

(北京航空航天大学 宇航学院, 北京 100083)

摘 要: 利用多 Agent 技术建立了液体火箭发动机故障检测与诊断系统, 包括小波去噪、传感器检测、故障检测、故障诊断和系统总调度等功能。利用多线程编程、动态链接库及网络编程技术, 使故障检测与诊断系统具有较高的智能性。给出了小波去噪、传感器检测等 Agent 的运行算例, 并给出了故障检测与诊断系统的整体框架。

关 键 词: 故障诊断; 多 Agent; 液体火箭发动机; 故障检测

中图分类号: V434

文献标识码: A

Study of fault diagnosis system for liquid rocket engine using multi-Agent

DENG Wei, LI Jia-wen

(School of Astronautics,

Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper established fault detection and diagnostic system of liquid rocket engine based on multi-Agent technology, which included wavelet denoising, sensor detection, fault detection, fault diagnosis and main scheduler program. Using multithread programs, Dynamic Link Library and network programming technology, the fault detection and diagnostic had better intelligence. This paper illustrated several Agent examples of wavelet denoising and sensor detection, and demonstrated the framework of the fault detection and diagnostic system.

Key words: fault diagnosis; multi-Agent; liquid rocket engine; fault detection

Agent 是一个能够感知外界环境并具有自主行为能力的以实现其设计目标的自治系统^[1], 通常被称作智能体或代理体, Agent 和多 Agent 系统的研究已经成为分布式人工智能的热点。随着现代网络技术、现代通信技术以及分布式计算的发展, 多 Agent 系统已应用于各种领域。如空中交通管理^[2]、网络入侵检测、购物系统^[3]、信息检索等等。近年来, 多 Agent 技术也涉及到故障诊断领域^[4]。

1 基于多 Agent 的火箭发动机故障检测与诊断系统的组成

根据液体火箭发动机的特点, 本文设计的故

障检测与诊断系统模型由以下功能 Agent 组成: 小波去噪 Agent、传感器检测 Agent、故障检测 Agent、故障诊断 Agent 和总体调度 Agent。

1.1 小波去噪 Agent

对于大型复杂的系统而言, 测量数据往往受到系统本身或者测量环境的影响, 因而导致测得的试验数据中掺杂有干扰信号(噪声)。

小波去噪 Agent 利用多尺度小波变换思想, 选取适当的小波基函数和系数阈值, 对采集到的离散数据进行分解和重构, 重构得到的信号即为去噪后的测量信号。

收稿日期: 2007-06-26; 修订日期: 2007-10-16

作者简介: 邓薇(1982 -), 女, 黑龙江牡丹江人, 硕士生, 研究方向为液体火箭发动机故障检测与诊断。

小波去噪 Agent 是故障检测和诊断的前期处理模块,对采集到的信号进行数据分析和处理,为后续过程作准备.它包括测量信息输入、去噪处理、数据修改及数据保存模块.其结构如图 1 所示.

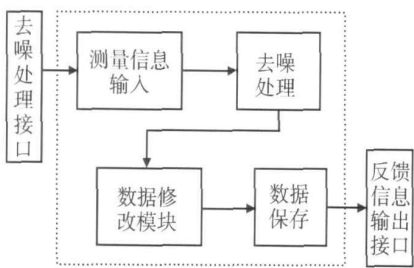


图 1 小波去噪 Agent 功能结构

Fig. 1 Schematics of the wavelet denoising Agent

对于某次试车中得到的测量参数 p_{or} , 阈值采用硬阈值, 并使用 heursure 准则, 分解 6 层后的源信号和去噪后的信号分别如图 2, 图 3 所示:

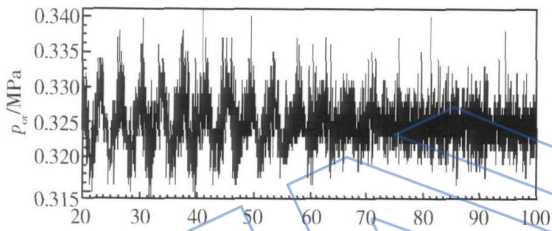


图 2 小波去噪源信号

Fig. 2 Original signal

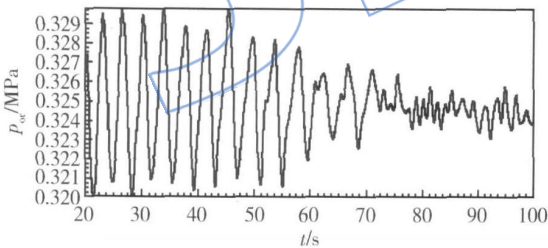


图 3 小波去噪后信号

Fig. 3 Wavelet denoising of the original signal

1.2 传感器检测 Agent

传感器检测 Agent 是利用小波分析判断奇异点,通过小波变换后的高低频信号的特点判断传感器是否出现异常.传感器故障可分为突变型故障(又称阶跃型故障)和缓变型故障(又称漂移故障).在突变型故障中,信号的奇异性通过小波变换的模极大值^[5]来检测,通过比较各尺度上突变点小波变换模值与噪声水平上的阈值,可以准确定位故障发生的时刻.在缓变型故障中,对故障信号进行 MRA 小波分解提取粗尺度下信号缓变

特征并进行微分求导,通过微分的突变定位故障.

传感器检测 Agent 主要包括信息导入模块、传感器检测模块和高低频信息显示模块.其结构如图 4 所示.

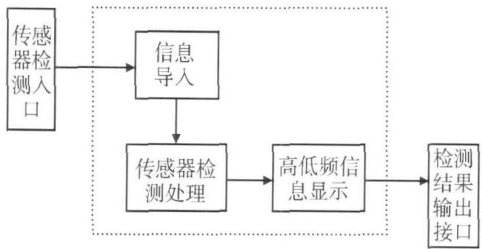


图 4 传感器检测 Agent 功能结构

Fig. 4 Schematics of the sensor detection Agent

对于突变型故障,以某次试车数据的测量参数 p_{el} 为例,选择 db4 作为小波基函数,分解 5 层后得到的结果如图 5. 在 $t = 94.75$ s 附近,第 5 层高频系数发生突变.

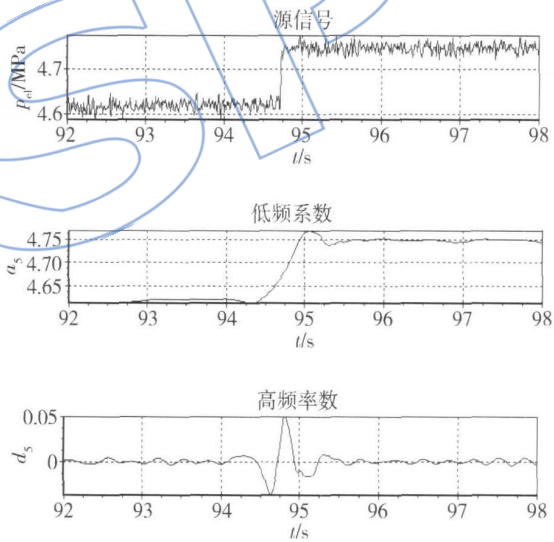


图 5 突变故障信号检测

Fig. 5 Detection of step-developing fault signal

而对于缓变型故障,以参数 T_{ohr3} 为例,采用 db4 作为小波基,分解 8 层后得到的结果如图 6. 图中第二部分提取了第 8 尺度上原始信号的概貌特征,第三部分为对其微分的信息,在 $t = 22.8$ s 附近微分值产生突变,从而实现对故障的定位.

1.3 故障检测 Agent

故障检测 Agent 是多 Agent 故障检测与诊断的重要组成部分,结构如图 7 所示.该模型首先导入数据,然后任务调度,根据任务的需要选择最匹配的检测方法组合.综合各个检测方法的检测结果,将其反馈给总调度 Agent.其优点在于:

- 1) 检测方法独立,信息接口统一,便于扩展;

2) 采用多线程并行工作,提高了检测的实时性和同步性.

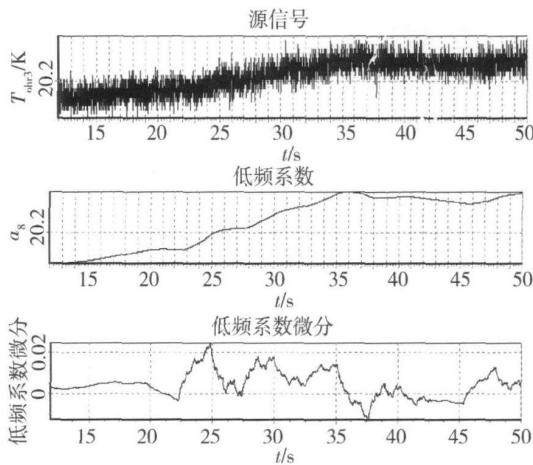


图 6 漂移故障信号检测

Fig. 6 Detection of drifting incipient faults

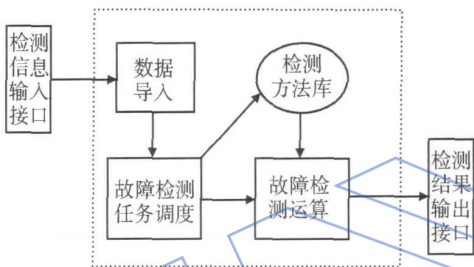
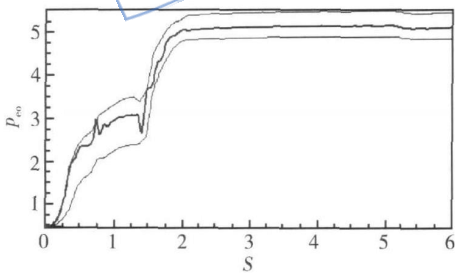


图 7 故障检测 Agent 功能结构

Fig. 7 Schematics of fault detection Agent

以改进自适应阈值法的离线检测为例,对于参数 p_{eo} ,检测时间从 0 s 到 6 s,设置的越界数为 8,检测结果信息显示如图 8.



在 1.50 点处越界上限:4.031 3; 下限:3.039 8, 待测值:4.046
在 1.51 点处越界上限:4.117 7; 下限:3.138 5, 待测值:4.212
在 1.52 点处越界上限:4.204 2; 下限:3.237 2, 待测值:4.329
在 1.53 点处越界上限:4.290 7; 下限:3.335 9, 待测值:4.393
在 1.54 点处越界上限:4.377 1; 下限:3.434 6, 待测值:4.411

图 8 检测结果显示

Fig. 8 Test results

1.4 故障诊断 Agent

故障诊断 Agent 为系统的核心,用来确定故障发生的原因和部位,结构如图 9 所示. 其功能主

要有以下几个方面:

- 1) 任务调度模块向故障诊断方法库发出调度请求,提取与诊断任务匹配的方法进行诊断;
- 2) 诊断方法作为独立的 Agent,分别在不同的线程中运行,提高工作效率;
- 3) 多个诊断方法 Agent 之间协作诊断,不同诊断方法所得结果的置信度不同,对各种诊断方法的诊断结果进行综合评价,得到最终故障结论.

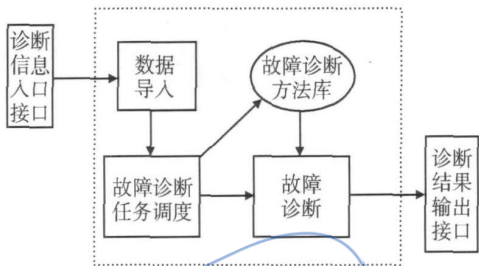


图 9 故障诊断 Agent 功能结构

Fig. 9 Schematics of fault diagnosis Agent

目前,在诊断方法库中有“1, - 1, 0”故障诊断法、偏差向量法、向量距离诊断法等. 以某氢氧火箭发动机为例,取流量、压力及泵转速为参数对两泵前阀,两泵主阀,两泵副阀堵塞,两泵效率下降,两泵主阀后泄漏,两泵副阀后泄漏等各故障进行偏差向量故障模式分类. 部分分类结果如表 1 所示.

表 1 偏差向量法部分故障模式

Table 1 Partial fault pattern of deviation vectors

模式序号	故障类型	模式序号	故障类型
模式 1	氢泵前阀堵塞	模式 4	氧主阀堵塞
模式 2	氢主阀堵塞	模式 5	氢主阀泄露
模式 3	氧泵前阀堵塞	模式 6	氧主阀泄露

将 50 %氢泵前阀堵塞故障仿真结果输入故障诊断 Agent,诊断过程的部分中间结果见表 2. 诊断 Agent 给出的诊断结果为氢泵前阀堵塞(模式 1),相似系数接近 1,向量夹角为 2. 680 565 °.

1.5 总调度 Agent

总调度 Agent 是多 Agent 故障检测与诊断系统的“司令部”,它位于系统中信息流的最高层,其中有该 Agent 调度范围内所有 Agent 的行为、状态和地址等信息数据库. 总调度 Agent 界面设计如图 10 所示. 它的主要职责包括:

- 1) 对其余 Agent 的调度:首先接受诊断任

务,根据任务和系统情况确定实施该任务的 Agent 集合,向已分配任务的 Agent 集合发出调度指令;

2) 监测 Agent 的运行状态:实时跟踪并动态显示各 Agent 的运行情况;

3) 实时显示反馈信息:当被调度的 Agent 任务完成时,反馈结果信息或调度申请,总调度据此安排下一步的行动.

表 2 偏差向量法部分诊断结果

Table 2 Diagnosis results of deviation vectors

模式类型	相似系数	向量夹角/(°)
氢泵前阀堵塞	0.998 906	2.680 565
氢主阀堵塞	- 0.563 07	124.268 2
氧泵前阀堵塞	0.280 445	73.713 23
氧主阀堵塞	0.042 035	87.590 87
氢主阀泄漏	0.569 647	55.274 41
氧主阀泄露	0.456 979	62.807 65

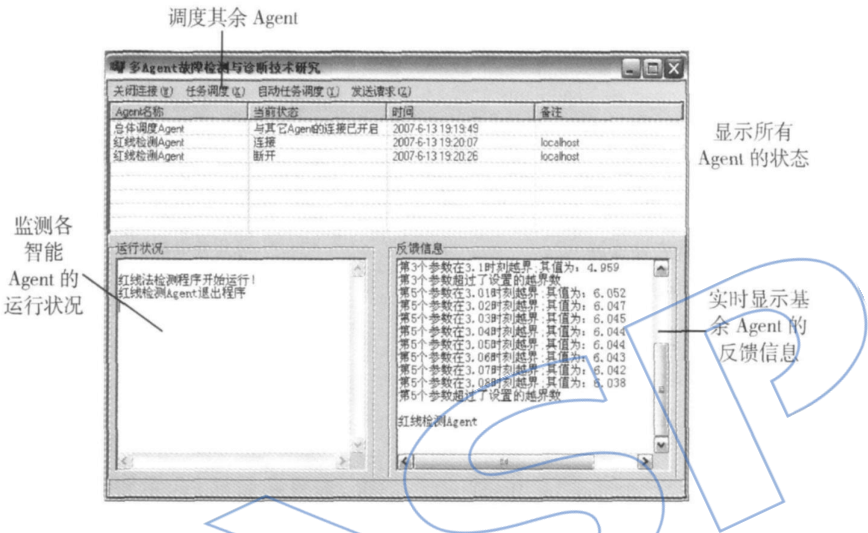


图 10 总调度 Agent 的界面

Fig. 10 Interface of main scheduler Agent

2 系统的总体实现

2.1 系统的总体模型

一般而言,建立多 Agent 故障检测与诊断系统模型,首先就是对诊断对象进行描述、任务分解和分配.本系统采用基于模块的任务分解方法,综合运用层次结构分解法、检测方法分解法和诊断方法分解法等多种任务分解法.

利用 DLL 技术和网络编程技术构建起以调度 Agent 为中心,以小波去噪 Agent、传感器检测 Agent 为数据必要处理,以故障检测和诊断 Agent 为关键的分布式智能故障诊断系统.各个功能模块之间均有数据交往或信息传递.

试验检测数据和其他相关数据保存在特定的数据模块中,该模块可以是数据文件存储集合,也可以是程序中的一个公共数据缓冲区.每个独立的 Agent 根据功能的不同采取不同的数据支持模式.

2.2 系统总体实现及介绍

目前已经建立的系统总体实现模型可以用图 11 简单表示.利用 WinSock 编程技术定义了各个

Agent 之间的连接模式,通过 Socket 套接字唯一限定每个 Agent 的数据信息通道,保证了数据传递的安全性.本文介绍的多 Agent 系统既能够在在局域网中运行,也能够单机上运行.

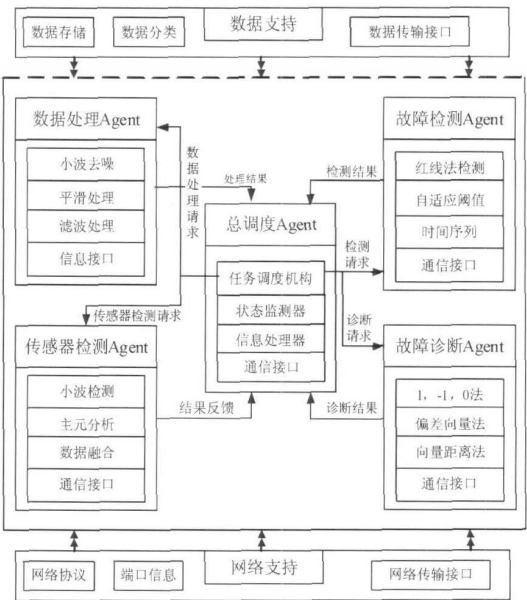


图 11 基于多 Agent 的故障检测与诊断系统结构

Fig. 11 Architecture of the fault detection and diagnostic system based on multi-Agent

多 Agent 系统的智能性体现在任务调度的智能性.总调度 Agent 中存储有调度准则,比如检测方法准则、检测部件准则、检测参数准则以及火箭发动机阶段检测准则等.调度 Agent 具有分析诊断任务并自主判定准则、选择诊断方法的能力.总调度 Agent 和其它 Agent 之间能够随时接收命令或发送请求,其它 Agent 之间也可以直接交流.但是为了快速而高效地进行火箭发动机的诊断工作,最好由总调度分配任务.

其它 Agent 作为独立的功能体,也具有自己的运作方式,每个 Agent 都有自己的子调度 Agent,方法库 Agent,信息接口 Agent 以及数据传递 Agent 等.

2.3 系统的优点

本文介绍的故障检测与诊断系统具有多 Agent 的优点,具体到液体火箭发动机故障检测与诊断系统,可以列出以下几个方面:一是根据液体火箭发动机试验数据的处理过程进行分解,各个 Agent 独立性强,能够有选择性地调度不同的 Agent 模块;二是按照液体火箭发动机故障检测和诊断的方法进行分解,Agent 求解范围不重叠,并且每个 Agent 启用不同的线程,提高系统运行效率,三是以对象模型进行描述,体现出 Agent 之间的协作性.另外,采用面向 Agent 的模块化思想,每个模块都有相应的信息接口,各个 Agent 之间可以进行信息交流,共同完成检测诊断任务.当诊断对象或诊断任务改变时,只需要修改对应的功能 Agent,从而大大增强了系统的可重构能力和扩展性,使得该系统具有很强的适应性和灵

活性.

3 结 论

本文所对液体火箭发动机故障检测与诊断系统应用多 Agent 技术进行了初步研究,主要分析和实现了多 Agent 技术的分布式和智能性的特点.在故障检测与诊断方法上,实现了一些较为简单的方法.在以后的工作中,可以把更为复杂和先进的方法如专家系统、神经网络等作为功能 Agent 应用到整个智能系统中.

参考文献:

- [1] 王学通,王伟,于蕾,等.多 Agent 系统研究概述[J].现代电子技术 2006(10):65-67.
WANG Xuetong, WANG Wei, YU Lei, et al. Summary on research of multi agent system[J]. Modern Electron Technology 2006(10):65-67. (in Chinese)
- [2] Wollkind S, Valasek J, Joerger T R. Automated conflict resolution for air traffic management using cooperative multiagent negotiation[R]. AIAA 2004-4992, 2004.
- [3] Benedicenti L, Chen X, Cao X, et al. An agent-based shopping system[R]. IEEE 2004-5210:0703-0705.
- [4] 熊育婷,杨慧,杨国庆.航空发动机故障诊断多 Agent 模型[J].计算机工程 2005;31(Supplementary Issue):263-265.
XIONG Yuting, YANG Hui, YANG Guoqing. Multi-agent model of aero-engine fault diagnosis[J]. computer engineering, 2005; 31 (Supplementary Issue): 263-265. (in Chinese)
- [5] Akansuan A H R. Multiresolution signal decomposition: transforms, subbands, wavelets[M]. New York: Academic, 1992.