

便携式机载设备故障检测仪设计

李喆^{1,*}, 周建江²

1 中航工业综合技术研究所, 北京 100028

2 南京航空航天大学, 江苏 南京 210016

摘要: 针对当前故障检测技术及机载产品辅助维修工具存在的问题, 依据国家相关的标准和规范, 设计了一种便携式故障检测仪, 重点对检测仪的总体要求、硬件设计、软件设计以及关键技术进行了研究, 提出了故障检测的策略, 并对故障检测仪进行了调试分析。结果表明, 所设计的故障检测仪运行稳定、功能完备, 满足机载设备功能、性能测试要求。

关键词: 自动测试系统; 故障检测; 便携式检测仪; 机载设备

中图分类号: V243.5 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2016) 06-0044-04

随着新技术的发展和运用, 现代机载设备的复杂度日益增加。在设备的使用过程中, 随着时间的增长, 设备的功能可能会出现故障, 技术状态也可能出现随机性的偏离, 且同一设备内部、不同部件或不同设备之间是相互关联、耦合的^[1], 任何设备的某个细节出现问题, 都有可能牵引出整机的故障, 甚至导致灾难性的后果。因此, 机载设备需要进行周期性的检查, 以确保各项功能、性能指标正常且满足要求。

高效的故障检测技术是保障机载设备安全、可靠运行的关键。鉴于机载设备集成度高、设备种类多、交联关系复杂, 给故障检测和定位带来了繁重的工作量, 目前的故障检测都是引入自动测试设备或自动测试系统^[2]来辅助检测工作, 但这种测试系统便携性、开放性、扩展性不高, 不适合外场的故障检测^[3]。

新一代的检测技术集合了人工智能、系统论等多个学科的交叉^[4], 成为国内外众多科研机构的研究热点。本文设计了一种便携式的机载设备故障检测仪, 为机载配电系统的故障检测提供了智能化的手段, 可提高机载配电系统的任务执行率。

1 总体设计

飞机处于不同的工作状态时, 机载设备的工作环境随温度、压强、大气及加速度等发生重大变化。机载配电系统

是机载设备的一部分, 其在复杂环境下的供电质量需符合国家航空供电标准^[5]的要求。

机载用电设备的类型多种多样, 根据用途, 用电设备主要可划分为电动结构、加热和除冰设备、电子设备及照明设备等。飞机电网是电源至设备的传输电缆与配电装置等的总称, 其健康状况直接决定飞机是否能安全飞行和执行任务。

故障检测仪以面向机载设备提供全面的维护为目标, 建立一套适用于飞机机载配电系统的排故工具。该工具应符合便携式辅助维护工具 (Portable Maintenance Aids, PMA) 的设计要求。其核心功能为: 便携式测试仪器包 PMA, 用于对机载配电系统各种信号和参数进行测试; 阅读型便携式维修助手 (阅读型 PMA), 用于用户对维修资料进行查阅; 交互式电子技术手册 (IETM) 集成开发环境, 是便携式检测仪的支持设备, 用于完成维修助手的生成、测试策略的生成与加载、测试结果的分析等。系统各部分均以基于 Windows 操作系统的计算机作为研发平台, 要求数据能够以 C/S (客户/服务器) 模式实现共享。

本文研究的故障检测仪具有通用性、扩展性、安全性、灵活性、易于便携等特点, 通用性和扩展性体现在系统测量对象能覆盖常见的机载配电信号类型和参数范围, 并在设计上留有扩展空间; 安全性体现在系统的设计应符合电气要求, 程序资源及数据域的访问、控制具有加密保护; 灵活性表现在故障检测仪以软件为核心, 可灵活地根据需求组合检

收稿日期: 2016-04-08; 退修日期: 2016-05-10; 录用日期: 2016-05-19

* 通讯作者. Tel: 18513559025 E-mail: lizhe89@126.com

引用格式: LI Zhe, ZHOU Jianjiang. Design of portable fault detection system for airborne equipment [J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27 (06): 44-47. 李喆, 周建江. 便携式机载设备故障检测仪设计 [J]. 航空科学技术, 2016, 27 (06): 44-47.

测任务,检测仪的重量轻、体积小且符合便携式设备的通用标准,便于携带。

2 硬件设计

便携式故障检测仪由管理系统、便携式设备、模拟量测试模块、总线测试模块和测量适配器等组成,如图 1 所示。

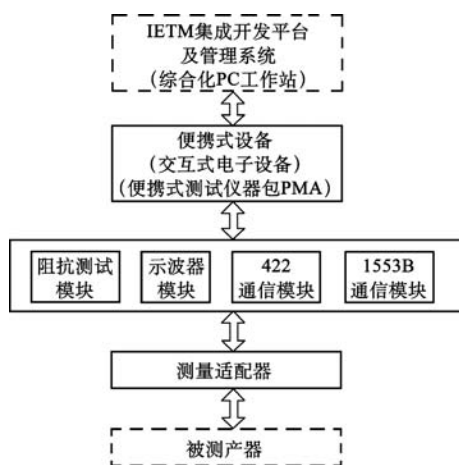


图 1 故障检测仪的硬件组成

Fig.1 The composition of fault detector

模拟量测试模块: 模拟信号包括机载常见电源信号, 115V、400Hz 三相交流电及 28V 直流电等。对于模拟信号, 不仅需要观测其稳定参数, 同时还包括产品上电的瞬时信号。该模块功能的设计应用了多线程机制及信号 Sinc 内插, 设计目标为具有特定分析能力的基于虚拟仪器的数字示波器。

总线测试模块: 总线模块可完成对 1553B 和 RS422 总线的测试。依据模块化的设计思路, 2 类通信模块分别以适用于其特性的架构和技术实现。

测量适配器: 适配器的主要任务是解决被测设备 (UUT) 的信号类型、数量与测试资源之间的矛盾。其控制指令集, 需覆盖一定范围的路径映射。基于指令集的切换控制基本流程为: 上位机 PMA 通过串口 (RS232) 与适配器核心控制模块 (FPGA) 通信, FPGA 解析指令内容, 输出控制信号, 完成切换动作。本文适配器控制指令分为 4 类: 复位指令、清零指令、切换指令和返回指令。为方便适配器解析, 所有类型的指令依照相同的协议进行封装和传输。

3 软件设计

系统软件包括 2 部分, 一部分集成在便携式测量仪器包中, 是测试的执行与操作的软件, 用于实现测试仪器包的

资源管理、控制及可灵活定制的数据分析, 是实现自动测试的核心, 也是研究的重点; 另一部分是基于 IETM 的策略管理、编制及发布平台, 其在 IETM 集成环境中进行开发。系统软件各部分通过数据交互口交换信息, 实现系统数据的共享和统一。软件的总体结构如图 2 所示。

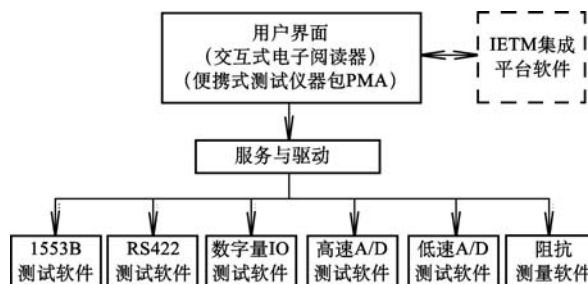


图 2 软件总体结构

Fig.2 General software structure

3.1 软件开发环境

如前所述, 系统采用基于客户 / 服务的 C/S 架构, 为了分别满足两者的任务和管理需求, 故障检测仪的各部分的软件环境也不尽相同。它们统一使用 Windows 类的操作平台, 其中, 测量仪器包、阅读型 PMA 为便携式设备, 出于其本身处理能力和供电能力的限制, 需优先为其选择适用于嵌入式的操作系统及轻量级数据库。结合各操作系统的特点与机载设备的工程需求, 选择为测量仪器包配备兼容性优良的 XPe 操作系统, 阅读型 PMA 则配备兼具功能性和美观的 WES 7 嵌入式操作系统及 SQL Server 2005 Express 数据库管理软件。

3.2 应用程序设计

故障检测仪以 LabWindows/CVI 作为主要应用开发环境, 完成各项任务程序的编写、调试和发布。LabWindows/CVI 程序部署在测试系统主控模块中, 运行在基于 PC/104-Plus 的主控平台上, 以控制程序为核心, 分管用户界面、数据采集与数据分析、基于 SQL 的网络数据库支持及网络通信支持。该程序集成了基于图形化的操作界面, 单层界面控件数量少, 符合触屏操作习惯。用户可根据故障原因自主选择测试项目或加载策略项, 进入不同的界面。应用程序根据测试项调用相应的功能模块, 结合分析手段完成测试任务。软件流程如图 3 所示。

4 关键技术

4.1 进程状态监控

检测仪系统软件多处应用了多线程, 充分利用了系统

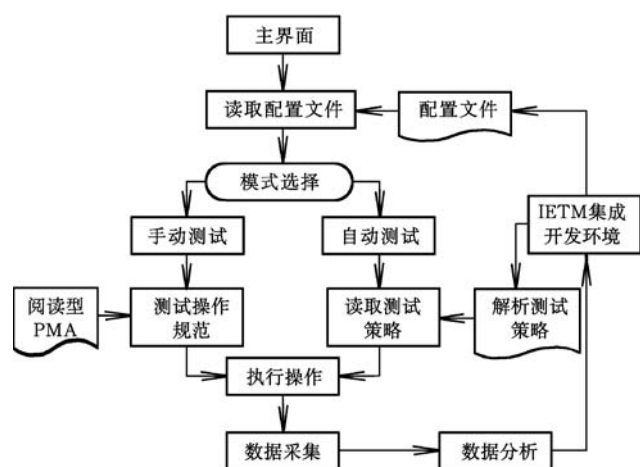


图3 软件流程图

Fig.3 Flow chart for software operation

内核资源,也带来了死锁的风险。一般来说,若通过预防和避免的方式,则对系统资源的开销较大,且测试系统任务种类多,程序无法准确预知各任务对系统资源的需求,死锁的预防较难实现。测试系统软件若出现死锁,则无法实时地从面板更新测试状态,同时基于触屏的UI在死锁时也无法以响应Windows组合键的方式终止异常,此时很难准确地认知系统的状态。系统的机载电源信号虽然在硬件上配备了隔离与调理,但信号在机箱内走向的失控仍然有可能造成产品的损坏以及测试系统可靠性的降低。

为此,在应用程序中设计了窗口响应状态的监测与恢复线程模块,可以判断窗口是否停止响应,根据需要在在线程中重启或关闭窗口,避免造成不良后果。

4.2 基于SQL Server的数据交互

故障检测仪基于C/S架构,工作站将打包的数据块下发至测试系统,同时测试系统具备将策略的执行、创建等相关信息回传至工作站的能力,这是一个双向的同步过程。SQL Server数据库是基于网络的数据库,用于存储和管理交互式设备的各类数据,设备间的交互识别以唯一IP地址为索引。测试系统与工作站交互的数据块包括用户信息、测试活动、辅助信息及数据。

5 故障检测方案

5.1 基于策略的故障检测方案

在基于策略的排故过程中,产品故障的定位和定性主要依赖于测试策略的选取及其判别结果。通过对策略本身的优化及策略集合组织形式的改进,可建立更完善的故障检测方案。故障现象、原因及策略之间的关系可简化为逻辑

门的形式,该逻辑关系用于指引测试流程的自动推进。参照故障树组织结构,在故障检测过程中,由某个基本事件开始,调用测试策略验证当前事件的真假,根据逻辑关系提取下一事件至当前,反复这个过程,直到逆向推理至顶事件结束。

5.2 基于专家系统的故障检测方案

基于专家知识的故障检测仪是将该领域内的专家经验以计算机易识别的形式存入系统,并转化为可执行的排故指导,其主要由知识库、推理机、综合数据库、解释模块、知识获取模块及人机接口组成。其中,最为基本的是前3项,是构成专家系统的主要要素,以其为基础建立的解释、获取模块及人机交互接口可以更好地满足用户对系统的期望。

5.3 综合式故障检测方案

综合式的故障检测是综合考虑了待测产品特性、技术信息基础、系统运营和维修成本等要素,以实现产品故障的有效检测。其排故能力在于各组成要素的相互衔接及信息的共享和再利用。对于本文的故障检测仪系统而言,其组成要素为系统用户、测试系统设备及IETM集成开发平台。

综合式的故障检测系统通过将故障树和专家知识思想的结合,使系统的组成要素均可积极地参与到系统的完善工作中。该方案具有如下优势:故障树模型的知识结构具有标准化的特点;拥有可扩展的知识库以及对专家知识的消化能力,为系统提供了不断学习进步的空间;系统各组成元素之间实现了信息的共享与转化。更实用的是,系统能够提供全天候的服务能力,可对于产品的突发故障进行快速的检测。因此,最终选择该方案实现故障检测仪。

6 故障检测仪的调试与分析

针对实验室环境,依据相关标准和项目协议,讨论和规划了较为完备的测试流程,搭建了测试环境,分别进行了单板测试、通路结构测试,软件功能、边界、逻辑测试以及集成测试,并对测试结果进行了分析,验证了所设计的故障检测仪的功能与性能。

以通路结构测试中的其中一项调理功能的测试为例说明验证情况。测试信号的类型、参数受测量辅助设备的限制,无法完全模拟机上产品的真实状态。测试中使用220V市电代替高压模拟信号作为输入。测试结果如表1所示。从测试结果来看,数字量通路的切换正确,调理效果佳。

表 1 测试结果
Table 1 Test result

测试信号	信号输入端口	控制指令	测试结果 (上位机显示)
220V 市电	1	0x55c000000	DlChanel_13 为高
	9	0x55c100000	DlChanel_13 为高
28V 直流电	15	0x55c200000	DlChanel_1 为高
	25	0x55c300000	DlChanel_1 为高

7 结束语

基于故障检测的前沿技术,依据机载设备的实际技术需求,并结合相关国家军用标准和规范,设计了一种便携式故障检测仪。所设计的故障检测仪经检测运行稳定、功能完备,可以满足机载设备性能测试要求。该设计方法可以为同类产品的设计提供参考。

AST

参考文献

- [1] 沈颂华. 航空航天器供电系统 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
SHEN Songhua. Power supplies for aircrafts [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2005. (in Chinese)
- [2] Droste D B, Allman B. Anatomy of the next generation of ATE

[C]. IEEE Autotestcon, 2005: 560-569.

- [3] 孟飞, 吕永健. 飞机维修保障中开发和应用 PMA 的几点思考建议 [J]. 航空维修与工程, 2008 (4): 44-47.
MENG Fei, LV Yongjian. Thoughts and suggestions on opening up and applying PMA in the airplane maintenance [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2008 (4): 44-47. (in Chinese)
- [4] WEI Li. Research on the application analysis technology for cooperative fault diagnosis[C]// Intelligent Control and Automation (WCICA), 2010 8th World Congress on. Jinan: IEEE, 2010: 5790-5793.
- [5] 王宏霞, 王守芳, 邓建, 等. 飞机供电特性 GJB181A-2003 [S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2003.
WANG Hongxia, WANG Shoufang, DENG Jian, et al. Aircraft electrical supply parameters GJB181A-2003[S]. Beijing: The General Armaments Department Military Standard Publication Distribution Department, 2003. (in Chinese)

作者简介

李喆 (1989—) 女, 硕士。主要研究方向: 航空电子标准化。
Tel: 18513559025; E-mail: lizhe89@126.com
周建江 (1962—) 男, 博士。主要研究方向: 嵌入式电子信息系统、雷达信号处理等。

Design of Portable Fault Detection System for Airborne Equipment

LI Zhe^{1,*}, ZHOU Jianjiang²

1. AVIC Comprehensive Technology Research Institute, Beijing 100028, China

2. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China

Abstract: For problems existed in the current fault detection technologies and auxiliary maintenance tools, a portable fault detection system was designed according to the related national standards and specifications. Researched on outline design, hardware design, software design and key technology. Brought forward strategy of fault detection. The results show that the designed fault detection system is of stable operation, good performance and complete functions, which meet the operational requirements.

Key Words: automatic test system; fault detection; portable equipment; airborne equipment

Received: 2016-04-08; Revised: 2016-05-10; Accepted: 2016-05-19

*Corresponding author. Tel.: 18513559025 E-mail: lizhe89@126.com