

基于虚拟仪器的航电测试系统研究

段容宜^a, 王海斌^b

(中国民航飞行学院, a. 航空工程学院, b. 飞机修理厂, 四川广汉 618307)

摘要: 研究了我国航电测试系统的现状及问题, 讨论了虚拟仪器在航电测试系统的开发上的优势以及系统结构, 在系统设计上采用结构化、模块化设计思想。以 GPIB 仪器为依托完成硬件方面的设计; 在软件方面, 利用直接和间接调用方法实现对测试仪器的控制。

关键词: 航电测试系统; 虚拟仪器; 维修平台; 系统设计

中图分类号: V443 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2016)05-0080-04

Avionics Test System Based on Virtual Instrument

DUAN Rong-yi^a, WANG Hai-bin^b

(Civil Aviation Flight University of China, a. Aviation Engineering Institute,
b. The Aircraft Maintenance Factory, Guanghan 618307, China)

Abstract: The current situation and problems of avionics test systems are studied. The advantages of virtual instrument in the development of avionics test systems are discussed with its system structure. Structured, modular design concept is used in the system design. The hardware design is implemented based on GPIB instruments. And in software design, direct and indirect calling methods are used for control of the test instruments.

Key words: avionics test system; virtual instrument; maintenance platform; system design

0 引言

航电系统又称为“综合航空电子系统”, 是现代飞机的一个重要组成部分, 其性能高低直接影响到飞机的整体性能。综合航电系统功能先进、可靠性高, 但系统相对较为复杂, 特别是综合化的设计思想, 使得航电系统深度维修的很多新技术问题仍待解决^[1-2]。

本文应用了虚拟仪器技术, 使测试系统实现对各种测试仪器的自动控制, 从而为整个测试系统实现自动测试奠定基础^[3], 并应用数据库引擎以及故障诊断技术, 实现系统性能测试信息存储以及故障定位、诊断等功能^[4]。结合综合航电测试系统的研制过程, 详细阐述其系统组成构架、工作原理、软硬件关键技术及其工程应用结果。

1 系统总体结构

航电测试系统总体结构如图 1 所示。

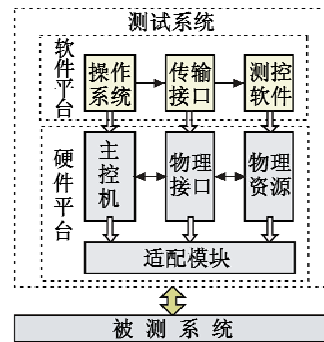


图 1 航电测试系统组成示意图

Fig. 1 Avionics test system components

航电测试系统主要分为硬件平台和软件平台两部分。其中, 硬件平台为系统测试提供了物理资源。从综合航电系统工作原理和结构特性出发, 根据所有功能部件的测试需求、测试资源性能和接口类型, 确定所需测试资源, 并对连接系统功能的适配系统进行优化设计, 实现重复的物理资源共享, 这样既可以降低硬件成本投入, 又可以简化硬件平台搭建工作, 有利于测试系统排故, 提高测试的准确性和可靠性。

测试系统以高性能的工控机为中心, 控制各类测试仪器、设备来完成硬件平台的搭建。软件平台的功

收稿日期: 2014-12-30 修回日期: 2016-02-29
基金项目: 中国民航局科技项目(FSDSA0034)
作者简介: 段容宜(1973—), 女, 湖南新邵人, 学士, 实验师, 研究方向为机载航电设备的维修工作与飞机维修工程。

能是为测试提供开发、调试及运行环境,该测试系统的软件开发在 Windows XP 操作系统下,以 NI LabVIEW 2011 为集成开发环境。

测试系统完成功能包括:能够对整个航电系统及各功能子部件进行功能、性能检测,对测试结果进行自动判别、故障诊断,并进一步将故障定位到电路板级。

工作原理:系统自检通过后,利用适配系统,完成测试平台硬件资源与被测系统匹配连接。通过测试程序对相关测试仪器进行调用,为被测系统提供激励。系统对输出响应进行评估,完成性能测试和故障诊断。对于测试数据,根据用户需求进行存储、查询和打印。

2 系统结构

2.1 硬件平台

硬件平台由控制模块和资源模块组成,其结构如图2所示。

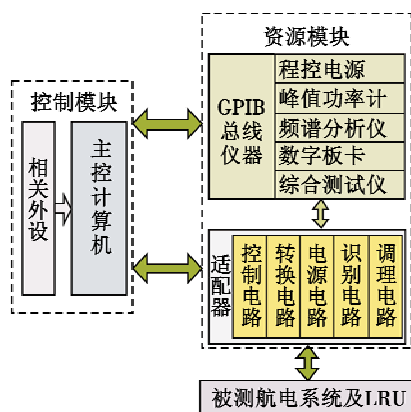


图2 系统硬件结构图

Fig. 2 The structure diagram of system hardware

控制模块包括测控计算机及外设,测控计算机采用研华工控机,内置各类控制板卡,完成整个测试系统软硬件资源控制。资源模块包括系统测试所需的物理资源,分为 GPIB 总线仪器和适配模块。其中, GPIB 总线仪器采用分立式结构,其独立仪器的选用均为目前市场上同类仪器中精度最高的,包括通导综合测试仪、频谱分析仪、程控电源、峰值功率计和数字板卡等^[5];适配模块由主控计算机通过串行总线进行控制,其功能是将资源模块与被测系统进行匹配连接,主要由控制、转换、电源、识别和调理电路组成。被测航电系统的功能子部件多达十几部,各子部件测试在资源需求方面存在着重复性,此类测试资源包括测试仪器、测试线路和供电模块。在适配模块中设计转换和电源电路,实现了同一资源被分配到多个节点,在很大程度上节约了测试资源和硬件线路连接。在信号匹配方面,考虑到被测系统个别功能子部件所需激励信号存在特殊性,与通用测试源无法直接供给,因此,在适配模块

中设计了调理电路,将通用测试源输出信号进行一定的转换处理,以满足系统测试需求。此外,在适配模块中,还设计有控制和识别电路,分别完成测试仪器、被测子部件的供电控制和状态监测。

2.2 软件平台

2.2.1 系统软件框架

在 LabVIEW 集成开发环境下,将测试系统进行层次化、模块化设计。系统软件平台包括底层驱动与应用层测试两部分。驱动部分对硬件资源进行管理,为上层程序运行提供支持;应用层测试部分完成操作人员与测试平台的信息交互,由相对独立且具有单一功能的模块组成,这样保证了软件系统的持续增长性与灵活性,其框架如图3所示。

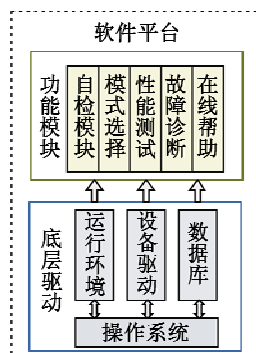


图3 系统软件框架图

Fig. 3 The structure diagram of system software

2.2.2 软件功能模块

下面对各层及内部模块组成做进一步阐释。

1) 底层驱动部分。

① 运行环境:利用 LabVIEW 集成开发环境提供的界面库,可以较容易地设计出符合工程要求且美观的操作界面;利用 LabVIEW 提供的丰富函数库进行各类数据的获取和分析处理。在 LabVIEW 集成开发环境基础上,最终实现了对整机航电系统传输的上千个飞行参数处理和模拟显示^[6]。

② 设备驱动模块:该模块主要实现 GPIB 总线仪器驱动程序的编写,完成主控机与测试仪器间的数据传输,以实现测试仪器的程控。

GPIB 总线仪器驱动程序离不开 VISA 库的支持, VISA 是虚拟仪器软件结构(Virtual Instrument Software Architecture)的缩写,是一个标准 I/O 接口函数,其运行独立于 OS、软件运行环境及总线协议。

利用 VISA 设计开发 GPIB 总线仪器驱动程序时,考虑到其通信方式是建立在寄存器基础上的,因此选用的库函数均基于寄存器操作。GPIB 总线仪器驱动程序开发流程如图4所示。

首先使 GPIB 卡进入初始状态,在地址寄存器中写

入本机地址;然后在寻址寄存器中设置寻址方式;接着打开中断寄存器,使得中断情况出现时,完成中断请求;最后设置方式寄存器,完成读、写工作方式的配置。

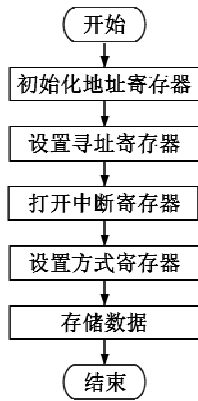


图4 GPIB 程控流程图

Fig. 4 Flow chart of the process control for GPIB

③ 数据库模块:本系统采用 Access 数据库技术,为故障诊断专家系统的设计提供知识库支持。此外,通过对数据库操作,将被测系统的相关信息、测试数据以及测试结论进行存储及相关处理。

2) 应用层测试部分,该部分包括如下 5 个功能模块。

① 平台自检模块:完成对维修测试平台的所有物理资源(总线仪器、适配系统)的检测,对测试平台的工作状态进行判断。

② 模式选择模块:完成各功能子部件的独立测试模式和综合航电系统测试模式的选择,软件测试平台即可完成各功能子部件单独测试,也可在航电系统交联情况下进行综合测试。

③ 性能测试模块:该模块是系统软件平台的核心部分,系统通过主控机控制信号发生器、数字信号板卡,分别为被测系统提供模拟、数字信号激励,并对系统输出信息进行处理。系统在测试程序中实现了性能参数指标函数曲线描绘,并利用该曲线算法对输出响应数据进行判断,输出判断结果及误差,从而完成性能测试。

综合航电系统的传输信号包括串口数据(RS232/RS422/RS485)、CAN 总线、ARINC429 和 Ethernet 等 4 种数据格式。每种数据格式都包含了几十甚至上百种飞机参数,在性能测试过程中要对每种数据格式所含的飞行参数进行读取、分析和判断。虽然综合航电系统输出数据格式较多,包含参数量较大,但在实现性能测试时,对其处理过程基本一致。

以 ARINC429 总线协议一种参数测试(空速)为例,对其程序执行过程进行说明,如图 5 所示。

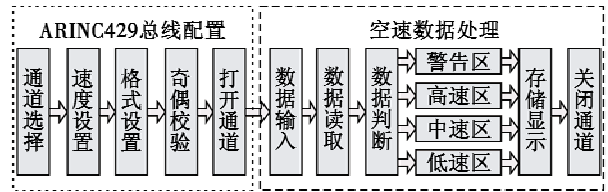


图5 空速测试程序执行过程

Fig. 5 Execution of airspeed test program

该参数程序实现包括总线配置和数据处理 2 个模块,总线配置实现了通道选择、传输速度、数据格式和奇偶校验设置,再调用 open 函数模块打开相应通道;数据处理模块实现了参数的写入和读取,对读取的数据进行判断,将数据判定算法利用程序语言进行描述,并将判断结果进行存储和显示处理。

④ 故障诊断模块:采用基于专家系统的故障诊断技术完成该模块功能,其总体结构如图 6 所示。

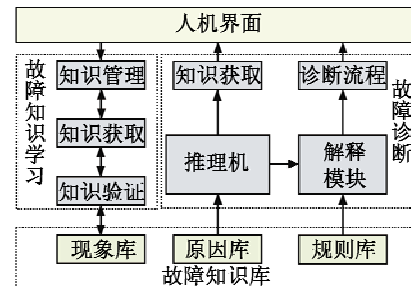


图6 专家系统故障诊断体系结构

Fig. 6 Architecture of expert system fault-diagnosis

专家系统主要包括故障知识学习和故障诊断两部分。其中:故障知识学习包括知识管理、获取、验证和知识库等功能模块;故障诊断则包括推理机、诊断结果、解释模块、诊断流程和人机界面等功能模块^[7-8]。

在设计故障诊断专家系统时,最重要是完成知识库构建和推理机的设计。知识库的设计优劣程度直接决定专家系统性能,根据综合航电系统故障知识的特点,且考虑到最大程度减少知识冗余,将知识库构建为现象库、原因库和规则库 3 类,分别用于存储被测系统的故障规则、现象和原因的知识表达式和获取方法。

在推理机设计方面,针对故障诊断流程的结构特点,将故障树技术引入诊断流程图中,并将诊断流程转化成故障诊断二叉树,存储转换方法、步骤和规则,实现了基于二叉树的故障推理机。

⑤ 在线帮助:为用户使用和培训提供便利。

2.2.3 测试平台界面

利用虚拟仪器 LabVIEW 提供大量的图形控件,能够设计出满足工程需求的测试界面,且其人机界面较为友好。图 7 所示为系统主测试界面,能够将性能参数测试情况实时地显示在各类模拟仪表上。

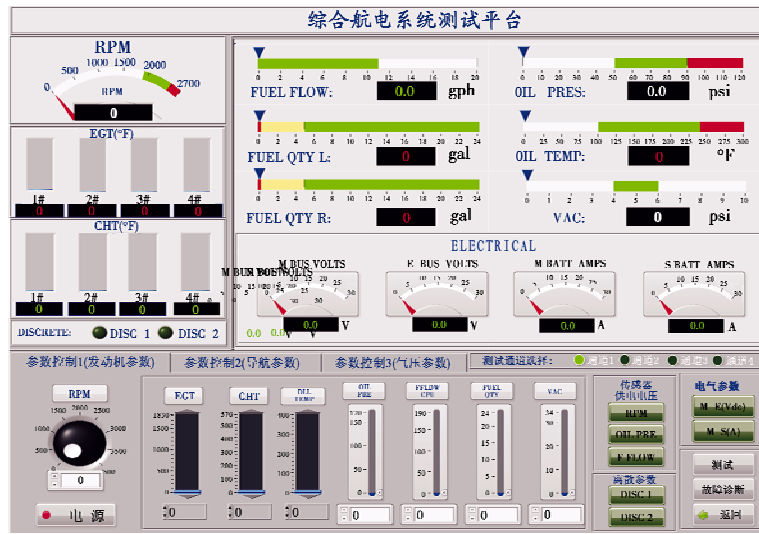


图7 航电参数测试界面

Fig.7 The testing interface of avionics parameters

3 实测结果

利用该测试系统对6部综合航电系统进行实际

工程测试,将不同被测系统的同一参数进行提取比较,验证测试系统的误差精度。考虑篇幅原因,本文仅列举了部分主要参数,其实测数据如表1所示。

表1 主要参数实测值

Table 1 Actual test value of the main parameters

测试项	理论值 (误差)	实测值(6部综合航电系统)						最大 误差
		SYS 1 SN:6129	SYS 2 SN:6150	SYS 3 SN:6085	SYS 4 SN:5959	SYS 5 SN:6174	SYS 6 SN:6151	
通信频率/MHz	127.250(±0.000)	127.250	127.250	127.250	127.250	127.250	127.250	0.000
导航频率/MHz	117.250(±0.000)	117.250	117.250	117.250	117.250	117.250	117.250	0.000
俯仰角/(°)	10.0(±1.0)	10.1	9.9	10.0	10.0	9.9	9.8	-0.2
横滚角/(°)	15.0(±1.0)	15.1	15.0	15.1	15.0	14.9	14.9	-0.1
飞行高度/Ft	15000(±30)	15000	15002	15000	15001	15000	14991	-9
空速/kt	100.0(±2.0)	99.4	100.6	100.1	100.0	100.9	99.3	+0.9
排气温度/°F	1600(±50)	1609	1594	1607	1609	1596	1606	+9
汽缸头温度/°F	500(±10)	501	500	502	499	500	499	+2
发电机转速/(r·min ⁻¹)	2500(±20)	2501	2500	2499	2498	2501	2502	+2

根据实测数据,被测系统的数据误差均在性能指标范围内,测试精度满足测试需求。

得了满意的效果。

4 结束语

本文从系统构成的角度,讨论了航电测试系统的基本设计思路,设计研发了综合航电系统维修测试平台。该平台不仅能够对综合航电系统进行功能和性能测试,而且还内嵌故障诊断专家系统,能够将综合航电系统的故障定位到电路板级。

维修人员利用此维修测试平台,结合目前掌握的相关维修资料,可实现部件级修理。该系统改变了当今国内航电测试系统完全依靠进口的局面,解决了国外品牌整机价格昂贵、维修周期长、使用成本高且为硬件定制式、后续扩展性能极差等问题,经过实践证明,该航电测试系统在检验、效率以及可靠性等方面都取

参考文献

[1] 赵明. 通用飞机综合航电技术发展综述[J]. 电讯技术, 2014, 54(3): 374-378. (ZHAO M. Development overview of integrated avionics technology for general aircraft [J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(3): 374-378.)

[2] LITTLEFIELD-LAWWILL J, VISWANATHAN R. Advancing open standards in integrated modular avionics: an industry analysis [C]//AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference-Proceedings, Piscataway, NJ, IEEE, 2007: 2B1-1-2B1-14.

[3] 丛伟, 景博. 综合航空电子系统故障预测问题研究 [J]. 电光与控制, 2013, 20(5): 53-55. (CONG W, JING B. Failure prediction of integrated avionic system [J]. Electronics Optics & Control, 2013, 20(5): 53-55.)

(下转第88页)

2) 传统方法在最小任务性能需求 $w = 75\%$ 和 $w = 70\%$ 时系统可靠度曲线重合, 因为当系统的最小任务性能需求降低到 $w = 75\%$ 和 $w = 70\%$ 时, 分系统 3 中 8 个功率放大器组件最多只能有 2 个部件失效, 则分系统 3 正常的概率为 $C_8^2(1 - p_{\text{trad3}})^2(p_{\text{trad3}})^6 + C_8^1(1 - p_{\text{trad3}})(p_{\text{trad3}})^7 + (p_{\text{trad3}})^8$, 在此最小任务性能需求下采用传统方法可得系统的可靠度为 $R_{\text{trad}}(t) = p_{\text{trad1}} \cdot p_2^2(t) \cdot (C_8^2(1 - p_{\text{trad3}})^2(p_{\text{trad3}})^6 + C_8^1(1 - p_{\text{trad3}})(p_{\text{trad3}})^7 + (p_{\text{trad3}})^8) \cdot p_2^4(t)$ 。

5 总结

本文提出了基于 Wiener-MM 和 UGF 的雷达功率放大系统可靠性评估方法, 给出了通用的多态串-并联系统可靠性的分析流程, 并对某雷达功率放大系统进行分析, 本文方法与传统方法相比, 传统方法所得结果过于保守, 不能正确地表征系统可靠性随时间的变化关系, 因此, 本文方法降低了传统方法中部件失效阈值对系统可靠性的影响, 提高了系统可靠性的分析精度, 为雷达功率放大系统的预防性维修提供了理论指导。

参 考 文 献

- [1] LISNIANSKI A, LEVITIN G. Multi-state system reliability: assessment, optimization and applications [M]. Singapore: World Scientific, 2003.
 - [2] 李春洋. 基于多态系统理论的可靠性分析与优化设计方法研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2010. (LI C Y. Research on reliability analysis and optimization based on the multi-state system theory [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2010.)
 - [3] BARTON R M, DAMON W W. Reliability in a multi-state system [C]//Proceedings of the Sixth Annual Southeastern Symposium on Systems Theory, Louisiana, 1974: 1-16.
 - [4] BARLOW R E, WU A S. Coherent systems with multi-state components [J]. *Mathematica of Operations Research*, 1978, 3 (4): 275-281.
 - [5] NATVIG B. Multistate systems reliability theory with applications [M]. New Jersey: Wiley Series in Probability and Statistics, 2011.
 - [6] LEVITIN G. The universal generating function in reliability analysis and optimization [M]. London: Springer, 2005.
 - [7] LI Y F, ZIO E. A multi-state model for the reliability assessment of a distributed generation system via universal generating function [J]. *Reliability Engineering and System Safety*, 2012, 106: 28-36.
 - [8] BILLINTON R Y G. Adequacy assessment of composite power generation model for reliability evaluation [J]. *International Journal of Reliability and Safety*, 2008, 2(1): 79-98.
 - [9] 史新红, 齐先军, 王治国. 基于 UGF 的发电系统区间可靠性评估及其仿射算法改进 [J]. *合肥工业大学学报: 自然科学版*, 2014, 37 (3): 286-291. (SHI X H, QI X J, WANG Z G. Interval reliability estimation of power generating system based on UGF method and its modification by using affine arithmetic [J]. *Journal of Hefei University of Technology: Natural Science Edition*, 2014, 37 (3): 286-291.)
 - [10] 尚彦龙, 蔡琦, 赵新文, 等. 基于 UGF 和 Semi-Markov 方法的反应堆泵机组多状态可靠性分析 [J]. *核动力工程*, 2012, 33 (1): 117-123. (SHANG Y L, CAI Q, ZHAO X W, et al. Multi-state reliability for pump group in nuclear power system based on UGF and Semi-Markov process [J]. *Nuclear Power Engineering*, 2012, 33 (1): 117-123.)
 - [11] LISNIANSKI A, FRENKEL I, DING Y. Multi-state system reliability analysis and optimization for engineers and industrial managers [M]. London: Springer, 2010.
- (上接第 83 页)
- [4] 周强, 熊华钢. 新一代民机航空电子互连技术发展 [J]. *电光与控制*, 2009, 16 (4): 1-6. (ZHOU Q, XIONG H G. Development of the new generation civil avionics interconnection technology [J]. *Electronics Optics & Control*, 2009, 16 (4): 1-6.)
 - [5] 程学军, 雷国志. 航空电子系统基于需求的自动测试方法 [J]. *电讯技术*, 2010, 50 (8): 165-169. (CHENG X J, LEI G Z. An automatic test method based on avionics system requirement [J]. *Telecommunication Engineering*, 2010, 50 (8): 165-169.)
 - [6] 林凯, 何川, 毛乐山. 基于 LabVIEW 的多通道振动测试与分析系统 [J]. *清华大学学报: 自然科学版*, 2003, 43 (5): 659-661, 665. (LIN K, HE C, MAO L S. Multi-channel system for vibration measurement and analysis based on LabVIEW [J]. *Journal of Tsinghua University: Science and Technology*, 2003, 43 (5): 659-661, 665.)
 - [7] 周汝胜, 焦宗夏, 王少萍, 等. 基于专家系统的导弹发射车液压系统故障诊断 [J]. *航空学报*, 2008, 29 (1): 197-203. (ZHOU R S, JIAO Z X, WANG S P, et al. Fault diagnosis expert system for hydraulic system of missile launcher [J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2008, 29 (1): 197-203.)
 - [8] BORLEA I, BUTA A, DUSA V, et al. DIASE-expert system fault diagnosis for timisoara 220 kV substation [C]//Proceedings of the International Conference on Computer as a Tool, 2005: 221-224.