航空科学技术
Aeronautical Science & Technology
Mar. 25 2019 Vol. 30 No.03 25-29

两栖飞机航电与机电交联自动化检测系统的开发

李燕南*，梁向东，杨定华，易向军，朱春生
中航通飞珠海通用航空研发制造基地，广东 珠海 510090

摘　要：本文论述了一种模拟飞机压力、温度、转速、角度等多路多种传感器信号的控制输出与实时显示给航电系统用于交联检测，并通过ARINC 429总线进行信号回采与解析，实施闭环半实物仿真的检测系统。分析了系统构成及使用虚拟仪器技术作为软件开发平台，该系统现已应用于大型水陆两栖飞机的交联测试，极大提高了测试效率和准确性。

关键词：传感器；虚拟仪器；半实物仿真

中图分类号：TP2　　**文献标识码**：A　　DOI：10.19452/j.issn1007-5453.2019.03.005

飞机总装调试阶段中航电与机电系统的交联检测非常重要。大型水陆两栖飞机航电与机电系统的交联情况主要是通过航电系统的发动机指示和机组告警系统(EICAS)显示画面和电子飞行仪表系统(EFIS)主飞行显示画面进行显示。在地面总装调试阶段，很多传感器信号是不能按照飞机空中状态实施加载的，如飞机发动机系统的转速、扭矩压力、油门角度、风门位置等，只能通过更换不同的外部专用仪器来模拟此类传感器的信号给航电系统，从而完成交联测试。

虚拟仪器技术是目前测控领域最为流行的技术之一，具有高效、开放、易用灵活、功能强大、性价比高等明显优点。PXI总线具有快速的数据传输能力、灵活性高、兼容性好、开放式构架等优势，迅速发展成为在各个领域被广泛应用的测试设备。

为解决飞机交联系统复杂测试环境下，使用老式测试方法工作效率低、功能单一、扩展性不高、线缆连接复杂的问题，提出了一种基于PXI总线和虚拟仪器技术的航电与机电系统交联的自动化检测设备。

1 检测设备的总体方案

1.1 飞机航电与机电系统交联信号关系

本检测设备涉及的航电与机电系统交联测试主要是通过飞机液压源系统、刹车压力系统、辅助动力系统、发动机指示系统、发动机燃油和控制系统、滑油系统、起动系统等与飞机航电系统进行交联，共需仿真非航电系统的50多路模拟信号、20多路开关信号、5路转速信号和4路电阻信号，同时需要回采系统链路的ARINC 429信号。

1.2 本检测设备总体配置方案

本检测设备采用虚拟仪器技术，它将传统单个分立仪器的功能进行组合，集中到一台工控机上实现了信号采集与控制、数据分析与处理、结果显示与输出的功能。

根据测试任务和便携式检测设备的要求，本检测设备选用如下配置方案：采用PXI总线，通过D/A模块输出虚拟有源信号，I/O模块输出开关量信号，电阻模块输出电阻信号，函数信号发生器模块输出转速信号，同时通过信号调理模块对信号进行分类、解析处理，ARINC 429模块用于接收429总线信号，最后通过虚拟仪器面板对仿真的传感器信号进行输出，同时对回采的429数据进行解算、实时显示。基于PXI总线，采用虚拟仪器技术的航电与机电系统交联自动化检测设备原理框图如图1所示。

整个检测系统通过测试对接电缆将检测设备与飞机的待测对象相连，ARINC 429总线的对接电缆与飞机分离面

收稿日期：2018-12-24；退修日期：2019-01-11；录用日期：2019-01-28
*通信作者. Tel.：13612217056　　E-mail：liyannannew@163.com
引用格式：Li Yannan, Liang Xiangdong, Yang Dinghua, et al. Development of automatic test system of amphibious aircraft avionics and electromechanical crosslinking[J]. Aeronautical Science & Technology, 2019, 30(03): 25-29. 李燕南，梁向东，杨定华，等. 两栖飞机航电与机电交联自动化检测系统的开发[J]. 航空科学技术，2019，30(03)：25-29.

的总线接口相连，设备主控制器发出各类仿真控制信号，通过电缆传输给飞机各交联系统，同时对系统链路中的429总线数据进行采集、解算，系统运行过程中，所有的数据亦可在飞机的EICAS或EFIS显示画面进行显示。

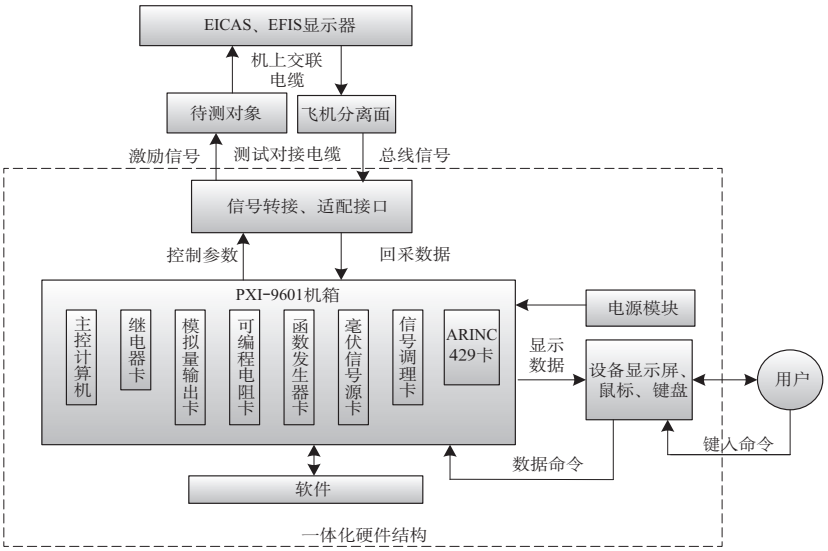

图1 设备原理框图

Fig.1 Schematic diagram of equipment

2 系统的硬件开发与设计

根据图1所示，整个航电与机电系统交联自动化检测设备的硬件系统集成为一个一体化便携式结构，其中包括安装了各类PXI模块的机箱、电源模块、信号转接、适配插座等，将它们集中整合到一个机箱结构中，便于飞机的在线检测。硬件系统基本上分为三个部分，包括数据采集与控制模块、信号调理单元和测试电缆。

2.1 数据采集与控制模块

基于PXI总线，采用虚拟仪器技术的配置方案，选用的D/A数据采集模块，这些数据采集与控制模块的主要作用为：(1) 通过D/A通道、继电器通道经信号转接、适配接口单元分别向待测对象发出模拟量和开关量控制信号；(2) 使用可编程电阻卡、函数发生器卡分别给待测对象发出电阻信号和转速信号；(3) 使用毫伏信号源卡向待测对象发出微小电压信号。

2.2 信号调理单元

航电与机电系统交联需模拟的传感器种类繁多，转换为电压输出的范围也非常广，有的精度相当高（如发动机系统排气温度的精度为毫伏级），有的电压范围需达到几十伏。要保证地面模拟的准确性，同时考虑到设备的便携性，针对微小信号的处理本检测设备采用毫伏信号源模块做为有源信号；超出板卡±10V量程的电压信号，自行设计了一块PXI总线的信号调理模块用于安插在PXI插槽中，节省了空间。同时针对不同开关量的测试，通过将电源模块输出信号进行分类与梳理，将其分支分别接入继电器板卡的NO端，通过软件控制接通相应的逻辑信号。根据测试需求，信号调理单元的主要功能有：(1) 通过PXI总线信号调理模块，可以实现输出±30V可调电压信号、0~24mA可调恒流源信号以及±0.5V可调电压信号；(2) 需模拟的传感器I/O信号通过电源模块的分类，分别连接发送给待测对象；(3) 将每个需模拟的传感器信号进行归纳、整理，分类控制。

2.3 测试电缆

根据机上待测对象分布的不同位置，同时考虑各种测试干扰、电磁环境等因素，大部分线束线缆采用双绞屏蔽电缆，同时将屏蔽层、信号源接地线与飞机的搭地螺母连接。对油量信号等特殊用途的线缆，其屏蔽层采用单端接地处理形式。

3 系统的软件开发与设计

3.1 系统的软件结构

软件是整个检测设备的核心部分。本设备的操作系统采用Windows 7作为系统平台，选用美国国家仪器有限公司（NI）的LabWindows/CVI集成开发平台进行软件开发。整个系统软件包括仿真控制分系统和数据采集分析分系统两大分系统。软件结构如图2所示。

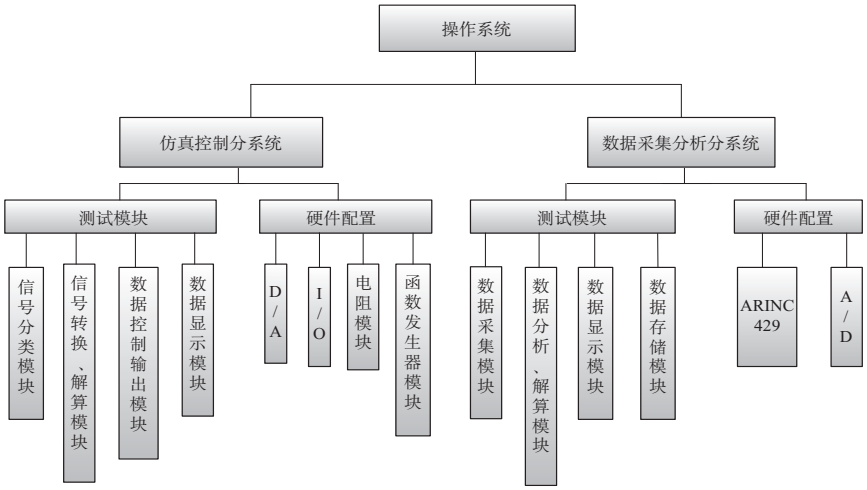

图2 系统软件结构图

Fig.2 Software structure diagram

3.2 仿真控制分系统软件设计

从测试需求、被测信号类型和特性出发，仿真控制分系统的主要功能是为飞机航电与机电系统交联提供仿真的传感器信号，并实时输出。本分系统软件划分为7个模块：主程序、参数配置、系统分类、数据转换与解算、系统测试、数据分析和退出。各模块相互独立，通过主程序的人机界面调用和控制各个模块实现其功能。其软件流程如图3所示。

由于各系统仿真的传感器与航电系统的交联输出信号有压力、温度、油位、转速、油量、角度、风门位置等，各传感器具有线性特性，但传感器的实际特性却是非线性的曲线，通过分析传感器信号的特性及工作流程，对于实际工作在线性区域的传感器，进行物理量与电压/电阻的函数转换，得到换算的线性方程；对于实际工作在非线性区域的传感器，可采用常用的最小二乘法建立数学模型。由于本设备传感器工作区间基本为线性区域或为分段线性区间，因此可建立线性函数模型。

3.3 数据采集分析分系统

为分析仿真的传感器信号与航电系统交联后，系统链路的显示与动作是否满足测试需求，设计了数据采集分析分系统软件，从而形成闭环半实物仿真系统。本检测设备的数据回采主要是通过ARINC 429总线进行实时采集和解析，为保证系统运行的实时性，采用了LabWindows/CVI的多线程技术进行软件编程。其软件流程如图4所示。

数据采集分析分系统软件主要分为5个模块：主程序、板卡参数配置、数据采集、数据解析和退出。航电与机电系统交联测试运行后，ARINC 429总线实时将回采的数据按照接口控制文件(ICD)进行数据解析，通过将仿真输出的传感器数据与ARINC 429总线回采的数据进行对比，可以随时查看故障情况，判断测试是否正常。

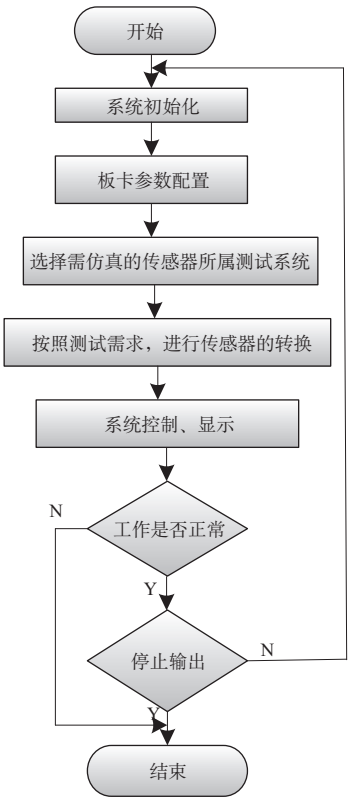

图3 仿真控制分系统软件流程

Fig.3 Simulation control subsystem software flow

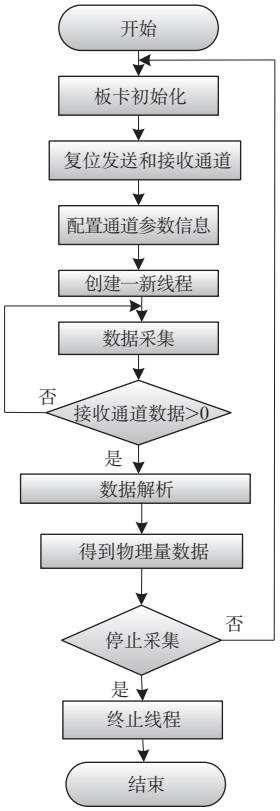

图4 数据采集分析分系统软件流程

Fig.4 Data acquisition and analysis subsystem software flow

4 测试实例与结果分析

利用本文构建的自动化测试平台对某大型水陆两栖飞机的航电与机电系统交联进行了测试，通过人机交互界面，在仿真控制模块中输入所需仿真的传感器信号，如图5所示，在测试平台模拟仿真航电与发动机系统交联的油门角度、转速、排气温度、扭矩压力、风门位置、振动加速度、滑油温度、滑油压力和滑油油量等信号，通过测试电缆传输给飞机各交联系统，测试结果可在飞机的EICAS显示器或EFIS显示器上显示，同时也可通过测试平台与飞机分离面ARINC 429总线的连接，在测试平台的显示界面上获得解析的数据。通过图5仿真信号的输出，可以看到飞机显示界面的数据与模拟控制参数一致，同时通过与飞机维护口盖连接的飞行参数一线测试仪采集的数据进行比对，结果表明测试平台仿真数据、飞机显示器显示数据以及飞行参数测试仪采集数据三者数据一致。

5 结束语

本文航电与机电系统交联自动化检测设备的关键在于

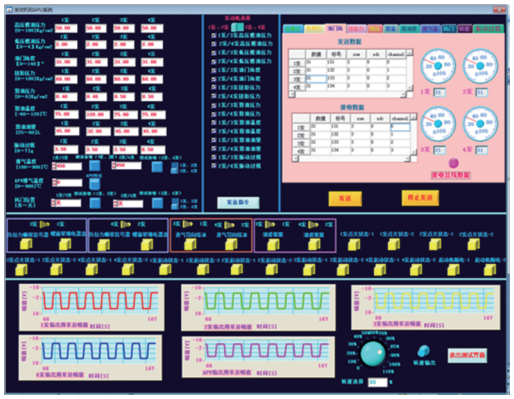

图5 航电与发动机系统交联仿真界面

Fig.5 Simulation interface for cross-linking avionics and engine system

仿真与飞机航电系统交联的传感器信号分析，根据模拟的传感器特性，进行数学建模；同时数据进行实时回采，构成闭环半实物仿真。这种在线检测的自动化检测方法比传统仪器的检测省时省力，极大提高了测试效率和准确性。另外，本检测设备只需要更换被测对象接口适配器并在应用程序中增加特定的子程序，就可应用于其他类型飞机的相关测试中，具有很强的实用价值。

参考文献

[1] 宋宇峰．LabWindows/CVI逐步深入与开发实例[M]．北京：机械工业出版社，2003．

Song Yufeng. LabWindows / CVI step by step and develop examples[M].Beijing:China Machine Press,2003.(in Chinese)

[2] 郭生荣.航空机电系统综合技术发展分析[J]. 航空科学技术，2013(5):5-10.

Guo Shengrong. Development of aviation electromechanical system integration technology[J]. Aeronautical Science & Technology,2013(5):5-10. (in Chinese)

[3] 王博，陆皓，白晓颖.模型驱动的IMA标准符合性测试自动化技术研究[J]. 航空科学技术,2015(11):83-89.

Wang Bo, Lu Hao, Bai Xiaoying. Model driven automated testing for IMA standard compliance[J]. Aeronautical Science & Technology,2015(11):83-89. (in Chinese)

[4] 丁全心.综合模块化航空电子系统标准述评[J]. 电光与控制，2013,20(6)：1-3.

Ding Quanxin. Remarks on standards of integrated module avionic system[J].Electronics Optics & Control, 2013,20(6)：1-

3. (in Chinese)

[5] 闫淑群，黎玉刚，母勇民，等. 基于PXI总线的导弹自动测试系统设计 [J]. 计算机测量与控制，2011,19(8):1925-1928.
Yan Shuqun, Li Yugang ，Mu Yongmin, et al. Investigation of general missile automatic test system based on PXI-bus and virtual instrument technology[J]. Computer Measurement & Control, 2011,19(8):1925-1928. (in Chinese)

[6] 李华良，钟新辉. 虚拟仪器技术及其在航空测试领域中的应用 [J]. 现代电子技术，2002(7):32-33.
Li Hualiang, Zhong Xinhui. Virtual instruments technique and its application to aviation[J].Modern Electronic Technique,2002(7):32-33. (in Chinese)

[7] 李奇. ARINC 429 总线和数据字结构 [J]. 中国民航学院学报，1990(6)：1-12.
Li Qi. ARINC 429 bus and data word construction[J]. Journal of CAAC，1990(6)：1-12. (in Chinese)

[8] 武君胜,李莉,曹静,等. 机载机电系统自动测试平台的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制,2017,25(4):3.
Wu Junsheng, Li Li, Cao Jing,et al. Design and implementation of automatic test platform for aircraft unities management system[J]. Computer Measurement & Control, 2017, 25(4): 3. (in Chinese)

[9] 郑云飞,张登福,王占领. 基于PCI的ARINC429总线测试软件设计[J]. 计算机测量与控制, 2014,22(10):3442-3444.
Zheng Yunfei, Zhang Dengfu, Wang Zhanling. Design of ARINC429 bus measurement software based on PCI[J]. Computer Measurement & Control, 2014, 22(10): 3442-3444. (in Chinese)

[10] 黄志强. 多传感器通道多点数据并行高速采集器设计[J]. 计算机测量与控制,2017,25(12):307-310.
Huang Zhiqiang. Design of multi channel data parallel high-speed collector for multi sensor channels[J]. Computer Measurement & Control, 2017,25(12):307-310. (in Chinese)

作者简介

李燕南(1973—) 女，高级工程师。主要研究方向：机载地面设备测试技术。
Tel：13612217056
E-mail：liyannannew@163.com

Development of Automatic Test System of Amphibious Aircraft Avionics and Electromechanical Crosslinking

Li Yannan*, Liang Xiangdong, Yang Dinghua, Yi Xiangjun, Zhu Chunsheng

Research and Development of General Aviation Manufacturing Base, China Aviation Industry General Aircraft, Zhuhai 510090, China

Abstract: This paper described a kind of detection system which simulated the control output and real-time display of signals from multiple sensors such as pressure, temperature, rotation speed and angle of aircraft to the avionics system for cross-linking detection, carried out signal extraction and analyzed through ARINC 429 bus, and implemented closed-loop semi-physical simulation. The composition of the system and the use of virtual instrument technology as a software development platform were analyzed. It has been applied in the cross-linking test of large amphibious aircraft, which greatly improves the test efficiency and accuracy.

Key Words: sensor; virtual instrument; semi-physical simulation

Received: 2018-12-24； **Revised:** 2019-01-11； **Accepted:** 2019-01-28

***Corresponding author.Tel. :**13612217056 **E-mail:** liyannannew@163.com