

分布式可重配置航空测控系统设计与实现

潘全文¹, 于劲松², 李恩辉¹, 刘浩², 马百慎³

(1. 沈阳飞机设计研究所, 沈阳 110035; 2. 北京航空航天大学 自动化学院, 北京 100191;
3. 四川省崇州市供电有限责任公司, 四川 崇州 611230)

摘要: 通用化、小型化、高可靠性、使用便捷是对大型军用复杂武器装备外场保障设备的通用要求; 近年来, 随着网络技术、嵌入式计算机技术特别是“可重构计算”技术的发展, 可重配置的嵌入式测控系统开发技术成为当前研究的一个热点; 文章对该项技术进行了深入研究, 并结合飞机子系统外场测试的实际情况, 提出并设计实现了一种分布式可重配置航空测控系统; 与传统的集中控制测试系统相比较, 该系统的体积小、重量轻, 使用方便, 通过可重配置技术使得测控系统可适应不同的测试需求; 该系统的设计实现对军用复杂武器装备外场检测设备设计具有很好的借鉴意义。

关键词: 分布式; 可重配置; 嵌入式测控系统

Design and Realization of Aviation Measurement and Control System Based on Distributing and Reconfiguration Technology

Pan Quanwen¹, Yu Jinsong², Li Enhui¹, Liu Hao², Ma Baishen³

(1. Shenyang Aircraft Design and Research Institute, Shenyang 110035, China;
2. School of Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China;
3. Chongzhou Electric Power Supply Company Limited, Chongzhou 611230, China)

Abstract: Generalization, miniaturization, high reliability and easy to use are the general requirements of the support equipments for large-scale complex military weapon and equipment in the field. In recent years, with the development of internet and embedded computer technology, especially the reconfiguration computing technology, the exploitation of the measurement and control system utilizing the combination of these technologies has been an increasing popular topic. With sophisticated studies about these technologies, the author has proposed and designed a distributed and reconfigurable measurement and control system. Compared with traditional centralized test systems, it is smaller, lighter and more convenient to use. Through a reconfiguration technology the system can adapt to different testing requirements. This design philosophy has a significant meaning for the design of the support equipments in the future.

Key words: distributing; reconfiguration; embedded measurement and control system

0 引言

现代飞机的后勤保障目前采用的是综合后勤保障 (ILS, Integrated Logistic Support) 体制。ILS 指的是在装备的寿命周期内, 为满足系统战备完好性要求, 降低寿命周期费用, 综合考虑装备的保障问题, 确定保障性要求, 进行保障性设计, 规划并研制保障资源, 及时提供装备所需保障资源的一系列管理和技术活动。ILS 包含的维修类型为修复性维修和预防维修, 按三级维修逐级支持的保障体制进行使用与维修保障, 即: 基层级 (外场级或 O 级)、中继级 (野战级或 I 级)、基地级 (后方级或 D 级)。基层级的维修能力通常针对飞机的使用准备、检查、故障的诊断、更换外场可更换单元 (LRU, Line Replaceable Unit) 及装备的定期保养等工作项目而建立的。基层级的保障任务主要包括: 飞行前准备、飞行后检查、再次出动准备、常规的保养、周期性工作 (按日历时间、起落次数

和飞行时间安排的检查工作)、飞机系统的简单调校、飞机原位故障诊断及机载设备的更换等。^[1-3]

由此可见, 设计开发出通用化、小型化、高可靠性、使用便捷的基层级的外场保障设备是完成综合后勤保障的基层级保障任务的通用要求。

目前, 用于飞机外场的测试设备, 大多采用了如图 1 所示典型的集中控制式航空测试设备体系结构。

这种集中控制式的测试设备多为针对飞机某分系统保障而设计开发的专用测试设备, 其软、硬件结构相对简单, 一般包括适配电缆、电源电缆和主机两大部分。

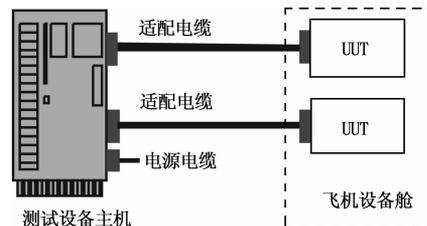


图 1 典型集中控制航空测试设备体系结构

主机部分完成信号采集、存储、处理、控制、输出以及人机交互等功能; 适配电缆完成主机与 UUT (unit under test)

收稿日期: 2013-01-24; 修回日期: 2014-02-23。

作者简介: 潘全文 (1975-), 黑龙江牡丹江人, 学士, 高级工程师, 主要从事测控技术、故障诊断、综合健康管理技术方向的研究。

于劲松 (1968-), 江苏盐城人, 主要从事自动测试系统, 故障预测与健康健康管理, 光电探测与仿真方向的研究。

的电气连接。适配电缆的长度必须保证置于地面的测试设备与机载被测系统的连接, 一般为 10~15 m。它的主要缺点为: (1) 系统资源一般为专用, 不能通过重新配置适应不同的测试来满足通用化需求; (2) 较长的适配电缆和较多的芯线数目(芯线数目和 UUT 的复杂程度有关) 使得整个测试设备的体积和重量较大, 一般 1 个主机箱加上 2 个电缆箱, 系统整体重量平均约 100 kg。这使得系统搬运和存储不便, 没有真正实现设备小型化的要求。

近年来, 随着嵌入式计算机技术的发展, 尤其是 CPLD/FPGA 广泛应用, 实时电路重构 (Reconfiguration of Circuitry at Runtime) 技术逐渐成为测控领域研究的新热点。其本质是利用 CPLD/FPGA 可重复配置逻辑状态的特性, 在线改变系统硬件结构, 从而配置成具有不同功能的测试单元^[4-6]。美国防部自动测试系统执行局召集陆、海、空和工业界代表成立 NxTest 工作组, 意在改进其原来的测试系统, 提出四大核心技术包括并行测试技术、合成仪器技术、可编程串行测试总线技术以及软件增强技术。目前国外并行测试技术比较有代表性的方案有: 1) 硬件冗余方案: 泰瑞达公司的 Ai7 系列模拟信号测试仪, 在一块单槽 VXI 总线模块中集成 32 通道模拟信号测试仪, 每个通道由 6 种仪器功能, 可通过软件配置进行切换实现不同仪器功能。2) 软、硬件可配置方案: 软件无线电、合成仪器 (SI, synthetic instrument) 方案, 使用一台 SI 就可满足多种信号的测量、激励要求, 而不再需要许多专用、单功能的激励和测量仪器。基础构件模块可通过软件命令调整和重配置, 以模拟一种或多种传统测试设备, SI 的最大特点是“可重配置”^[7]。3) NI 的 Compact RIO 系列可编程自动化控制器方案: 系统由包含用户可编程 FPGA 的可重复配置机箱、热插拔 I/O 模块、用于确定性通信与处理的实时控制器以及用于快速实时与 FPGA 编程的图形化软件 LabVIEW 组成^[8]。

本文对上述技术进行了深入研究, 并结合飞机子系统外场测试的实际情况, 提出并设计实现了一种分布式、可重配置航空测控系统。该系统通过分布式系统结构解决了传统的集中控制测控系统的体积、重量较大, 外场使用不方便的问题; 通过可重配置技术使得测控系统可灵活适应飞机不同子系统的测试需求。该系统的设计实现对应用于外场的航空测控设备设计具有很好的借鉴意义。

1 系统概述

分布式、可重配置航空测试设备体系结构如图 2 所示, 整个系统由上位机、测试控制器、适配电缆和供电通讯电缆组成。

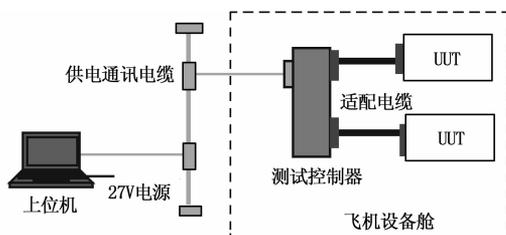


图 2 分布式可重配置航空测试设备体系结构

上位机为一台通用平板电脑, 主要完成人机交互和对测试控制器任务下载以及对回传测试数据/结果的处理、分析。测

试控制器为基于嵌入式计算机技术和可重配置技术构建的开放系统平台, 主要完成上位机下载的任务数据接收和与 UUT 的控制和测试以及测试数据/结果的上传。适配电缆完成测试控制器与 UUT 的电气连接。供电通讯电缆为测试控制器提供 27 V 直流电源, 同时, 可选择采用以太网、CAN 总线或无线网络完成上位机和测试控制器的网络连接。

由于该系统采用分布式系统结构, 因此可以通过优化网络节点的摆放位置, 来有效缩减适配电缆的长度, 从而有效减小系统的体积和重量。原系统 10~15 m 长的适配电缆可缩短为 0.5 m 左右。考虑到操作人员受噪声、辐射等不良因素的影响, 芯数较少的供电与通讯电缆可设计为 10~15 m。

测试控制器以大容量 FPGA/CPLD 可编程器件构成可通过软件配置的灵活接口功能模块, 方便实现各种在线测试/激励功能, 可根据不同测试任务进行接口通道、处理算法、信号交联关系的动态配置, 满足现场测试硬件可配置要求。

2 系统设计与实现

2.1 系统硬件设计

系统测试控制器硬件在结构形式上采用背板插卡式结构, 其原理如图 3 所示, 按功能分成 5 个部分。

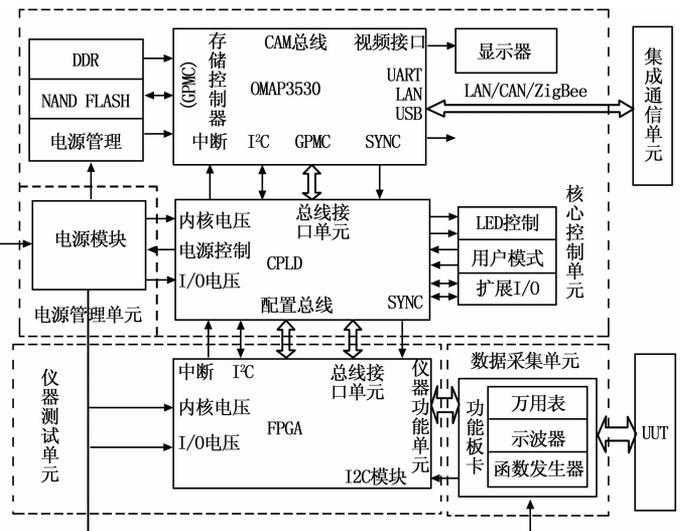


图 3 测试控制器硬件原理图

(1) 核心控制单元: 由主控制器 OMAP3530、存储器、CPLD、视频接口、通信模块及外围电路构成的微处理结构, 是系统软件的运行载体, 主要完成控制、通信、资源管理和任务调度等功能^[9-10];

(2) 仪器控制单元: 由 FPGA、驱动器及外围电路构成的集成测试控制结构, 是仪器功能单元的载体, 主要完成各种测试仪器 (如数字万用表、示波器等) 的集成、总线接口单元实现、可配置 I/O 通信协议的制定等功能^[11];

(3) 数据采集单元: 由若干数据采集卡组成, 每一个数据采集卡都是一个硬件上独立的模块, 它们共同构成测试仪器的前端设备, 根据功能不同, 本系统共配置了四类不同的前端设备, 分别是万用表模块、函数发生器模块、开关模块;

(4) 电源管理单元: 为整个系统提供各类电源;

(5) 集成通信单元: 集成测试仪器的 3 种通信接口, 包括 LAN/CAN/ZigBee。

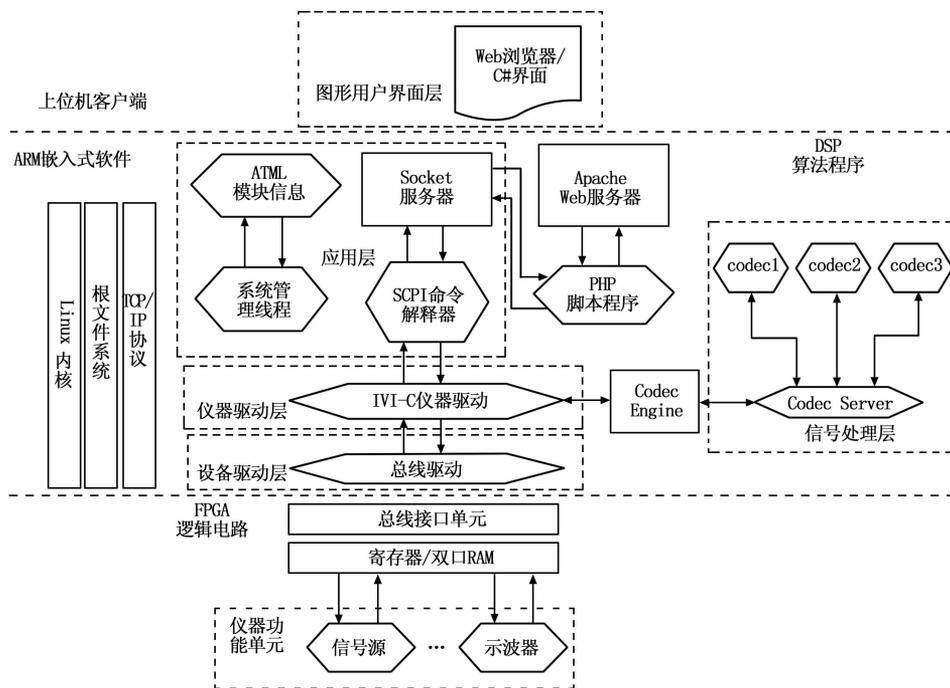


图 4 系统软件架构示意图

2.2 系统软件设计

系统软件结构如图 4 所示，整个软件由图形用户界面层、应用程序层、信号处理层、仪器驱动层以及设备驱动层构成。上位机采用 WindowsXP 操作系统，测试控制器软件基于嵌入式 Linux 操作系统实现。软件采用层次化、模块化的设计方法，它们之间通过标准软件接口进行连接，共同构成一个有机的软件框架，最后通过 Web 接口和 Visual Studio .NET 平台为用户提供一个友好的可视化操作界面。

应用层作为后台进程的顶层，向图形用户界面层提供完整的通信函数接口，能够解析通信协议数据包，并根据解析出的命令调用仪器驱动层的仪器操作函数接口；信号处理层在 DSP 中实现，它集成了若干算法模块，每个算法模块都提供符合 xDAIS/xDM 算法标准的 VISA 接口；仪器驱动层根据 IVI 标准为每类仪器提供统一的仪器操作函数接口，能够基于 DaVinci 架构调用信号处理层的 VISA 接口进行数据处理；设备驱动层运行在 Linux 内核空间，提供了底层硬件的读写控制操作^[12-13]。

3 结论

本文提出并设计实现了一种基于分布式可重新配置的航空测控系统架构。系统采用 OMAP 处理器 + FPGA/CPLD 构建的多核并行结构具备高速数据处理，多通道并行测试，系统软硬件在线重构等能力。系统分布式结构，显著减小系统的体积和重量。作为验证，课题组根据某型飞机两个子系统外场测试需求，通过在线配置在该系统中实现了原来两个专用外场测试设备的功能。验证表明，新系统架构和传统的集中控制式测试设备相比，在通用化、小型化、和使用便捷等方面都有显著的改善。本文的研究对外场航空测控设备的研制具有重要的借鉴意义。

参考文献：

- [1] 国家军用标准《装备保障性分析》实施指南 [R]. 北京：国防科工委军用标准化中心，2005.
- [2] 宋太亮. 装备综合保障实施指南 [M]. 北京：国防工业出版社，2004.
- [3] 甘晓华，李航航. 新一代战斗机的维修性及维修体制研究 [R]. 北京：北京航空工程技术研究中心，2006.
- [4] 谷 鑫，徐贵力，王友仁. FPGA 动态可重构理论及其研究进展 [J]. 计算机测量与控制，2007，15 (11)：1415-1418.
- [5] 唐 华，毛 磊，何仁伦. 通用嵌入式测控系统开发平台研究 [J]. 中国测试技术，2008，34 (2)：40-43.
- [6] 弭寒光，袁海文，郭 鑫，等. 独立电源系统有源滤波器测控系统自动定制技术 [J]. 南京航空航天大学学报，2011，43 (s)：64-69.
- [7] Rozner M. NxTest and the Development of Synthetic Instrumentation [EB/OL]. <http://www.rfdesign.com>, 2005.
- [8] Al-Naami B, Chebil J, Trabsheh B, et al. Developing Custom Signal Processing Algorithm with Labview FPGA and Compact RIO to Detect the Aortic Stenosis Disease [A]. Computers in Cardiology, 2006 [C], 2006.
- [9] Instruments T. OMAP35x Applications Processor: Technical Reference Manual [Z]. 2011.
- [10] Spits T, Werp P. OMAP Technology Overview [Z]. White Paper from Texas Instruments, 2000.
- [11] 覃祥菊，朱明程，张太镒. FPGA 动态可重构技术原理及实现方法分析 [J]. 电子器件，2004，27 (2)：277-282.
- [12] 王学龙. 嵌入式 Linux 系统设计与应用 [M]. 北京：清华大学出版社，2001.
- [13] Consortium SCPI, Standard Commands for Programmable Instruments [EB/OL]. <http://www.scpiconsortium.org/scpistandard.htm>, 1999.