

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.09.003

引用格式:吴慧伦. 航天测控信道设备和基带设备综合测试系统设计[J]. 电讯技术,2014,54(9):1187-1192. [WU Hui-lun. Integrated Test System Design for Spacecraft TT&C Channel Device and Baseband Equipment[J]. Telecommunication Engineering,2014,54(9):1187-1192.]

航天测控信道设备和基带设备综合测试系统设计*

吴慧伦**

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要:航天测控信道设备和基带设备在研制、试验和使用中需要实现产品质量控制、技术性能考核和使用性能评定。针对现有人工测试方法的不足,提出了一种参数智能测试方法。该方法以标准仪器、虚拟仪器、开关矩阵和以太网交换机来构建通用硬件测试平台,利用计算机实现测试系统的在线监控与管理,采用数据库技术实现测试计划的管理,为未来测试系统的设计提供了有益的借鉴。

关键词:航天测控;信道设备;基带设备;综合测试;质量控制

中图分类号:V556 文献标志码:A 文章编号:1001-893X(2014)09-1187-06

Integrated Test System Design for Spacecraft TT&C
Channel Device and Baseband Equipment

WU Hui-lun

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: During the development, test and application of TT&C channel device and baseband equipment, product quality control, technical performance evaluation and operation performance assessment are required. To overcome the insufficiency of manual test, an intelligent multi-parameter integrated test system is provided. This test system is composed of standard instrumentation, virtual instrumentation, switch matrix and Ethernet exchange machine. Online monitor and management of this system is realized by computer. Test plan management is relied on database technology. It is believed that the system has value for designing future test system for TT&C channel device and baseband equipment.

Key words: spacecraft TT&C; channel device; baseband equipment; integrated test; quality control

1 引言

随着我国航天事业的蓬勃发展,多功能综合和多业务综合成为航天测控信息传输系统的发展趋势。在航天测控信息传输系统中,要综合的功能包括测距、测速、测角、遥测、遥控、遥感、侦察、科学考察、话音、电视等功能;要综合的业务有工程测控、业务测控、业务管理、遥感信息接收、侦察信息接收、宇航员音/像接收等应用业务^[1],这导致地面测控系统的结构日趋复杂。作为地面测控系统的基本组成设备,信道设备和基带设备的质量控制也越来越困难。

目前,国内航天地面测控信道设备和基带设备的指标测试大多采用人工测试的方法,有通过分析基带设备软件的相似性,进行软件测试用例复用和管理^[2]的研究,但是暂无关于信道设备和基带设备自动测试方面的进一步研究报道。长期以来的工程实践表明,采用人工测试不仅无法精确掌握和考核设备的各项性能指标,而且测试效费比低,测试时效性差,更不能在设备研发期间开展海量试验,尽可能多地剔除设备的设计缺陷,保障测控任务的安全。

* 收稿日期:2014-03-07;修回日期:2014-08-27 Received date:2014-03-07;Revised date:2014-08-27

** 通讯作者:wuhuailun@foxmail.com Corresponding author:wuhuailun@foxmail.com

针对航天地面测控信道设备和基带设备在研制、试验和使用中的产品质量控制、技术性能评定、效能综合评价的需求,迫切需要开发具备高精度、能适应各种不同应用需求、多功能、多参数的综合测试系统,自动完成信道设备和基带设备的指标测试。本文将探索采用通用仪器设备、计算机、开关矩阵和以太网交换机建立综合测试平台,利用软件实现测试系统的监控和管理,最终完成信道设备和基带设备自动测试的方法。

2 总体方案设计

在航天地面测控系统的组成中,信道设备包括上行信道设备和下行信道设备。上行信道设备主要包括上变频器、高功率放大器等,能将输入的中频已调信息,经上变频、放大,最后输出射频信号。下行信道设备主要包括低噪声放大器、下变频器等,可将从天线馈源输入的微弱射频信号,经低噪声放大、下变频后,最终输出中频信号。基带设备是集调制解

调技术、信息编码技术、加密技术、纠错编码技术、数字基带传输技术、复用技术、同步技术及网络技术为一体的重要设备,主要用于完成遥控信号上行调制;测距、测速、遥测信息接收与解调;角误差提取;图像、语音及报文数据传输等功能。信道设备为基带设备提供上行信号发射通道和下行信号接收通道。建立综合测试系统的目的是既能完成多台独立设备的自动测试,又可方便地搭建起地面测控系统的模拟测试环境,验证系统指标。

2.1 测试系统原理

综合测试系统的构建,首先可利用各种测试仪器设备和专用测试设备,配置各种附属设备(如功分器、电缆转换接头)及连接电缆与被测设备连接,建立起模拟测试环境。然后,分析信道设备和基带设备的技术指标要求,设计出信道设备指标测试流程和基带设备指标测试流程。最后,开发综合测试应用软件,部署在测试计算机上,实现设备技术指标的自动测试功能。综合测试系统原理如图 1 所示。

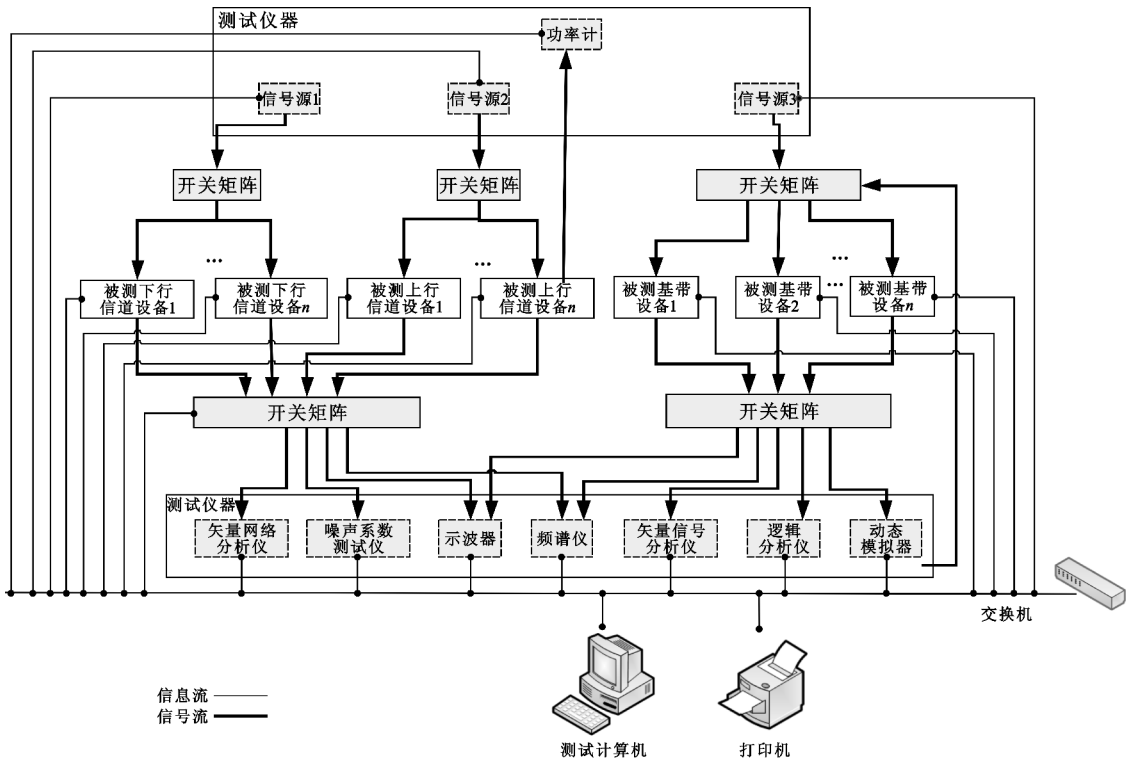


图 1 综合测试系统原理图
Fig. 1 Principle diagram of integrated test system

对上行信道设备进行测试时,首先由信号源输出中频测试信号送给被测上行信道设备,被测上行信道设备的输出信号经开关矩阵切换至测试仪器进行测试。对下行信道设备进行测试时,首先由信号

源输出射频测试信号送给被测下行信道设备,通过开关矩阵将被测下行信道设备的输出信号切换至测试仪器进行测试。对基带设备进行测试时,由信号源提供10 MHz频标信号,测试计算机设置基带设备

参数,通过开关矩阵把基带输出信号送入各测试仪器进行测试,然后通过网络把测试数据汇聚到测试计算机进行测试结果处理。

综合测试系统主要由测试仪器、开关矩阵、测试计算机、网络通信设备、打印设备等组成,其硬件设备配置及功能如表 1 所示。

表 1 硬件设备配置及功能		
Table 1 Composition and function of equipment		
序号	硬件设备	功能
1	矢量网络分析仪	测试信道设备的 S 参数
2	频谱分析仪	测试信道设备和基带设备的频谱特性
3	示波器	测试信道设备和基带设备的波形参数
4	功率计	测试信道设备的功率参数
5	噪声系数分析仪	测试信道设备的噪声系数
6	信号源	为信道设备和基带设备提供标准输入信号
7	矢量信号分析仪	测试基带设备的信号调制体制
8	逻辑分析仪	测试基带设备的调制码型
9	动态模拟器	基带设备的动态参数模拟,如距离、速度等
10	开关矩阵	完成测试平台和被测试设备间测试通道的切换
11	网络通信设备	将基带设备、信道设备、测试仪器和测试计算机连接成测试数据传输网络通道
12	测试计算机	运行综合测试应用软件完成综合测试任务
13	以太网交换机	用于构建综合测试系统的测试数据传输网络环境
14	网络打印机	输出报告,为综合测试系统内所有设备共享

2.2 虚拟仪器的设计

传统的测试方法采用分立仪器搭建测试系统,测试效率低,测试成本高,可靠性差^[3]。现代自动测试系统的发展方向是标准化、模块化和系列化,而标准的总线技术和软件技术是实现这“三化”的关键技术^[4-5]。为保证工作的稳定可靠,综合测试系统的硬件设计应遵循测试领域内的成熟标准,软件设计也应遵循与标准相应的技术规范,尽量采用成熟的商业应用软件平台,使测试在标准化、通用化的平台上进行^[5]。PXI 标准是 PCI 总线和 CPCI 总线技术测试领域内的扩展。在 PCI 技术的基础上,PXI

已发展成为一种较为成熟的仪器总线技术。PXI 将电子仪器测试技术、计算机技术和通信技术结合在一起,具有数据吞吐量大、构建方式灵活、标准化程度高、可靠性高等特点^[6]。

基带设备的测试仪器可以采用基于 PXI 总线技术的虚拟仪器。所谓虚拟仪器,就是在以通用计算机为核心的硬件平台上,由用户设计定义,具有虚拟面板,测试功能由测试软件实现的一种计算机仪器系统^[7-8]。采用虚拟仪器的目的是对多种测试仪器的测试功能进行集成,将众多的测试仪器功能、技术参数和精度指标等有序地、保真地集成在一个测试功能软件库中,通过与专用的硬件和接口配置,使之在一台计算机中精确无误地实现被集成测试仪器的全部功能^[9]。设计中,可选用 NI 公司 PXIe-1085 机箱。该机箱性能高,每个插槽具有高达 4 GB/s 的专用带宽和 12 GB/s 的系统带宽。此外,该机箱拥有 16 个混合插槽,可兼容 PXI、PXI Express、CompactPCI 和 CompactPCI Express 模块,能最大限度地重用现有的模块。该设计具有高速、高通道和高分辨率测量的特点。例如,数字化示波器 NI-PXIe-5162,在单个插槽中具备 1.5 GHz 的带宽和 4 个通道,具有 10 位垂直分辨率和 5 Gsample/s 采样率,配合 LabVIEW 抖动分析工具包,其高速测量垂直分辨率是传统 8 位示波器的 4 倍。为实现测试信号记录和回放,设计中可配置 NI HDD-8266-SATA RAID 阵列,能提供 24 TB 的存储容量,虚拟仪器结构如图 2 所示。

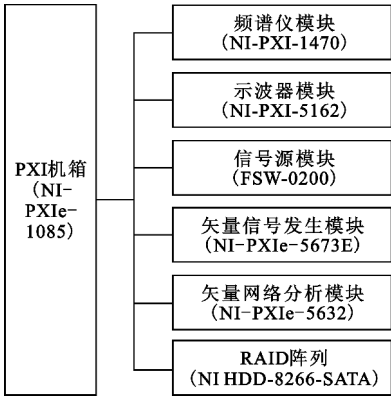


图 2 虚拟仪器结构框图
Fig. 2 Architecture of virtual instrumentation

2.3 测试流程设计

按测试信号的提供方式,测试流程可以分为两类。第一类测试流程是由测试仪器产生激励信号发送给被测设备,主要适用于信道设备指标测试,基带

设备部分指标测试,该类流程示例如图 3 所示。

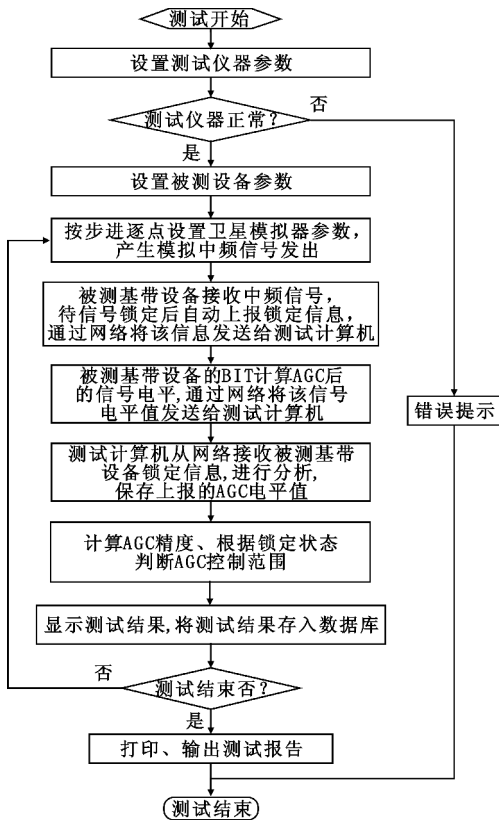


图 3 AGC 控制范围及精度测试流程
Fig. 3 Workflow of AGC test

第二类测试流程是由测试计算机产生激励信号发送给被测设备,适用于基带设备指标测试,该类流程示例如图 4 所示。

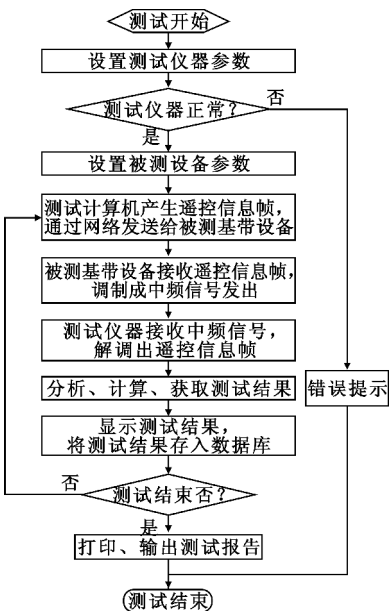


图 4 遥控误指令测试流程
Fig. 4 Workflow of TT&C error test

3 软件方案设计

3.1 功能要求

综合测试应用软件是综合测试平台的核心,它主要完成被测设备和测试仪器间的信息获取、传输、存储、处理和再现等功能,还可以进行系统运行智能化管理。其主要功能有:

- (1)提供被测设备和测试仪器的参数设置界面,完成被测设备的工作参数设置,可根据需要提供多种参数设置方法;
- (2)实时监视全系统各测试仪器的工作状态,记录设备运行状态,记录设备原始数据;
- (3)提供“手动”操作模式,按步骤逐步完成各类指标的测试;
- (4)提供“自动”操作模式,实现测试流程全自动进行;
- (5)提供测试计划定制服务功能,实现测试计划信息的录入及测试计划管理;
- (6)对系统形成的各种数据库表,如测试参数、工作日志、测试结果数据、测试工作计划、测试工作报告、测试人员身份等信息提供方便、灵活的检索、显示、打印手段;
- (7)记录原始测试数据,例如设备配置、测试参数、设备状态、控制操作命令、故障情况等。

3.2 软件结构设计

综合测试应用软件结构包括测试资源层、业务逻辑层和应用层 3 个部分,其结构图如图 5 所示。

测试资源层主要是完成各种测试仪器的驱动管理。业务逻辑层主要完成测试仪器的通信,向测试仪器发送测试参数和获取测试数据,执行测试流程、管理测试进度以及数据库操作管理等。应用层主要完成各种操作的窗口处理,例如系统参数配置、测试项目定制、测试仪器参数设置、测试开关矩阵状态监控、被测基带设备的参数设置、被测信道设备的参数设置等。此外,应用层还需要对登录的用户信息进行管控,保证使用安全。

3.3 自动测试设计

综合测试系统可以根据测试人员制定的测试计划,自动完成测试工作。测试人员制定的测试计划可包括若干个指标测试项目。每个指标测试项目都有一个测试流程来完成特定的测试步骤,从而实现测试仪器选择、测试仪器参数设置、被测设备参数设置及测试结果获取。自动测试流程如图 6 所示。

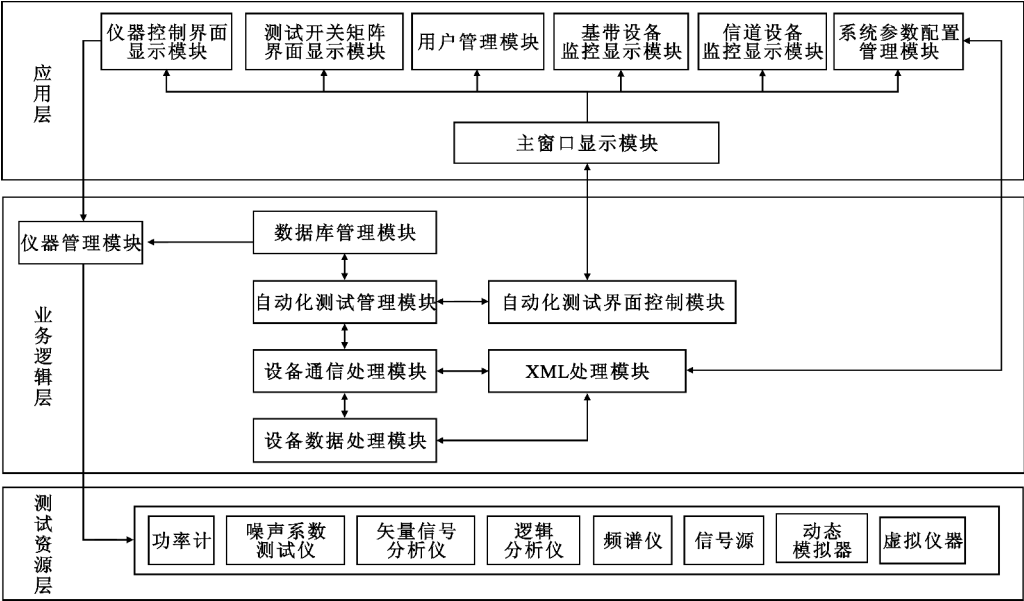


图 5 软件结构图
Fig. 5 Software architecture

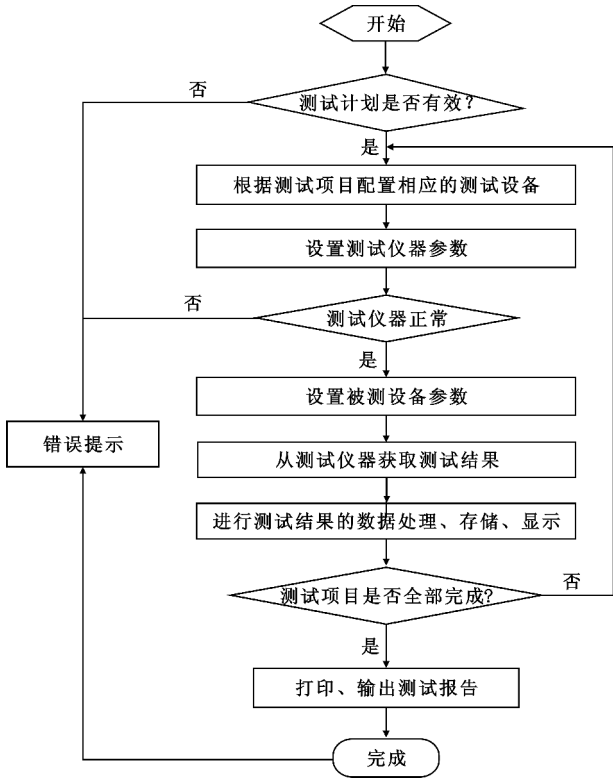


图 6 自动测试流程
Fig. 6 Workflow of automatic test

在自动测试流程的执行中,应用软件应对各步骤的执行情况进行跟踪检查,及时处理测试异常。此外,应用软件应提供功能让测试人员能随时暂停测试流程,人工修改被测设备参数、测试仪器参数及测试参数、取消测试流程、定制新的测试流程。

3.4 测试计划管理设计

测试计划管理设计是实现综合测试系统自动化功能的重点。采用关系数据库管理系统进行测试计划管理,信息检索和查询。测试计划入库数据包括测试模式、测试项目、测试模拟参数、测试时间、测试结果等。测试人员在操作界面制定测试计划,确定计划参数,由应用软件进行计划冲突检查,仅将合法的计划保存入数据库并自动按照计划时间进行排序。在执行中,首先需根据测试计划生成相应的测试流程,然后采用流程中的各项信息驱动测试按步骤执行。测试人员可以查询数据库内计划执行情况,取消计划或插入新计划。测试计划管理定时处理流程如图 7 所示。

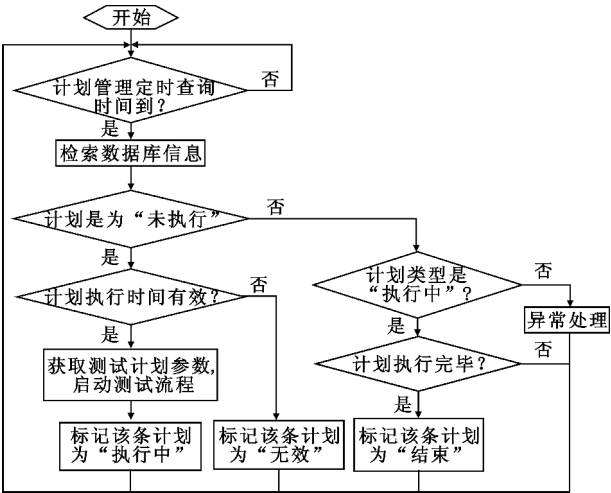


图 7 测试计划管理定时处理流程
Fig. 7 Workflow of test plan management

4 结束语

测试技术是设备研制、生产定型和使用过程的重要支撑技术。积极开展航天测控信道设备和基带设备综合测试系统的研究可以在航天测控产品研制期间同步开展设备的测试活动,从而准确掌握和考核设备的各项性能指标。综合测试系统能快速发现设备的设计缺陷,帮助设计师有针对性地进行设计改造,提高设备的战术技术性能。同时,综合测试系统还能对设备的故障诊断设计提供早期设计研究环境,帮助设计师确定产品状态和认识各种潜在的故障模式,优选出测试点,最终确定出合理的诊断策略。本文研究将对航天测控信道产品和基带设备的研制工作产生积极影响。

参考文献:

- [1] 刘嘉兴. 飞行器测控与信息传输技术[M]. 北京: 国防工业出版社,2011.
LIU Jia-xing. Spacecraft TT&C Communication Engineering[M]. Beijing: Nantional Defense Industry Press,2011. (in Chinese)
- [2] 康昊,裴林. 数字化综合基带软件测试用例的复用及管理系统研究[J]. 遥测遥控,2010,31(6):47-51.
KANG Hao, PEI Lin. Research on Software Test Case Re-use of Digital Integrated Baseband System and Its Management System[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument,2010,31(6):47-51. (in Chinese)
- [3] 陈亮,曹兴冈. 基于 PXI 总线的电子装备测试系统设计[J]. 科学技术与工程,2011,33(11):8243-8246.
CHEN Liang, CAO Xing-gang. Design of Automatic Test System for Electronic Equipment Based on PXI Bus[J]. Science Technology and Engineering,2011,33(11):8243-8246. (in Chinese)
- [4] 李行善,左毅,孙杰. 自动测试系统集成技术[M]. 北京:水利电力出版社,2004.
LI Xing-shan, ZUO Yi, SUN Jie. Integrated Technology of Automatic Test System [M]. Beijing: Electric Power Press,2004. (in Chinese)

- [5] 李宝安,李行善. 自动测试系统(ATS)软件的发展和关键技术[J]. 测控技术,2003,22(1):1-4.
LI Bao-an, LI Xing-shan. Development and Key Technology of Automatic Test System in Software[J]. Measurement & Control Technology, 2003, 22 (1): 1 - 4. (in Chinese)
- [6] 付伟,范舒雯,崔强. 一种基于 PXI 总线的自动测试系统研制[J]. 航空计算技术,2012 42(3):119-122.
FU Wei, FAN Shu-wen, CUI Qiang. Design of Integrative Automatic Test System Based on PXI Bus[J]. Aeronautical Computing Technique,2012,42(3):119-122. (in Chinese)
- [7] 姜守大,吴昌盛,孙震. LabWindows/CVI 多线程机制在数据采集中的应用[J]. 自动化技术和应用,2004,23(8):56-63.
JIANG Shou-da, WU Chang-sheng, SUN Zhen. Application of Multi-Thread in Data Acquisition based on Lab Windows/CVI[J]. Techniques of Automation and Applications,2004,23(8):56-63. (in Chinese)
- [8] 杨乐平. 虚拟仪器技术概论[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
YANG Le-ping. Virtual instrumentation Technology Con-spectus[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2003. (in Chinese)
- [9] 吴腾. 基于 PXI 总线技术的虚拟仪器在信息化设备检测系统中的设计研究[J]. 广东通信技术,2008(11):64-68.
WU Teng. Design of virtual Instrumentation for Information Devices Detection System Based on PXI Bus[J]. Guangdong Communication Technology, 2008 (11): 64 - 68. (in Chinese)

作者简介:



吴慧伦(1971—),女,江苏南京人,高级工程师,主要研究方向为航天测控通信系统可靠性。

WU Hui-lun was born in Nanjing, Jiangsu Province, in 1971. She is now a senior engineer. Her research concerns reliability of space TT&C communication system.

Email:wuhuilun@foxmail.com