

# 一种遥测系统自动化测试平台的设计

尹禄高, 陈志红, 陈策, 黄皓

(北京宇航系统工程研究所, 北京 100076)

**摘要:** 为了满足运载火箭遥测系统集成验证的测试需求, 同时提升测试设备的通用性, 降低测试设备的研制成本, 采用面向信号的设计思想, 设计了一种简洁高效的遥测系统自动化测试平台; 该测试平台基于 PXI 总线开发, 通过采取多路复用开关与输入输出模块相结合的设计思路, 可实现多参数的巡检测试及同时测试, 使测试平台具有较好的通用性和灵活性, 在硬件设备不做更改的前提下适用于多型运载火箭的测试需求, 同时研制成本大幅降低; 通过接收解析箭上遥测数据, 测试过程无需人工干预, 实现了自动化测试与自动化判读; 通过试验验证, 该测试平台工作稳定, 能较好地满足多型运载火箭遥测系统集成验证测试需求, 同时该平台的设计方法为同类测试系统的设计提供了一种思路。

**关键词:** 遥测系统; 自动测试; 自动判读; 通用

## Design of Automatic Test Platform for Telemetry System

Yin Lugao, Chen Zhihong, Chen Ce, Huang Hao

(Beijing Institute of Astronautical Systems Engineering, Beijing 100076, China)

**Abstract:** In order to meet the testing requirement of launch vehicle telemetry system, while increasing the flexibility of the test equipment, reducing the development costs, a simple and efficient automatic test platform of the telemetry system based on signal is designed. The test platform is developed based on PXI bus, by the combination of multiplexing switches and I/O module, the platform can be used to realize inspection testing and concurrent testing for multiple parameters, which makes the platform have good versatility and flexibility, it can be applicable to multiple launch vehicle without changing the hardware, while significantly reducing the development costs. By receiving and resolving the telemetry data of launch vehicle, it truly forms a automatic system to test and verdict automatically, without human intervention during the testing process. Through experimental verification, the test platform is stable and can satisfy multiple launch vehicle telemetry system integration testing needs, It also provides a new designing thoughts of this kind of test equipment.

**Keywords:** telemetry system, automatic test; automatic interpretation; flexible

## 0 引言

遥测系统是各遥测弹和运载火箭的重要组成部分, 是获取可信、全面的飞行信息的主要途径, 为弹箭系统的性能评定、故障分析以及设计和生产工艺改进提供可靠的实验依据<sup>[1]</sup>。遥测系统测试信号繁多、系统组成复杂, 传统遥测系统的测试主要是依靠手动测试或半自动化测试, 测试效率低下, 测试结果容易受测试人员操作影响。如何对遥测系统进行高效、准确的测试和故障定位, 是测试技术的一个重大课题。

通过对运载火箭遥测系统测试需求进行分析, 发现遥测系统虽然需要测试的参数多达数百路, 但其中绝大多数参数可通过巡检测试完成, 仅少部分参数需要同时测试。基于这个测试需求的特点, 本文利用测量与控制模块和多路复用开关模块配合, 设计了一种简洁高效的自动化测试平台, 既满足了测试需求, 同时降低了成本, 提高了测试平台的灵活性。

## 1 硬件设计

### 1.1 硬件架构

传统的遥测系统测试平台设计时通常采取的面向仪器的设计思路, 即针对具体的测试对象, 点对点的设计测试系统, 测

试系统灵活性差, 而且在测试系统设计时常常仅考虑系统本身输入输出的自动化, 没有与被测的遥测系统形成闭环, 测试过程是半自动化的开环测试。本文采用面向信号的设计思想, 针对测试需求, 设计了基于多路复用开关的测试平台, 具有较好扩展性。同时测试平台在设计时通过接收解析遥测系统箭上数据, 形成了真正的闭环测试。测试平台基于 PXI 总线设计, 系统硬件架构如图 1 所示。

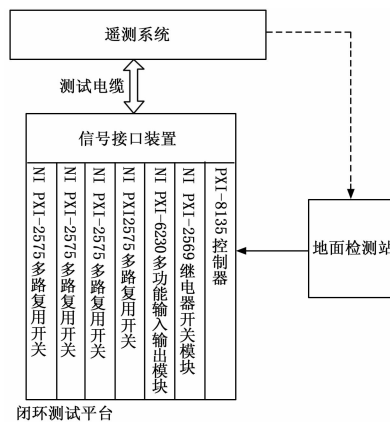


图 1 系统硬件架构

### 1.2 工作原理

测试平台的工作原理如图 2 所示。遥测系统的测点通过测

收稿日期: 2015-09-22; 修回日期: 2015-10-26。

作者简介: 尹禄高(1985-), 男, 湖南人, 硕士, 工程师, 主要从事计算机测量与控制方向的研究。

试电缆与信号接口装置连接，在信号接口装置中经过电连接器的转换连接至多路复用开关，对于绝大多数巡检测试的信号，在计算机的控制下，多路复用开关将测试端口的接点按照测试要求连接到多功能输入输出模块或继电器开关模块的两极，对于部分信号不经过多路复用开关，测点直接经过信号接口装置到多功能输入输出模块或继电器开关模块。由计算机控制多功能输入输出模块或继电器开关模块完成测量与输出控制，同时计算机实时接收来自地面检测站传输过来的箭上实际输入输出值，将箭上数据与测试数据进行自动判读，可验证遥测系统功能的正确性。

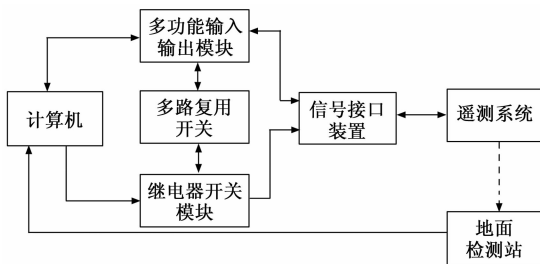


图 2 系统工作原理

### 1.3 硬件模块

#### 1.3.1 多路复用开关模块

多路复用开关模块用以实现遥测系统测试时通道的路由。该模块十分适用于在单个仪器上增加通道数，其板载内存用于确定性扫描，带有的附件使多模块扩展得以简化。使用多路复用器将多功能输入输出模块连接至箭上的多个测试点，不仅能节省仪器购买成本，同时保持最大的系统灵活性。

遥测系统自动化测试平台中多路复用开关选用 NI 公司的 PXI-2575，具备 196×1 1 线，98×1 2 线能力<sup>[2]</sup>。为提高整个平台的测试能力，可选用多个多路复用器扩展使用。依据目前的测试规模，初步可选用 4 块。多路复用开关的最大切换速度可达 140 周/秒，最大切换传送电流为 1A。

#### 1.3.2 多功能输入输出模块

多功能输入输出模块可提供遥测系统测试需要的多种激励信号和采集通道，具有高度的集成性。遥测系统自动化测试平台中多功能输入输出模块选用 NI 公司的 PXI-6230，该模块是一款带隔离的多功能数据采集与控制板卡。它结合了高效安全的隔离和性能优越的定时、放大和校准技术，提供精准的测量与控制。

PXI-6230 具备 8 路模拟量输入，4 路模拟量输出，6 路数字输入，4 路数字输出以及 2 个计数器。多功能输入输出模块与多路复用器开关模块配合可完成参数巡检功能的测试和激励信号输出，也可独立完成多路相关参数的同时测试与控制。

#### 1.3.3 继电器开关模块

继电器开关模块主要用于与遥测系统箭上配合完成相关的指令和时序测试。遥测系统自动化测试平台中继器开关模块选用 NI 公司的 PXI-2569，该模块是一块配有单刀单掷电枢继电器的 100 通道开关模块，具有较大的继电器密度，单个 PXI 槽配有 100 个锁存继电器。PXI-2569 可切换 100VDC/100AC 的电压或 1A 的电流，通过软件编程可实现确定性扫描。

继电器开关模块与多路复用器开关模块配合可完成指令的巡检测试，也可独立完成多路相关性指令的测试与时序控制。

## 2 软件设计

### 2.1 软件架构

遥测系统自动化测试平台软件采用的开发环境为 LabVIEW，在 Windows 操作系统上完成开发。LabVIEW 作为一个专门为测试测量设计的编程语言，使用了工程师们最为熟悉的图形化的编程方式。目前绝大多数的 PXI 硬件模块都提供了 LabVIEW 开发环境下的接口函数，使用起来简单方便<sup>[3]</sup>。

测试平台已从单一功能的专用测试系统向多功能通用测试系统发展，并且已经初步实现硬件的通用性，但软件的通用性实现还面临较多挑战<sup>[4-5]</sup>。遥测系统自动化测试平台软件因为面向的测试对象不单一，一要具有通用性，能够满足当前不同型号的测试需求，二要易于扩展，能够满足型号后续的发展。软件在设计过程中采用组件技术，按照模块化、通用化的设计思想，软件架构如图 3 所示。

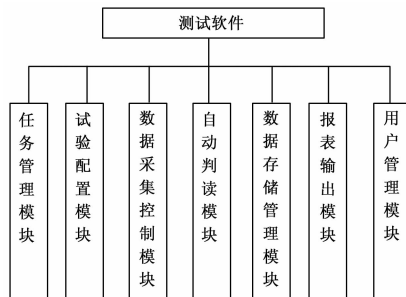


图 3 软件架构

### 2.2 软件模块

#### 2.2.1 任务管理模块

任务管理模块是整个软件的控制中枢，通过调用其他模块完成测试信息的配置与选择，测试流程的执行，数据的采集与控制、测试结果的自动判读，数据的存储与管理等。控制整个软件按照预定的测试步骤完成相关的测试与判读。

#### 2.2.2 试验配置模块

试验配置数据模型由系统硬件连接关系的数据模型和试验流程管理数据模型组成。其中硬件连接关系模型又包括测试对象模型 (UTO)、信号转换模型 (CTOC)、数据通道模型 (CTOS)，试验流程管理数据模型包括测试流程模型 (TEST-NAME) 和测试流程列表模型 (TESTLIST)。各模型之间相互联系如图 4 所示，通过模型间关系的索引可得出试验的全面信息，其中单个硬件配置数据表信息的更改也可通过索引关系反映到测试流程信息中。

试验配置数据模型通过关系数据库实现，针对不同型号运载火箭遥测系统的测试需求，仅需配置不同的试验配置数据，而不需要重新开发测试软件。

#### 2.2.3 自动判读模块

测试平台在架构设计时通过解析地面检测站的数据实现了测试的闭环。要想真正实现判读的自动化还应完成判据的设计。判据的设计应包含遥测系统测试的各类判读模式，判据格式应便于计算机的解析与实现，各类判据的描述应统一。由此设计判读规则  $f(x, y, z)$  如下所示。

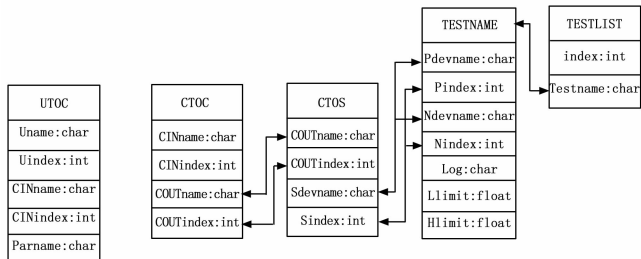


图 4 试验配置数据模型

- if  $x = 0, y \leq f(x, y, z) \leq z$ ;
- if  $x = 1, f(x, y, z) \geq y$ ;
- if  $x = 2, f(x, y, z) \leq y$ ;
- if  $x = 3, f(x, y, z) = y$ .

参数  $x$  为判据逻辑关系映射, 其中  $x = 0$  时, 参数  $y, z$  都有效, 且  $y \leq z$ ; 在  $x = 1, 2, 3$  时, 仅参数  $y$  有效。

### 3 试验结果与分析

#### 3.1 功能性验证

根据上述软、硬件设计方法, 基于 PXI 总线设计了一种遥测系统自动化测试平台。该平台可以完成多达数百路参数的巡检测试与激励输出, 也可完成多路相关参数的同时测试, 完全满足系统的测试需求。测试平台可根据不同的测试项目需求编制不同的测试流程, 图 5 所示为某巡检测试项目中系统的运行界面。在该测试项目中, 测试流程按照事先编制好的流程进行通道的控制切换和数据解析, 测试结果依据参考值的不同表达方式自动识别与判读, 整个测试过程系统自主完成, 无须人工干预。

#### 3.2 通用性验证

与以往遥测系统测试设备采用面向仪器的设计方法不同, 该平台在设计时采用面向信号的设计方法。在面对不同的测试需求时, 只需要添加试验配置模块中的测试对象模型 (UTOC) 数据库和测试流程模型 (TESTNAME) 数据库, 不同测试流程与测试对象的映射通过添加测试流程列表模型 (TESTLIST) 数据库完成。

目前该测试平台在软硬件未做任何更改的前提下, 仅通过

(上接第 32 页)

#### 参考文献:

[1] Montgomery P Y, Humphreys T E, Ledvina B M. Receiver—autonomous spoofing detection: experimental results of a multi—antenna receiver defense against a portable civil GPS spoofer [A]. ION 2009 International Technical Meeting [C]. Anaheim, CA, 2009.

[2] Humphreys T E. Detection strategy for cryptographic GNSS anti—spoofing [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2013, 49 (2): 1073—1090.

[3] Nielsen J, Broumandan A, Lachapelle G. GNSS spoofing detection for single antenna handheld receivers [J]. Journal of the Institute of Navigation, 2011, 58 (4): 335—344.

[4] Jafarnia—Jahromi A, Lin T, Broumandan A, et al. Detection and mitigation of spoofing attacks on a vector based tracking GPS receiver [A]. Proceedings of the International Technical Meeting of The Institute of Navigation [C]. New—port Beach, CA, United States. 2012: 790—800.



图 5 运行界面

配置不同的数据库文件和测试电缆, 已在多型运载火箭遥测系统集成验证中进行了应用。

### 4 结论

本文针对运载火箭遥测系统的测试需求, 设计了一种遥测系统自动化测试平台。该平台不仅可以完成多参数的巡检测试和相关参数的同时测试, 而且整个测试过程完全实现了自动化测试与判读, 无须人工干预。目前已在多个型号取得了较好的应用效果。

#### 参考文献:

[1] 方心虎, 等. 液体弹道导弹与运载火箭总体设计 [M]. 北京: 宇航出版社, 1991.

[2] National Instrument Corporation, LabVIEW Measurement Manual [Z]. 2012.

[3] 陈锡辉, 张银鸿. LabVIEW 8.20 程序设计从入门到精通 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.

[4] 黄晓晴, 王纬国, 梁岳, 等. 自动测试系统软件技术通用型研究综述 [J]. 测控技术, 2012, 20 (2): 1—4.

[5] 吕晓峰, 马羚, 冯小南. ATS 软件平台的通用性研究与设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (2): 538—540.

[5] Wesson K, Shepard D, Humphreys T E. Straight talk on anti—spoofing: securing the future of PNT [J]. GPS World, 2012, 23 (1): 32—39.

[6] Humphreys T E, Ledvina B M, Psiaki M L, et al. Assessing the spoofing threat: development of a portable GPS civilian spoofer [A]. ION GNSS 2008. Savannah [C]. GA, USA, 2008: 1198—1209.

[7] 胡彦逢, 卫星导航欺骗式研究 [D]. 海军工程大学, 2014.

[8] 胡彦逢, 边少锋, 曹劲劲, 等. GNSS 接收机欺骗干扰功率控制策略 [J]. 中国惯性技术学报, 2015, 23 (2): 207—209.

[9] 黄龙, 吕志成, 王飞雪. 针对卫星导航接收机的欺骗干扰研究 [J]. 宇航学报, 2012 (07): 884—890.

[10] 黄龙, 龚航, 朱祥维, 等. 针对 GNSS 授时接收机的转发式欺骗干扰技术研究 [J]. 国防科技大学学报, 2013, 35 (4): 93—96.

[11] 黄龙, 唐小妹, 王飞雪. 卫星导航接收机抗欺骗干扰方法研究 [J]. 武汉大学学报信息科学版, 2011, 36 (11): 1344—1347.

[12] 王茂锋, 王少华. GNSS 抗欺骗干扰技术解析 [J]. 通信设计与应用, 2015 (07): 56—57.