

基于 SCPI 的运载火箭遥测系统自动测试平台设计

张元明, 姚迪, 颜晓明

(上海宇航系统工程研究所, 上海 201109)

摘要: 针对目前火箭遥测系统专属测试设备操作复杂、通用性差等特点, 提出一种基于 SCPI 指令的虚拟仪器智能测试方案, 利用 SCPI 指令完成程序对智能设备的输出控制, 结合 TCP/IP 通信技术、数据库访问技术以及在 LabVIEW 程序中完成 Excel 动态存储技术等, 实现了火箭遥测系统电性能自动测试、闭环测试、在线监测等功能, 测试结果表明, 测试平台极大地提高了系统测试效率, 测试数据可靠性好, 可满足运载火箭遥测系统电性能测试工作, 具有较好的推广价值。

关键词: SCPI; 自动测试; LabVIEW; 遥测系统

Design of Automatic Test Platform in Carrier Rocket Telemetry System Based on SCPI

Zhang Yuanming, Yao Di, Yan Xiaoming

(Shanghai Institute of Aerospace System Engineering, Shanghai 201109, China)

Abstract: In view of the equipments which Telemetry System used were excluded and complicated, an Automatic Test Platform based on SCPI was designed for the electrical performance test in Telemetry System, which make the best use of the intelligent instruments' analysis capabilities on SCPI commander to realize the control of the outputs, combining with the TCP/IP, Database and Excel storage technology in LabVIEW, the Telemetry System test platform has realized automatic testing, closed loop testing and on-line monitoring. The application shows that this test method can greatly improve the efficiency of the system test, the test results are reliable to meet the system's requirements. It is worthy using widely.

Keywords: SCPI; automatic test; LabVIEW; telemetry system

0 引言

随着我国运载火箭进入密集发射时期, 亟需一种快速、可靠的测试手段满足火箭当前大量电气测试工作的需求。运载火箭遥测系统负责整个运载火箭各系统输出信号的测量工作, 由于外系统测量信号输出设备及信号输出方式不同, 所以遥测系统要具备多种类型信号测量的能力, 使用专用测试设备的方法迫使测试人员频繁的更换测试设备、重复调节信号输出, 已严重影响系统测试进度^[1]。因此希望通过基于 SCPI 的自动测试平台的开发解决这一问题, 自动化测试平台以 Agilent 智能设备为基础, 通过 SCPI 语言控制 D/A 输出、数字函数发生器以及开关矩阵等设备模拟外系统信号输出, 经遥测系统箭上设备采集后由测量车将数据通过网络传回自动测试平台, 实现测试闭环。

1 平台总体设计

系统总体设计思路是在现有测试设备(信号发生装置、示波器、矩阵开关、程控 D/A 等)基础上, 配合虚拟仪器技术实现遥测系统箭上信号自动测试^[2], 系统基本功能包括以下五个方面:

- 1) 程序模拟外系统待测量信号输出;
- 2) 实现系统自动切换测量回路;
- 3) 与外系统间阻抗匹配;
- 4) 测试信号(源信号)采集与存储;

5) 测试信号自动判读。

系统主要技术指标要求模拟外系统信号输出精度小于±0.5%, 采集信号可用于事后回放, 针对上述系统主要功能及技术指标, 设计系统实现如图 1 所示。

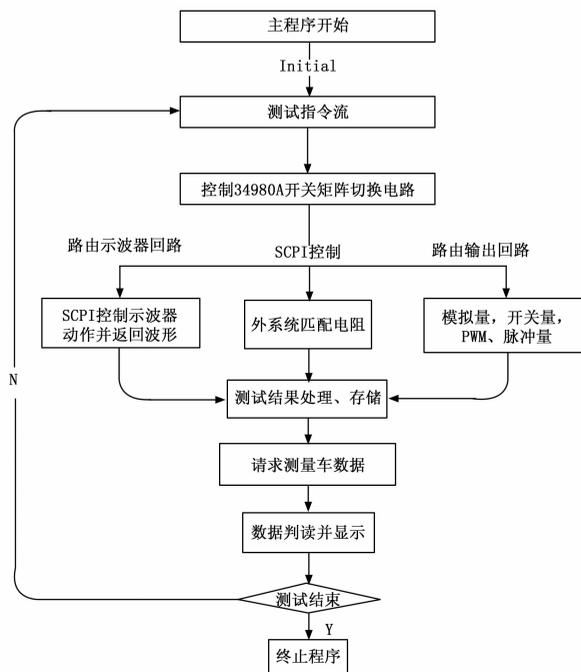


图 1 系统实现框图

收稿日期: 2016-10-24; 修回日期: 2016-11-24。

作者简介: 张元明(1986-), 男, 系统工程师, 主要从事运载火箭测量系统设计方向的研究。

2 测试平台组成及工作原理

自动测试平台测试方案如图 2 所示,为统一底层通讯模式,测试平台底层通讯均采用 TCP/IP 协议方式,各参试设备事先设置好 IP 地址,测试平台软件通过 LAN 总线方式将 SCPI 指令送出,函数发生器、程控 D/A 输出等执行设备收到 SCPI 指令后输出信号,开关矩阵组合在 SCPI 指令控制下将信号路由至目标接入点,信号输出后经过信号转接盒完成阻抗匹配及目标隔离,最终到达待测遥测设备信号接点,遥测系统箭上采集发射组合设备将信号以无线信号的形式发送至自由空间,待遥测测量车接收并解调无线信号后将遥测系统测试结果经 LAN 总线回传至自动平台测试程序,完成对信号的闭环测试。

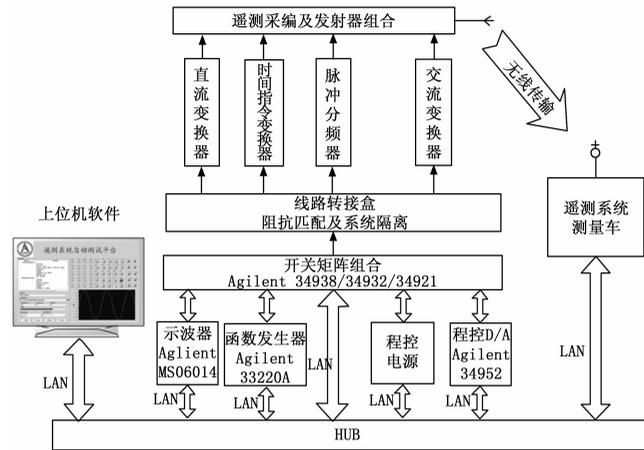


图 2 测试平台结构

3 测试实例

上位机软件采用 LabVIEW 开发,平台软件主要模块包括:(1)数据库访问:使用 ACCESS 数据库,在 LabVIEW 导入 LabSQL 组件,通过调用 ADO Connection Creat. vi、ADO Connection Open. vi、ADO SQL Execute. vi 完成数据库对象创建、连接打开、以及数据库具体的操作(如查询、插入、删除等)^[3],程序将全部 SCPI 指令存放在 ACCESS 数据库中,根据测试流程安排,从数据库中依次取出 SCPI 指令,实现各测试设备同步可控执行。(2)SCPI 指令通信:SCPI 指令发送是通过调用 VISA 函数库函数完成的,VISA 函数库是仪器编程标准 I/O 函数及其相关规范的总称,适用于多种通信机制,通过 VISA READ、VISA WRITE 可以完成 SCPI 指令发送^[4-5]。(3)TCP/IP 通信:在 LabVIEW 应用软件中直接调用 TCP 模块完成流程编写^[6],测试平台向遥测测量车发送请求,测量车根据请求将数据通过网络回传给测试平台。

以遥测系统中脉冲分频器测试为例进行说明:

如图 3 所示,LabVIEW 主程序产生测试任务后从数据库中取出相应 SCPI 指令,指令经以太网送至信号输出设备执行,经短延时后程序发出 SCPI 开关动作指令,信号经转接盒送至待测设备输入端,主要 SCPI 指令^[7]执行过程如下:

ROUT:OPEN ;ALL 1 //测试前断开安装在 Slot 1 上设备的全部开关,防止误导通。

ROUT:CLOS(@1001,1002) //闭合开关 s1001、1002 将示波器,波形发生器接入测试通路

ROUT:CLOS(@1003) //闭合开关 s1003,接通遥测分频变换器信

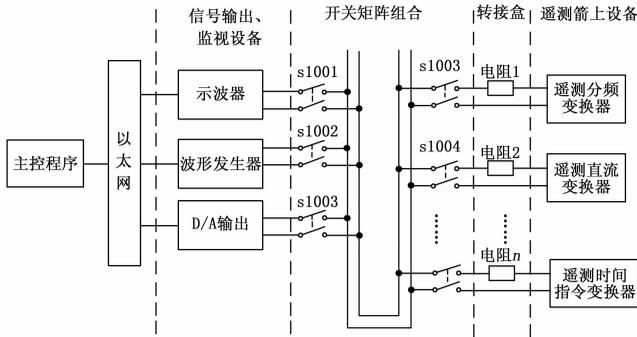


图 3 脉冲分频器测试原理图

号接入点

:APPL:SIN xxx.000000E+0 HZ,x.x00000E+0 VPP,0.000000E+0 V

//波形发生器输出 xxx HZ,峰峰值为 xxx mv 的正弦信号,程序中此处有软件延时 10ms,待设备输出稳定。

:SING::TRIGger:SWEep NORM;:CHAN2:DISP ON;

:CHAN2 OFFSet 0;:TIM:POS 0;:CHAN2:SCAL xxx;

:TIM:SCAL xxx;:TRIG:LEV xxx

//打开示波器 2 通道,并设置 Y 轴,时间轴分度值及输出电压等属性,程序中此处有软件延时 10 ms,待示波器抓取波形。

:WAVEform:SOURce CHAN2;

:WAVEform;:FORM ASC;

:WAVEform:POINts 2000;

:WAVEform:DATA?

//设置波形数据源通道、数据格式、有效点数,并取回波形数据

4 测试结果

自动测试平台主界面如图 4 所示,左侧为测试流程信息,主要显示当前各智能设备在 SCPI 指令控制下的动作情况,右侧将各测试信号与 Bool 开关表示,当测试过程中测试结果超出误差范围时开关变为红色,警示用户测试过程出错,测试正常情况下 Bool 开关为绿色,右下方为示波器回传波形数据经 LabVIEW 软件二次制图结果。

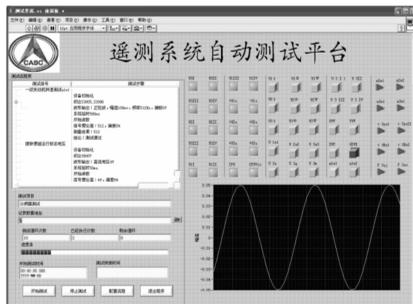


图 4 自动测试平台测试界面

信号测试结果及监视波形获取后,在 LabVIEW 主程序中使用 ActiveX 技术访问 Excel 的属性(properties)和方法(methods),即对 Excel 的层次对象包括应用程序(Application)、工作簿(Workbooks)、工作表(Worksheets)、单元格(Cell)等进行操作^[8],完成测试数据写入.Excel 文件中写入的数据包括输出理论值、遥测测量车回传值,示波器监测波形数据及测试结果等,图 5 为利用 excel 将波形数据作图后效果:

(下转第 10 页)

对以上结果计算标准差, 有 $\sigma_{\varphi} = 0.003295$, 则得到各通道间时延标准差为:

$$\sigma_{\Delta} = \frac{\sigma_{\varphi}}{f_{IF}} = \frac{0.003295}{4.2996 \times 10^7 \text{ Hz}} = 0.08\text{ns} \quad (2)$$

其中: $f_{IF} = 42.966 \text{ MHz}$, 为模拟信号中频频率。

3.4 静态定位精度

设置: 用户的位置是静止的, 经纬高坐标为 (40°, 116°, 1 000)。不考虑多普勒效应的影响, GPS L1 C/A 信号的中频频率为 4.123 MHz, 采样率为 24 MHz。仿真开始时间为 2013 年 3 月 20 日, 12: 43: 00。

由软件接收机定位模块输出 x, y, z 三个坐标分量的解算结果, 如图 14 所示。

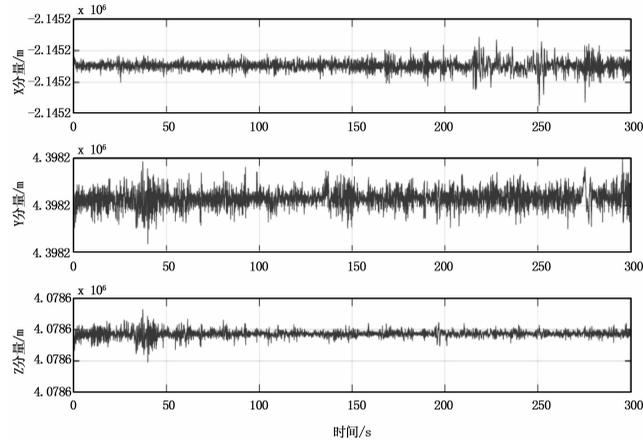


图 14 GPS L1 C/A 静态定位各坐标分量测试结果

对各坐标分量进行分析, 对比定位结果与设置位置的偏差与标准差, 结果见表 7。

表 7 GPS L1 C/A 静态定位分析结果

坐标分量	设定位置/m	解算位置/m	偏差/m	标准差/m
X	-2145157.6533	-2145157.3974	0.2559	0.8057
Y	4398224.9774	4398225.7605	0.7831	0.8517
Z	4078628.3598	4078628.6384	0.2786	1.1083

4 结束语

本文分析了卫星导航信号模拟器的关键性能指标的原理及特点, 提出基于软件接收机的性能指标测试方法。接收机各模块对模拟信号进行结算并输出数据, 然后根据各性能指标的测试要求对数据进行处理分析, 得到测试评估结果。目前仅对动态性能、相位噪声、通道间时延一致性以及静态定位精度等关键指标作了测试, 测试结果满足理论预期和指标范围及精度要求, 后期将基于软件接收机对模拟器的其它性能指标项作测试。

参考文献:

- [1] 冯富元. GPS 信号模拟源及测试技术研究和实现 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2009.
- [2] 寇艳红, 张海涛. 基于 PXIe 总线的多 GNSS 射频信号模拟器验证测试 [A]. 第二届中国卫星导航学术年会电子文集 [C]. 2011.
- [3] 汤震武. 卫星导航信号模拟源关键指标测量校准及溯源方法研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [4] 谢 钢. GPS 原理与接收机设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [5] 孙友礼, 陈紫强, 纪元法, 等. 基于三阶 DDS 的高动态卫星信号多普勒模拟方法 [J]. 桂林电子科技大学学报, 2013, 33 (6): 443 - 446.
- [6] 董喜艳. 导航系统中相位噪声模型建立与分析 [D]. 成都: 电子科技大学, 2012.
- [7] 李 鹏, 米 红, 郑晋军, 等. 导航信号相位噪声指标分析 [A]. 第二届中国卫星导航学术年会电子文集 [C]. 2011.

放。测试平台在运载火箭遥测系统电性能测试上的应用, 提高了系统的智能化测试水平和数据完整性, 遥测系统单台测试用时由原始的 2 h 缩短至十几分钟, 具有一定的实用参考价值。

参考文献:

- [1] 高 宇, 朱秋明, 罗艳强. 遥测设备自动测试系统的设计与实现 [J]. 数据采集与处理, 2010, 9, 25 (5): 672 - 676.
- [2] 陈佳滨. 基于可编程仪器的卫星天线测试系统的设计与研究 [J]. 南京邮电大学学报, 2012, 8, 32 (4): 38 - 39.
- [3] 唐 波, 潘红兵, 赵以顺, 等. 在 LabVIEW 环境下基于 ADO 技术和 SQL 语言的数据库系统实现 [J]. 仪器仪表学报, 2007, 28 (4): 227 - 229.
- [4] 蒋 薇, 张晓波, 赖青贵. 基于 LabVIEW 的仪器通信技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (4): 1030 - 1032.
- [5] 雷震山, 魏 丽, 赵晨光. LabVIEW 高级编程与虚拟仪器工程应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
- [6] 卞 娜, 侯维岩. 基于 LabVIEW 的无线传感器网络监控软件 [J]. 测控技术, 2012, 31 (2): 31 - 34.
- [7] Agilent Technologies. Agilent technologies VISA user' s Guide [Z]. 2001.
- [8] 陈金兰, 张家精, 陈 松. 基于 ActiveX 控件的 LabVIEW 动态控制 Excel 多工作表数据显 [J]. 淮北师范大学学报 (自然科学版), 2013, 12, 34 (4): 72 - 76.

(上接第 2 页)

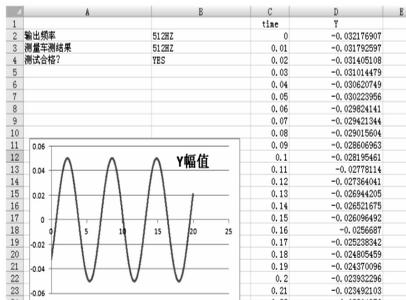


图 5 测试结果及数据

5 结束语

自动化测试平台充分利用了数据库可在线读写的特点, 将 SCPI 语句写入数据库, 实现测试过程全自动化, 省去了中间手动更换测试台及调节信号输出的时间, 并且测试平台可以通过接收测量车回传数据, 使测试过程从传统的开环测试变为闭环测试, 变人工判读为自动判读, 提升了遥测系统自动化测试水平。测试平台在测试数据存储方面采用 excel 文件存储数据, 并将测试平台输出波形进行在线监测并存储, 当测试发生问题时, 可以根据示波器监视结果快速定位问题来源, 实现故障过程回