

卫星导航用户终端性能测试控制系统设计

庄春华, 张益青, 程越, 杨青

(北京环球信息应用开发中心, 北京 100094)

摘要: 卫星导航用户终端是卫星导航系统服务载体, 它性能的好坏决定使用效能, 并体现着卫星导航大系统的能力; 在系统建设初期, 搭建了手动单台用户终端测试平台, 存在效率低、精度差等问题, 无法满足测试需求; 为此从多个角度进行需求分析, 确定了软件开发目标, 阐述了系统实现的关键技术, 可有效解决多用户自动化测试与评估, 提高系统控制精度和使用效率。

关键词: 卫星导航系统; 用户终端; 控制系统

Design on Performance Test Control System of Satellite Navigation User Terminal

Zhuang Chunhua, Zhang Yiqing, Cheng Yue, Yang Qing

(Beijing Application and Development Center of Round-the-world Information, Beijing 100094, China)

Abstract: Satellite navigation user terminal is service carrier of system, the property decides application performance and reflects system's ability. In the early, we set up the test platform of manual unit set, It had the problem of low efficiency and bad accuracy etc, it can't satisfy the requirement. So the paper proceeds the demand analysis, the software development goals is determined, and it expounds the key technology and resolve testing and evaluating of the many users, it can improve the control precision and use efficiency.

Keywords: satellite navigation system; user terminal; control system

0 引言

卫星导航用户终端是利用卫星导航系统为用户提供位置、时间和速度信息的一种仪器设备, 它性能的好坏决定使用效能, 并体现着卫星导航大系统的能力, 所以在产品研制开发、性能验证、产品维修等各个阶段都要进行性能测试与评估, 验证是否达到技术或使用要求, 将问题消灭在设备使用前。

GPS、Galileo 系统非常重视用户终端测试及相关技术的研究, 在系统信号论证阶段, 就研制出各类信号源, 配合用户终端的联调研究, 并进行信号体制验证。但国外卫星导航系统均为 RNSS 体制, 而我国卫星导航系统是 RDSS、RNSS 体制, 因此国外的通信导航终端测试系统和通用测试仪器都无法满足我国卫星导航用户终端测试需要, 需自主研发建设^[1-2]。

在我国卫星导航系统建设初期, 由于当时技术能力和经济条件限制, 系统投入一定的力量研制了出站模拟信号源, 购置了频谱仪、矢量信号网络分析仪等通用设备, 搭建了手动单台用户终端测试平台, 测试结果需人工计算获得, 初步解决了用户终端性能测试问题, 但存在效率低、精度差等问题^[3-4], 耗费大量的测试时间与人力资源, 无法满足大批量用户终端研制生产、入网检测、集中采购等任务需求。为此本文设计了卫星导航用户终端性能测试控制系统, 可实现对用户终端批量自动测试、测试结果自动评估, 实现多个信号或其它输入信号通过控制达到指定端口, 实现资源的灵活配置, 最大程度发挥测试

效能。控制系统不但可以实现测试数量增加, 还可以在比测时提供相同的测试环境, 实现测试条件更加公平^[5-6]。

1 测试系统结构与原理

测试系统包括: 无线测试平台、有线测试平台、环境适应性测试平台等。各平台间由控制与评估计算机控制信号的来源和走向, 测试数据通过串口上传控制与评估数据处理软件, 完成评估。

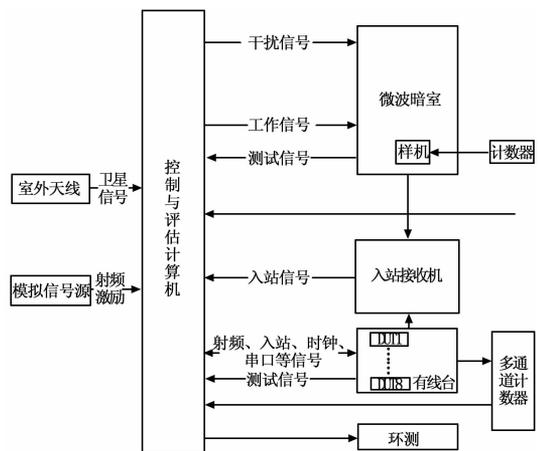


图1 测试系统结构与原理图

控制与评估计算机与外部信号连接关系如图1所示。对图中相关仪器设备间关系及功能简单说明如下。

(1) DUT: 被测用户设备, 多台(套)用户设备接收激励信号并反馈响应信号;

收稿日期: 2014-01-20; 修回日期: 2014-03-20。

作者简介: 庄春华(1979-), 女, 吉林人, 博士, 工程师, 主要从事卫星导航用户设备检测与应用方向的研究。

(2) 模拟信号源: 模拟源可输出仿真信号, 通过控制与评估计算机分配调整后馈入多台(套)被测用户设备;

(3) 环测试验室: 利用环测设备和本各射频信号考核被测设备的环境适应性。

2 测试控制系统设计背景

从系统定位、软件需求、系统构建等各个角度进行系统分析, 根据开发的条件合理确定软件的最终目标。

2.1 软件开发定位

考虑到本软件主要任务是模拟卫星导航信号、干扰信号和用户终端的动态特性, 对各类导航装备进行卫星不在轨、室内或临界条件下的功能及性能指标测试, 或指定条件下的重复测试, 要求实时性和准确性, 且测试资源高效利用, 测试结果评估快速准确, 测试过程实时记录, 因此要开发基于多台 PC 机的通过网络或串口通信相互交互的控制评估功能分开的卫星导航用户终端(用户终端)测试软件系统^[7-9]。

2.2 基于用户的系统功能分析

从用户的角度来分析, 本软件将面向多种用户: 测试值班人员、测试技术研究人员、用户终端厂家调试测试人员、用户设备测试原理教学及学习人员、其他测试系统使用人员等。

测试值班人员、测试技术研究人员需要对测试场景、测试流程、测试条件等进行编辑、调用, 并根据测试界面提供的实时数据对用户终端和测试系统状态进行不同角度的分析。因此本系统应提供测试数据编辑界面、参数动态显示窗口, 提供测试人机交互功能、提供模拟信号分配方式动态显示功能, 提供实时测试过程数据显示或图型化显示功能、提供系统状态动态显示窗口、提供动态轨迹实时显示功能, 提供卫星状态实时动态显示功能, 方便观察分析测试状态。

用户设备厂家调试测试人员需要查看分析测试过程的数据、图形、评估的测试结果, 因此要提供测试状态、测试结果、用户机等报错提示和故障分析功能, 提供模拟信号达到无线、有线等测试口面实时功率显示功能, 提供暗室转台方位角和俯仰角运动状态实时显示功能, 提供对暗室各转台稳压源控制状态显示功能, 提供测试通用仪器数据显示功能, 提供部分测试评估数据操作功能。

对于用户设备测试原理教学及学习人员需要掌握整个测试系统的框架、测试过程的操作、测试技术的学习、测试数据的处理, 因此要提供整个测试系统虚拟场景, 提供测试操作三维可视化显示, 提供测试操作人机交互功能, 实现在虚拟场景中测试全过程的模拟操作。

该软件可移植到其它测试体系下测试机构的测试系统中, 供操作人员使用, 所以软件开发需要具有标准化、模块化特点, 具有可移植性和扩展性, 要求操作简单, 提供二次开发接口。

2.3 基于人机交互的系统分析

本系统人机交互操作主要涉及测试数据的编辑、测试模板的导入、测试场景的生成、测试过程包括用户机状态、测试数据、测试流程、被控对象状态(模拟信号源、实时数据库、稳压源、通用测试仪器、转台控制器、有线平台等)、测试状态提醒等等的信息浏览等等, 控制系统要针对上述交互操作提供

相应的功能接口。

2.4 实时数据库系统方案论证

测试系统的控制界面与实时数据通信需要开发配套的实时数据库系统, 两者采用分布式控制方式, 双方通过网络或串口进行通信实现如运行过程中的实时数据显示、测试数据评估、测试过程记录等任务。

数据库是系统开发的重点之一, 即如何能完成批量测试数据快速准确的评估、测试数据和评估结果能有效保存、测试过程实时记录、有线无线测试台能同步分时评估等。

2.5 基于测试任务的系统硬件构成及功能分析

系统承担用户终端多种测试任务, 要求测试环境有无线、有线等, 具有在各种环境下单台、多台、批量用户终端分时或同步的测试能力, 因此整个系统要建有具有能够同时测试的无线暗室, 具有多路线并行测试的有线平台, 具有监测信号质量的参考接收机、入站接收机、多通道计数器等测试仪器, 具有通过控制界面编辑测试数据下传生成射频仿真信号、干扰信号的模拟信号源, 具有控制模块、评估模块、测试监控模块等分开的桌面式显示系统。

2.6 模拟信号源构成及功能分析

整个用户终端测试的过程是高度自动控制系统工作的过程, 作为控制系统要求控制精确、稳定、快速, 在设计控制系统时要尽量减少控制对象和控制的复杂度。模拟信号源是整个测试系统的核心, 主要任务是生成各种测试需要的射频信号。因此要提供根据控制系统下达的测试参数生成测试场景仿真数据功能, 提供相应的数据界面或图形界面用于查看、分析。提供可同时播发各种射频信号, 实现模拟信号源可单板控制的集散式设计, 通过信号源与测试控制系统通信接口, 进行信号生成播发的上传下达, 实现暗室、有线平台或环境实验室等不同信号的同时、分时播发和控制功能, 并将下发的不同信号进行界面实时显示。

通过控制系统基于 C/S 架构和虚拟仪器集成技术开发的管理调度软件模块, 实现对达到有线测试平台的灵活配置。

2.7 系统监控自校软件开发方式

监测与自校系统主要任务是监测仿真数据生成射频模拟信号的误差, 对超过指标要求的误差进行校正, 验证射频信号仿真的正确性, 同时为控制与评估系统提供参考信息。为简化控制系统设计, 提高系统工作效率和使用性能, 将监测与自校系统独立出来, 单独开发成系统, 与控制系统、模拟信号源间通过网络或串口进行通信, 对信号源的时延、功率、频率等主要参量和仿真数据进行监测与自校, 实时进行定位、测速、定时, 为控制和评估系统对用户机性能评估提供参考信息。

3 最终目标

本系统的目的在于开发广泛适用于各类型卫星导航用户设备测试系统的上层控制、评估软件, 在硬件设备搭建完成的基础上, 让用户通过非编程的方式快速建立用户设备测试系统, 即可实现模拟卫星导航信号、干扰信号和用户机的动态特性, 对各类导航装备进行卫星不在轨、室内或临界条件下的功能及性能指标测试, 或指定条件下的重复测试, 为用户提供一个实时交互界面, 可实现对所有硬件设备状态的监视和控制, 对所

关心数据与信息的显示，对测试结果的评估与故障分析显示，对系统的监测与自校等功能，提高测试系统的资源利用率、提高对硬件对象控制精度和稳定性、提高控制与评估软件的二次开发能力及可移植性、提高系统人机交互能力、提高测试系统的自动化控制水平等。

4 测试控制系统设计实现关键技术

4.1 用户终端批量测试技术

用户批量测试技术是为适应用户测试需求大，测试项目全、测试时间长等要求，提高测试效率的重要方法，其主要由信号多路分配和评估软件多线程处理技术实现，是实现批量测试的重要技术手段。批量测试能最大程度发挥系统效能，不但可以实现测试数量增加，还可以在比测时提供相同的测试环境，实现测试条件更加公平。信号多路分配不但包括输出信号达到被测用户口面一致，还可以实现多个信号或其它输入信号通过控制达到指定端口，实现测试系统资源的灵活配置。两者配合实现一个灵活控制多输入多输出系统，完成用户终端的批量测试。

批量测试的接口设计与数据量需求论证，根据系统设计方案，充分考虑用户终端上报数据量，设计了串口转网络的方法，即满足数据传输要求，也便于系统能力的进一步扩展。

考虑测试信号多频点、多档位、多端口的一致性要求，硬件设计使用的功分器、开关矩阵和控制盒采用同一生产批次，确保频响特性一致。设计功率控制盒时考虑弱信号的抗干扰性能，根据极弱信号易受外界影响的实际情况，采用屏蔽技术，消除外界干扰信号进入，确保输出的弱信号符合精度要求。

(1) 输出盒：

在弱信号环境下实现极小功率分辨率，在技术上非常困难，首先要进行良好的屏蔽，确保通道内的微小步进不受来自通道外部的干扰。

对射频通道，在技术方案及结构上采取以下措施：在精密程控衰减器外部用屏蔽层封装，所有控制信号线用吸波材料封装，缝隙全部用钢丝焊封；在电路结构上，将各通道的两级衰减器封装为输出盒；较高电平的射频电缆采用半刚性并在装配时固定，最低电平的射频电缆及适配器（接头）选用性能最优的产品；测试台内部采用独立接地。如图 2 所示。

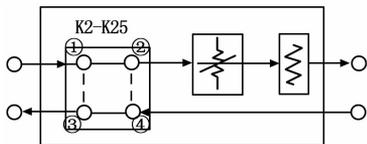


图 2 输出盒框图

(2) 开关矩阵：

控制电路单元要求每一路控制信号输出电压一致，输出电流不能超过最大限度。由于功耗较大，采用继电器控制方式实现。控制电路原理如图 3 所示。

图 3 中，K1 为来自 FPGA 的控制信号，Q1 为继电器 K1 的驱动三极管，D2 为续流保护二极管。通过对继电器 K1 的

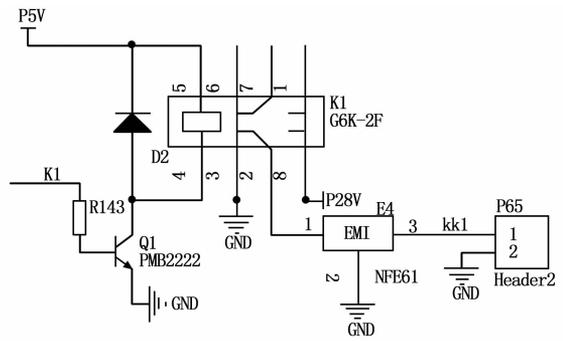


图 3 程控开关控制电路原理图

控制，使 P651 引脚上的电压在一定电压或地之间切换，以达到控制开关的目的。

4.2 自动测试技术

用户终端的测试具有状态参差不齐、试验数据复杂多样的特点，这样用户终端和其它设备的状态就有多种可能性。系统在自动流程化设计上对状态的判断和跳转的选择就变得复杂多样。在自动化流程实现上就要考虑到用户终端的各种可能状态和可能情况，对每一种可能都要做出正确的处理，否则系统在自动运行过程当中就有可能出现错误。试验控制软件可通过以下几点解决了以上问题：

1) 测试任务的自动化运行：

用户选择测试任务的自动化测试开始后，测试控制与评估分系统读取测试项目模板获取相应的测试项目信息。根据测试项目列表顺序进行每一个单项测试项目的自动化运行。单项测试项目在自动化运行过程中如果遇到异常，则提示相应的错误信息并退出当前测试项目进入下一个测试项目的自动化运行。每一个单项测试项目自动化运行结束后自动测试控制函数检查测试项目列表指针是否为列表尾，如果不为测试项目列表尾则读取下一个测试项目 ID 开始下一项目的单项测试项目的自动化运行，如果测试项目列表指针指向列表尾则表示所有测试项目测试已经完成，测试任务的自动化运行完成。自动测试流程控制函数自动调用分析评估接口进行所测项目的分析评估和报表生成工作。分析评估和报表生成完毕提示用户自动测试完成，等待用户的下一步操作。测试任务自动化运行流程如图 4 所示。

2) 脚本化测试项目模板：

脚本化的测试项目模板是实现软件自动化运行的关键之一。软件自动化测试就是自动执行试验脚本的步骤及内容的过程，在整个自动化测试的实现流程中，选择一种灵活可靠的试验脚本来进行自动化测试就成了其重要内容。因为一个好的测试脚本不仅可以提高软件研制速度，缩短研制周期。而且可以简化传统软件的工作步骤，节省软件开发人员过往重复、繁琐的软件修改和调试工作，有效帮助软件开发人员减轻部分工作负担。同时，实现加强了试验过程中的管理监控，使得整个测试过程更规范化、流程化和自动化。

测试项目模板使用脚本化的 xml 文件将测试项目的步骤和测试参数保存下来。它是软件实现自动化运行的基础。在计算机内每一个测试项目模板对应一个相应的 xml 文件。

3) 测试项目的自动化运行:

测试项目的自动化运行过程为: 测试控制与评估分系统软件读取相应的测试项目模板获取相应的测试步骤及测试参数。系统软件按照测试步骤完成各分系统和设备的控制, 实时显示各分系统及被测用户机的状态信息和测试数据。采集用户机的测试数据。对测试数据进行实时评估, 并将测试数据入库。对测试过程信息存储入日志文件。在测试过程中遇到异常情况, 记录异常信息, 并终止当前测试项目的测试。测试项目自动化运行流程图如图 5 所示。

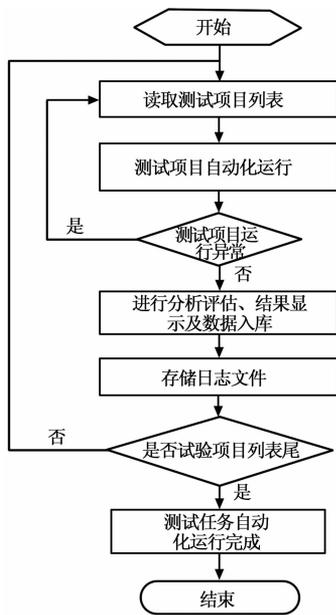


图 4 测试任务自动化运行流程图

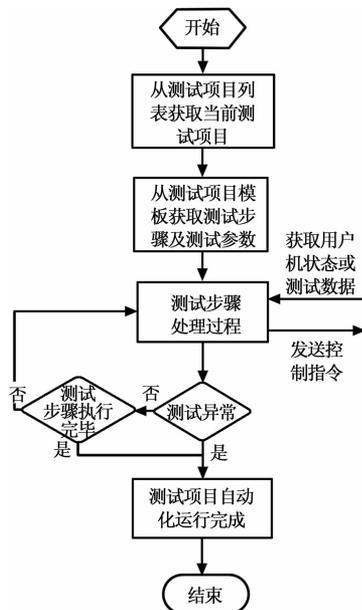


图 5 测试项目自动化运行流程图

针对试验控制系统的特点, 可根据事件驱动的扩展有限状态机模型来完成测试步骤的处理过程。测试流程中的每一个测试步骤都有相应的状态机存储当前用户终端的步骤控制逻辑。主要根据该步骤下用户终端各种可能出现的状态信息和测试数据设置该步骤下状态机的步骤控制逻辑, 每一步骤控制逻辑均不相同, 需要根据每一步骤的要求和特点进行设置。这些步骤控制逻辑主要包括: 顺序控制、条件控制、循环控制、执行判断、定时/演示控制或内部处理过程调用等。测试步骤根据输入的用户终端状态信息或测试数据进行步骤的逻辑控制。测试控制函数将每一测试步骤的处理过程有机的串联在一起形成该测试项目的测试流程。

5 结束语

卫星导航系统可在全天候、实时、连续为用户提供位置、测速、时间、姿态等信息, 是国防重大空间和信息化基础设施, 是国防安全、经济安全、国土安全和公共安全的重大技术支撑系统和战略威慑基础资源, 是体现现代化大国地位和国家安全综合国力的重要标志。它的功能、性能和作用是通过应用系统的各类用户终端得以实现和发挥效益的, 因此随着卫星导航用户终端应用深度和广度的拓展, 对用户终端的要求也在日益提高, 主要体现在精度、可靠性、标准化等方面。为满足广大用户的不同需求, 尤其是满足军队用户的使用, 必须建立一个符合测试需要和未来发展需要的自动化测试控制平台, 提供对用户终端在研制、生产、应用等各环节的测试保障, 提高卫星导航用户终端的使用性能。

本文设计的卫星导航用户终端性能测试控制系统可有效解决多用户自动化测试与评估, 解决测试中状态参数多、判断条件复杂、程序跳转繁琐的难题, 提高系统的可靠性、稳定性和可维护性。

参考文献:

- [1] 杨靖宝. 卫星用户导航设备性能测试和评估方法初探 [J]. 全球定位系统, 2012, (3): 56-57.
- [2] 魏海涛, 蔚保国, 李刚, 等. 卫星导航设备时延精密标定方法与测试技术研究 [J]. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2010, (5): 623-627.
- [3] 白雪琳, 李继东. 卫星导航接收机导航解算测试系统的设计 [J]. 硅谷, 2010, (19): 46.
- [4] 李海峰, 孙付平. 卫星导航接收机测试场景软件的设计与实现 [J]. 中国惯性技术学报, 2008, (2): 183-187.
- [5] 金益彬, 孙国, 李署坚. 基于 FPGA 和 DSP 的卫星导航接收机测试平台 [J]. 微计算机信息, 2008, (23): 221-222.
- [6] 李海丰. 卫星导航用户设备测试方法与场景设计研究 [D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2012.
- [7] 陈雷. GPS 用户设备测试系统数据库的建立及评估算法研究 [D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2012.
- [8] 杨筱. 卫星导航系统数据与信号质量评估技术研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2011.
- [9] 叶红军. 卫星导航测试环境及其关键技术研究 [A]. 第二届中国卫星导航学术年会电子文集 [C], 2011.