 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i7.6713

Design of automatic-test system for Shipboard TT&C system Noise floor based on LABVIEW

Xinrong Wang Yu Wang Di Zhang Xingyu Yue

China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Jiangyin, Jiangsu, 214431, China

Abstract

The shipborne unified TT&C system is affected by environmental factors such as high salt spray, high vibration and high humidity at sea during the mission at sea, and the working stability problems of the system's downlink related devices are frequent and frequent. At present, the downlink noise floor test of the system requires manual participation and multi-post cooperation, which takes a long time and the process is cumbersome. The test results are usually recorded manually, which cannot effectively manage the data, which is not conducive to the intuitive response to the historical stability of the system link. In view of the above shortcomings, this paper proposes a design scheme for the downlink noise floor automatic test system of the shipboard unified TT&C system based on LABVIEW, builds a hardware platform and realizes the automatic inspection and testing of the system multi-link, realizes the fast automatic test and data recording and comparison function of the system link noise floor, and effectively improves the efficiency of the link noise floor test of the shipboard unified TT&C system.

Keywords

Virtual instruments; Noise floor; automatic-test; shipborne TT&C system

基于 LABVIEW 的船载测控系统底噪自动测试系统设计

王新荣 王宇 张地 岳星煜

中国卫星海上测控部，中国 · 江苏 江阴 214431

摘 要

船载统一测控系统在出海执行任务期间受海上高盐雾、高震动、高潮湿等环境因素影响，系统下行链路相关器件工作稳定性问题频发、多发，对系统链路底噪进行测试可直观的反应系统下行链路器件的工作情况、较为便捷的检测系统下行链路的稳定情况；目前系统下行链路底噪测试环节均需人工参与、多岗位配合，测试耗时长、过程繁琐；测试结果通常采用人工记录，不能对数据进行有效的管理，不利于直观反应系统链路历史稳定性；针对以上不足，提出了基于LABVIEW的船载统一测控系统下行链路底噪自动测试系统设计方案，搭建了硬件平台并实现了对系统多链路的自动巡检测试，实现了系统链路底噪的快速自动测试及数据记录比对功能，有效提升了船载统一测控系统链路底噪测试工作效率。

关键词

虚拟仪器；链路底噪；自动测试；船载测控系统；高频器件

1 引言

底噪（Noise floor）也称背景噪声，是指在电路、系统或环境中存在的一种基本噪声水平。这种噪声来源于各种随机因素，如热噪声、光子噪声、电子噪声等，并且会随着环境和电路参数的变化而发生变化。在测控系统中，底噪限制了系统的信噪比，限制了信息传输的速度和质量 [1]。

船载统一测控系统的链路底噪是在天线对冷空时，自然干扰源（主要来源于大气层的天电噪声、地球外层空间的宇宙噪声）经过系统低噪声场放、变频器等下行链路器件后在系统接收终端的测试的噪声值。船载统一测控系统在出海执行任务期间受海上高盐雾、高震动、高潮湿等环境因素影响，系统下行链路相关器件工作稳定性问题频发、多发，对系统链路底噪进行测试可直观的反应系统下行链路器件的工作情况、较为便捷的检测系统下行链路的稳定情况。目前，船载统一测控系统下行链路设备主要包括天线馈源、低噪声场放、下变频器、下行开关矩阵等。

基于以上设备，目前船载统一测控系统下行链路底噪标定工作流程主要包括设备初始化设置、链路切换、矩阵切换、数据判读、数据记录等多个环节，一般采用单台或多台仪器对系统各下行链路逐项进行测试，而且系统下行链路多、各环节均需人工参与、多岗位配合，导致整个检测过程耗时较长且操作复杂。此外，测试结果多采用手工方式记录，缺乏有效的数据管理系统，这不利于直观展示系统链路的历史稳定性情况。

【作者简介】王新荣（1987–），男，中国江苏南通人，本科，工程师，从事航天器海上测控研究。

随着我国航天测控事业的发展，在轨航天飞行器数量逐年增加，陆地测控站的各项性能指标测试模式由原来的人工操作为主的模式过渡到自动化运行的自动测试模式 [2-6]。

针对上述现状不足，本文从提出了 LABVIEW 的船载统一测控系统下行链路底噪自动测试系统设计方案，以实现了系统链路底噪的快速自动测试及数据记录比对功能。

2 自动测试系统的设计

仪器控制是指利用计算机软件并通过特定类型的总线协议与各类测量设备建立通讯并实施管理的过程。这一过程促进了计算机与仪器之间的协同作业，不仅能够充分发挥计算机在数据处理、分析、展示及存储方面的强大能力，还显著增强了原有仪器的功能范围。一个全面的仪器控制系统通常由软件和硬件两大组件构成。

2.1 系统的硬件设计

本系统的设计采用了 LABVIEW 软件。作为美国国家仪器公司（National Instrument Company）开发的一种基于图形化编程语言 G 语言的虚拟仪器软件开发工具，LABVIEW（Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench，即实验室虚拟仪器工程平台）为设计者们提供了一个高效且易于使用的开发环境。通过这种类似拼装积木的方式，用户能够便捷地构建测量系统并自定义仪器的操作界面。该软件具备丰富的调试选项、强大的函数库支持、跨多种操作系统的能力以及与外部代码或应用程序良好集成的特点。此外，LABVIEW 兼容多种总线标准，如串行端口、并行端口、以太网、GPIB、VXI、PXI、LXI 及 VISA 等。选择特定类型的总线时，通常会考量几个关键因素：首先是连接器和电缆的具体情况（例如接口数量、类型以及长度限制）；其次是电气属性（如电压范围、接地方式等）；再者是通信协议的细节（比如协议种类、数据格式、指令集等）；最后还需考虑驱动程序的易用性和与其他现有开发工具的兼容性 [7-10]。

在综合考量实际需求的基础上，本系统的硬件部分采用了以太网连接方案。控制计算机通过网络实现对系统下行链路（下行矩阵插箱、下行开关控制插箱）及频谱仪的控制与测试，通信协议采用 UDP/IGMP 协议。

频谱仪通信编程主要是在 Labview 开发环境中进行的，它采用事件驱动的方式对频谱仪的各项功能键及参数设定实施软件级编码。通过利用软件内置的 VISA 库函数，能够经由局域网总线向设备发送指令；当仪器接收到这些指令后，会对其进行解析并作出相应反馈，再将获取到的测量结果通过同样的总线路径传回至控制计算机以供后续处理。这一过程实现了对频谱仪的远程操控及其信号频谱的监控。

控制计算机向矩阵插箱发出的命令包括状态定时查询命令和参数状态控制命令。状态定时查询命令主要是定时查询设备的工作参数及设备运行状态，参数状态控制命令主要是根据用户操作产生的控制命令信息。本振插箱接收到控制命令信息后，在执行命令的同时发送控制命令响应信息，上报插箱工作参数或设备状态。工作频点精确到 Hz，然后经过数制转换为十六进制 [11-20]。

2.2 系统的软件构成

所采用的软件开发策略利用了仪器驱动程序，这是一种在应用层面针对底层仪器操作细节进行抽象封装的方法。这种方法使得用户无需深入了解仪器的具体工作原理即可轻松编写出适用的控制代码，从而极大地简化了编程过程并提高了应用程序的可维护性。仪器驱动程序本质上是一系列预定义的软件例程，这些例程涵盖了从配置设备到读取数据、向设备发送命令以及触发特定功能等一系列标准操作。通过将底层通信协议或寄存器设置等复杂操作封装起来，开发者只需调用相应的函数库就能实现对目标仪器的全面控制。

LABVIEW 不仅为 NI 公司自家的产品提供了驱动程序和函数库的下载服务，还针对如 Agilent（Keysight）、R&S 等知名制造商生产的测量设备提供了广泛的 LABVIEW 驱动程序及函数库资源。这使得开发者能够在不离开 LABVIEW 开发环境的前提下安装所需的仪器驱动，极大地便利了开发工作。

3 系统软件设计与开发

3.1 软件设计流程

软件编程对于实现自动化测量控制至关重要，依据具体的功能需求来构建相应的功能模块以达成通信与控制目标，并对采集的数据进行处理及记录。

该系统的主要操作流程如下：首先，确保设备、频谱仪与计算机之间通过网络建立了有效的通信连接。随后启动程序，程序将对下行矩阵、相关链路以及频谱仪执行初始化设置，并配置必要的参数。接着，系统会自动进行矩阵状态的检查，并同时开展数据采集和记录工作。当完成所有预定的矩阵及链路检查后，整个自动化测试过程即告一段落。

3.2 自动测试系统软件开发

在 LABVIEW 的开发过程中，设计工作主要分为两个部分：前面板的设计与程序框图的构建。其中，前面板模仿了传统台式仪器的操作界面，集成了输入设备、数据显示以及控制组件等功能元素。而程序框图则类似于这些仪器内部的电路布局，亦或是编程语言中的代码实现，负责执行包括但不限于对设备的操控、数据收集、信息处理及传输等一系列任务。此外，前面板上的各个组件与程序框图之间通过特定的接口相互连接，确保两者之间的有效通信。

3.2.1 前面板设计

软件前面板如图 1 所示，左半部分为频谱仪地址、中心频率、带宽等参数设置区域，右半部分为当前矩阵及链路巡检状态显示部分，该程序仅需对系统底噪测试结果进行读数及记录无需进行相关频谱图的显示，可一定程度的减少系

统资源开销提升检测速度。

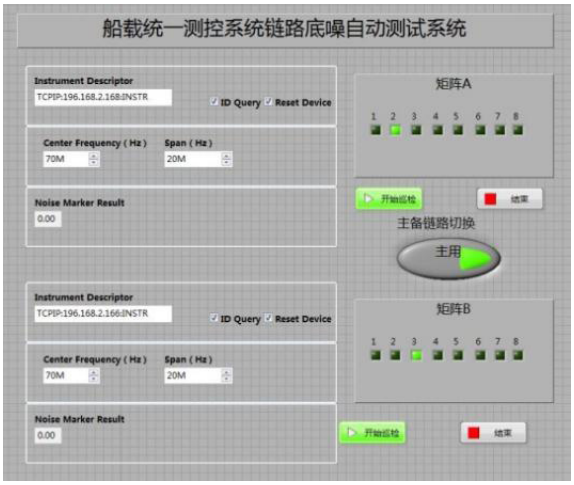


图 1 系统前面板

3.2.2 程序框图设计

该系统软件由数据采集控制模块与矩阵及链路控制模块构成。其中，数据采集控制模块负责管理频谱仪的功能配置、数据收集以及存储过程。此模块采用 LABVIEW 图形化编程语言开发了相应的控制程序，并通过调用 NI 公司提供的仪器控制函数库来执行频谱分析仪的测试和数据获取工作；而矩阵及链路控制模块则主要承担链路切换和矩阵状态监测的任务。

3.3 结果与分析

根据统一测控系统工作原理，设置频谱仪中心频率为中频，带宽设置为适当值。设置完成后，运行程序可自动进行系统链路的切换、矩阵自动巡检及数据的采集及记录，可较为方便的实现历史数据的快速比对。

4 结语

针对当前系统链路底噪标定工作的不足，本文利用 LABVIEW 虚拟仪器软件开发了船载统一测控系统链路底噪自动测试系统，在不改变原系统设备重要技术状态的前提下，实现了船载统一测控系统链路底噪的自动测试及记录功能，可以有效改进以往链路底噪标定存在的工作效率低下的问题。该方案软硬件已在常态化设备标校过程中得到了初步应用。

参考文献

[1] 赵文华. 海上测控技术名词术语[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.

[2] 戴润峰, 陈逢田, 李培华, 等. 我国小卫星综合测试技术发展与展望[J]. 航天器工程, 2021, 30(6): 145-152.

[3] 杨倩倩. 地面测控系统自动化测试策略的研究[J]. 自动化应用, 2023, 64(7): 202-204, 208.

[4] 王森强. 无线电测控装备质量控制方案及自动化测试技术分析[J]. 数字通信世界, 2023(8): 80-82.

[5] 梁宇坤, 王晓君, 毕显婷. 基于一体化、通用化、自动化的测量系统地面测发控设计[J]. 导弹与航天运载技术, 2022(2): 80-83.

[6] 王怀, 王强, 朱翔宇, 等. 遥感地面站自动化测试系统的设计与应用[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(7): 1-5, 23.

[7] 杨乐平. LabVIEW程序设计与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.

[8] 李江全. LabVIEW虚拟仪器从入门到测控应用130例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013: 1-30.

[9] 路辉. 自动测试系统测试描述语言[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.

[10] 陈树学, 刘萱. LabVIEW宝典[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.

[11] 贾帅, 张永波. 基于开关矩阵的卫星通信测控站多路频谱监测系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(11): 71-74, 88.

[12] Keysight Technologies. E8257D/67D&E8663D PSG signal generators SCPI command reference[Z]. Keysight, 2015.

[13] Keysight Technologies. Keysight signal generators programming reference[Z]. keysight, 2015.

[14] Agilent Technologies. User's and programmer's reference volume 1 core spectrum analyzer functions PSA series spectrum analyzers[Z]. Agilent Technologies, 2011.

[15] Agilent Technologies. User's and programmer's reference volume 2 one-button power measurements PSA and ESA series spectrum analyzers[Z]. Agilent Technologies, 2014.

[16] 何谦, 燕楠, 燕帅. 船载测控雷达高频接收机无人值守功能的设计[J/OL]. 计算机测量与控制:1-9. (2024-07-18)[访问日期缺失]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4762.TP.20240716.1908.036.html.

[17] 申龙. 基于LabVIEW控制的频谱分析仪自动校准系统的探究[J]. 科学技术创新, 2021(24): 66-67.

[18] 王宏, 王永波, 韩春雪, 等. 基于LabVIEW的继电保护测试仪自动检测系统设计[J]. 山东电力技术, 2023, 50(9): 58-64.

[19] 罗萍, 谌佳庆. 基于LABVIEW的多设备控制系统设计[J]. 信息技术与信息化, 2023(7): 36-39.

[20] 冷梦琪.基于LabVIEW和TCP的远程实验监测系统[J]. 工业控制计算机, 2024.37(6): 15-17.