

# 船载 USB/UCB 自动化测试系统的设计与实现

何 谦, 宋海军, 陶 敏, 丁求启

(中国卫星海上测控部, 江苏 江阴 214431)

**摘要:** 由于船载 USB/UCB 测控系统微波器件众多、信号线缆接线关系复杂, 从而给技术指标测试和日常设备标校带来繁杂的工作量; 为了解决上述问题, 文章通过分析 USB/UCB 测控系统的信号流程关系及关键信号节点, 借助 LabWindows/CVI 软件及 GPIB 总线的支持, 构建船载 USB/UCB 自动化测试系统, 并详细阐述了系统的硬件组成和软件编程; 在系统监控台软件的统一组织下, 结合系统内其它设备, 通过测试控制软件控制开关网络实现对多种接口和多路通道的控制, 灵活组建测试平台, 实现无线/有线、射频/中频等工作方式, 完成相应指标的自动化测试并对实时数据进行处理分析; 系统扩展性好, 自动化程度高, 改进了以往手动对硬件进行设置和测试方法, 节约了时间成本, 操作界面友好, 在上行链路三阶交调测试中进行应用, 结果表明该自动化测试系统操作简便快捷、测试结果准确可靠。

**关键词:** 测量船; 测控系统; 自动化测试; 通用接口总线

## Design and Implementation of Automatic Test System for USB/UCB TT&C System on Measurement Ship

He Qian, Song Haijun, Tao Min, Ding Qiuqi

(China Satellite Maritime Tracking and Controlling Department, Jiangyin 214431, China)

**Abstract:** Because of numerous microwave equipment and complicated connection relation in TT&C system, it takes multifarious load to have technical testing and calibration about USB/UCB TT&C system on the measurement ship. To resolve the trouble, the signal flow chart in TT&C system and pivotal signal nodes are analysed. An automatic test system is designed and implemented for USB/UCB TT&C system with GPIB port by using LabWindows/CVI programming platform. In this paper, the hardware compose and software programme is also expatiated. In virtue of the system monitor cell controlling and other equipment in system, testing platform is neatly established to accomplish technical testing in the way of wireless or wire and the way of RF or IF. Multi-interface and multi-channels are controlled by measurement and control software, and completion the test function through real time data analysis and processing. The system ameliorate the traditional test method that test by intercalate hardware, and economize cost. It has good expansion, high automation, good interface and applied in the third-order intermodulation in up-link channel. It shows that the automatic test system not only has agile structure and high efficiency but also has good accuracy and well stability.

**Keywords:** measurement ship; TT&C system; automatic test system; GPIB

## 0 引言

根据我国航天测控网的技术进步和装备发展需要, 新一代航天测量船配备有微波统一 S 频段 (Unified S Band, USB) 和微波统一 C 频段 (Unified C Band, UCB) 测控系统, 是两种可根据不同航天器的工作频段需要, 将航天器的跟踪测轨、遥测、遥控和天地通信等功能合成一体的无线电测控系统。这两种测控系统采用综合一体化设计思想, 其天伺馈部分及接收发射信道独立, 系统监控台、时频矩阵及综合基带等部分共用。

船载 USB/UCB 测控系统的技术指标测试、功能和性能验证, 系统模拟自检等都是重要而必不可少的工作内容, 这些工作繁杂且占用大量的工作时间, 需投入大量的人力和物力才能完成, 通过研制船载 USB/UCB 自动化测试系统, 可以彻底改

变以往落后的、分散的, 以人工为主的测试和校准方法, 达到提高系统测量精度和工作效率的目的。

船载 USB/UCB 自动化测试系统是在系统监控台的统一组织下完成自动化测试, 通过集中的物理接口设备, GPIB 仪器、PXI 虚拟仪器及测试计算机等配合下, 结合系统内其它设备, 采取无线/有线、射频/中频等方式, 灵活组建测试平台, 完成相应的指标测试任务。

## 1 系统设计方案

船载 USB/UCB 自动化测试系统主要完成这两种测控系统的重要技术指标的自动化测试, 主要包括指标检查、功能和性能验证、系统模拟自检等工作, 设计力求提高测试精度及测试数据可靠性, 并对外部结构、人机接口软件采用人性化设计, 提高自动化测试系统的可用性。

### 1.1 设备组成

自动化测试系统设备组成主要包括测试计算机、测试软件、测试开关网络、测试仪器和 GPIB 接口转换卡等设备, 其中测试仪器的具体型号根据系统测试来确定<sup>[1]</sup>。自动化测试系

收稿日期: 2015-10-03; 修回日期: 2016-03-07。

作者简介: 何 谦(1978-), 男, 陕西合阳人, 高级工程师, 主要从事航天测控雷达信号处理与标校方向的研究。

统设计框图如下。

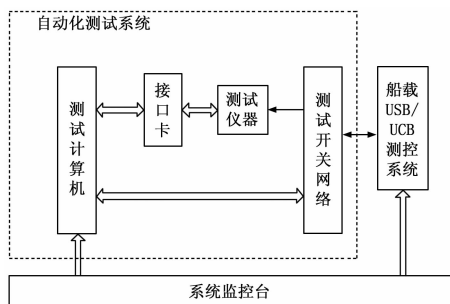


图 1 自动化测试系统原理框图

自动化测试计算机及其软件主要完成自动化测试过程中控制仪器、读取测试结果数据，控制测试开关，进行测试配置等功能；测试开关网络主要根据不同的设备组合、不同的测试项目，连接测试仪器与测试设备，完成测试配置；测试计算机通过 GPIB 接口转换卡实现对测试仪器的控制和读取操作。

自动化测试软件运行在测试计算机上，并通过 GPIB 接口卡及 GPIB 总线发送命令控制测试仪器的设置并读取测试数据，实现仪器操作的自动化，测试计算机通过串口控制测试开关网络，实现测试连接的自动化，从而实现测试过程的自动化。

### 1.2 测试系统的建立

根据系统级、分系统级自动化测试项目，分别在船载 USB/UCB 系统的射频、中频信号传输的关键点进行信号注入和信号采集，在进行系统设计时考虑系统测试的相应线缆连接，自动化测试系统与被测设备的具体连接关系如图 2 所示。

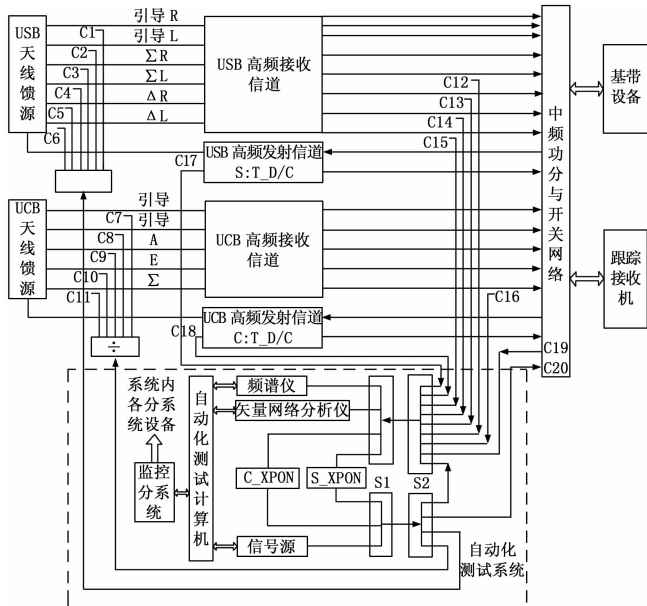


图 2 自动化测试系统连接框图

由图 2 可以看出，测试系统关键点信号注入或信号采集共有 12 路输入信号和 4 路输出信号，其信号特性如表 1 所示。

### 1.3 自动化监控管理

自动化测试流程具有自动和人工两种工作方式。自动方式下，系统监控台与自动化测试软件可以对测试项目、设备组合

以及测试参数进行预先装订，按任务启动测试流程自动进行自动化测试，该方式可将自动化测试纳入任务计划或者设备工作计划的统一安排，实现系统测试、标校、跟踪等全程自动化。人工方式下，操作员人工实时进行设备配置，选择测试项目，发出测试命令来进行自动化测试。

表 1 自动化测试系统关键点信号特性

NO	编号	信号特性	NO	编号	信号特性
1	C1	USB 引导右旋测试信号输入	11	C11	UCB 主收和路测试信号输入
2	C2	USB 引导左旋测试信号输入	12	C12	USB 跟踪和路左旋测试信号输出
3	C3	USB 和路右旋测试信号输入	13	C13	USB 跟踪和路右旋测试信号输出
4	C4	USB 和路左旋测试信号输入	14	C14	USB 跟踪差路左旋测试信号输出
5	C5	USB 差路右旋测试信号输入	15	C15	USB 跟踪差路右旋测试信号输出
6	C6	USB 差路左旋测试信号输入	16	C16	UCB 主收测试信号输入
7	C7	UCB 引导和路测试信号输入	17	C17	USB 功放负载端射频输出
8	C8	UCB 引导差路测试信号输入	18	C18	UCB 功放负载端射频输出
9	C9	UCB 方位差路测试信号输入	19	C19	基带信号中频输出
10	C10	UCB 俯仰差路测试信号输入	20	C20	基带信号中频注入

在系统监控台控制下自动化测试的测试流程图如图 3 所示。测试流程说明如下：系统监控台根据测试任务，确定对应的设备参数宏，完成并检测被测设备的设备配置及参数设置；系统监控台发送测试命令到自动化测试系统；自动测试系统配置测试开关网络，将测试设备和被测设备正确连接，并设置信号源和频谱仪参数，接入测试信号，准备进行性能测试；自动化测试系统从测试设备采集数据，分析和处理数据，形成并存储测试结果报告，将测试结果上报系统监控台，由系统监控台进行结果显示，至此完成一个测试项目的自动化测试。

## 2 系统硬件组成

### 2.1 硬件设计

自动化测试系统硬件主要由自动化测试计算机、测试开关网络、GPIB 接口卡以及仪器控制电缆组成。自动化测试计算机可选用研华工控机的主流配置，测试仪器可根据系统及分系统测试项目中涉及被测信号的频率、功率及测试功能需要进行相关型号的配置。

### 2.2 测试开关网络

船载 USB/UCB 自动化测试系统的关键是在系统设计中采用测试开关网络实现多台仪器同时连接，并且可对 USB/UCB 测控系统射频、中频信号传输的多处关键测试点进行在线连接切换，避免了手动更换测试信号线缆，更换仪器连接的麻烦，

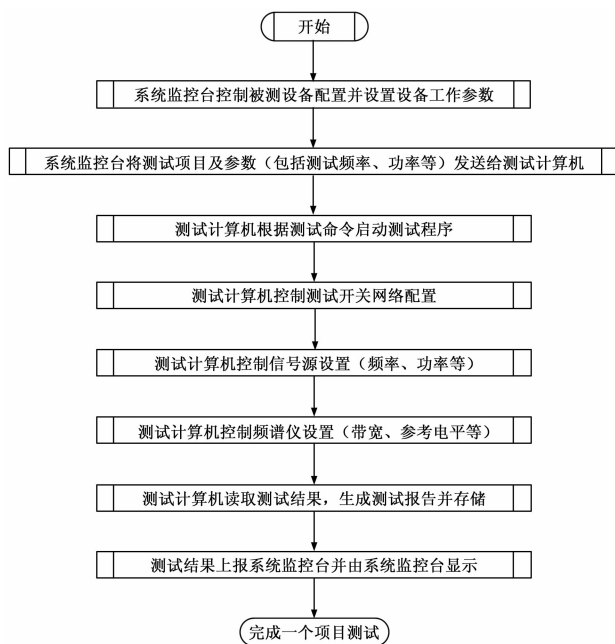


图 3 自动化测试流程图

从而使系统实现自动化, 提高了工作效率。

考虑到射频开关的衰减及对测试精度的影响, 对测试开关网络提出指标为: 测试开关网络插槽设计为标准 1U 的插槽, 外部接口全部采用 N 型接口, 内置开关以及控制电路, 自动化测试软件可通过网络接口进行开关的状态控制和监视。工作频带能够覆盖所有工作频率, 插损  $\leq 6.5$  dB, 输入/输入端口隔离度  $> 40$  dB, 带内平坦度  $\leq 0.25$  dB/100 MHz。其中测试开关网络引脚定义见图 4。

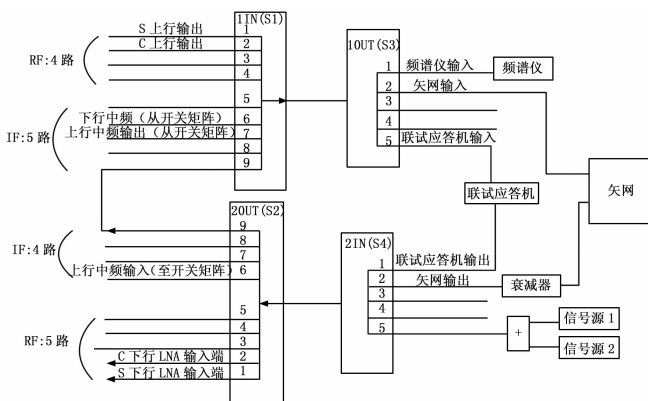


图 4 测试开关网络引脚定义

测试开关网络插槽主要包括 4 个切换开关、监控处理器以及电源、串口转网络模块等组成。其中监控处理器主要功能是采集插槽内电源的工作状态（正常/告警），控制插槽内 4 个测试开关的切换及显示系统信号流程图。插槽具有分控/本控选择功能，分控时在本插槽上进行手动控制，本控时接受测试计算机及系统监控台的远程控制。测试开关网络插槽接受测试计算机及系统监控台每秒一次的查询并及时响应。

### 2.3 仪器接口卡及控制电缆

自动化测试系统采用通用 GPIB-PCI 总线接口及 GPIB 电

缆将多台测试仪器进行连接。GPIB 是通用总线的缩写, 是一个数字化的 24 脚并行总线<sup>[2]</sup>。其中 16 根线为 TTL 电平信号传输线, 其余 8 根为地线和屏蔽线。该总线使用 8 位并行、字节串行、异步通讯方式, 所有字节通过总线顺序传送。总线长度不超过 20 m, 系统中设备不能多于 15 个。GPIB 总线采用三线挂钩技术确保接收到的消息字节有效无误。

## 3 系统软件设计与实现

为了有效地运用硬件系统资源, 实现各种测试与标校功能, 自动化测试系统开发有相应的测试软件, 提供自动测试、数据库操作维护、测试数据处理、生成测试报告、打印及帮助等功能。测试软件充分发挥或扩充硬件效能, 人机界面友好, 测试功能强, 自动化程度高, 操作方便。

### 3.1 软件设计

自动化测试软件以 LabWindows/CVI 8.5 为编程环境, 可运行在 Windows XP 或更高版本的操作系统。Labwindows/CVI 是 NI 仪器公司开发出来的测试系统集成开发环境, 它将功能强大、使用灵活的 C 语言与用于数据获取、分析和显示的测控专业工具结合起来, 为熟悉 C 语言的开发人员建立检测系统、自动测试系统、数据采集系统和过程监控系统等提供了良好的软件开发环境<sup>[3]</sup>。它还提供了各类仪器的驱动程序库, 所有这些使测试系统的软件设计变的更为容易。

自动化测试软件以被测设备和所要完成的任务为对象采用模块化设计。在测试系统的软件设计中, 各个模块之间在规定的接口标准下相互独立, 这有利于软件的设计和后续软件的升级改造, 保证了各个模块开发的独立性。系统的软件结构主要由主控模块、测试模块、自检模块、数据分析和处理模块、数据库管理模块等组成。其主体为测试模块, 测试系统软件结构框图如图 5 所示。

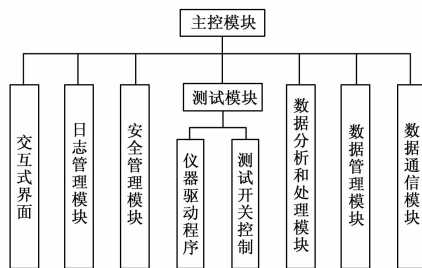


图 5 自动测试软件设计框图

主控模块: 此模块完成对各功能模块的控制、协调与管理。

测试模块: 此模块是整个测试软件的核心, 根据测试功能需求, 设置了相应的测试项目和校准功能。用户可根据测试需要选择相应的测试项目进行测试。每一个测试功能都通过调用仪器驱动程序及开关矩阵控制模块来实现。

数据分析和处理模块: 用于对测试结果进行分析和处理。

数据库管理: 测试系统数据的存储和调出。测试数据管理包括最新测试数据的屏幕显示、保存、测试的历史数据文件查询显示等功能。

安全管理模块: 根据系统要求设立用户帐号管理、用户登陆、退出等功能。用于应用测试软件安全及用户管理, 保证软件的正常运行, 防止重要数据的非法修改等。各用户必须拥有

合法的帐户才能使用系统提供的功能、执行各种测试任务和维护系统数据等。

日志管理模块：提供应用测试软件的操作日志功能，包括产生日志管理界面和统一处理日志。

### 3.2 软件配置项接口

自动化测试软件与外部设备的通信接口定义见图 6 所示。

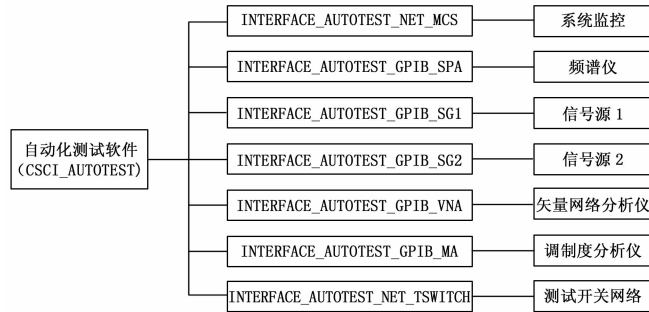


图 6 软件配置项接口定义

(1) INTERFACE \_ NET \_ AUTOTEST \_ MCS: 系统监控软件与自动化测试软件之间的接口为 RJ45 网络接口，查询命令信息帧从系统监控台发出，自动化测试软件接收。查询命令信息帧具体字段描述参见表 2 所示。

表 2 查询命令信息帧格式定义

标识	描述
M	任务代号, 填 SMCC 当前工作任务代号, 1B, unsigned char
B	信息类型, 1B, unsigned char, 固定填 F0
L	数据字段长度, 2B, short
XXFL	信息分类码, 1B, unsigned char, 填 0x40
T	每日积秒, 4B, int, 单位 s, 当前时分秒转换
SBBH	设备编号, 4B, int, 填本机 IP 地址
XLH	序类号, 2B, short, 同类命令计数, 发送 1 条加 1 并模 65536
Data1	系统工作频段: S 频段, C 频段
Data2	系统参数: S 频段系统参数, C 频段系统参数
Data3	设备配置: S 频段设备, C 频段设备

(2) 自动测试软件与频谱仪、信号源 1、信号源 2、矢量网络分析仪、调制度分析仪等测试仪器的接口为 GPIB 接口，通信信息主要内容为测试仪器的控制命令、状态查询命令、测试结果读取命令，通信信息格式及内容可参考相关测试仪器的编程参考手册。

(3) INTERFACE \_ NET \_ AUTOTEST \_ TSWITCH: 自动测试软件与测试开关网络的接口为 RJ45 网络接口，通信信息主要内容为测试开关网络的控制命令、状态查询命令。

## 4 测试结果分析

以车载 USB 系统上行链路三阶交调指标为例进行测试结果分析。三阶交调是指系统工作频率范围内的两个或两个以上的信号通过功率放大器后，由于放大器的非线性特性而在输出端产生三阶交调频率分量。该分量通常以三阶交调的幅度与输出功率的幅度之比来衡量功率放大器的非线性失真度<sup>[4]</sup>。系统连接如图 7 所示。

三阶交调测试的流程说明如下：系统监控台配置上行链路

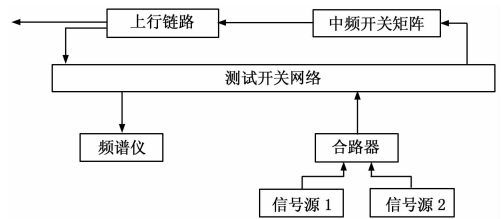


图 7 上行链路三阶交调测试连接图

的工作频率及衰减值，系统监控台控制测试计算机配置测试开关网络，测试开关网络配置为 2IN5—1IN1—1OUT1—2OUT6。系统监控台将测试频率与信号源电平发往测试计算机，测试计算机控制信号源 1 和信号源 2 分别输出间隔 5 MHz 的中频频率，功率为 -15 dBm，测试计算机设置频谱仪中心频率为上行链路的工作频率，span 为 10 MHz，参考电平为 -10 dBm，控制频谱仪测试当前的三阶交调数值，测试计算机从频谱仪中读出测试数据并将测试数据发往系统监控台。系统监控台控制测试计算机关闭信号源的输出，结束测试。测试结果如图 8 所示，由测试结果可知自动测试的数据达到指标规定要求，且测试精度略优于手动测试结果。

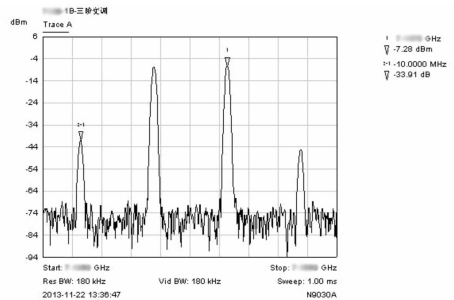


图 8 三阶交调测试结果

## 5 结语

车载 USB/UCB 自动化测试系统采用基于计划的管理方式，管理灵活、使用方便。采用自动化测试系统使得项目的测试过程方便快捷，操作员只需选择需要进行的测试项目，点击开始测试，测试链路的连接和测试仪器的配置、测试结果读取显示、测试报告生成及存储打印等功能均可自动进行。测试过程由原来手动测试的数日缩短到现在的几个小时，测试结束之后程序可以自动形成 word 形式的报表，供检测人员核对，避免了手动测试过程中人为因素造成的错误和误差，测试效率大大提高，测试精度也有所提升。

### 参考文献:

[1] 常耀龙, 任光霞, 王彤威, 等. 某型雷达高频数字电路测试系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (7): 2308-2310.

[2] 王倩, 吴丽丽. 基于 GPIB 的可程控系统 [J]. 长春工业大学学报 (自然科学版), 2010, 31 (6): 674-678.

[3] 胡亚军. 基于 LabWindows/CVI 的通信电源系统自动化测试的实现 [J]. 通信电源技术, 2010, 27 (4): 26-28.

[4] 谭庆艳, 庄剑. 无线通信系统中三阶交调的研究 [J]. 电子技术, 2014 (12): 20-21.