

遥感地面站自动化测试系统的设计与应用

王 怀¹, 王 强², 朱翔宇¹, 刘 焱¹, 柳树林¹

(1. 航天恒星科技有限公司, 北京 100086; 2. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100094)

摘要: 遥感卫星地面站的 G/T 值 (品质因数) 和系统误码特性是遥感卫星地面站最重要的系统指标, 是测试遥感卫星地面站不可或缺的测试项目; 传统的测试方法采用人工干预进行测试, 测试过程复杂繁琐, 人机交互工作量极大, 测试效率低下; 文中提出了一种在遥感地面站监控管理分系统的统一调度下, 协调站内天馈分系统、信道分系统和测试分系统的资源, 优化测试流程, 自动完成系统 G/T 值和系统误码特性的测试方案, 显著提高测试效率; 介绍了自动化测试系统的测试原理和自动化测试的设计方法, 然后结合某工程实际应用进行了自动化测试, 并给出了测试结果; 测试结果表明, 自动化测试系统的测试结果和人工测试结果一致, 但减少了大量的人机交互工作, 使测试效率大大提高, 测试过程不再繁琐和耗时。

关键词: 品质因数; 误码特性; 地面站; 测试

Remote Sensing Ground Station Automatic Test System Design and Application

Wang Huai¹, Wang Qiang², Zhu XiangYu¹, Liu Yan¹, Liu ShuLin¹

(1. Space Star Technology Co., Ltd., Beijing 100086; 2. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: Remote sensing satellite ground station G/T values (quality factor) and system BER performance is the most important system target, and is essential to test the whole remote sensing satellite ground station. Traditional test methods for testing by artificial intervention, the testing process is complex and cumbersome, the human-computer interaction workload is great, the test efficiency is low. This article proposes a method which monitor and control subsystem unified management servo feed, channel and test subsystem resources, auto-complete system G / T values and BER performance testing program, and improve test efficiency. This paper introduces automatic test system design principle and method of automated testing, and then carries on the field test with the practical application of a project, and gives the test result. Test result shows that automatic test system and manual test is consistent, test efficiency is greatly improved, reducing manual intervention, so that the testing process is no longer cumbersome and time-consuming.

Keywords: G/T values; BER performance; ground station; test

0 引言

随着遥感卫星技术的快速发展, 地面站的建设也越来越多。如何实现对遥感地面站关键指标的快速测试, 协助遥感地面站故障的快速定位, 是目前遥感地面站长期稳定运行的基础。

目前, 遥感地面站的系统指标有很多, 例如系统 G/T 值 (品质因数)、误码特性、指向精度、跟踪精度、超调量、伺服性能等, 但关键的指标有: G/T 值 (品质因数) 和系统误码特性 (又称为 E_b/N_0 曲线), 同时该性能指标是地面站系统测试的必测指标, 也在日常维护中作为检测系统恶化的手段。一般测试方式为人工读取仪表的数据, 通过公式计算得到数值, 测试工作量大、繁琐, 重复^[1]。本文从提高系统的测试效率出发, 优化测试流程, 统一调配站内各种测试仪器的使用, 重点对系统 G/T 值和误码特性的自动化测试进行设计, 并结合工程实际应用进行验证。最终通过监控管理分系统机统一协调站内其他分系统的资源, 实现了 G/T 值和误码特性自动化测试, 解决了目前遥感地面站关键指标测试步骤繁琐, 测试效率低的问题, 也节约了日常维护地面站的时间^[2]。

1 自动化测试原理和设计方法

典型的遥感地面站包括天馈分系统、信道分系统、记录分系统、测试分系统、技术支持分系统和监控管理分系统组成。组成框图如图 1 所示。

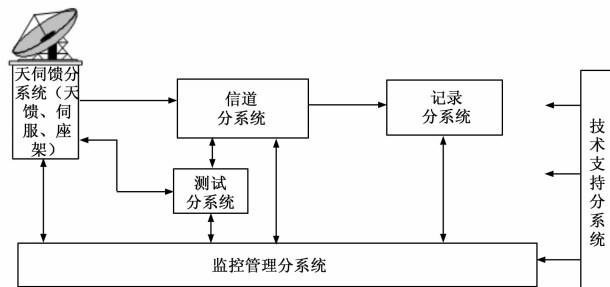


图 1 典型地面站组成框图

测试分系统主要包括测试调制器、频谱仪、功率计和滤波器测试设备。测试分系统的设备典型组成框图如图 2 所示^[3]。

测试分系统中的测试设备与中频均衡开关矩阵、X 频段光端机、测试耦合器进行连接, 通过切换光端机和中频均衡开关矩阵将测试分系统与信道分系统和天馈分系统参试设备组成测试环路; 同时在中频均衡开关矩阵连接频谱仪和功率计, 对测试过程中的测试数据进行记录显示, 并上报监控管理分系

收稿日期: 2016-01-22; 修回日期: 2016-02-29。

作者简介: 王 怀 (1984-), 男, 河南南阳人, 工程师, 硕士研究生, 主要从事遥感地面站总统设计方向的研究。

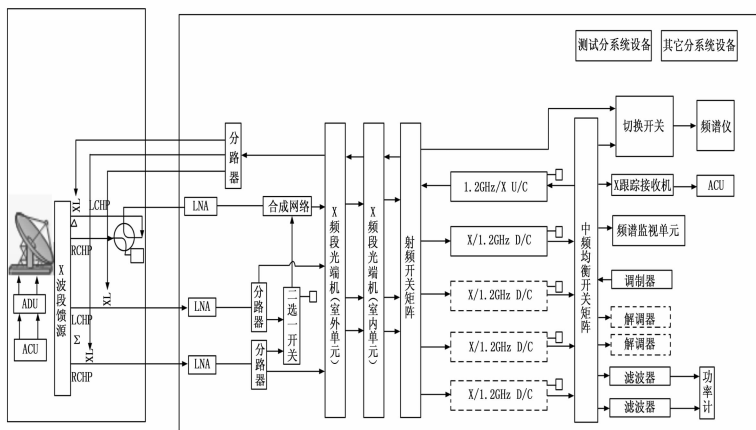


图 2 测试分系统组成框图

统，完成各种测试工作。

测试分系统中测试设备及测试仪器均由监控管理分系统中的站控软件监视和控制，包括仪器设备参数的设置、仪器测试结果的读取和上报。此外，监控管理分系统可以统一调度测试分系统和其他分系统的设备，组成各种测试项目的测试环境，自动完成测试工作。本文重点关注遥感地面站 G/T 值自动化测试设计和系统误码特性自动化测试设计。

1.1 系统 G/T 值自动化测试设计

G/T 值是地面站天线的增益 G_s 与等效系统噪声温度 T_s 的比值^[4]，其单位为 dB/K；测试利用月亮作为射电源进行测试，其定义为^[5-6]：

$$\frac{G}{T} = 10 \log \left[\frac{8\pi k (Y-1)}{S(f) \cdot \lambda^2} \cdot k_1 \cdot k_2 \right] \quad (1)$$

公式中： k ：波尔兹曼常数 $k=1.38 \times 10^{-23}$ J/K； Y ：Y 因子， $Y=P_1/P_2$ （ P_1 为天线指向射电源时接收的噪声功率； P_2 为天线指向冷空时接收的噪声功率）； k_1 为大气衰减修正因子； k_2 为辐射源扩展修正因子； λ 为测试波长； S 为基准时间、基准频率上射电源辐射通量密度流。

1.1.1 大气衰减修正因子 k_1 的计算

$$k_1 = 10 \left(\frac{A_g}{10 \sin \alpha} \right) \quad (2)$$

式中， α 为测试时的天线仰角； A_g 为天顶大气衰减，对于 S 波段， A_g 近似为 0.035 dB，对于 X 波段， A_g 近似为 0.051 dB。

1.1.2 辐射源扩展修正因子 k_2 的计算

$$k_2 = \left[1 + 0.18 \left(\frac{2\theta_s}{\theta_A} \right)^2 \right]^2 \quad (3)$$

公式中： θ_s 为月亮角半径； θ_A 为被测试天线半功率波束宽度，可以直接计算出。

$$\theta_s = \frac{r_M}{R_{0M}} \quad (4)$$

式中， r_M 为月球半径，取值为 1 738 km； R_{0M} 为地球站观测点到月球的距离。对于地球上指定的观察者来说，月亮出现的角半径取决于距离，因为月亮是以 28 天为周期绕着地球椭圆轨道运转的，故距离不断地变化，月亮轨道的平均距离是 384 395 km，最近点是 3 564.2 km，最远点是 406 688 km。观测点到月球的距离 R_{0M} 可由下式给出：

$$R_{0M} = \sqrt{R_d^2 + R_N^2 - 2R_d R_N (\varphi - \delta)} \quad (5)$$

公式中 R_d 为地心到月亮的距离，且 $R_d = \frac{1.3156 \times 10^9}{\pi''_d}$ (km)， π''_d 为月亮的地平视差（地球赤道半径对月亮中心的张角）； φ 为站址的地理纬度； δ 是观测时刻月亮的视赤纬； R_N 为观测点到地心的距离，取值为 6 370 km。其中地平视差 π''_d 的视赤纬 δ 均可用当年天文年历中查得，其它均为已知，故 R_{0M} 可求，进一步可以求得月亮角半径 θ_s ，因此 K_2 因子可以计算出。

1.1.3 通量密度 S 计算

在射频段，月亮为接近理想黑体的特性，其圆面中心的辐射能力达 98%，亮温度分布具有清晰的边界，因此月球的通量密度可以应用平均亮温度的概念来计算。由瑞利-琼斯公式可以得到：

$$S_m = \frac{2k\bar{T}_m}{\lambda^2} \cdot \Omega_m \quad (6)$$

式中， S_m 为月亮的通量密度； k 为波尔兹曼常数； T_m 为月亮的平均量温度； λ 为工作波长； Ω_m 为月亮的立体角，有 $\Omega_m = \pi\theta_s^2$ ， θ_s 为月球的角半径。

这样上式可写为：

$$S_m = \frac{2\pi k \bar{T}_m \theta_s^2}{\lambda^2} \quad (7)$$

式中， θ_s 由 2.1.2 节可以计算出，进而 Ω_m 可计算出，工作波长可以直接计算出。

因此上式中，只要求出不同频率的平均亮温度就可计算出相应频率的通量密度。

根据长期科学观测，对于常用频率 4 000 MHz（ $\lambda = 7.5$ cm）、8 000 MHz（ $\lambda = 3.75$ cm）、12 000 MHz（ $\lambda = 2.5$ cm）时的月亮平均亮温度表达式如下：

$$\left. \begin{aligned} \bar{T}_m &= 218 + 7 \cos \left(\frac{360^\circ}{J} t - 40^\circ \right) \\ \bar{T}_m &= 214.1 + 9.9 \cos \left(\frac{360^\circ}{J} t - 44^\circ \right) \\ \bar{T}_m &= 212.9 + 15 \cos \left(\frac{360^\circ}{J} t - 35^\circ \right) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \lambda &= 7.5 \text{ cm} \\ \lambda &= 3.75 \text{ cm} \\ \lambda &= 2.5 \text{ cm} \end{aligned} \quad (8)$$

备注： J 为月相周期， $J = 29.53$ 天； t 为月相周期内观察的时间，以天数来表示，满月当天的 $t = 0$ 作为起始点；

对于其他频率，可以用线性插值的方法计算。把上式中利用线性插值得对应频率的月亮平均亮温度代入公式（6）即可得到月亮的通量密度。至此，可以通过公式（1）计算求得接收站的 G/T 值^[7]。

1.1.4 自动化测试流程设计

利用月亮作为射电源进行 G/T 值测试，框图如图 3 所示。

首先监控管理分系统下发设备宏配置，对测试设备进行参数配置。天线按照监控管理分系统下发的月亮轨道进行自动跟踪，天伺馈分系统将接收到的射电源信号通过 X 波段馈源、LNA、分路器、X-Band 下变频器、光端机、中频均衡分配单元至滤波器，由功率计测量出此时的噪声电平，并上报监控管理分系统；再由监控管理分系统控制天线背离月亮指向冷空，由功率计测量此时的噪声功率，并上报监控管理分系统。监控管理分系统由两次测量的功率差值得到 Y 因子，同时根据相关星历和时间信息计算射电源的磁通量密度，最后通过公式计算得到本次测试的 G/T 值。

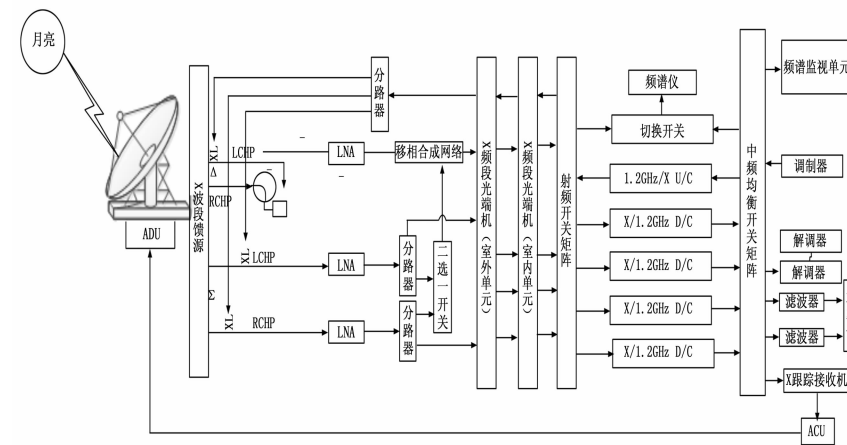


图 3 月亮法测试 G/T 值框图

以月亮作为射电源自动测试地面站 G/T 值的流程如图 4 所示。

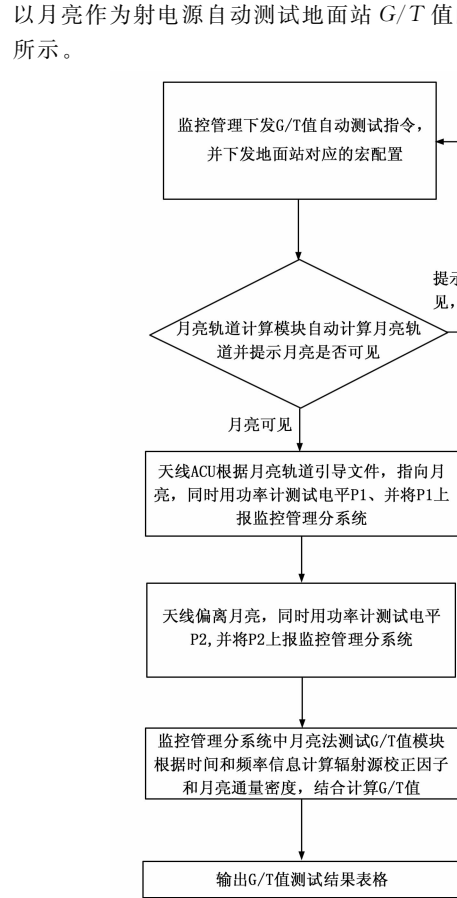


图 4 月亮法测试 G/T 值流程图

- 描述如下：
- 1) 监控管理分系统下发自动测试指令和相应的宏配置；
 - 2) 站监控管理分系统中的轨道计算模块计算月亮轨道，如月亮不可见，提示月亮不可见，测试结束。若月亮可见，经月亮轨道下发给天线馈分系统，天线对月亮进行自跟踪；
 - 3) 监控管理分系统读取天线对准月亮和偏离月亮的功率，并计算差值；
 - 4) 监控管理分系统根据时统设备相关星历信息计算校正

因子和月亮通量密度；

5) 站监控管理分系统汇总以上测试数据，通过 G/T 值计算模块，自动计算 G/T 值并以表格形式在界面上显示计算结果。

1.2 系统误码特性自动化测试设计

误码率是指二进制码元在传输系统中被传错的概率，它与载噪比密切相关，通常所说的比特误码特性隐含了是在某一载噪比下测定的。环路误码在 $10^{-3} \sim 10^{-7}$ 内， E_b/N_0 偏离理论值不超过 2 dB。对遥感卫星而言，地面站接收系统的信噪比决定了解调信号的误码特性，而误码特性直接影响遥感图像质量。当实际接收的比特能量与噪声功率谱密度之比（简称比特信噪比） E_b/N_0 不低于给定的理论门限信噪比^[8]。

遥感地面站误码特性测试框图如图 5 所示。

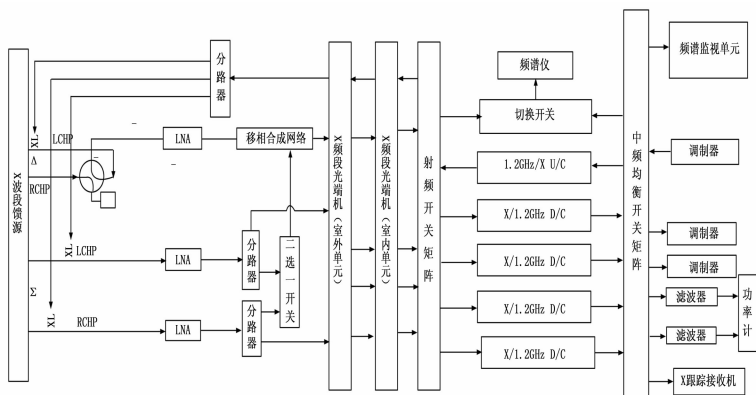


图 5 误码特性测试组成框图

监控管理分系统监控调制器发射某一频点的调制信号（发送伪随机码）^[9]，经过中频均衡开关矩阵，测试上变频器、射频频矩阵开关、光端机、分路器、耦合器、LNA、射频频开关矩阵、下变频器、中频均衡开关矩阵进入解调器，通过监控解调器是否锁定判断整个环路是否闭环，同时解调器上报误码特性统计结果。监控管理分系统根据误码特性调整调制器发射功率，直到解调器上报误码特性满足要求。满足误码要求后，监控管理分系统发送控制指令使调制信号变为单载波，通过频谱仪测量信号电平 C ，再关闭测试调制器通过频谱仪测量噪声功率 N_0 ，得到测试指标 C/N_0 ，计算出 E_b/N_0 （比特能量和噪声功率之比）^[10]，实测 $E_b/N_0 = C - N_0 - 10 \log(BR)$ ，其中 BR 为码速率；恶化值等于实测 E_b/N_0 减去理论的 E_b/N_0 ，理论 E_b/N_0 可通过查表求得，该差值即为系统误码特性。

2 工程应用及实测结果分析

结合某工程 7.3 米天线口径地面接收站，对系统的 G/T 值和误码特性自动化测试进行设计。

本项目利用月亮作为射电源测试 G/T 值，使用的仪器为功率计，型号为安捷伦公司的 E4417A。测试误码特性使用的仪器为频谱仪，型号为安捷伦公司的 E9030A，测试调制解调器为法国 INSNEC 公司的 HDR-XXL 型号，站监控管理软件部署于 IBM3550M4 服务器上，组成了测试分系统。系统主要性能指标见表 1 所示。

表 1 7.3 米天线口径地面接收站系统指标

测试项目	指标要求
G/T 值	$\geq 32\text{dB/K}$ (5 度仰角、环境温度 23°C 晴空条件下, 整个接收频段内)
误码特性	在 $\text{BER} = 10^{-5} \sim 10^{-7}$ 范围内, E_b/N_0 偏离理论值 $\leq 2\text{ dB}$

2.1 G/T 值自动化测试工程应用及实测结果

G/T 值自动化测试是由监控管理分系统发起, 天伺馈分系统、信道分系统和测试分系统配合, 完成自动化测试, 并将结果测试结果上报, 最终以表格形式输出。 G/T 值自动化测试流程如图 6 所示。

G/T 值自动化测试流程描述如下:

(1) 监控管理分系统接收远程下发的测试计划驱动或根据本地需要制定本地测试计划, 监控管理分系统进行计划冲突检测, 若地面站处于非执行任务的状态则进行 G/T 值测试, 否则, 拒绝执行测试任务;

(2) 监控管理分系统根据测试计划选择相应的宏配置, 下发给天伺馈分系统、信道分系统和测试分系统;

(3) 天伺馈分系统、信道分系统和测试分系统接收到控制指令后执行宏配置命令, 配置完成后将反馈发给监控管理分系统;

(4) 天线按照下发的月亮轨道进行自动跟踪, 监控下变频器的频率、增益、本振锁定状态等, 30 秒后监控管理分系统读取双通道功率计中左旋信号与右旋信号的噪声功率值 P_1 与 Q_1 ;

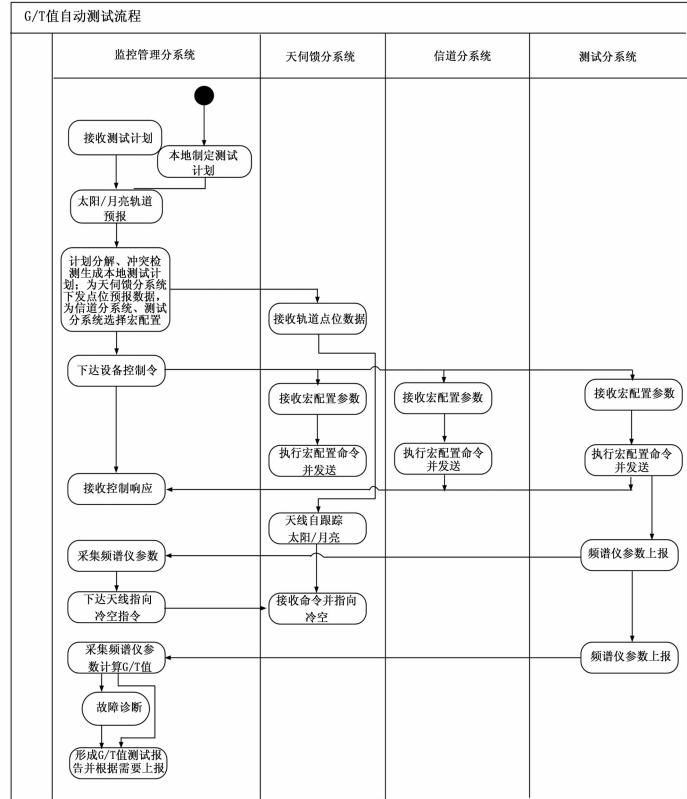


图 6 G/T 值自动测试流程图

(5) 监控管理分系统控制天伺馈分系统俯仰不变, 方位转动使天线背离射电源指向冷空, 由双通道功率计测量出采集到信号的噪声电平 P_2 与 Q_2 , 并将测量到的噪声功率值发送给监控管理分系统, 监控管理分系统利用两次噪声功率计算 Y 因子;

(6) 监控管理分系统读取此时的时间和频率信息, 通过站控软件中集成的月亮法测试 G/T 值模块, 自动进行 G/T 值得计算, 输出结果, 见表 2 所示。

表 2 G/T 实际测试输出表格

测试时间	20150918		环境温度		20℃			
测试频率/ (GHz)	仰角/ (°)	$P_{\text{射电源}}/(\text{dBm})$	$P_{\text{冷空}}/(\text{dBm})$	$Y/(\text{dB})$	$G/T/(\text{dB/K})$	$P_{@5^\circ}/(\text{dBm})$	$G/T _{@5^\circ}/(\text{dB/K})$	
8.0	LHCP	18.5	-22.34	-24.74	2.4	32.81	-24.07	32.13
	RHCP	18.5	-23.19	-25.56	2.37	32.79	-24.95	32.18
8.1	LHCP	21.3	-22.11	-24.42	2.31	32.74	-24.02	32.34
	RHCP	21.3	-22.58	-24.86	2.28	32.38	-24.51	32.03
8.2	LHCP	21.1	-22.17	-24.54	2.37	32.73	-24.17	32.36
	RHCP	21.1	-22.90	-25.24	2.34	32.76	-24.88	32.39
8.3	LHCP	20.9	-22.34	-24.68	2.34	32.78	-24.3	32.40
	RHCP	20.9	-23.18	-25.59	2.41	32.82	-25.2	32.44
8.4	LHCP	20.8	-22.34	-24.77	2.43	33.00	-24.37	32.60
	RHCP	20.8	-23.61	-26.08	2.47	33.07	-25.68	32.48
8.5	LHCP	20.7	-22.35	-24.82	2.47	33.00	-24.42	32.59
	RHCP	20.7	-23.97	-26.52	2.55	32.91	-26.09	32.49
8.6	LHCP	20.6	-22.25	-24.84	2.59	33.01	-24.4	32.58
	RHCP	20.6	-23.98	-26.60	2.62	33.08	-26.17	32.65
8.7	LHCP	20.5	-22.43	-24.99	2.56	33.02	-24.57	32.61
	RHCP	20.5	-24.05	-26.66	2.61	33.06	-26.22	32.62
8.8	LHCP	20.4	-22.61	-25.17	2.56	33.15	-24.74	32.72
	RHCP	20.4	-24	-26.63	2.63	33.12	-26.2	32.68
8.9	LHCP	20.3	-22.97	-25.43	2.46	33.28	-25.01	32.86
	RHCP	20.3	-24.16	-26.8	2.63	33.30	-26.35	32.85
测试仪器	N 4417A		测试时间		2015 0918	测试 结论	合格	
测试地点	密云地面站		测试人		王怀		王强	

测试结果表明, 7.3 米天线口径地面站的 G/T 值大于 32 dB/K, 满足设计要求, 和传统的手动测试方法对比, 测试结果一致, 但人机交互工作大大减少, 测试效率显著提高。

2.2 误码特性自动化测试工程应用及实测结果

误码特性测试采用系统射频闭环测试的方法。由监控管理分系统发起, 其他分系统配合, 完成系统的误码特性自动化测试, 测试流程图见图 7 所示。

误码特性测试流程描述如下:

(1) 监控管理分系统接收远程下发的测试计划驱动或根据本地需要制定本地测试计划, 监控管理分系统进行计划冲突检测, 若地面站处于非执行任务的状态则进行误码特性测试;

(2) 监控管理分系统根据测试计划为信道分系统、测试分系统选择相应的宏配置并下达控制指令;

(3) 信道分系统、测试分系统设备接收到宏配置参数, 执行宏配置命令后向监控管理分系统发送反馈;

(4) 监控管理分系统通过对比误码率与标称值的偏差, 判

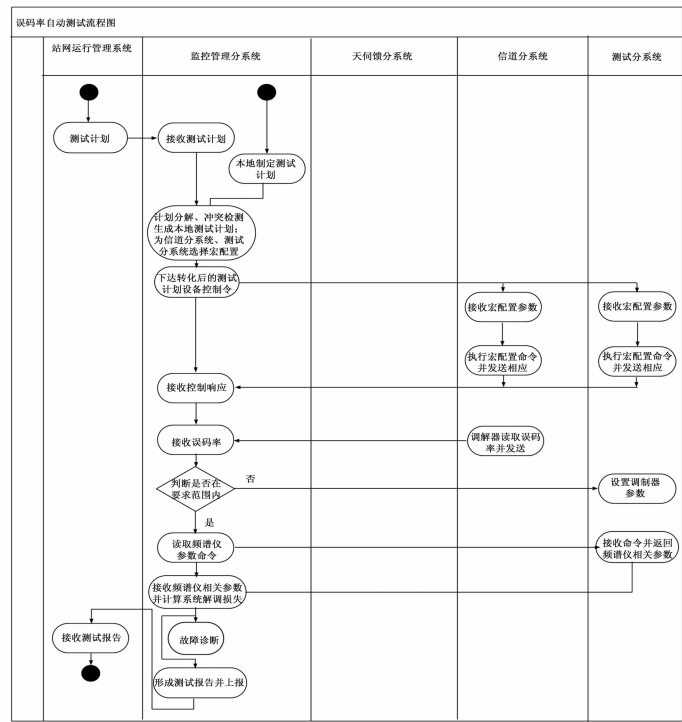


图 7 误码特性自动测试流程图

断其是否在要求范围内; 若不在要求范围内, 当误码特性大于规定范围时, 由监控管理分系统发送控制命令增大调制器发射电平, 1 dBm 步进, 直到误码特性落在规定范围之内, 若误码特性小于规定值, 则由监控管理分系统发送控制命令增降低调制器发射电平, 直到满足规定范围^[11];

5) 当解调器上报的误码特性满足系统性能指标要求, 监控管理分系统发送控制指令给测试调制器, 使调制信号变为单载波; 频谱仪将测到的信号电平 C 发送至监控管理分系统; 监控管理分系统收到电平值后将测试调制器关闭, 频谱仪再将测量到得噪声值 N_0 发送至监控管理分系统; 监控管理分系统计算出 C/N_0 , 并通过计算公式得到 E_b/N_0 , 并与理论值比对, 得到测试结果。

站控软件可以根据需要, 最终测试结果输出可以选择表格形式输出, 见表 3 所示。

表 3 误码特性实际测试输出表格

链路组合	LNA1+DC1+HDR1		频率 (MHz)	82XX	调制方式	OQPSK
码速率	450Mbps		码型	NRZ-M	编码方式	无
指标要求	在 $BER=10^{-5}-10^{-7}$ 范围内: E_b/N_0 偏离理论值 ≤ 2 dB					
理论 BER	实际 BER	信号功率 (dBm)	噪声功率 (dBm)	E_b/N_0 (dB)	E_b/N_0 理论值 (dB)	$\Delta E_b/N_0$ (dB)
1.0E-07	9.50E-08	-28.5	-127.4	12.37	11.31	1.06
1.0E-06	7.00E-07	-29.2	-127.4	11.67	10.53	1.14
1.0E-05	9.00E-06	-30.2	-127.4	10.67	9.59	1.08
链路组合	LNA1+DC1+HDR1		频率 (MHz)	8224	调制方式	OQPSK
码速率	450Mbps		码型	NRZ-M	编码方式	无

续表

指标要求	在 $BER=10^{-5}-10^{-7}$ 范围内: E_b/N_0 偏离理论值 ≤ 2 dB					
理论 BER	实际 BER	信号功率 (dBm)	噪声功率 (dBm)	E_b/N_0 (dB)	E_b/N_0 理论值 (dB)	$\Delta E_b/N_0$ (dB)
1.0E-07	9.00E-08	-28.7	-127.5	12.27	11.31	0.96
1.0E-06	9.00E-07	-29.5	-127.5	11.47	10.53	0.94
1.0E-05	8.00E-06	-30.5	-127.5	10.47	9.59	0.88
链路组合	LNA1+DC1+HDR1		频率 (MHz)	8212	调制方式	OQPSK
码速率	450Mbps		码型	NRZ-L	编码方式	LDPC
指标要求	在 $BER=10^{-5}-10^{-7}$ 范围内: E_b/N_0 偏离理论值 ≤ 2 dB					
理论 BER	实际 BER	信号功率 (dBm)	噪声功率 (dBm)	E_b/N_0 (dB)	E_b/N_0 理论值 (dB)	$\Delta E_b/N_0$ (dB)
1.0E-07	7.00E-08	-36.9	-127.6	4.77	4.15	0.62
1.0E-06	7.00E-07	-36.9	-127.6	4.77	4.09	0.68
1.0E-05	7.00E-06	-37.1	-127.6	4.57	4.02	0.55
测试仪器	Agilent N9030A HDR-XXL			测试结论	合格	
测试人	李凡 王怀	测试地点	密云地面站	测试时间	20150915	

自动化测试的结果满足系统指标要求, 和传统的手动测试的结果一致, 可以减少大量的人工操作, 减少人机交互, 提高了测试效率。

3 结论

通过遥感地面站系统自动化测试的设计, 从测试原理入手, 优化测试流程, 协同调度站内测试资源, 新设计的方法大大提高了测试效率, 在很大程度上减轻了地面站操作维护人员日常测试的工作量, 并且测试结果可靠可信, 为遥感地面站的长期稳定运行提供支撑。并且结合实际遥感地面站进行设计, 验证了设计方法和测试流程的正确性。

本文的设计和应用解决了遥感地面站关键指标测试人机交互工作量大、测试效率低的问题。同时此系统结合自动化技术, 监控各种测试仪器, 形成了自动化的测试系统。因此在遥感地面站的日常测试维护中具备了工程应用的能力。此项自动化测试技术已经在某 7.3 米遥感地面站工程中得到了实际应用, 稳定可靠, 具有广泛推广应用的前景。

参考文献:

[1] 孙源源, 马忠松. 基于 LabVIEW 的地面站监控及自动测试系统 [J]. 国外电子测量技术, 2013, 32 (2): 60-62.

[2] 曾 屹. 遥感卫星地面接收站的自动化测试系统 [J]. 信息化研究, 2009, 35 (3): 44-46.

[3] 王万玉, 张宝全, 刘爱平, 等. 频率复用高码速率遥感卫星数据接收系统设计 [J]. 电讯技术, 2012, 52 (4): 423-428.

[4] Thomas A. Milligan. Modern Antenna Design (M). Second Edition. Hoboken, New Jersey. John Wiley & Sons, Inc. 2005, 34-35.

[5] 李 文, 马忠松. G/T 值测试三原则及 G/T 值测量方法 [J]. 国外电子测量技术, 2011, 30 (6): 33-36.

作, 完成后回到 ST0 状态; 当检测到触发信号 Triger 上升沿时, 系统进入预采样状态, 在该状态中 CPLD 开始控制 AD 对加计输出值进行采样但不存储, 当加速度计输出大于设定的阈值后则开始对加计输出采用存储;

在 ST5 中单通道采样频率为 500 kHz, 采用 16 位对数据进行存储, 则 4 个通道采样 125 ms 所占的存储空间为 $250\text{ k} \times 16\text{ bit}$, 接近存储器的最大容量, 应停止采样, 进入并保持 ST6 停止状态, 待试验结束重新上电后进入 ST0 状态, PC 机可读取试验数据。FT245BM、ADC121、FM22L16 的时序可查阅其芯片说明手册, 或相关文献 [6-8], 本文不再论述。

3.2 上位机数据回读软件设计

上位数据回读机软件的功能模块如图 6 所示。上位机软件包括: 发送控制指令、接收数据、数据处理、数据存盘 4 个功能。发送的控制指令包括读存储器指令和擦除存储器指令, 当发送完读存储器指令后, 开始接收采集与存储模块中存储的试验数据。

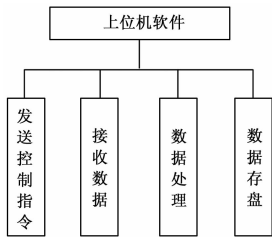


图 6 上位机软件功能模块图

数据接收完成后, 可对数据显示、滤波等处理, 并可将数据以 TDMS 格式存入计算机硬盘。上位机软件在 LABVIEW 环境中开发。

4 试验结果分析

为了验证系统可以实现 4 路冲击信号的并行采集存储, 将一只加速度计的输出同时接入 4 路 AD 芯片输入, 通过撞击冲击信号, CPLD 控制 4 路 AD 同时对该信号进行并行采集存储。试验完成后, 利用上位机数据回读软件将铁电存储器中的试验数据读出, 如图 7 所示。从图中可以看出, 4 路 AD 采集到的数据基本一致, 说明系统实现了 4 路信号的同步并行采集存储, 单通道采样率为 500 kHz, 达到了预期效果验证了系统的正确性。

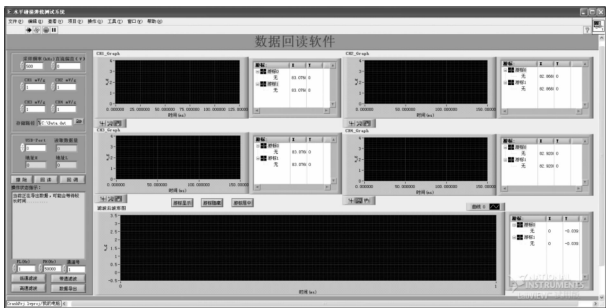


图 7 试验波形 (X 轴—时间 ms, Y 轴—加速度 $\times 10^3\text{ g}$)

5 结论

本文基于 CPLD 设计了多路瞬态冲击信号存储测试系统, 实现了多路冲击信号的同步高速采集存储。由于采集与存储模块采用了模块设计将该系统进行简单的叠加即可对 8 路、16 路以及 64 路等多路冲击信号的存储测试。本文还基于 USB 接口芯片设计了数据回读接口模块, 并在 LABVIEW 环境下设计了数据回读软件, 可将测试到的冲击信号回读到 PC 机进行二次分析与处理。最后, 通过试验验证了测试系统的正确性。

参考文献:

[1] 类玉富, 刘芳, 傅鹏程. 多路瞬态信号测试系统研究 [J]. 总参炮兵装备技术研究所学报, 1998, 3: 15-20.
[2] 潘建强, 刘建湖, 杨云川, 等. 水平式强碰撞冲击机冲击动响应分析 [A]. 第十届全国冲击动力学学术会议 [C]. 太原, 2011.
[3] 汤静, 张宇. 仪器仪表运输、运输贮存环境试验中碰撞和跌落试验 [J]. 自动化与仪器仪表, 2001, 2: 110-111.
[4] 胡柱龙, 徐刚, 抑香稚. 基于 DSP 的瞬态冲击信号采集的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (2): 272-280.
[5] 魏明, 生刘莹, 警斌, 等. 基于 CPLD 高速信号存储测试系统的设计 [J]. 微计算机信息, 2008, 24 (10): 189-193.
[6] 石波涌, 应文威, 蒋宇中. 基于 FT245BM 的数据采集系统设计与实现 [J]. 舰船电子工程, 2010, 30 (12): 125-129.
[7] 蔡江洪, 史小军, 朱为, 等. 利用 FT245BM 实现 FPGA 与 PC 机的 USB 通讯 [J]. 电子器件, 2005, 28 (1): 132-137.
[8] 郑剑翔. 基于 FRAM 铁电存储器的可移动数据采集器 [J]. 电子技术, 2004, 2: 7-9.

(上接第 5 页)

[6] ITU. ITU-R S. 733-2 Determination Of The G/T Ratio For Earth Stations Operating In The Fixed-Satellite Service (S) Geneva: ITU, 2000.
[7] Garg V K, Rauthan D B. Choice of Moon for G/T Measurement [J]. IETE Journal of Research 2015; 31 (3): 73-77.
[8] 王中果, 王振兴, 汤海涛, 等. 频率偏置对 Ka 频段圆极化频率复用数传链路的影响 [J]. 航天器工程, 2014, 23 (5): 65-71.
[9] Srinivas R, Nithyanandan Dr L, Subba Rao P V V. Evaluation Of Remote Sensing Satellite Ground Station Performance In Prbs Local

Loop, Tpg Loop Mode From FarField Boresight And Validation Of Satellite DownlinkChain For Indian Remote Sensing Satellite Series (J) International Journal Of Electronics And Communication Engineering & Technology (IJCET). 2013, 4 (4): 119-125.
[10] 王中果, 汪大宝, 曹京, 等. Ka 频段双圆极化频率复用的星数传链路分析 [J]. 航天器工程, 2013, 22 (5): 85-91.
[11] Srinivas R, Nithyanandan L, Umadevi G, Padmavathi C S. Radha Nayani. Remote-sensing satellite ground station evaluation using QPSK emulator with test pattern and PRBS generation [J] CEAS Space Journal 2015, 7 (4): 399-417.