

航天通用测发控软件平台设计与应用

褚厚斌, 张丽晔, 郭晶, 郭会章, 李鑫

(中国运载火箭技术研究院研究发展中心, 北京 100076)

摘要: 随着我国航天器频繁发射的常态化, 对航天测发控软件技术的要求也逐渐提高, 主要表现在提高软件通用性、自动化程度和数据处理能力 3 个方面; 文章在分析测发控业务需求的基础上, 提出了测发控信息全过程可配置、测试数据通用化处理、测试实时判读和试验数据快速后处理的方法, 构建了航天通用测发控软件平台, 实现了测发控软件的型号通用化, 降低了软件研制成本, 减少了现场测试人员和现场测试时间, 提高了飞行器测发控效率。

关键词: 测发控软件; 自动化; 实时判读

Design and Application Of Space General Test And Launch Control Software Platform

Chu Houbin, Zhang Liye, Guo Jing, Guo Huizhang, Li Xin

(China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

Abstract: With the high frequency of spacecraft's launch, the requirements of Test and Launch Control Software technology has been increased. The requirements mainly include the improvement of software's generality, automation and data process performance. This paper analyzed the requirements of test and launch control business, proposed a method which implements configurable process of test and launch control information, test data general processing, real-time interpretation and test data rapid post-processing. A space general test and launch control software platform is built and it implemented the generality to different model, lower the cost of software's development, reduced the human resources in site test and saved the testing time and improved the test launch and control efficiency of spacecraft.

Keywords: test launch and control software; automation; real-time interpretation

0 引言

随着我国航天器频繁发射的常态化, 以及各类科研空间探测器型号的不断增多, 对测发控软件技术要求也不断提高^[1]。主要体现在: 1) 提高软件通用性, 避免一套软件只针对一个型号, 一旦参数变更就要现场改代码的被动局面^[2]; 2) 提高测试自动化程度, 实现自动化测试与自动化实时判读, 实现测试现场第一时间发现问题, 节省事后人工分析数据的时间; 3) 提高数据处理能力, 实现试验数据现场分析处理归档入库, 方便测试人员现场查询历次试验参数。

1 通用测发控软件平台框架设计

航天飞行器地面测发控软件是一个大型网络软件系统, 由多个应用软件组成, 如服务器端数据中心软件、终端指控软件、数据实时监测软件以及数据浏览软件等, 主要功能是实现测试发射控制流程的半自动或自动化测试, 以及所有数据的图形化显示, 完成发射前单机检查、分系统检查、总检查的测试准备以及发射后在轨遥测。

1.1 测发控软件需求

1) 满足飞行器全生命周期的测试要求;

建立覆盖飞行器各单机检查、分系统检查、总检查的测试数据模型以及软、硬件接口, 实现从飞行器单机试验、分系

统匹配试验、总装试验、发射前总检查到发射后在轨运行测试的全生命周期测试。

2) 具有全测试周期可配置, 实现软件通用化要求:

构建多种数据源输入接口、支持通信协议配置、测试流程指令可配置、软件界面可配置、归档库可配置, 实现从试验数据采集、数据解析、数据处理、数据显示、数据归档到流程执行、指令发送的全测试周期配置, 达到软件通用化的设计目的^[3]。

3) 实现测试流程自动化、判读实时化设计要求:

基于 workflow 技术实现测试过程中指令按时序自动发送, 实现测试自动化“一键”完成, 基于事件的实时参数判读机制, 实现参数判读随测试流程和指令不同而变化, 将现场测试人员从繁琐的测试时序和事后数据分析判读工作中“解放”出来。

4) 支持试验数据现场分析入库:

每次试验完毕后, 支持将试验产生的全部数据自动分析处理导入数据库管理, 实现现场测试人员按时间、分系统、参数对历次试验进行查询、浏览, 做到试验完毕试验数据即分析入库。

1.2 软件平台框架设计

通过对测发控软件的需求分析, 发掘飞行器测试过程中共性的、不变化的部分以及变化的部分, 按照层次化、模块化和通用化的设计思想, 构建通用测发控软件平台框架如图 1 所示。

通用测发控软件平台分为数据中心、实时显示终端、数据浏览终端和配置工具四部分。数据中心主要完成试验数据获取、数据处理和数据分发功能, 数据获取主要通过软件接口和

收稿日期: 2015-02-01; 修回日期: 2015-03-31。

基金项目: 国防基础科研计划重大项目(C0320110001)。

作者简介: 褚厚斌(1983-), 男, 山东泰安人, 硕士研究生, 主要从事航天测发控技术方向的研究。

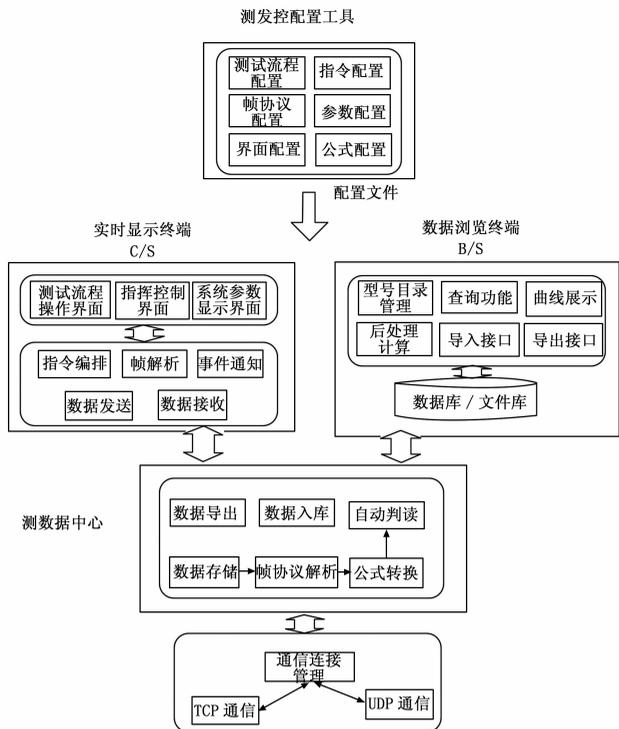


图1 通用测发控软件平台总体框架

硬件接口两种方式实现，软件接口主要与支持 TCP/UDP 协议的数据源连接，通常应用于飞行器综合匹配试验、总检查阶段，硬件接口主要通过 PXI 总线集成多路数字和模拟信号、1553B 接口、RS422 接口实现对一些试验数据直接采集，采集方式通过调用板卡驱动程序获取试验数据后整合为固定格式的试验数据帧。数据处理功能主要完成帧协议数据的格式检查、挑包、帧解析、公式转换、自动判读、编帧功能，采用通用化的算法实现对 PCM 协议、分包协议、自编协议的自动化解析。数据分发功能主要实现数据中心向实时显示终端发送已处理完的数据帧和向目标设备转发终端发送的指令帧，并转发其它接入设备的数据帧^[4]。

实时显示终端主要根据飞行器测试显示要求，以数值、曲线、虚拟仪表等方式显示测试参数。显示终端根据角色职能划分可以分为指控终端、副控终端、GNC 系统终端、动力系统终端、电源配电系统终端、测控系统终端等。显示终端的功能包“控”和“测”两部分，“控”是指测试流程执行和指令的发送功能，可以对飞行器上设备进行指令控制，“测”是指对飞行器总体和各分系统状态的监测，当参数数值超差时，可以实时报警。

数据浏览终端主要实现对历史测试数据的查询和处理分析。与以往不同之处在于以前测试数据的入库归档是在从靶场返回后完成，现在可以在现场试验完毕后直接完成。数据浏览终端通过型号目录管理、分系统管理、参数管理、数值管理实现对测试数据管理，通过曲线显示、通用算法计算、数据导出实现对测试数据的后处理分析。

测发控配置工具主要完成飞行器全测试周期内数据对象的配置工作，包括帧协议配置、参数配置、公式配置、判据配置、指令配置、界面布局配置等功能，配置完毕后将配置文件导入数据中心和实时显示终端，使得测发控平台完全具备型号无关性、通用性、无编码、易于维护性特点，可以通过短时间的配置满足多个型号的测发控任务要求。

2 关键技术实现

2.1 测发控全过程可配置设计

通用测发控软件平台根据飞行器测试过程中的数据和功能特点进行总结和抽象，将数据分为协议、参数、计算公式、参数判据、流程和指令，将功能分为通信功能、数据处理功能、数据显示功能和流程执行功能。不同型号飞行器之间的参数表、公式、判据等数据对象不同，因此数据必须是可配置的。但是，不同型号飞行器测试过程中负责数据发送和接收的通信功能，以及数据处理功能和显示功能是相同的，因此可以设计一套通用的功能算法，通过配置不同型号的数据对象让同一种功能算法进行处理，可以实现测发控平台的型号通用化设计。在测试过程中，如果需要更改参数的计算公式或显示方式，可以直接通过配置工具修改即可，无需再修改代码。

如图 2 所示，详细描述了参数通用化处理业务过程的原理，其中配置数据主要是通过通用测发控软件平台的配置工具完成对帧协议、参数、公式、判据、界面的配置工作。在测发控数据中心收到数据后首先对数据的帧格式进行检查，比如帧头、帧长度的判断，其检查依据来自帧协议库，然后对形成的帧数据包进行解析，比如根据参数在包中的波道和字节数将参数取出，其解析信息来自帧参数库，然后对挑出的数据通过公式计算转变为物理量，其转换用的公式来自公式库，然后再经过判读和显示功能最终将参数显示给测试人员。

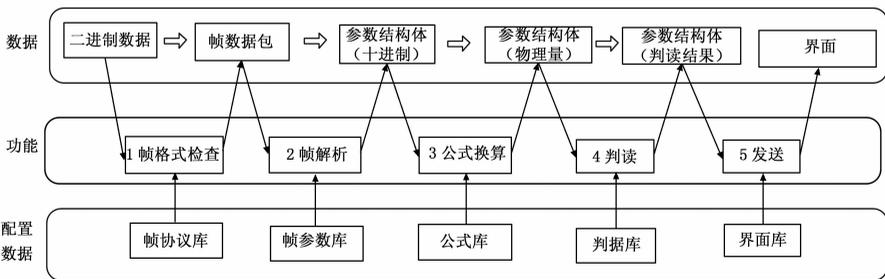


图2 通用化参数处理过程

2.2 测试自动化与实时判读

通用测发控软件平台测试流程自动化执行可以实现测试指令按时序自动发送，采用指令完成一些不必要的人工操作，将测试人员从繁琐的测试时序中“解放”出来，“一键”完成测试^[5]。测试流程自动化功能主要基于 workflow 技术实现，包括测试流程配置和执行引擎两部分功能。测试流程配置功能可以通过图形化的人机交互界面，拖拽活动组件绘制测试流程，活动组件分为开始、指令、等待、暂停、结束等活动，其中指令活动可以关联指令库中已经配置的指令，在执行该活动时自动发送关联的指令，流程绘制完毕后以 xml 文件的方式进行保存，由通用测发控平台实时显示终端调用。测试流程执行引擎主要完成测试流程的解析和执行，终端加载测试流程配置文件后，经过解析将流程时序以列表的形式展示，在执行流程时，工作

流引擎遍历活动的先后关系, 并根据活动的运行状态依次自动执行活动。执行过程中如果参数判读异常, 流程将自动暂停等待人工干预, 如果没有异常则自动执行完毕。

参数实时自动判读功能可以改变以往现场上午做试验, 下午做数据判读的局面, 提高数据分析效率, 大大节省试验时间。参数实时自动判读功能通过参数判据随流程和指令自动变化, 实现参数判读测试周期全面覆盖。在测试过程中, 一旦有参数数值出现超差, 终端显示界面中的报警灯将闪烁进行提示并记录超差次数, 测试人员可以通过判读超差日志查看超差参数详情, 避免了以往测试人员紧盯屏幕仍有漏判的情况发生^[6]。参数实时自动判读功能采用基于事件机制的判据方式实现, 其实现原理是将飞行器测试过程中的所有状态变化以事件形式进行描述, 比如测试指令执行过程中的 V1 加电、V2 加电等指令变化, 以及自主飞行过程中的分离等状态变化, 事件描述完毕后, 再将参数的判据与事件绑定, 当事件发生时自动将绑定的判据更新为参数的当前判据, 实现参数实时自动化判读。

2.3 试验数据快速后处理

通用测发控软件平台通过快速后处理功能实现在试验现场对关键参数的准实时处理分析和所有参数的入库工作。关键参数的准实时处理分析功能在试验完毕后使得测试人员可以快速拿到部分关键参数的测试报告, 内容包括参数值列表、参数曲线、最大值、最小指、均值以及方差等处理信息, 大大节约了测试人员分析参数的时间。参数入库功能在试验完毕后自动执行, 将所有参数的数值进行处理分析后导入数据库中, 测试人员可以登录数据浏览终端按时间、分系统、参数名称、参数代号查阅所有参数的数值列表、曲线以及基本的处理信息以供对数据再分析。

3 工程应用与分析

如图 3 所示, 为通用测发控软件平台工程应用的部署示意图。通用测发控平台的工程应用过程分为测试信息采集、测试信息配置、软件执行验证、软件工程应用 4 个步骤, 测试信息采集主要完成飞行器测试接口、帧协议及参数表、参数处理方法、测试流程时序、指令协议、部署方式等信息的确定; 测试信息配置通过配置工具将采集的测试信息进行配置录入, 转化为通用测发控软件平台能识别的配置文件; 软件执行验证主要完成新配置的型号测发控软件的初步测试, 验证配置信息的覆盖性、运行可靠性以及界面友好性; 软件工程化应用在软件执

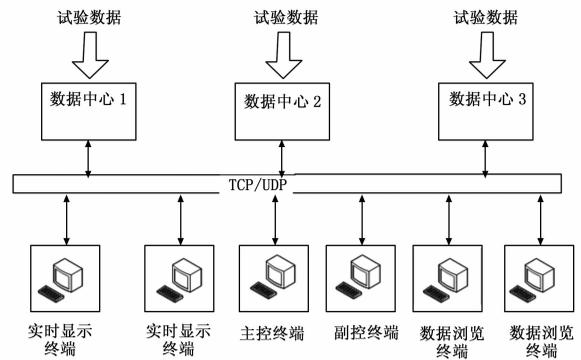


图 3 通用测发控软件平台部署示意图

行验证的基础上固化其验证状态, 以定型版本参与单机试验、系统匹配性试验以及总检查等测试。

4 结束语

本文在分析当前航天飞行器测发控软件需求基础上, 提出研制通用测发控软件平台的设计思路, 实现软件的型号通用化、自动化、可配置性设计; 并介绍了软件平台的总体框架组成, 重点描述了平台软件测发控全周期可以配置设计、测试自动化与实时判读和试验数据快速后处理关键技术, 最后介绍了软件平台的工程应用过程。通用测发控软件平台的实施提高了飞行器测发控效率, 减少了现场测试人员的操作, 节省了现场测试时间, 后续将朝着参数判读智能化、所有操作指令化的方向发展。

参考文献:

[1] 宋征宇. 新一代航天运输系统测发控技术发展的方向 [J]. 航天控制, 2013, 31 (4): 3-9.

[2] 张学英, 易航, 汪洋, 等. 运载火箭测发控系统通用化设计 [J]. 导弹与航天运载技术, 2012 (4): 15-19.

[3] 孙海峰, 陈迪, 解月江, 等. 基于数据库和面向对象的运载火箭地面测发控软件复用 [J]. 航天控制, 2010, 28 (2): 79-83.

[4] 余力凡, 张磊. 运载火箭测发控网络设计 [J]. 航天控制, 2008, 26 (4): 68-74.

[5] 叶建设, 鲍忠贵. 一体化航天测控软件框架研究与关键技术 [J]. 无线电工程, 2008, 38 (5): 46-49.

[6] 谢明明, 沈湘衡, 贺庚贤, 等. 空间相机仿真测试数据自动判读系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (6): 1277-1279.

[7] 周开利, 康耀红. 神经网络模型及其 MATLAB 仿真程序设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

[8] 王煦芳. 车牌生产线烘干系统神经网络辨识建模与仿真研究 [D]. 广州: 广东工业大学, 2007.

[9] Hornik K M, Stinchcombe M, White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators [J]. Neural Networks, 1989, 5 (2): 359-366.

[10] 史峰, 王小川, 郁磊, 等. MATLAB 神经网络 30 个案例分析 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.

[11] 向东阳, 吴正国, 侯新国, 等. 改进的多小波变换系数相关去噪算法 [J]. 高电压技术, 2011, 37 (7): 1728-1733.

[12] Hagan T, Demuth H, Beale M. Neural network design [M]. Boston, MA, USA: PWS Publishing, 1996.

(上接第 1794 页)

[6] 潘晓东, 魏光辉, 李新峰, 等. 同轴电缆强电磁脉冲辐照下的终端负载响应规律 [J]. 高电压技术, 2012, 38 (11): 2828-2835.

[7] 王向东. 基于系统辨识的电子设备电磁脉冲效应建模 [D]. 石家庄: 军械工程学院, 2008.

[8] 吴启蒙, 魏明, 张希军, 等. 瞬态抑制二极管电磁脉冲响应建模 [J]. 强激光与粒子束, 2013, 25 (3): 799-804.

[9] 樊高辉, 魏明, 刘卫超, 等. 静电放电电磁脉冲耦合的非线性优化建模 [J]. 高压电器, 2012, 48 (8): 34-39.

[10] 魏明, 杨楠, 王向东, 等. 静电放电电磁脉冲能量耦合的系统辨识建模 [J]. 高电压技术, 2010, 36 (8): 2017-2022.

[11] Qi M W, Ming W. A mathematical expression for air ESD current waveform using BP neural network [J]. Journal of Electrstatics, 2013, 71 (2): 125-129.