

航天器通用测试平台研制

Development of Spacecraft Universal Testing Platform

北京康拓工控工业电脑公司 王军鹰



王军鹰

毕业于北京信息工程学院, 现任北京康拓工业电脑公司、国家工业控制机及系统工程技术研究中心副总工程师, 主要从事工业自动化、自动测试仪器等领域的研究及技术管理工作。

我国对航天器测试系统的研究已有多年的历史。近年来, 随着我国航天技术的飞速发展, 载人飞船、导航卫星、深空探测卫星、空间站等采用新技术、具有新功能、赋予新使命的航天器不断被推出。由于新航天器的研制进度紧、可靠性要求高、新问题多、新部件多, 原有测试设备和测试方法已不能满足新的需求, 因此需要研制一种自动化、系统化、通用化的全新测试系统。康拓公司抓

近年来, 随着我国航天技术的飞速发展, 载人飞船、导航卫星、深空探测卫星、空间站等采用新技术、具有新功能、赋予新使命的航天器不断被推出。由于新航天器的研制进度紧、可靠性要求高、新问题多、新部件多, 原有测试设备和测试方法已不能满足新的需求, 因此需要研制一种自动化、系统化、通用化的全新测试系统。

住这个时机, 瞄准航天器测试的新需求, 利用已有技术和成果, 通过总结、提炼、改造和完善, 适时地推出了KT8000自动测试平台。经过3年多的推广应用, 现在已有100多套系统用于多种型号卫星及部件的研制过程, 基本满足了当前新型航天器测试的需求。

KT8000自动测试平台研制历时1.5年, 经历了需求分析、方案设计、设备选型、方案评审、难点攻关、规模研发、系统测试几个阶段。对研发经验进行总结, 可为以后研发更新型的通用测试平台和航空、船舶、车辆等行业测试系统提供参考。

利用成果, 总结经验, 建立通用架构

研制KT8000自动测试平台之初, 遇到不少困难: 时间进度紧, 可靠性要求高, 实时性要求严格, 测控

信号数量多, 需要存储海量数据。为了达到这些要求, 康拓借鉴了原有KT6000DCS系统架构。

KT6000DCS是康拓上世纪90年代开始研制的工业级DCS (Distributed Control System, 分散控制系统) 产品, 经过多年的实践检验, 技术成熟, 具有测、控、管一体化的3层结构, 能够同时满足实时测控、海量存储和可靠运行的要求。经过对DCS系统架构的修改 (提高板卡采集速度和精度, 丰富测控算法, 加大数据传输带宽, 完善数据库功能), 新测试系统成功地满足了航天器的测试需求, 达到了实时测控对象、平稳传输数据流、完整保存全过程数据和在线分析管理数据的要求, 实现了航天器及部件的测试、控制、分析管理的一体化。

第一套测试系统完成后, 为满足多种型号航天器的测试需求, 公司对

测试系统进行了通用化改造: 将通用 I/O 板卡定形, 增加信号调理系统和电缆梳理系统。航天器型号不同, 信号的数量、类型也不同。测控时只需根据航天器的具体型号调整信号调理系统、电缆梳理系统和测控算法, 基本上不需改变测试系统整体架构和其他设备, 从而使测试系统具有了极大的通用性, 形成了通用的测试平台。

由 KT8000 结构的设计和探索过程可见, 测试系统的研制要充分利用现有研究成果, 对成熟的产品加以利用、完善、综合和提高, 使之适合新的测试需求, 从而提高测试系统的研制速度和可靠性。另外, 测试设备的研制是一个“从专用到通用, 再到专用”的过程。为具体项目研制专用测试系统后, 可经过总结、改造, 将其通用化并再运用到其他项目中, 使测试系统得以实现“从项目中来, 独立于项目, 服务于项目”的目标。这样既能满足进度要求, 又能满足可靠性要求, 同时又具

有较高的通用性。阀门等) 需要极高速的测控。面对众多不同类型的部件和复杂的控制算法, 测试机难以凭借单一处理器对这些装置进行并行测控。为解决这个问题, 测试机采用了多个智能 I/O 板卡, 将 ARM (Advanced RISC Machine)、DSP (数字信号处理器) 等嵌入式处理器集成到 I/O 板卡, 将部件的测控算法注入处理器, 使采集、计算和控制完全在板卡上进行, 构成了板级系统。板卡以 μs 级速度进行测控, 测控结果经统计分析, 以 ms 级速度传送给测试机 CPU (中央处理器) 板, CPU 板则对多个智能 I/O 板卡进行统一调度, 从而实现了测试机系统的多部件高速并行测控。

测试机 CPU 板中安装了 RTOS (实时操作系统) 以实现测试机的 ms 级测控精度, 安装了测试策略执行软件从而构成装置级系统。为可靠地存储测试过程中产生的海量测试数据, 测试机采用了商用服务器, 可达到 TB 级数据存储量。而服务器中

采用 RTDB (实时数据库) 接收以太网传输的数据, 从而实现了数据的高速接收、高速存储、高速发送。另外, 服务器中还安装了大型商用数据库, 实现了海量数据存储、查询、分析的功能。RTDB 与商用数据库互相配合, 实现了对高速、海量实时

数据的存储和分析。

调度机和客户端利用商用计算机和 Windows 操作系统实现了全图形化操作界面。计算机中安装组态软件, 实现了测控算法的组态、下装、指令发送、参数修改等功能。利用数据分析软件实现了数据查询、曲线分析、数据拟合、实验回放等功能。

测试平台是一个多系统的集成体, 在单一装置能力不足的情况下,

为了满足航天器测试的要求, 采用了软硬件结合、大小系统结合和工业商业产品结合的方法, 利用系统的功能来弥补单一装置能力的不足, 满足了航天器测试的高要求。

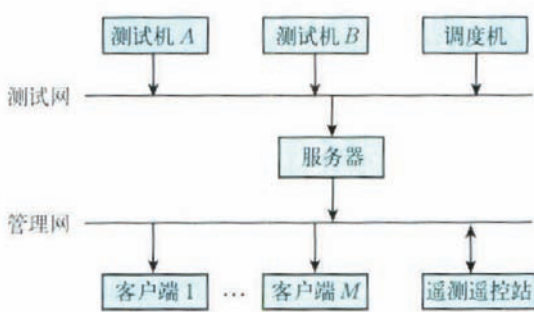
接口清晰, 系统具有伸缩性

在设计测试系统时, 应充分考虑系统接口的清晰性。清晰简洁的接口能使系统具有良好的可维护性、可裁减性, 从而使系统具有伸缩性。

KT8000 自动测试平台在整体设计上分为 3 层架构, 各层之间采用标准以太网接口。测试机、服务器和客户端全部通过以太网接口连至高速网络交换机, 再通过交换机与其他设备相连, 以保证各物理设备接口的标准性和一致性, 从而使得设备易于增减和更换。

在自动测试平台软件设计上也考虑了接口的清晰性。系统最前端的测试机安装 RTOS、测试策略执行软件和经过组态的测试策略。RTOS 具有跨硬件平台的特点。执行软件与 RTOS 之间有标准的软件接口, 接口支持多种 RTOS, 具有跨软件平台的特点。策略执行软件执行测试策略, 与软硬件平台无关。这样, 测试机所有软硬件都具有独立性和可替换性, 易于分别维护和升级。软件采用标准 TCP/IP 协议, 通过以太网与服务器中的 RTDB 通信; 而 RTDB 采用标准 SQL 接口, 支持多种大型商用数据库并为其提供数据, 用户可以根据实际需要选择数据库类型; 客户端通过以太网连接服务器, 采用标准 SQL 接口读写数据库中的数据, 也支持多种类型商用数据库。测试机、服务器、客户端均采用 X86 架构, 可随计算机技术的发展而不断更新以提升性能。

KT8000 自动测试平台, 可以通过调度机, 利用软件在实验前对系统进行灵活配置, 实现对系统软、硬件



KT8000自动测试平台硬件架构图

有较强的适用性。

发挥系统优势, 形成自身特点

航天器测试系统采用多系统集成方式将多个具有不同功能的子系统集成起来, 使之互相配合, 构成一种完全不同于单一设备的大型系统。KT8000 自动测试平台广泛采用系统集成技术, 由板卡、到装置、再到平台, 形成多系统组合。

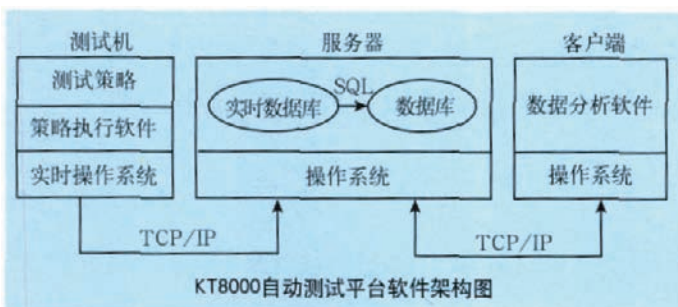
航天器中一些部件(如动量轮、

的裁剪,有效控制了系统规模。

采用 COTS 产品,降低研制和维护投入

要想使通用测试平台具有较强的生命力,除了平台架构设计合理、产品质量可靠条件外,还应使平台在设计架构、设计思想不变的条件下具有“新陈代谢”功能,即平台内各部分可以方便地更新或替换。这样,就要求平台内设备尽量采用 COTS (Commercial Off-the-Shelf) 产品。

大量采用 COTS 产品能够有效地加快研发周期,延长平台使用寿命,减少重复研发的工作量,降低平台维护难度,并使平台的研发生产向产品化、通用化、规模化发展。



康拓是本土老牌的工控企业,拥有较为丰富、成熟的系列化产品,采用自己和其他企业成熟、商品化的产品来构建测试平台,无疑是一种快捷、可靠的方法。因此 KT8000 自动测试平台的测试机、调度机、服务器、客户端全部采用 COTS 产品,其软件中的 RTOS、测试策略组态软件、商用数据库、台式机操作系统也全部采用了 COTS 产品。而对于还不是 COTS 产品的 RTDB、数据分析软件和试验调度软件,要求全部采用商用工具软件开发并定义标准的对外接口,同时研发具有此种功能的通用产品,在形成成熟的 COTS 产品后,逐步将其替代为相应的 COTS 产品。

值得一提的是,虽然 COTS 产品通用、可靠、易维护,但它往往不能满足具体型号航天器的特殊测试要

求。为解决这个问题,定制了针对不同型号航天器的信号调理系统和电缆梳理系统,将非标准信号和特殊配置的电缆分别转换成标准信号、标准电缆,再连接到由 COTS 产品组成的测试机上。因此在测试不同航天器时,只要选择为其定制的调理系统和梳理系统即可。

测试仿真一体化,满足研制全过程需求

在航天器研制过程中,各部件研制难度的不同导致了研制进度相差很大,而航天器研制任务紧,整星测试、调试工作无法等到部件全部完成后进行,因此需要研制相应部件的仿真器。但是由于真实部件还在研制

过程中,仿真器如何仿真仍在不断修改设计中的部件是一个难题。

KT8000 自动测试平台采用了测试仿

真一体化的方案,将仿真部分置入仿真计算机,仿真计算机采用与测试机相同的软硬件平台,用以太网与测试平台连接,仿真算法、参数由调度机离线或在线注入,仿真运行过程中的内部参数由以太网发送到服务器进行存储,仿真 I/O 数据由电缆连接到测试机,供平台对仿真器进行测控。

测试仿真一体化的设计方案,可消除由于部件研发进度不同给整星研制进度带来的影响;同时,由于该方案能在线修改仿真算法和参数,因此整星测试过程中也能够调整、测试部件的控制算法和参数,为真实部件研制提供修正意见。

统一数据存储格式,增强数据可重用性

航天器整星及部件测试的测试

数据是宝贵的资源,应当保证安全地保存数据和方便地利用数据,这在测试平台研制方案设计时必须考虑的重要问题。

为保证测试数据的存放安全可靠,KT8000 自动测试平台采用大型商用数据库来实现试验数据高速、安全存储。该测试平台支持离线和在线查询、分析、数据比对、曲线拟合、数据重放等功能。

为了保证平台的通用性,所有基于该测试平台的测试系统的数据库都具有统一的表结构,可追溯每一个数据的信号名称、采集时刻、试验内容、试验时间、试验人员、航天器及部件型号等信息。

统一数据存储格式不但增强了测试平台的通用性,而且为跨平台跨型号号读取、分析和比对数据提供了便利条件。将收集的多种型号航天器和部件的测试数据汇总,就可以为航天器及部件的健康状况分析预测、数据挖掘、部件及算法选择提供大量真实的参考依据。

结束语

作为航天器及部件的测试平台,经过近 4 年的应用验证,KT8000 自动测试平台被证明是成功的,其特点是:以现实条件为基础,不盲目攀高,力求简洁实用;利用已有成果,面向实际应用,避免重复开发;研制前从长远考虑,全面规划,研发中各部门互相协作,通力配合;与用户密切沟通,不计个人得失,一切为项目着想;总结经验教训,不断修正、完善,促进平台产品化。

同时也暴露出一些问题:半导体、芯片、线路板等的研发技术、生产工艺落后;国家没有统一的测试系统标准;没有统一的测试设备管理规划部门;没有专门的部门对各型号航天器测试数据进行统一整理、分析和总结。

(责编 小颖)