机载设备自动测试系统通用开发平台

孙宝江 秦红磊 李 洁 沈士团

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100083)

摘 要: 针对当前自动测试系统(ATS, Automatic Test System)开发技术存在的不足,构建了一个 ATS 通用开发平台.该平台对 ATS 软硬件进行联合设计,用户只需通过接口输入被测设备信息及测试策略流程,平台即可自动完成大部分软硬件设计工作,包括仪器选型、适配器设计、测试程序生成等.设计结果会传递到平台提供的 ATS 运行环境,供用户进行被测设备的测试、故障诊断.经实例验证,ATS 软硬件联合自动设计技术可缩短开发周期,降低开发成本,提高设计的标准化、通用化程度.

关 键 词: 自动测试; 开发平台; 自动测试系统; 自动设计; 测试适配器; 测试程序集

中图分类号: TP 274

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2007)03-0327-05

General development platform for airborne equipments automatic test system

Sun Baojiang Qin Honglei Li Jie Shen Shituan

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: Aiming at the problems in the development process of automatic test system (ATS), a general development platform for ATS was presented. The platform joints the software and hardware design together, after inputting test points information and test strategy flows of unit under test (UUT) by interface, much of software and hardware design work can be finished automatically including instrument configuration generation, test unit adapter design and test program generation, etc. Design result will be transferred to the ATS runtime environment where ATS operator can test and diagnosis. An engineering application shows that the development platform can shorten the ATS development cycle, decrease design to factory implementation cost, and increase the degree of standardization and generalization of ATS.

Key words: automatic testing; development platform; automatic test system(ATS); automatic design; test unit adapter(TUA); test program set(TPS)

目前,武器装备自动测试的水平已成为衡量军队维修现代化水平的一个重要标志,因此,自动测试系统(ATS, Automatic Test System)的研究已成为世界各国武器装备发展的重点内容之一.[1]

纵观当前 ATS 开发领域,存在如下问题:①未建立统一、标准的自动测试体系.目前研制的 ATS 基本上是自成体系,使用的 ATS 数量繁杂、兼容性差、效率低,造成大量的资源浪费.②系统软硬件设计的分离.迄今为止,国内外的 ATS 设计都采用软硬件分别设计的思路,这种先分散后集成的方式不可避免地带来诸多"连接损耗",影响软硬件之间的信息共享,降低系统整体的设计效率、设计质量.③硬件设计为手工设计.ATS 的硬件方案确定、设备选型、资源配置、适配器设计、接口电缆设计、系统计量设计、自检设计等工作都

收稿日期: 2006-04-04

基金项目: 国防基础科研基金资助项目(K1200060302);"十一五"国防预研资助项目(B0520060455)

作者简介: 孙宝江(1971—),男,山东荣成人,博士生,sbj@vip.sina.com.

是手工完成,工作量繁重,又依赖于设计人员的经验,因而在设计的标准化、设计效率及设计质量等方面都有很大局限,最终影响了测试系统的整体性能和水平.④系统硬件资源通用性较差,有待完善.传统测试系统通过不同的适配器实现对不同UUT(Unit Under Test)的测试,造成一种被测设备对应一个适配器的现象,从而导致测试系统设计工作量增加、设计成本升高、资源浪费、连接复杂、安全性降低等问题.⑤测试程序开发效率较低.测试程序集(TPS,Test Program Set)是ATS软件开发的核心内容,直接决定系统的性能及应用效果.当前测试程序的开发效率都较低,对于"测试程序可移植、互操作"的迫切要求始终未得到较好的解决.

本文针对当前ATS开发技术存在的不足,在完成某型直升机机载设备综合自动测试系统基础上,深入研究ATS开发方法、开发流程,构建了一个ATS通用开发平台.该平台对ATS软硬件进行联合设计,用户只需通过"被测设备需求分析"接口输入被测设备信息及测试策略流程,开发平台即可自动完成大部分硬件设计与软件开发工作.软硬件自动设计的结果传递到平台提供的ATS运行环境,供用户进行实际的测试、诊断操作.

1 通用开发平台体系结构

本平台采用面向信号和模型化的设计与实现方法,以信息共享为纽带,综合运用数据库、ActiveX和COM(Component Object Model)组件等技术构建了一个ATS软硬件开发环境和测试系统运行环境.

1.1 自动测试系统通用开发平台体系结构设计

ATS通用开发平台包括被测设备测试需求接口、硬件开发环境、测试程序开发环境和测试系统运行环境四部分,整个测试系统的设计基于被测设备的信号模型,即系统设计是面向信号的.自动测试系统通用开发平台结构框图见图1.

用户通过被测设备测试需求接口输入UUT测点信息和测试策略流程.根据测点信息所建立的UUT模型是贯穿测试系统硬件、软件设计的核心模型,测试策略流程是测试程序自动生成的依据[2].

硬件开发环境在系统中起到承上启下的作用.在输入端,它从UUT模型中提取信息,自动完成仪器选型、开关配置等测试适配器设计工作,在此基础上完成系统计量标定设计、系统自检设计;在输出端,它输出测试程序开发所需要的仪器模型、ICA(Interface Connector Assembly)模型、ITA(Interface Test Adapter)模型、通道模型以及用于适配器制作的装配图和电缆制作图等工程文件.

测试程序集成开发环境根据用户输入的测试策略流程信息首先生成ATLAS(Abbreviated Test Language for All System)测试源程序,进而综合硬件设计输出的各种模型信息转化成可直接

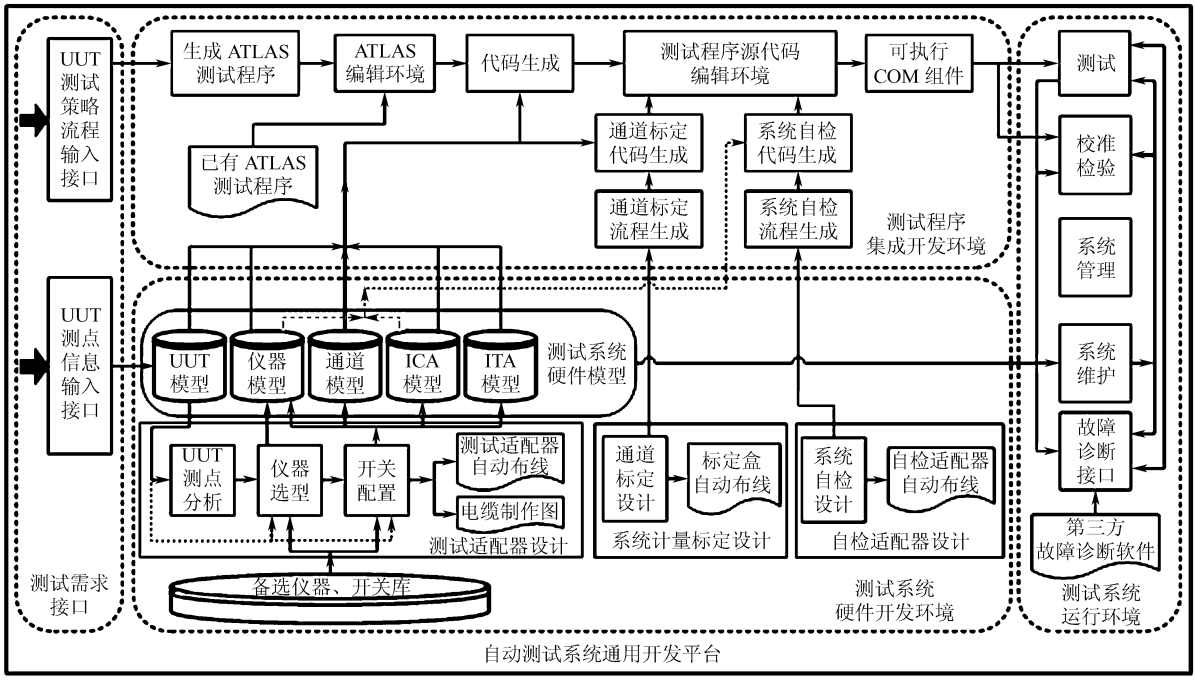

图1 自动测试系统通用开发平台结构框图

驱动仪器的可执行 COM 组件,同时也可生成通道标定程序和系统自检程序的程序主体.

测试系统运行环境提供面向用户的自动测试系统操作平台,用户可在此平台上实际运行测试程序、标定程序、自检程序.运行环境还具有系统管理、系统维护功能,通过故障诊断接口可挂接第三方故障诊断软件,实现测试、诊断的互动运行.

1.2　测试需求的通用描述技术

本平台 ATS 硬件设计基于 UUT 测点信息描述,软件开发基于 UUT 测试策略流程描述.

UUT 测点描述包括 UUT 测试端口信息及测点信号属性的描述,本系统根据 ATS 中的信号描述需求,结合 ATLAS 标准中关于信号的表述标准[3],采用属性集合方式描述信号.任何一种信号都可分解为诸如时间、幅度、频率、能量特性等属性单元,而信号在激励或测量状态下具有不同的属性结构.系统从信号属性结构入手,对测试端口和测点建模,用户将端口、测点信息录入后,系统即可据此进行 ATS 硬件设计.UUT 测点信号属性也是测试程序编译环节的参考要素和故障诊断的物理原型.

UUT 测试策略流程描述包括 UUT 各部件指标测试及性能测试过程、内容的描述.本系统通过对各种测试过程的分析、归纳,总结出共同的行为要素形成各种描述测试过程的单元模块,并建立了一种友好、方便的图形化、流程图式的描述环境,用户通过调用各种单元模块构成测试流程图,系统即可据此自动完成后续的测试程序开发.

1.3　测试系统软硬件的模型化技术

开发平台四部分之间的信息交流,以及测试方案到仪器驱动的转换都源于系统软硬件的模型化技术,它是确保开发平台结构优化、测试系统可扩展、TPS 可移植、互操作的必由之路.平台将系统的硬件部分抽象为五大模型:UUT 模型、仪器模型、ICA 模型、ITA 模型、通道模型,将测试系

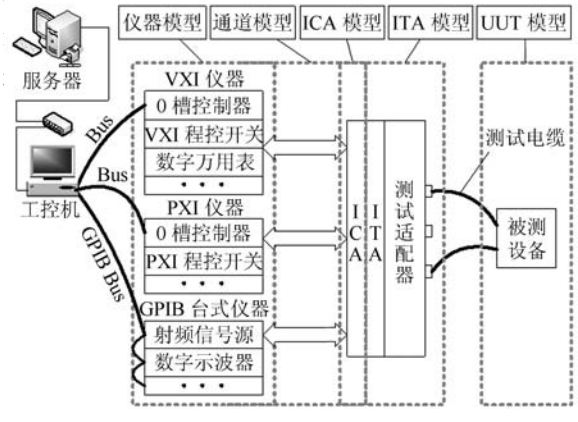

图 2　通用自动测试系统硬件模型框图

2　自动测试系统硬件开发环境

如图 1 所示,本平台硬件开发环境分为三部分:测试适配器设计、自检适配器设计、计量标定装置设计,本文主要介绍包括系统资源选型在内的通用测试适配器的开发过程.

2.1　适配器通用端口设计

通用适配器前面板上设有若干“通用端口”,用不同的电缆连接通用端口与 UUT 端口即可实现对不同 UUT 的自动测试.适配器通用端口分普通通用端口和射频通用端口两种.本平台采用端口设计算法自动确定通用端口数目和端口针数.

2.2　仪器选型

2.2.1　UUT 测点与仪器资源的自动匹配

仪器选型第一步是进行 UUT 测点与仪器端口的自动匹配.匹配基于两个模型数据库:UUT 模型库和备选仪器模型库,它们都是运用前述通用信号描述方法建立起来的.匹配原则是“匹配仪器端口能产生或测量被测设备测点需求或输出的信号及指标”.进行仪器匹配时可能会遇到 4 种情况:

1) 能直接根据属性确定所需仪器端口,注意当系统资源中有多种能满足测点信号需求的仪器时,需要对各种仪器进行综合评价,排出顺序.

2) 仪器在属性类型上能满足需求但在属性范围上无法满足要求,此时考虑采用调理电路.

3) 没有直接对应的仪器,需要根据经验采用变通方法实现,此时应从总结的“等效仪器”库中寻找匹配目标.

4) 没有直接对应的仪器,也没有“等效仪器”与之对应,将这类测点显示出来供设计人员手工确定,此时对应于“自制设备”.

2.2.2　UUT 端口向通用端口映射

在完成 UUT 测点与仪器资源匹配后,便确定了所有测点与仪器端口的对应关系.由于所有 UUT 测点并非同时接入适配器,因此仪器选型并不能依此得出,要得到不冗余而又满足需求的仪器选型还需进行测点基于所匹配仪器端口的合并,合并方法是将各通用端口所包含的 UUT 端口向其归属的通用端口映射.映射是将从 UUT 端口测点集合到仪器端口集合的对应关系,分解为先从 UUT 端口测点集合对应到某通用端口触点集合,再从某通用端口触点集合对应到仪器端口集合.

当一组 UUT 端口映射到其归类的通用端口

后,一方面确定了该通用端口各触点所连接的仪器端口,另一方面,综合各通用端口所连接仪器资源便得到真正满足所有 UUT 测试需求的最小仪器集合,此时即可提出系统的仪器选型建议.经市场调查、成本分析后确定系统的仪器资源,建立仪器模型.

2.3 开关网络设计

至此,确定了开关网络两端(UUT 测点与仪器端口)的逻辑连接方式,通用开关网络设计就是配置合适的开关实现这种连接方式.由于此时还未确定系统的开关资源,因此开关是从备选开关模型库中选择.选择原则是:所选的开关种类、型号、数量都满足实际连接需求,开关总量最少、通道最短,并且兼顾适配器自检及电缆检测,同时具有一定的扩展升级能力.开关选择完成后即可提出系统实际需要的开关选型,经市场调查、成本分析后即可确定系统的开关资源,建立开关模型.

2.4 适配器相关工程设计

2.4.1 适配器自动布局布线

以往开关网络连接图都是手动绘制,效率低下且不便于数据共享和更新.本平台首次在适配器设计中采用基于线探索法[5]的自动布局布线技术,并对布局结果进行调整、优化.生成的布线图可用于测试过程分析、系统排故、适配器制作等方面.

2.4.2 测试电缆设计图自动生成

使用通用适配器时,测试电缆不再象传统电缆那样两端使用相近的插头,插针一一对应.因此,本系统会根据端口映射结果自动生成电缆设计图,包括电缆长度、两端插头型号、插针对应关系以及导线的建议选型等制作信息,方便电缆的制作.

2.4.3 相关硬件模型的自动生成

ICA 模型、ITA 模型、通道模型是测试程序开发过程中测试通道建立的物理依据,以往这些模型数据也是手工录入,本系统在完成适配器设计后可自动录入这三个模型数据,供 TPS 开发模块调用.

3 测试程序集成开发环境

测试程序是自动测试系统的核心内容,测试程序集成开发环境主要用于测试程序的生成、编译,涉及到三类程序的自动生成,同时开发环境也具有仪器互换及 TPS 移植问题的解决途径.

3.1 ATLAS 测试程序的自动生成

作为测试界的通用语言,ATLAS 语言在自动测试领域有着广泛的应用[6].开发环境首先根据"UUT 测试策略流程输入接口"输入的测试流程自动生成 ATLAS 语言编写的测试源程序,这种源程序有着标准化高、可移植的特点.测试方案的模型化是 ATLAS 测试程序自动生成的关键.

同时为继承众多用户已有的 ATLAS 测试程序,本平台还提供 ATLAS 编辑环境,方便用户对已有的 ATLAS 测试程序进行编辑、调试、编译.

3.2 可执行测试程序的自动生成

已生成的 ATLAS 测试程序与具体的仪器无关,要想使测试程序能在具体的自动测试系统中运行,还需进一步将 ATLAS 测试程序转换成可执行的测试程序.转换的依据就是结合测试系统硬件开发环境所生成的五大模型,将 ATLAS 测试程序中的测试行为与具体的仪器设置、开关动作以及 UUT 测点关联起来,最终生成能直接调用仪器底层驱动的测试程序.同样,平台也提供这种测试程序的编辑环境,可用于对已有测试程序的编辑、调试、编译.

3.3 其它程序的自动生成

由于系统计量、标定、自检的硬件部分都是自动生成的,因此,在测试程序开发环境中还提供相应的计量、标定、自检流程的自动生成功能,进而,结合已有的五大模型将流程转换为对应的可执行程序.测试程序的编辑环境也可用于这些程序的编辑、调试、编译.

3.4 TPS 移植问题的解决

如果原 TPS 是采用 ATLAS 编写的,则完全可以移植到本平台继续使用,如果原 TPS 采用面向仪器而非面向信号方式编写,则不能直接移植使用.

如果原 TPS 采用 ATLAS 编写,系统首先检验硬件连通性问题.由于本平台适配器采用通用化设计思路,对于一台处于该适配器适用的一类 UUT 范围内的被测设备而言,通用适配器一般能涵盖新设备的测试需求,此时,系统会自动为新设备设计合适的电缆,而系统的硬件模型并未改变,测试程序开发平台中的代码生成模块会结合硬件模型将 ATLAS 源程序转换成可在本系统运行的测试程序.如果适配器不能涵盖新设备的测试需求,本系统会根据新设备的 UUT 模型,自动从已有通道中搜索可以利用的路径,找出将测点连至所需仪器的最佳路径,对于新的测试需求,系统可以计算出开关网络所需进行的最小改动,这些改动一般是适配器内互联导线的调整或增加,实施起来也比较方便.

3.5　仪器互换问题的解决

由于本平台采用的是面向信号的编程方式,测试程序并不直接与仪器关联,只是在最终生成可执行 COM 组件时,会根据硬件模型与具体仪器关联.因此,当系统更换仪器时,只需录入新仪器的相关信息,与新仪器相关的测试程序依然可以继续使用.

本平台的硬件自动设计技术在解决仪器互换问题时也能反映其优势.如果系统更换的仪器较被替换仪器具有更好的性能,或者用一台综合仪器替换一台专用仪器时,新仪器的引进对原测试系统的影响可能是广泛的.想要最大限度地发挥新仪器的作用,可能需对原开关网络进行调整.本系统可以根据新的仪器模型重新进行测点仪器匹配,根据匹配结果判断是否需要改动开关网络,如果需要,则计算出欲最大限度发挥新仪器功能需要对原开关网络进行的最小改动,从整体上提高测试系统的性能.

4　测试系统运行环境

系统进行自动测试的操作界面见图 3.

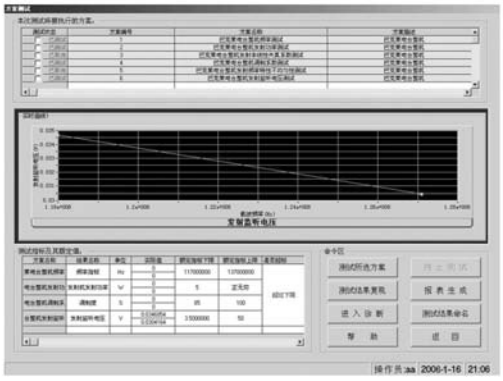

图 3　系统进行自动测试的操作界面

测试系统运行环境是一个最终面向用户的自动测试系统操作环境,包括如下功能模块:①系统管理,具有用户管理和日志功能.用户管理设定用户权限并管理用户密码,日志功能会记录用户登录 ATS 过程中的一系列操作步骤以备考查.②测试,管理与测试有关的所有操作:用户可选择进行自动测试、手动测试,自动测试中又可针对整机、LRU(Line Replaceable Unit)、SRU(Shop Replaceable Unit)等不同部件选择指标测试、测点测试、混合测试,每种测试都具有暂停、继续、终止操作,测试结果可按照用户定制的格式打印.③校准检验,负责系统测试仪器的计量、测试通道标定、系统资源自检、电缆检测,确保系统处于完好状态.④系统维护,从事测试方案维护、数据管理和报表格式维护.用户可在向导指引下方便地生成、修改、删除测试方案;可对数据库进行备份、还原操作;可以定制任意格式的报表用于测试、校准、故障诊断.⑤故障诊断接口.本平台提供一个与第三方故障诊断软件的接口,可以方便地挂接第三方开发的故障诊断程序,构成一个典型、完善的自动测试系统.

5　结 束 语

机载设备自动测试系统通用开发平台将 ATS 软硬件联合起来协同设计,实现了设计信息共享,减少信息传递损耗;同时采用 ATS 软硬件自动设计技术,提高了设计效率和质量;从方便直观的测试需求接口入手,快速又不失灵活地完成一系列 ATS 开发任务.实例表明,采用该平台可缩短 ATS 开发周期,降低开发成本,提高系统标准化、通用化程度.

参考文献(References)

[1] 张波,陈岩申,张桂芝. 外军电子自动测试系统及其相关技术的应用与发展情况研究[J]. 计算机测量与控制,2002,10(1):1－4
Zhang Bo, Chen Yanshen, Zhang Guizhi. Research on automatic test equipment (ATE) and test technology of foreign army[J]. Computer Measurement & Control, 2002, 10(1): 1－4(in Chinese)

[2] 王红,刘金甫. 可视化测试软件平台 GTEST[J]. 测控技术,2005,24(3):45－48
Wang Hong, Liu Jinfu. GTEST-graphical test software platform[J]. Measurement & Control Technology, 2005, 24(3): 45－48 (in Chinese)

[3] IEEE Std 716-1995, IEEE standard test language for all systems-common/abbreviated test language for all systems (C/ATLAS)[S]

[4] 徐志平. 机载通信系统 ATE 模型化软件详细设计[D]. 北京:北京航空航天大学电子信息工程学院,2003
Xu Zhiping. Detailed software design based on model for airborne communication system ATS[D]. Beijing: School of Electronic and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2003(in Chinese)

[5] Hightower D W. A solution to line routing problems on the continuous plane[C]// Proceedings of the 6th Annual Conference on Design Automation. New York: [s. n.], 1969: 1－24

[6] 李行善,左毅,孙杰. 自动测试系统集成技术[M]. 北京:电子工业出版社,2004:243－282,42－50
Li Xingshan, Zuo Yi, Sun Jie. Integrated technology for automatic test system[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004: 243－282, 42－50(in Chinese)

(责任编辑:娄　嘉)