通用自动测试系统模型化设计

申 莉 沈士团

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100191)

摘 要: 针对通用测试系统对系统统一模型的迫切需求以及目前ATE(Automatic Test Equipment)模型化设计的不足,基于信号建立了一套完整、有效的ATE系统模型.此模型将ATE系统的硬件资源以及UUT(Unit Under Test)均进行了模型化处理.提出了基于TFF(Test Foundation Framework)的基本信号模型;提出了完全基于信号的仪器驱动模型;提出了基于测试与诊断相结合思想的UUT模型;提出了基于模型间信息共享的思想和路径以逻辑开关描述思想的路径模型.该模型体系为系统资源配置、仪器可互换、测试程序自动生成以及故障诊断提供了强有力的模型基础,从而大大加快了ATE的设计过程,从很大程度上降低了开发成本.

关 键 词: 自动测试; 模型; 基于信号; 仪器设备模型; 路径模型; UUT模型

中图分类号: TP 274

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2009)07-0794-05

Modeling design of general purpose ATE

Shen Li Shen Shituan

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: Aiming at the problems in the modeling design of general purpose automatic test equipment(ATE) and in order to satisfy the requirement of the model of ATE, a integrated ATE model was presented based on signal. The ATE hardware and unit under test(UUT) are both made models. A basal signal model was established based on test foundation framework(TFF). The device driver model based on signal was proposed. The UUT model was proposed based on the thought of integrating test and diagnosis. The route model was pointed out based on the thought of sharing information between models and the thought of describing route with logic switch. This model gave direction to the resource allocation, instrument's interchangeability, the automatic generation of test program set (TPS) and fault diagnosis. So the use of the model can quicken the design process greatly and reduce the cost greatly.

Key words: automatic testing; models; based-signal; device model; route model ;UUT model

由于自动测试系统(ATE,Automatic Test Equipment)设计过程的复杂性和被测电子设备种类的多样性,迫切需要构建一套通用的ATE平台[1],以满足某类或某几类电子设备ATE设计的要求,而解决这一问题的关键就在于建立统一的ATE模型[2].目前,ATE模型的建立方法大致可以分为4种:基于TEDL(Test Equipment Description Language)的模型建立;PAWS(Professional ATLAS Work Station)软件对ATE的建模;TOPTEST的模型建立;IVI-SD(Interchangeable Virtual Instrument Signal Driver)的仪器模型.前3种建模方法主要是为了进行系统资源分配和规划,并没有从仪器互换性方面去考虑,且关于仪器驱动方面的信息描述不够[3];而

收稿日期: 2008-06-02

基金项目: "十一五"国防预研资助项目(B052006045 5)

作者简介: 申 莉(1977—),女,四川蓬溪人,博士生,shenli221@163.com.

IVI-SD 提出的仪器模型又主要是为了解决仪器互换问题. 基于 TEDL 和 PAWS 平台的模型都只是对测试资源进行模型化处理,没有对 UUT (Unit Under Test)进行模型化处理. TOPTEST 系统虽然提出了 UUT 模型,但他只是一个测试策略和测试程序的生成环境,不能支持测试程序的运行. 因此,本文基于信号建立了一套完整、有效的 ATE 系统模型. 此模型为系统资源配置、仪器可互换、测试程序自动生成以及故障诊断提供了强有力的模型基础.

1　ATE 系统模型的构建

ATE 系统硬件主要包括仪器、开关、ICA(Interface Connector Assembly)、ITA (Interface Test Adaptor)、适配器、计算机系统[4]. 其中,计算机系统与模型化无关. 将 ITA 与适配器模型一并称为 ITA 模型. 测试中通过程控一系列的开关来连通/切断测试通路,本文将由这一系列开关组成的从仪器端口到 UUT 测点的通路叫做“测试路径”,测试路径的模型被称为“路径模型”. 由于 UUT 的特性(特别是测试需求)将直接影响测试系统的配置,所以本文将 UUT 和测试系统硬件一起进行模型化处理. 另外,测试策略信息是编写测试程序以及测试程序自动生成所需要的关键信息,所以本文对其也进行模型化处理.

因此,ATE 系统模型包括:仪器设备模型、ICA 模型、ITA 模型、路径模型、UUT 模型和测试策略模型,各模型间的关系见图 1. 其中 ICA 模型主要描述仪器资源与 ICA 面板的连接关系,ITA 模型主要描述 ITA 与 ICA 的节点对应关系以及 ITA 节点与 UUT 测点的连接关系. 这两个模型比较简单,本文不做详细讨论. 测试策略模型主要描述 UUT 的测试方法、测试流程等相关信息,该模型不是本文讨论的重点.

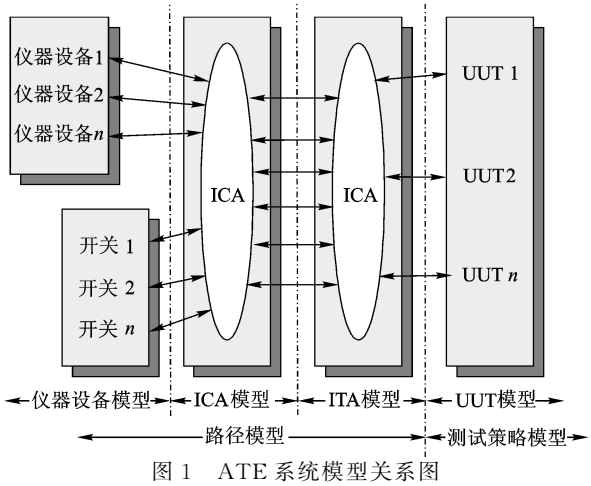

图 1　ATE 系统模型关系图

1.1　基于 TFF 的基本信号模型

信号是 ATS(Automatic Test System)的本质内容,自动测试过程中资源配置及测试准备等各环节的工作都是围绕信号来展开的[5]. 所以,信号也将是贯穿 ATS 各模型环节的核心内容. 综合 IVI-SD 和 STD(Signal and Test Definition)的信号模型,借鉴 ATLAS(Abbreviated Test Language for All Systems)的信号定义,基于 TFF (Test Foundation Framework)基本结构,本文提出如图 2 所示的 ATE 系统模型化的基本信号模型.

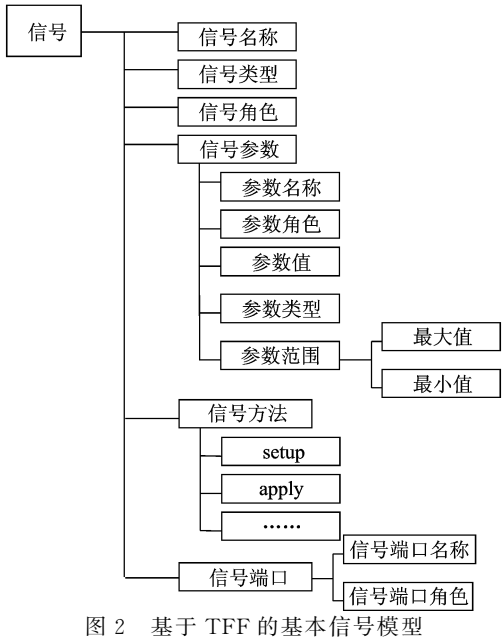

图 2　基于 TFF 的基本信号模型

图 2 中“信号类型”用来描述一个物理信号类(比如 AC Signal,AM Signal 等);“信号角色”用来描述物理信号与仪器设备之间的关系,信号角色包括源(source)、响应(sensor)、监视器(monitor)、开关(switch)、调节器(conditioner)5 种;“信号参数”用来描述物理信号的属性,每个信号参数用参数名称、参数角色、参数类型、参数值、参数范围来描述. 信号参数角色包括可控(control)、可测(measurable)和性能描述(capability)3 种类型;“信号方法”用来描述信号的产生和测量的方法;“信号端口”用信号端口名称和信号端口角色来描述,信号端口角色包括 signal,sync Input,sync output 3 种[6].

基于 TFF 构建的基本信号模型是精确的、分层次的和面向对象的模型. 该基本信号模型将是 ATE 系统模型化的基础和核心.

1.2　仪器设备模型

1.2.1　仪器设备模型的设计思想

本文的仪器设备模型的设计将基于仪器按通道描述的思想、通道按信号描述的思想和仪器可互换性的思想.

一般情况下,一个信号是通过一个仪器物理端口进出仪器的.但有些情况,例如,用万用表测量一个电压时,该信号是通过万用表的"HI"、"LO"两个端口连接进入仪器的.因此,本文在仪器设备模型里抽象出一个逻辑上的"仪器通道"概念.这里的仪器通道是一个虚拟的仪器功能实现单元.一个仪器通道可能就是一个物理仪器端口,也可能包含多个仪器物理端口.各仪器通道的功能相互独立.

仪器的功能表现为信号的产生/测量.因此,仪器通道的描述是基于信号的,更确切地说,是基于TFF基本信号模型的.

仪器可互换性一直是通用自动测试系统追求的目标,由于测试仪器的多样性等许多原因,仪器互换一直没有完全实现.本文将借鉴IVI-SD的面向信号的设计思想,将测试平台的所有仪器按照信号产生/测量功能进行相应的仪器驱动封装(也被称为对测试资源编程接口进行"二次封装"),将具有相同的信号产生/测量功能的仪器驱动函数封装成一个COM组件,且仪器驱动是基于VISA I/O库的驱动函数.这样把信号产生/测量功能作为基本单位,而不是仪器,隐含了具体的仪器,所以只要信号满足要求,而不管仪器的种类、型号、厂家,都可以实现真正意义上的仪器可互换.

图3为仪器驱动模型结构框图,由图可知,系统运行服务引擎通过调用经二次封装形成的信号驱动组件实现对测试资源的控制.对于每个信号驱动组件都有相应的组件函数,比如信号产生组件有信号设置函数、信号生成函数等;信号测量组件有测量设置函数、信号测量函数、获取测量值函数等.

1.2.2 仪器设备模型的建立

仪器设备模型主要描述了众多仪器的通道功能特性、激励/测试属性、程控特性及电气功能特性,使用户可以仅提供所需要的激励/测试信号,就可以通过关联信息,自动选取仪器和下层的仪器驱动函数,使得程控仪器发生最终的配置动作.因此,测试设备模型的高效体现在可以最便捷地按照用户意图使ATE自动地获取仪器资源信息,配置合适的测试通道.

为了实现仪器可互换性,将进行仪器驱动封装,而仪器设备模型中也将建立仪器驱动函数模型以描述基于信号进行二次封装后的仪器驱动组件函数.另外,仪器设备模型还需要描述组合仪器的激励/测量能力;对于仪器所提供的激励/测量功能,还需要考虑其精度.所以,仪器设备模型包括仪器功能模型、仪器精度模型、仪器驱动函数模型、组合仪器设备模型4部分.(这里的仪器设备模型除了描述实际的仪器外,还包括仪器所携带的多个软件信号包.)

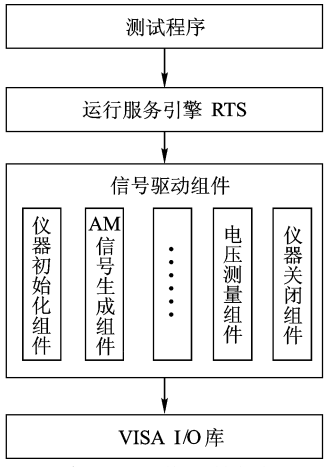

图3 仪器驱动模型结构框图

1.3 UUT模型

1.3.1 UUT模型的设计思想

本着把复杂对象分解,逐步细化的思想,针对被测设备的构成要素引入了部件模型、测点模型、器件模型和指标模型.

测试系统所需要的关于被测设备的最重要的信息是UUT的信号需求、信号特性信息.利用这些信息,用户可以方便地编写测试程序,系统可以进行自动资源配置,将虚拟资源映射为真实资源,这些信息还为测试过程是否正常提供了判断依据等.因此,对于UUT测点的描述是基于信号的,确切地说,是基于TFF基本信号模型的.所以,基于TFF基本信号模型,对测点建立了标称信号模型.

ATE系统集中体现了"自动测试与诊断"的要求,本文将基于UUT的结构和行为表现,同时考虑测试需求和诊断需求,以体现诊断与测试之间的内在联系,实现UUT资源的共用和合理配置.因此,引入了感官现象模型、结构模型.

1.3.2 UUT模型的建立

UUT模型在本文特指UUT测试模型,主要描述UUT测点的信号特性、被测设备的指标特性以及利于故障诊断的被测设备结构信息和感官现象等.通过UUT模型,ATE系统可以清楚地获得UUT测试与诊断的必要信息:外场可更换

单元(LRU,Line Replaceable Unit)/内场可更换单元(SRU,Shop Replaceable Unit)相互关系、激励/测试信号特性、相应测点、测试指标及对应标称值、人机交互属性等.通过前面的分析,UUT模型包括部件模型、指标模型、测点模型、标称信号模型、器件模型、结构模型、感官现象模型.

本文的结构模型基于多信号流图模型而建立,将多信号流图模型与 UUT 的其他模型(部件模型、指标模型、测点模型、标称信号模型、器件模型)相结合,从而提出 ATE 模型化体系下的将诊断和测试相结合的结构模型.

1.4　路径模型

1.4.1　路径模型的设计思想

从路径模型的定义很容易将其直接界定为描述仪器端口到 UUT 测点间的测试路径.目前大多数的论文都是从开关拓扑结构、开关级联出发,直接建立开关路径的矩阵模型或有向图模型.文献[7]建立了路径的矩阵模型,文献[8]建立了路径的有向图模型.这些建模方法将路径模型视为一个独立的模型,模型化过程中也只考虑开关对象.由于测试路径是 ATE 系统实现对被测对象控制、检测及故障诊断的基础,当前综合 ATE 系统中包含有电压、功率、视频、微波、总线信号、旋转变压器及同步器等各种信号特征的测试路径,电器连接关系十分复杂,开关类型又多种多样.所以,直接从开关对象出发,基于开关拓扑结构、开关级联来建立路径模型存在一些不足:

1) 模型化过程非常复杂而费力;

2) 模型在软件中很难使用;

3) 模型的实例化不能自动进行;

4) 模型维护困难.

因此本文从模型间信息共享的思路出发建立路径模型.由图 1ATE 系统模型关系图可知,路径模型跨越了开关、ICA、ITA 三个硬件对象.这真实反映了 ATE 系统的硬件设计方案:几乎所有的资源都上了 ICA,再通过 ITA 的连接或短路,最后通过电缆,实现到被测对象的连接.这种方案的测试路径如下:仪器端口→ICA 面板→ITA→ITA 短路回 ICA→开关一端→开关另一端→ICA 面板→ITA→UUT.而在系统模型化体系下,本文已经对 ICA、ITA 建立了相应的模型,仪器端口与 ICA 面板的连接关系以及 ITA 节点与 UUT 测点的连接关系都在各自的模型中描述了,所以本文通过利用 ICA、ITA 模型的相关信息,只需要建立相对简单的路径模型就可以完成测试路径的描述.

考虑到物理开关模块和物理开关模块级联后的区分,引入逻辑开关概念,逻辑开关就是物理开关模块级联后的整体.逻辑开关的一侧为仪器端口,另一侧为被测对象的端口.已知逻辑开关输入和输出端口,所确定的连接通路被称为"逻辑通路".由于一个仪器端口到一个 UUT 测点的测试路径一般不是唯一的,所以一个逻辑通路为所有测试路径的集合.其中每条路径由多个开关相连构成.

由于开关的接触电阻、开关的级联以及从实际测试考虑而在测试路径上添加电阻等因素会造成信号的衰减、失真等,为了保证测试结果的准确性,需要考虑测试路径对信号的影响,因此,路径模型中要考虑路径衰减补偿的内容.

1.4.2　路径模型的建立

由前面的分析很容易得到路径模型包括 3 部分:物理开关模型、逻辑开关模型、路径衰减模型.

一个逻辑开关记录的是由一个被测对象确定的从仪器端口到这个被测对象所有测点的所有路径集合.这个逻辑开关的路径信息可以在模型信息中通过人工维护进去或者自动生成.由于开关的切换,测试平台所能提供的测试路径的数量是非常可观的,如果通过人工录入将是费力费时的,而且还容易出错.所以本文采用了逻辑开关自动生成技术,通过软件将逻辑开关模型自动进行实例化.当然,如果因为硬件的很小的改动而导致了测试路径的改变,这样的情况可以直接通过人工进行维护.系统配置测试路径时,通过逻辑开关模型数据就可以确定闭合逻辑开关中哪个或哪些路径,实现某个仪器端口到被测对象测点的连接.

路径衰减模型主要记录通过系统测试通道定检以后到的测试路径的衰减值.

2　模型的应用

本文完成的 ATE 系统模型化设计已经成功运用到某系列直升机自动测试系统中,该系统采用了如图 4 所示的结构,构建了一个开放的通用自动测试系统平台.该系统通过对 ATE 系统硬件资源和被测设备进行模型化处理,从而很好地解决了测试系统的通用性问题、测试程序的自动生成问题、测试软件的可维护性和可扩展性问题和仪器的可互换性问题等.系统的实现上采用了面向信号的设计方法:虚拟资源的描述、仪器驱动器的设计、运行服务引擎的资源管理都采用面向信号的方法.其中,资源的匹配与调用过程如下:

1) 根据虚拟资源的信号能力需求,利用仪器

设备模型的信息匹配符合要求的仪器；

2）根据虚拟资源的信号连接需求，利用路径模型，匹配符合需求测试路径；

3）通过系统的运行服务引擎，根据测试的信号需求，调用相应的仪器驱动组件驱动物理仪器，完成测试任务.

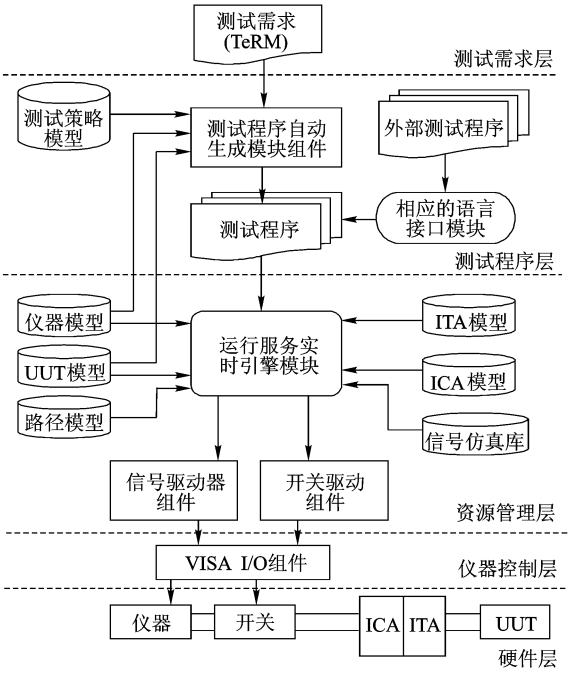

图4 ATS软件体系结构

3 结束语

本文深入研究了通用测试系统模型化问题.提出了基于TFF的基本信号模型，在此基本信号模型的基础上建立了仪器设备模型和UUT模型.由于二者基于同一信号模型，便于系统资源配置，提高了配置效率；提出了完全基于信号的仪器驱动模型，真正实现了仪器可互换；提出了基于测试与诊断相结合思想的UUT模型，以体现诊断与测试之间的内在联系，实现UUT资源的共用和合理配置；提出了基于模型间信息共享的思想和路径以逻辑开关描述思想的路径模型，实现了信号通道的自动生成（即逻辑开关模型的自动维护），在此基础上进行信号通道的自动配置，此配置方法提高了配置效率.实践表明，应用该模型体系建立的ATE系统具有很好的通用性、仪器可互换性、系统的可重构性和互操作性等.

参考文献（References）

[1] Orlet J L, Murdock G L. NxTest augments legacy military ATE [J]. Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE, 2002, 17: 17－20

[2] Kevin O'Toole. Next generation graphical development enviroment for test[C]// IEEE Systems Readiness Technology Conference for Autotestcon. New York: IEEE, 1998: 145－148

[3] 王国华，孟晓风，赵瑞贤. 通用ATE测试资源信息模型[J]. 测控技术, 2006, 25(9): 44－47
Wang Guohua, Meng Xiaofeng, Zhao Ruixian. Resource informa tion model of genera l purpose ATE[J]. Measurement & Control Technology, 2006, 25(9): 44－47(in Chinese)

[4] 路辉，李晓白. 自动测试系统资源模型化设计[J]. 测试技术学报, 2007, 20(1): 53－57
Lu Hui, Li Xiaobai. The modeling strateies of automatic test system[J]. Journal of test and Measurement Technology, 2007, 20(1): 53－57 (in Chinese)

[5] 张玮. 一种基于信号模型的ATE仪器资源配置方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2003, 29 (9): 783－788
Zhang Wei. A kind of app roach based on signal model for resource configuration in ATE[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2003, 29 (9): 783－788(in Chinese)

[6] IVI-3.12: IviSig class specification(draft)[G]. Edition Revision 0.4. IVI Foundation, 2005

[7] 赵瑞贤，孟晓风，王国华. 通用ATE开关资源测试路径模型及应用[J]. 北京航空航天大学学报, 2006, 32(2): 181－185
Zhao Ruixian, Meng Xiaofeng, Wang Guohua. General-utility testing path model of switches for ATE and application [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2006, 32 (2): 181－185(in Chinese)

[8] 王胜军，郭德贵，金成植. 用有向图实现的ATLAS编译系统中的设备分配[J]. 计算机工程, 2006, 32(9): 22－24
Wang Shengjun, Guo Degui, Jing Chengzhi. Implementation of device allocation with directed graph in ATLAS compiler [J]. Computer Engineering, 2006, 32(9): 22－24 (in Chinese)

（责任编辑：娄 嘉）