DOI:10.19651/j.cnki.emt.2108500

面向信号的 ATS 运行时系统研究

杨南南 宋 东 孙秦皓 王江龙
(西北工业大学民航学院 西安 710072)

摘 要: 随着电子设备更加精密和复杂,ATS 逐渐暴露出通用性差的问题。业界产生了面向信号的测试,并提出相关标准,以实现通用化。该测试方法在信号和虚拟资源描述方面的标准较为成熟,但在实际中还需要完成虚实映射等工作。针对该问题,提出一种面向信号的 ATS 运行时系统方案,以 ATML 标准为基础,设计具备初始化通道、信号能力匹配和路径择优与处理功能的运行时系统,完成虚拟资源到物理仪器的虚实映射,对该方案进行仿真验证,其匹配结果以及通道输出符合预期。对于 ATS 的开发与使用而言,在减少专用设备、实现通用化、易于开发维护等方面均有着重要意义。

关键词: ATS;面向信号;通用性;运行时系统;ATML 标准
中图分类号: TP274 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

Research on signal-oriented ATS runtime system

Yang Nannan Song Dong Sun Qinhao Wang Jianglong
(School of Civil Aviation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: As electronic equipment becomes more sophisticated and complex, ATS has gradually exposed the problem of poor versatility. The industry has produced signal-oriented tests and proposed relevant standards to achieve generalization. This method is relatively mature in terms of signal and virtual resource description, but in practice, it needs to complete the virtual-real mapping and other tasks. In response to this problem, a signal-oriented ATS runtime system solution is proposed. Based on ATML standards, a runtime system with initialization channels, signal capability matching, path selection and processing functions is designed to complete the virtual and real mapping from virtual resources to physical instruments. The program is simulated and verified, and the matching results and channel output are in line with expectations. For the development and use of ATS, it is of great significance in reducing special equipment, achieving generalization, and ease of development and maintenance.

Keywords: ATS;signal-oriented;versatility;runtime system;ATML standard

0 引 言

自动测试系统(automatic test system,ATS)是保障电子设备的重要组成部分,随着测试需求的进一步提高,ATS 需要进行通用化和标准化设计以减少测试开发成本以及维护费用。本质上来讲,测试过程可看作对信号进行采集、处理和分析的过程[1],因此测试可以采取面向信号的方法,解决了传统面向仪器 ATS 测试程序严重依赖特定硬件的问题,使测试程序跨平台移植易于实现,是目前实现测试通用化的最佳解决方案[2]。面向信号的测试通过虚拟信号资源以一种虚实映射的方式间接调用实际物理仪器,因此需要运行时系统(run-time system,RTS)来完成此部分的工作。

面向信号的测试系统先后应用了 ATLAS、SCPI、VVP 和 IVI 等技术规范[3]。最新的测试标准为 IEEE 标准委员会发布的 ATML,使用可扩展标记语言(eXtensible markup language,XML)为基础进行测试信息的描述[4]。是自动测试领域内为实现 TPS 可移植和测试诊断数据共享的首选数据格式[5]。最新标准公布以后,TYX 公司将标准引入到平台产品中,完成了在其产品 TestBase、TRD 中对 ATML 标准的支持。英国的 EADS Test & Services 公司也进行了相应的研究,研发了测试资源管理的软件 TRM。美国各军种也分别启动 ATS 通用化发展计划[6]。

国内许多科研机构与高校也吸收了国外的经验,研制出了许多面向信号的 ATS,如北京东方信标测控有限公司开发的 GPTS 软件平台,且 3.1 版本开始支持 ATML 标准[7]。北京航天测控技术有限公司开发的 VITE 最新版本

收稿日期:2021-12-03

支持了 ATS 领域最新 ATML 标准族,并且使用 XML 文件作为信息传递对象。

由于 ATML 标准仅给出了定义,尚未广泛应用在测试系统中。本文在 ATML 标准的基础上设计面向信号的 ATS 的 RTS,以函数的形式对其各个功能进行了设计实现,可以根据任务需求灵活调用相应函数,实现虚拟资源到实际物理仪器的映射以及测试通道的选择和处理,最后通过仿真验证系统的正确性。对实现 ATS 的通用化有着重要意义。

1 面向信号的 ATS 分析

根据 ABBET 标准,可以将面向信号的 ATS 分为如图 1 所示 5 个层次。整个系统的资源通过 ATML 标准进行建模,并用 STD 标准对所有信号进行标准定义。

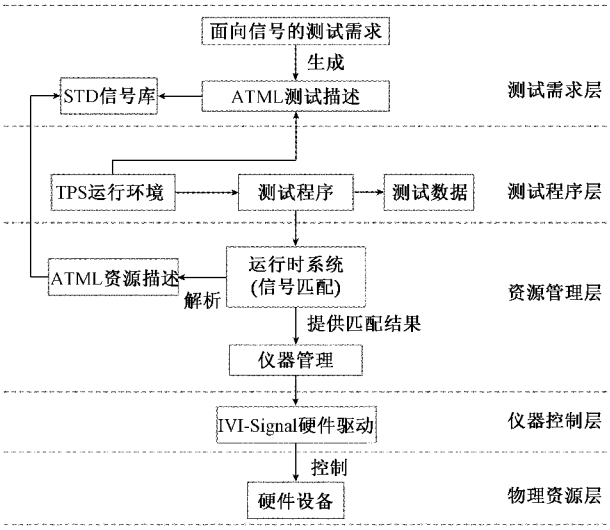

图 1 测试系统整体框图

资源管理层完成整个 ATS 仪器资源的管理,是实现测试软件通用以及仪器互换的关键部分,更是面向信号 ATS 的核心层[8]。

RTS 是资源管理层中的重要部分,由于 ATML 标准仅仅是对信号的规范化定义,因此需要 RTS 将信号定义转换为实际物理信号[9]。RTS 主要任务是根据测试信号需求提供相应的测试仪器端口,控制该端口进行激励信号的输出并对输出信号进行测量。同时由于在测试系统中测试仪器与被测对象通常情况下不直接相连,中途要经历测试适配器、测试工作站、开关仪器等多个仪器端口,因而 RTS 需要找到合适的路径并对其控制。根据上述分析,RTS 需要实现的功能主要包括资源映射和通道路由两部分。

资源映射就是将测试系统中被测对象对于某个测试信号的要求转变为对测试资源中具体仪器的要求。实现过程为:首先,提取测试描述文档中测试的需求,遍历测试资源,寻找合适的测试仪器端口并进行能力匹配。若测试仪器能够满足则返回相应的仪器端口,完成资源映射过程。

通道路由就是以资源映射得到的仪器端口为起点,寻找该端口到被测对象测试端口的路径[9]。实现过程为:首先,RTS 需要将设备端口间连接信息进行提取并进行存储,然后设定路径的起始点和终点,通过遍历查找的方式找到所有可能进行测试过程的路径。最后计算路径中的最优路径,作为最终通道路由的结果进行输出。

2 ATS 运行时系统详细设计

RTS 可以看作是实现管理系统相关功能的函数库,通过调用函数的方式来实现功能,因此选择使用动态链接库的形式对 RTS 函数库进行开发。

图 2 所示为 RTS 的运行示意图,该过程大致为[10]:首先根据系统资源描述文档构建通道网格;然后根据系统的测试需求和系统内测试资源的信号能力,通过匹配算法对二者进行信号能力进行匹配,若满足需求则输出相应的测试仪器端口,最后根据得到的仪器端口信息进行测试通道的查询,返回测试通道中的仪器信息。测试系统可通过返回的仪器信息控制相应仪器完成测试过程。

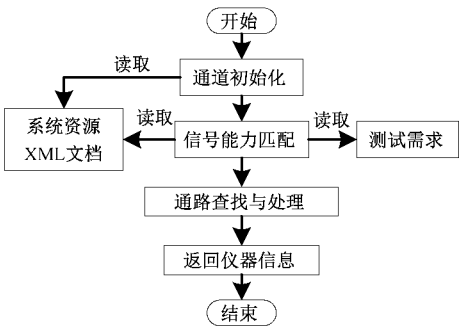

图 2 运行时系统的运行示意图

2.1 通道网格的构建

由于测试系统连接关系复杂,因此采用非线性网状数据结构图来对系统中的各种连接关系进行表示和存储。分别使用图的顶点和边存储仪器资源端口和测试系统中仪器端口的连接关系。然后采用构建结构体的方式来描述图结构的信息以及图结构中的方法[11]。

在系统初始化过程中,RTS 根据节点依次读取并储存端口信息和连接关系信息。以在通道列表中添加一条端口 1 到端口 2 的连接通道为例,系统初始化过程中测试通道列表的生成流程如图 3 所示。反复进行上述过程,遍历测试资源描述文档,这样就得到了一个存储有系统内所有连接信息的图结构。

2.2 信号能力匹配函数设计

为满足测试需求,完成仪器资源的的配合和端口的映射,要对仪器信号能力和测试需求信号进行动态匹配,信号能力匹配算法设计流程如图 4 所示。

算法的基本实现逻辑为:遍历系统内所有的测试工作站并判断其信号类型是否匹配以及信号能力是否能够满足

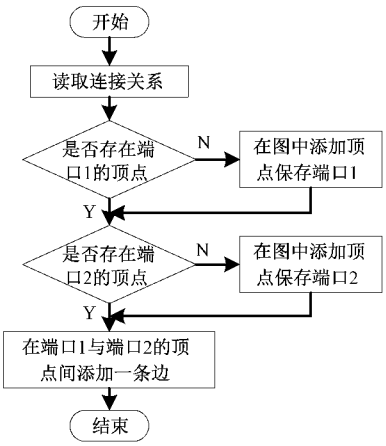

图 3　测试通道列表的生成流程

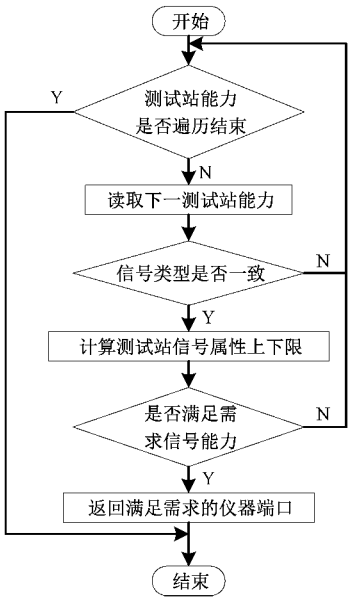

图 4　信号能力匹配算法设计流程

测试需求。若满足，则返回测试工作站中相应的仪器端口，若都不满足，则无法进行测试。其中，测试工作站能力与对应仪器端口的映射关系被定义在测试工作站描述的＜ts：CapabilityMap＞节点下，系统可以通过查询遍历这个节点，返回相应仪器信号能力对应的仪器端口。

2.3　通道路由算法设计

通过测试通道初始化函数和信号能力匹配函数会得到测试通道网络，以此作为依据将被测对象端口和信号匹配得到的测试仪器端口分别作为路径查询的起点和终点，搜寻测试通道路径。通道路由的总体设计流程如图 5 所示。

由于端口连接信息通过结构图的方式存储在邻接表中，因而对于通道路由算法的设计可以结合图的经典算法进行。遍历测试通道列表的方法大体上可以分为深度优先和广度优先两种方式，后者可以保存遍历过程中的结点，因此本文采用广度优先遍历的方式对通道路由算法进行设计。若输出为多条路径，则要进行进一步的择优挑选，考虑

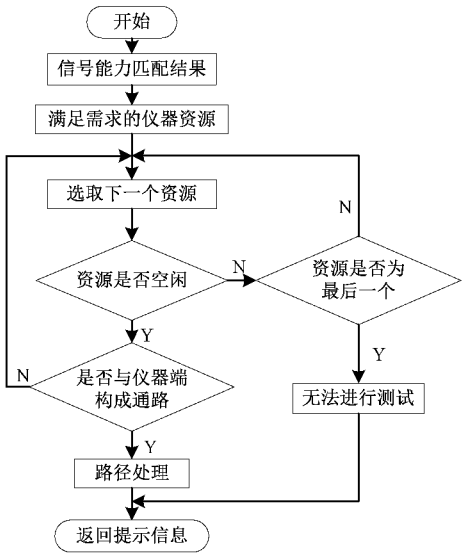

图 5　通道路由算法的设计流程

到测试仪器端口到被测对象端口间的信号传输会随着环节的增多逐渐衰减，本文将两者之间的最短距离作为系统输出的最优路径。

2.4　路径处理设计

路径处理过程是对通道路由后输出路径中存在的开关和适配器进行处理。在测试系统中，除了测试仪器和被测设备，还存在开关仪器、适配器等多种与测试过程密切相关的测试设备[12-13]。因而对于搜寻到的最优路径，需要对这些设备仪器单独提取出来进行考虑。路径处理流程如图 6 所示。

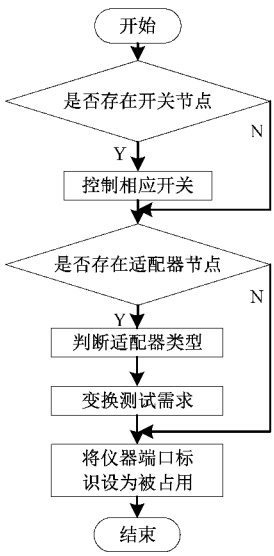

图 6　路径处理流程

在测试执行过程中，RTS 通过驱动函数对通路的开关进行通断控制。对于适配器而言，其作用是进行信号变换和不同型号端口的连接，基于适配器定义的信号变换信息，对测试需求信号的相关参数进行调整，使得测试仪器产生的测

试信号在传递到被测对象测试端口时为测试需求信号。

2.5　仪器资源恢复可用函数设计

在测试完成后,需要释放仪器资源,以便测试系统仍能高效的运行。系统中的仪器资源以链表结构的方式被存储在系统的图结构中,为降低其复杂度可采用将被占用仪器的端口进行统一存储的方式保存至一个链表结构中,测试结束后需将相应的仪器从链表中提出。

3　仿真与验证

本文选用 Visual Studio 2015 开发平台,平台包含有对 ATML 标准描述文档的 xml 格式文件进行解读的解析器。使用 Altova XMLSpy 2014 软件开发环境来进行 XML 文件的编写,选择 TinyXML 作为 xml 文件的解析器,xml 文件中对于数据的存储采用了树状结构,可以通过遍历整个 xml 树中的各种信息定位到相应元素节点。为了方便这一过程,TinyXML 这一函数库中定义了许多接口函数用于对 xml 文档中存储的信息进行操作。

自动测试系统的通用化设计原则上可以为任意电子设备服务,因此在仿真验证中,讲被测设备看作一个黑盒设备,仅考虑用于注入激励信号和输出测试信号的端口。设置如表 1、2 所示的激励信号和测试信号。

表 1　激励信号

端口	信号名称	信号类型描述
1	1 V 1 000 Hz AC,2 V DC 偏移	交流信号
2	15 V DC	正电压电源
3	0 V	接地端口
4	−15 V DC	负电压电源
5	429 总线激励信号	总线激励信号

表 2　测试信号

端口	测试项	测试描述
6	交流辅助电源	+15 V,±0.5 V 为正常
7	直流辅助电源	+5 V,±0.5 V 为正常
8	传输电压	模拟量,通常小于 6 V,对外阻抗 20 kΩ
9	调制器取样	模拟量,通常大于 2 V,对外阻抗 20 kΩ
10	429 总线信号波形测试	对总线信号波形进行
11	429 接收端信号测试	与发送端的信号进行一致性比较

为验证本文所设计 RTS,需要一套预先设定好的被测设备并根据测试需求设计相应的测试流程,完成文档的编写,通过本文的设计资源匹配和通道路由的功能,得到测试通道并对其中的仪器进行控制,最后储存测试结果[14]。测试仿真系统结构如图 7 所示。

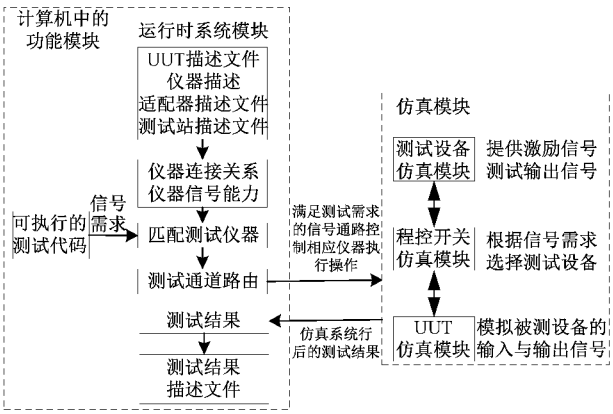

图 7　仿真系统结构

将系统的测试信号需求设定为在被测设备的 I 端口施加一个 5 V 直流的激励信号,RTS 的预期输出目标时返回一个满足信号需求的测试仪器端口,并返回被测设备端口到测试仪器端口的所有通道路径,统计各个路径的长度,选择最短路径作为最优路径进行输出[15]。对 RTS 的各个功能函数进行单独验证,将测试系统中的 RTS 模块单独放在一个新的工程文件中进行单独运行,以单步调试的方式对各个主要的功能函数进行输出结果的分析,验证函数设计的正确性。单步运行后程序的输出结果如图 8 所示。

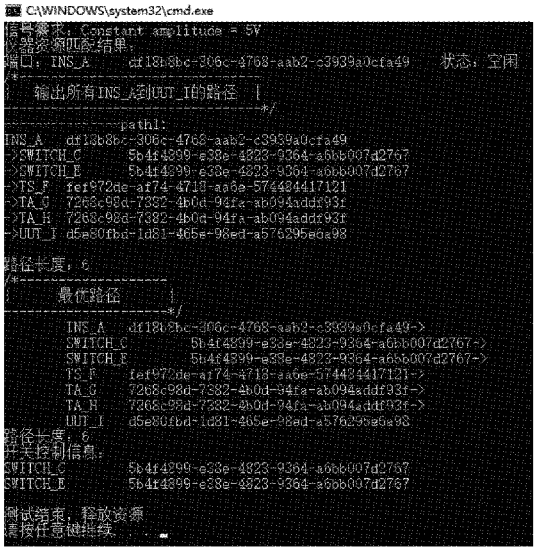

图 8　程序运行结果

测试通道的初始化函数功能验证。对于 RTS 而言,测试通道的初始化函数是其他函数功能设计的基础,因而只有初始化函数顺利进行,其他函数才能顺利实现其功能。所以,对于测试通道初始化的验证只需验证其他功能函数即可。

信号能力匹配函数功能验证。根据测试信号需求,遍历匹配系统中所有的仪器资源,查找到能力匹配并且空闲状态的仪器端口,直到遍历完所有的仪器资源。根据仪器

资源描述测试端口 A 具备 0～40 V 的直流信号输出能力，满足测试信号需求，如图 9 所示，匹配的结果输出为 INS_A，与理论结果相符，证明了信号能力匹配函数功能正确、设计合理。

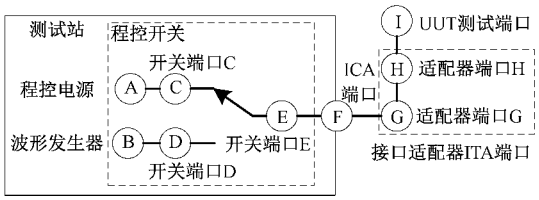

图 9　测试系统的连接关系图

通道路由函数功能验证。通道路由的结果为一条由测试仪器端口到被测对象端口的完整通道路径，同时为了对不同测试仪器的同名端口进行区分，输入通道路径节点的同时将输出节点对应的端口号。结合图 9 中的测试连接关系，从测试仪器端口 A 到 UUT 端口 I 的路径为 A—C—E—F—G—H—I，路径长度为 6，与通道路由的结果一致。

通道处理函数功能验证。本文中仅将适配器作为一个连接装置使用，不具备信号变换的能力，故仅对测试系统中的开关仪器进行端口地址输出，经验证输出开关端口符合预期。

经过对 RTS 中各个功能函数的验证，证明了各个函数模块功能设计的合理性以及程序编写的正确性，通过本文所设计的 RTS 设计方法可以将其在面向信号测试系统中的资源管理功能进行实现。

4　结　　论

本文将面向信号的思想引入 ATS 中，并在 ATML 标准的基础上设计 ATS 运行时系统，利用 ATML 标准对测试过程的测试资源进行了描述，通过构建函数，完成 ATS 的各项功能。最后通过系统仿真的方式验证其正确性。针对 ATS 可以考虑端口的信号衰减，在选择通道时考虑更多的通道特性。从系统开发的角度看，本文为面向信号的 ATS 通用化设计提供了一定的参考，整个系统开发过程进行后续的开发优化与功能完善后，对于电子设备的通用化测试工作将具有一定的实用意义。

参考文献

[1] 李冬宁，夏伟杰，叶明. 面向信号的测试仪器模型描述研究及软件实现[J]. 国外电子测量技术，2019，38(1)：132-137.

[2] 郭煜，高海英，朱望纯. 面向信号的测试资源管理方法研究[J]. 桂林电子科技大学学报，2019，39(1)：48-53.

[3] 刘兆庆，乔立岩. 基于 ATML 的分布式 ATS 架构研究[J]. 宇航总体技术，2018，2(3)：38-45，70.

[4] 成金涛，曾苏凡，张俊，等. 机载设备的 UUT 模型标准化描述及其软件实现[J]. 电子测量技术，2019，42(2)：58-62.

[5] 何斌. 导航计算机板自动测试系统实现研究[D]. 南京：南京航空航天大学，2016.

[6] 严乐，司斌，张从霞，等. 美军自动测试系统的现代化发展综述[J]. 航空兵器，2016(2)：71-76.

[7] 苏前银. 面向信号的资源管理软件设计与实现[D]. 成都：电子科技大学，2020.

[8] 张祯. 面向信号测试系统中信号组件及运行时技术的研究与实现[D]. 成都：电子科技大学，2014.

[9] 王怡苹，李文海，文天柱. 面向信号测试的路径搜索算法研究[J]. 仪器仪表学报，2013，34(7)：211-219.

[10] 马乐洋. 自动测试系统资源管理及软件运行组件设计与实现[D]. 成都：电子科技大学，2018.

[11] 张建东，王硕，田海宝. 基于 ATML 的 ATS 资源建模与运行时服务研究[J]. 测控技术，2019，38(2)：24-28，32.

[12] 刘明，高海英，张伟昆. 基于 ATML 的 TPS 可移植性设计[J]. 电子科技，2019，32(5)：68-74.

[13] 肖圣兵. 某型雷达通用自动测试系统的设计[J]. 电子测量技术，2016，39(4)：96-100.

[14] 刘昕. 基于 ATML/STD 标准的通用导弹测试软件平台开发[J]. 国外电子测量技术，2015，34(9)：1-8.

[15] 张文. 信息化自动测试系统软件开发[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2013.

作者简介

杨南南，硕士研究生，主要研究方向为自动测试技术、故障诊断等。

E-mail：yang13361617571@163.com