

基于 ATML 标准族的面向信号软件平台设计与开发

牛双诚, 文天柱, 许爱强

(海军航空大学 战勤学院, 山东 烟台 264001)

摘要: ATML 标准族为自动测试系统提供了一种新的面向信号技术标准; 分析了 STD、ATML、SIMICA 和 AI-ESTATE 自动测试领域四大国际标准, 系统阐述了自主开发的面向信号软件平台 CATS 的设计与开发; 首先介绍了 CATS 软件系统的功能组成和工作原理; 然后重点分析了 TPS 开发平台、系统管理平台和 TPS 运行平台的工作原理和功能模块; 最后详细介绍了面向信号仪器驱动程序的设计; 工程应用表明 CATS 软件平台符合 ATML 标准族, 能够有效满足航空电子设备的内场测试和诊断需求, 采用开放式体系结构, 易于系统扩展, 具有较好的应用前景。

关键词: 自动测试标记语言; 测试程序集; CATS; 面向信号; 软件平台

Design and Development of Signal Oriented Software Platform based on ATML Standard Family

NIU Shuangcheng, WEN Tianzhu, XU Aiqiang

(Combat Service College, Naval Aeronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: ATML standard family provides a new signal-oriented technical standard for ATS. This paper analyzes the four international standards in the field of automatic test: STD, ATML, SIMICA and AI-ESTATE, and systematically expounds the design and development of self-developed signal-oriented software platform CATS. Firstly, the functional composition and working principle of CATS are introduced. Then, the working principles and functional modules of TPS development platform, system management platform and TPS operation platform are analyzed. Finally, the design of signal-oriented instrument driver is introduced in detail. Engineering application shows that CATS software platform conforms to ATML standard family, and can effectively meet the requirements of avionics infield test and diagnosis. It adopts open architecture, easy to expand, and has a good application prospect.

Keywords: ATML; TPS; CATS; signal-oriented; software platform

0 引言

在自动测试系统 (ATS, automatic test system) 中, 计算机、测试仪器、测试总线、开关系统等硬件平台是系统的基础, 软件平台则是系统的灵魂。与面向仪器的软件平台相比, 面向信号软件平台的优势在于只需了解被测对象 (UUT, unit under test) 的信号需求, 测试过程仅描述对信号的能力需求和控制, 而无需指定使用哪台特定仪器进行激励、测量或监控, 无需指定信号所经过的开关路径, 因而能够最大程度上支持测试仪器的可互换和测试程序集 (TPS, test program set) 的可移植。

面向信号软件标准从最初的 ATLAS 语言标准发展到现在的 ATML 标准族^[1-2], 其内容和体系结构不断丰富和发展完善, 涵盖了测试、诊断和维修的各个方面。目前 ATML 标准族包括信号和测试定义标准 (IEEE 1641 STD)、通过 XML 文件交换自动测试设备和测试信息的自动测试标记语言标准 (IEEE 1671 ATML)、用于维修信息收集和分析的软件接口

标准 (IEEE 1636 SIMICA) 和适用于所有测试环境的人工智能交换和服务标准 (IEEE 1232 AI-ESTATE)^[3-6]。

由于 ATML 标准族采用了扩展标记语言 (XML, extensible markup language) 作为标准化电子文档和信息交换的格式, 更适合于信息交换和网络传输, 进一步提升了自动测试设备 (ATE, automatic test equipment) 之间的信息交互能力, 因而具有强大的应用前景。

目前国内外在面向信号技术领域进行了大量研究, 取得了丰硕的成果^[7-13]。也有一些单位设计开发了支持 ATML 标准的面向信号软件, 如 Astronics Test Systems 公司的信号编辑工具 SigBase^[14], Reston Software 公司的测试描述开发工具 ATML Pad^[15]等, 但这些软件大多只涉及面向信号软件平台中的某些功能模块, 未能涵盖整个 ATML 标准族。

本文对 ATML 标准族进行了深入研究, 针对工程实际对标准内容进行了适当扩展以增强其功能和扩展能力, 并自主开发了具有完整功能的 CATS (common automatic test system) 面向信号软件平台。该软件平台在实际自动测试

收稿日期:2021-05-19; 修回日期:2021-06-09。

作者简介:牛双诚(1974-),男,河北新河人,博士,副教授,主要从事复杂电子设备测试与诊断方向的研究。

引用格式:牛双诚,文天柱,许爱强.基于 ATML 标准族的面向信号软件平台设计与开发[J].计算机测量与控制,2021,29(8):163-167.

系统中进行了工程应用,有效证明了软件的有效性、正确性和可靠性。

1 ATML 标准族研究

ATML 标准族以 ATML 语言标准为主包括 4 大标准:

1) IEEE Std1641 信号和测试定义标准 (STD),采用数学语言严格定义了信号类型以及测试过程语言^[3],为面向信号测试技术提供了技术支持;

2) IEEE Std1671 通过 XML 文件交换自动测试设备和测试信息的自动测试标记语言 (ATML),则通过 XML 语言定义了自动测试系统的各个要素,包括:测试需求 (IEEE 1671.1)、仪器和开关能力描述 (IEEE 1671.2)、UUT 描述 (IEEE 1671.3)、测试配置信息 (IEEE 1671.4)、测试适配器/电缆描述 (IEEE 1671.5)、测试站描述 (IEEE 1671.6)^[4],每个要素都有 XML Schema 进行严格定义;

3) IEEE Std1636 用于维修信息收集和软件接口 (SIMICA),定义了测试结果 (IEEE 1636.1)、维修信息 (IEEE 1636.2) 等要素^[5];

4) IEEE Std1232 适用于所有测试环境的人工智能交换和服务 (AI-ESTATE),定义了故障诊断软件接口以及故障树、贝叶斯网络、D 矩阵、诊断逻辑等故障诊断模型^[6]。

图 1 描述了 ATML 标准族与自动测试系统各部分之间的对应关系。从图中可见 ATML 标准族有效覆盖了自动测试系统的各个要素。

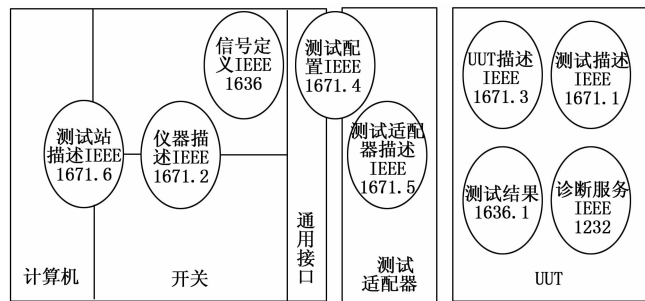


图 1 ATML 标准族与 ATS 各部分间的关系

然而 ATML 标准族也存在一些工程应用上的缺陷,如:

- 1) 扩展信号类型的能力不强;
- 2) IEEE 1671.2 测试描述缺少对数值计算、信号处理的描述方法;
- 3) 缺少对面向信号仪器驱动程序的定义和规范。

2 CATS 面向信号软件平台架构

本节描述了 CATS 面向信号软件平台的功能组成和工作原理。

2.1 功能组成

CATS 面向信号软件平台按照功能被划分为 TPS 开发平台、ATS 管理平台和 TPS 运行平台 3 个子系统,组成框图如图 2 所示。

1) TPS 开发平台:提供 TPS 相关内容的新建、编辑、保存等管理功能,包括 UUT 描述、测试描述、测试适配器

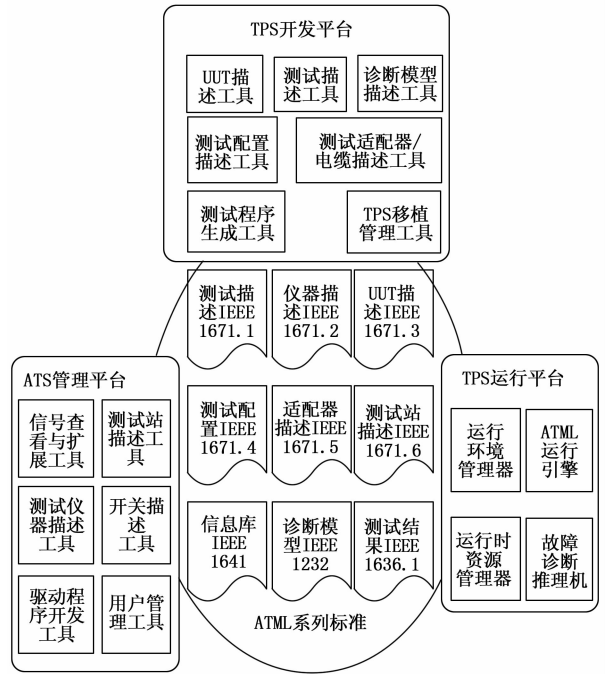


图 2 CATS 软件系统组成框图

/电缆描述、诊断模型、测试配置描述等项目。TPS 开发平台提供 TPS 测试程序生成、TPS 移植管理功能,支持 TPS 在不同系统平台间的快速移植。

2) ATS 管理平台:提供测试设备的管理功能,包括信号类型的查看与扩展、测试站管理、测试仪器和开关矩阵管理、仪器驱动程序管理、仪器描述建模与驱动开发、开关描述建模与驱动开发和用户管理功能。

3) TPS 运行平台:支持运行符合 ATML 标准的测试程序,提供 TPS 的运行管理和运行时服务功能,包括运行环境管理、TPS 安装和卸载、运行时资源管理、测试程序断点调试、测试结果管理、故障诊断、历史日志查看等功能。

2.2 工作原理

CATS 软件系统的工作原理如图 3 所示。

首先,用户使用 TPS 开发平台和 ATS 管理平台提供的建模工具,建立测试和诊断过程中需要的各种信息描述模型,并产生相应的 XML 文件,供 TPS 运行平台调用;

然后,测试程序生成工具将与 TPS 相关的描述文件转换为更易于执行的二进制工程文件,同时驱动程序开发工具根据测试仪器/开关描述模型创建面向信号的驱动程序框架(标准 C 语言),通过对厂家驱动程序的二次封装,得到面向信号仪器驱动程序,供运行时资源管理器调度和管理;

在测试程序运行时,运行环境管理器调用 ATML 运行环境引擎,加载和启动二进制测试程序,通过面向信号仪器驱动程序驱动测试仪器和开关矩阵进行测试^[16-17],并将测试结果数据输入到诊断推理机,根据预先建立的故障诊断模型实现 UUT 的故障诊断。

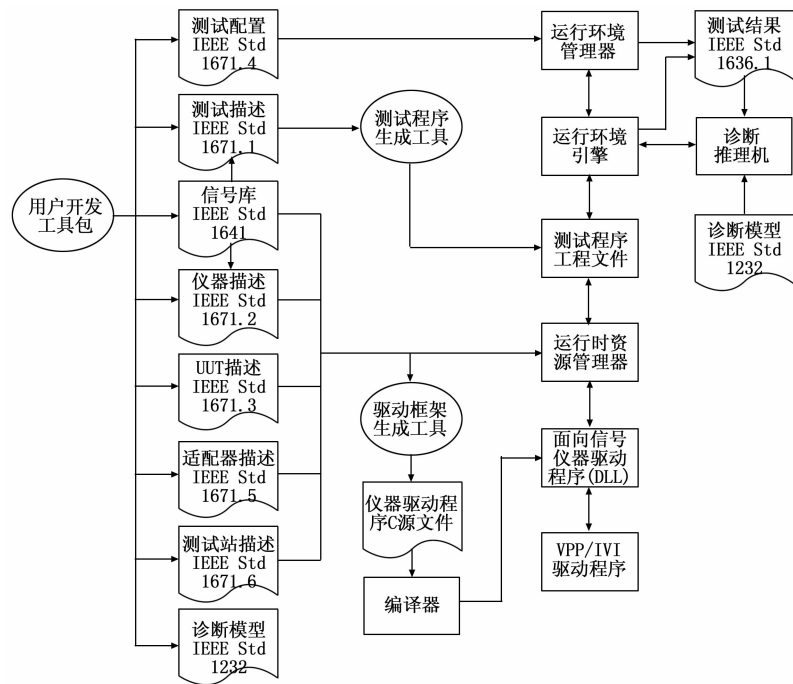


图 3 CATS 软件系统原理框图

3 CATS 方案设计

3.1 TPS 开发平台

为便于对测试程序的管理, CATS 软件平台定义了“测试工程”。一个测试工程对应一个 UUT, 其内容包括:

- 1) UUT 描述, 在 IEEE 1671.3-2007 标准框架下, 实现 UUT 相关信息的描述, 包括 UUT 的识别信息、接口定义、图片信息等;
- 2) 测试描述, 在 IEEE 1671.1-2009 标准框架下, 实现测试需求和过程的描述, 包括全局信号、状态变量、测试项目和测试流程等, 其中测试项目又包含测试参数、局部信号、测试行为、测试结果和输出等内容, 测试流程又可分为串行流程、序贯流程、并行流程和诊断驱动的测试流程等;
- 3) 测试适配器/电缆描述, 在 IEEE 1671.5-2015 标准框架下, 实现测试适配器/电缆模型的描述, 包括基本信息、接口定义和连线信息等;
- 4) 诊断模型描述, 在 IEEE 1232-2012 标准框架下, 实现诊断模型(具体为 D-矩阵模型)的描述, 包括基本信息、故障模式信息、故障-测试关联关系、测试-测试关联关系等;
- 5) 测试配置信息, 在 IEEE 1671.4-2016 标准框架下, 定义 UUT 描述、测试描述、适配器/电缆描述等信息的关联关系。

TPS 开发平台包括测试工程管理工具、UUT 描述工具、测试描述工具、测试适配器/电缆描述工具、诊断模型描述工具和测试配置生成器等功能模块, 用于新建、编辑、修改、保存测试工程。TPS 开发平台对完成的测试工程首先进行标准符合性检查, 然后进行信息一致性检查, 检查无误的文件被保存

为二进制工程文件“*.tps”。

TPS 开发平台通过对工程文件的导入和导出实现 TPS 可移植, 提供如下 TPS 移植管理功能:

- 1) 校验 ATML 文档格式, 导入、导出符合标准的 ATML 描述文档;
- 2) 对 ATML 描述文档实施信息一致性检验, 确定当前测试系统的阵列接口定义是否与原有系统相同, 如果不同则提示用户重新编辑;
- 3) 检查被移植 TPS 工程文件的工作目录是否正确, 若不正确则自动更正;
- 4) 检查测试配置信息, 确定当前测试系统的软硬件资源是否能够满足 UUT 测试需求, 若不满足则给出测试配置修改建议。

TPS 开发平台针对 IEEE 1671.2 测试描述缺少对数值计算、信号处理描述方法的问题, 增加了调用外部 DLL、COM 组件以及执行简单计算函数的测试动作类型, 如图 4 所示。

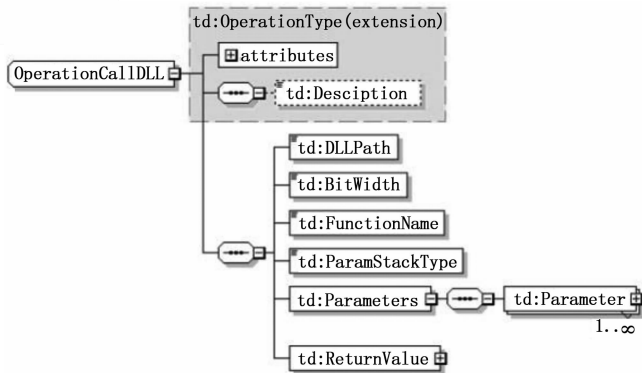


图 4 外部调用 DLL 测试动作类型扩展

3.2 ATS 管理平台

为便于对测试设备的管理, CATS 软件平台定义了 ATS 工程。一个 ATS 工程对应一台/套自动测试系统, 其内容包括:

- 1) 信号类型定义, 在 IEEE 1641-2010 标准框架下, 描述标准信号、系统扩展信号、用户自定义扩展信号;
- 2) 测试站描述, 在 IEEE 1671.6-2015 标准框架下, 对测试站的基本信息、包含的仪器资源、阵列接口定义及其内部连线进行描述和建模;
- 3) 仪器/开关描述, 在 IEEE 1671.2-2012 标准框架下, 实现测试仪器/开关接口定义、测量资源、信号能力和资源映射等内容的描述;
- 4) 仪器驱动程序, 根据仪器/开关描述定义的信号能力, 为测试仪器/开关提供对应的信号控制接口和信号属性接口, 实现对原有厂商仪器驱动程序的二次封装。

ATS 管理平台主要由信号查询与扩展工具、测试站描述工具、测试仪器/开关描述工具、驱动程序开发工具等模块组成, 提供上述 ATS 工程文件的新建、编辑、修改和保存, 完成的 ATS 工程被保存为便于运行的二进制工程文

件。ATS 管理平台还提供用户管理工具，对 CATS 软件系统用户进行分类管理，不同类别的用户具有不同的访问和使用权限。

针对 IEEE 1641 扩展信号能力不强的问题，提供了动态扩展信号的能力^[18]。

3.3 TPS 运行平台

TPS 运行平台为用户提供一个完备的 TPS 管理和运行环境，为以 ATML 语言开发的测试程序提供运行支持，包括 TPS（含诊断模型）的管理、运行环境引擎的管理、测试结果的管理，以及 TPS 的运行控制。

TPS 运行平台包括运行环境管理器、ATML 运行引擎、运行时资源管理器和故障诊断推理机四个主要功能模块，其结构和功能组成如图 5 所示。TPS 运行平台采用了开放式体系架构，可以插入不同的测试程序运行引擎。

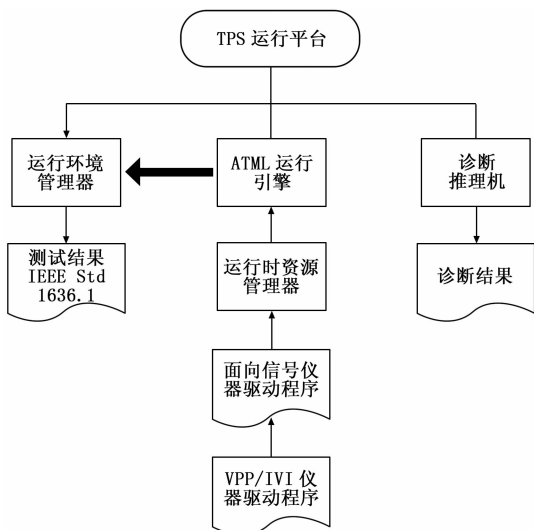


图 5 TPS 运行平台功能组成图

1) 运行环境管理器是 TPS 运行平台的控制核心，向上接受用户输入，向下对运行引擎进行调用和控制，提供运行环境引擎管理和测试/诊断结果管理等功能；

2) ATML 运行引擎用于运行以 ATML 语言开发的测试程序，执行满足 IEEE 1671.1—2009 标准的测试流程，接受运行环境管理器的调用，提供 TPS 安装和卸载、TPS 运行控制、测试结果保存、运行时资源管理和运行历程记录等功能；

3) 运行时资源管理器用于动态分配测试过程中的信号资源和开关路径，负责测试系统内部所有信号资源、信号路由的管理，向下调用面向信号的仪器驱动程序，向上为测试程序提供面向信号的仪器控制接口，最终实现测试程序对物理仪器的控制。

4) 故障诊断推理机，按照 IEEE 1232—2012 标准要求的编程接口，提供故障诊断推理服务。接受运行环境管理器或运行环境引擎的调用，根据 UUT 的诊断模型和测试结果，给出诊断结论和维修建议。

TPS 运行平台支持串行和并行测试流程，在执行并行测试流程时，测试流程调度模块的主线程根据测试资源的

丰裕程度启动一个或多个工作线程，完成测试任务。

TPS 运行平台提供图形化的测试流程自动控制能力和测试程序调试能力。在运行时，用户可以实时观察测试过程中的测试执行流程，通过系统运行日志实时查看信号资源、信号路径的分配情况。在调试时，用户能够设置、清除、查看断点，查看和修改内存变量，查看和修改信号资源、信号路径的分配情况。

测试结果被保存为符合 IEEE 1636.1—2007 标准的文件。用户可以检索、查看、打印测试结果，并采用 TPS 工程中的故障诊断模型实现对被测设备的故障诊断。TPS 运行平台支持基于故障树模型和 D-矩阵模型的故障推理。

4 CATS 的面向信号仪器驱动程序

在 CATS 软件系统中，每个测试资源（测试仪器或开关）对应一个仪器能力描述文件和一个面向信号的仪器驱动程序。仪器能力描述文件，用于描述测试仪器所拥有的信号能力、资源、端口、连接器及相互间的映射关系。面向信号的仪器驱动程序为 TPS 运行平台的资源管理器中间件提供符合标准接口的测试仪器控制函数。

CATS 软件系统将信号角色类型共分为 6 种：信号源 (Source)、传感器 (Sensor)、事件 (Event)、通用开关 (Switch) 和矩阵开关 (Matrix)。每种角色类型定义了标准的驱动程序编程接口，如表 1 所示。

根据测试仪器描述文件，由 ATS 管理平台工具生成符合上述接口标准的测试仪器驱动程序框架。框架中包含了测试资源初始化、关闭、复位、自检函数接口，其它函数接口与仪器能力中所对应资源的函数接口相对应。

面向信号的仪器驱动程序是对原有面向仪器驱动程序的一个二次封装，可以是厂商的符合 VPP 规范^[19]的仪器驱动程序，也可以是符合 IVI 规范^[20]的仪器驱动程序。将厂商提供的驱动函数添加到驱动程序工程中，通过编译调试就形成了面向信号的仪器驱动程序。

面向信号仪器驱动的开发流程是，首先采用仪器/开关描述工具建立仪器描述模型，得到仪器描述文件，同时产生仪器驱动程序框架，再将仪器底层的控制指令程序添加到仪器驱动程序框架中对应的接口函数内，编译产生动态链接库，即面向信号的仪器驱动程序，供运行引擎调用。

5 结束语

CATS 软件系统是依据 IEEE 1641、IEEE 1671、IEEE 1636 和 IEEE 1232 等最新国际标准设计和开发的面向信号自动测试软件平台。它采用 ATML 语言建模和面向信号的测试描述设计，不依赖于某一特定的被测设备，与硬件平台无关，是一个通用的自动测试软件系统。

CATS 软件系统采用开放式体系结构，按照通用化、系列化、标准化、组化原则设计，能够有效满足航空电子设备的内场测试和诊断需求。具有良好的信号扩展能力，用户能够方便地增加自定义信号类型，并根据软件接口规范，自行开发面向信号的仪器驱动程序，扩展系统的测试能力。

表 1 面向信号仪器驱动程序编程接口

序号	角色类型	驱动程序函数接口	函数功能
1	信号源	Setup (SigPSource source, intTimeOutValue);	设置激励信号属性
2		Run (SigPSource source, intTimeOutValue);	使能激励信号输出
3		Change (SigPSource source, intTimeOutValue);	改变激励信号属性设置
4		Stop (SigPSource source, intTimeOutValue);	停止激励信号输出
5	传感器	Setup (SigPSensor sensor, intTimeOutValue);	设置测量信号属性
6		Run (SigPSensor sensor, intTimeOutValue);	执行测量
7	事件	Setup (SigPEventevent, intTimeOutValue);	设置事件属性
8		Run (SigPEventevent, intTimeOutValue);	使能事件有效
9		Stop (SigPEventevent, intTimeOutValue);	使能事件无效
10	通用开关	Connect (SigPSwitch switch,int Pole, intTimeOutValue);	接通开关
11	矩阵开关	Connect (SigPSwitchmtx,int row, int col,intTimeOutValue);	接通矩阵
12		Disconnect(SigPSwitchmtx,int row, int col,intTimeOutValue);	断开矩阵

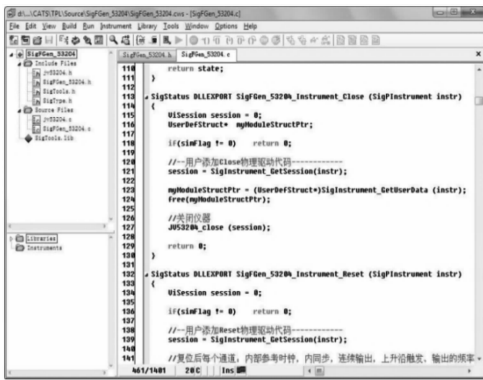


图 6 仪器驱动开发界面

CATS 软件系统采用 Microsoft Visual Studio C# 实现。为兼容厂家的仪器驱动程序, 面向信号仪器驱动程序则采用了 NI Labwindows/CVI 实现。

CATS 软件系统在某型自动测试系统上得到了工程应用, 应用结果表明 CATS 软件平台符合 ATML 标准族, 证明了软件的有效性、正确性和可靠性。

参考文献:

[1] 许爱强, 文天柱, 孟 上. ATML 标准的结构和应用研究 [J]. 仪表技术, 2011 (8): 17 - 19.

[2] 唐小峰, 曾庆华. 自动测试标记语言 ATML 及其应用 [J]. 航空兵器, 2010 (4): 46 - 49.

[3] IEEE Std 1641-2010; IEEE standard for signal and test definition [S/OL]. 2010. <http://standards.ieee.org/downloads/1641/1641-2010>.

[4] IEEE Std 1671-2010; IEEE standard for automatic test mark-up language (ATML) for exchanging automatic test equipment and test information via XML [S/OL]. 2010. <https://standards.ieee.org/standard/1671-2010.html>.

[5] IEEE Std1636-2018; IEEE standard for software interface for maintenance information collection and Analysis (SIMICA) [S/OL]. 2018. <https://standards.ieee.org/standard/1636-2018.html>.

[6] IEEE Std 1232-2010; IEEE standard for artificial intelligence

exchange and service tie to all test environments (AI - ES-TATE) [S/OL]. 2010. <https://standards.ieee.org/standard/1232-2010.html>.

[7] 杨 起, 王竹林, 王 成. ATML 测试系统软件平台架构及测试结果建模研究 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (2): 118 - 122.

[8] 朱 坤, 文天柱, 孟 上, 等. 基于 ATML 标准族的面向信号软件平台研究 [J]. 仪表技术, 2014 (1): 24 - 27.

[9] 谭 旭, 陈鹏飞, 刘 毅. 基于 IEEE 1636.1 的自动测试结果数据管理软件设计与实现 [J]. 国外电子测量技术, 2020, 39 (1): 157 - 162.

[10] 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): 72 - 78.

[11] 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): 64 - 68.

[12] 黄雪明, 潘增寿, 任登娟. ATML 标准在自动测试系统中的应用 [J]. 现代信息科技, 2019 (15): 7 - 9.

[13] 杨炳琳. 基于 ATML 的可重配置测试系统软件设计 [D]. 太原: 中北大学, 2019.

[14] Astronics. SigBase [EB/OL]. [2017 - 08 - 16]. <https://www.astronics.com/productinfo?productgroup=Test%20%26%20Measurement&subproduct=Test%20Management%20Software&subitem=SigBase>.

[15] Reston Software. ATML Pad [EB/OL]. [2021 - 05 - 05]. <http://www.restonsoftware.com/atmlpad.html>.

[16] 牛双诚, 宋振宇, 孙保良. 面向信号的仪器控制模型研究 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (11): 3904 - 3908.

[17] 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): 1650 - 1658.

[18] NIU S, XU A, SONG Z. A flexible software framework with dynamic expansible signals [C] // 2014 IEEE AUTOTEST, IEEE, 2014.

[19] VXIplug&play Systems Alliance. VPP-4.3.2: VISA implementation specification for textual language [S/OL]. [2020 - 11 - 20]. http://sites.science.oregonstate.edu/~hetheriw/wiki/ph415_s12/topics/inst/files/visa/vpp432.pdf.

[20] IVI Foundation. IVI Specifications [EB/OL]. 2021. <https://www.ivifoundation.org/specifications/default.aspx>.